

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Ondřej Zelenka

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Komunikační modul pro ovládání systému pro měření pasivních ztrát vozidla na
válcovém dynamometru
Ondřej Zelenka

Bakalářská práce

2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Ondřej Zelenka
Osobní číslo: D14268
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě
Název tématu: Komunikační modul pro ovládání systému pro měření pasivních ztrát vozidla na válcovém dynamometru
Zadávající katedra: Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

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

Vytvořte komunikační modul (hardware + jeho naprogramování) pro ovládání stávajícího systému měření pasivních ztrát u válcového dynamometru v laboratoři KEEZ ve VVCD Doubravice, aby tento měřicí systém mohl být začleněn do pracoviště a ovládán příkazy po sběrnici CAN za účelem měření pasivních ztrát vozidla. Modul bude po sběrnici odesílat měřené hodnoty a přijímat příkazy. Ověřte funkci vytvořeného modulu.

Doporučený postup:

1. Seznámit se se současným stavem systému měření pasivních ztrát.
2. Nastudovat ovládání frekvenčního měniče.
3. Nastudovat sběrnici CAN.
4. Kompletně navrhnout HW modulu, vytvořit prototyp, použít MCU Atmel AVR.
5. Vytvořit firmware pro navrhnutý HW (v programovacím jazyku C).
6. Ověřit funkci zařízení.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

KRACÍK, Tomáš. Systém pro měření pasivních ztrát motocyklu na válcovém dynamometru. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.

HLADÍK, Pavel. Modul řízení otáček ventilátoru. Pardubice, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 8023900242.

VLK, František. Diagnostika motorových vozidel: [diagnostické testery, motortestery, brzdové soustavy, geometrie řízení, tlumiče, kontrola podvozku, diagnostické linky]. Brno: František

Vlk, 2006, 444 s. ISBN 80-239-7064-X.

VOSS, Wilfried. A comprehensible guide to controller area network. Greenfield: Cooperhill

Technologies Corporation, 2005, 150 s. ISBN 0976511606.

PLÍVA, Zdeněk. EAGLE prakticky: řešení problémů při běžné práci. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010, 184 s. ISBN 9788073002527.

VÁŇA, Vladimír. Mikrokontroléry ATMEL AVR - Programování v jazyce C: popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 8073001020.

Datasheety výrobců komponent.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.**

Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání bakalářské práce: **9. listopadu 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 7. března 2017

PROHLÁŠENÍ AUTORA

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.

Beru 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.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Liberci dne 24. 5. 2017

Ondřej Zelenka

PODĚKOVÁNÍ

První a největší díky patří vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Zdeňku Maškovi, Ph.D., a to za vynikající úroveň spolupráce, zejména za ohromnou ochotu a trpělivost s jakou se věnoval všem mým dotazům a také za velmi cenné rady, jenž mi poskytoval ve všech aspektech této práce. Dále bych rád poděkoval svým kolegům z firmy IKOS CZ s.r.o., jmenovitě zejména panu Františku Jelínkovi a to za užitečné a praktické rady z oblasti návrhu hardwaru. V poslední řadě bych rád poděkoval všem svým kamarádům a známým, které jsem donutil přečíst tuto práci před jejím publikováním a kteří se svými postřehy podíleli na zvýšení její formální i věcné úrovně.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem, realizací a laděním modulu, který bude sloužit k měření pasivních ztrát v soustavě válcového dynamometru v laboratořích Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě sloužícího k zatěžování spalovacích motorů. Tento modul bude získávat data ze senzorů, zpracovávat je a dále odesílat na sběrnici CAN. Bude jej možné pomocí této sběrnice konfigurovat v omezené míře. Modul bude také ovládat frekvenční měnič systému měření pasivních ztrát dynamometru.

KLÍČOVÁ SLOVA

CAN-BUS, USB, mikroprocesor, frekvenční měnič, měření, dynamometr

TITLE

Communication module for control of rolling resistance measurement system.

ANNOTATION

This bachelor's study looks into development, implementation, and debugging of communication module, which will be used for measuring passive power losses on chassis dynamometer system used for loading combustion engines in laboratories of Department of electrical engineering, electronics and safety systems in transport. This module will get data from sensors, process them and send them through CAN bus. It will be capable of configuration through CAN bus. It will also control frequency converter of passive losses measurement system.

KEYWORDS

CAN-BUS, USB, microprocessor, frequency coverter, measurement, dynamometer

OBSAH

ÚVOD	9
1 TEORETICKÝ ROZBOR	10
1.1 STÁVAJÍCÍ KONCEPCE SYSTÉMU MĚŘENÍ PASIVNÍCH ZTRÁT	10
1.2 BUDOUCÍ PODOBA SYSTÉMU	11
1.3 FREKVENČNÍ MĚNIČ	11
1.3.1 Ovládání frekvenčního měniče	13
1.4 TENZOMETRICKÝ SNÍMAČ	14
1.5 POŽADAVKY KLADENÉ NA KOMUNIKAČNÍ MODUL	15
1.5.1 Sběrnice CAN	15
1.5.2 Sběrnice SPI	18
1.5.3 Zpracování analogového signálu	19
2 HARDWARE	22
2.1 BLOKOVÉ SCHÉMA	22
2.2 HLAVNÍ FUNKČNÍ CELKY KOMUNIKAČNÍHO MODULU	23
2.2.1 Mikrokontrolér (MCU)	23
2.2.2 Analogové výstupy	26
2.2.3 Digitální vstupy a výstupy	28
2.2.4 Sběrnice CAN	30
2.2.5 Sběrnice USB	31
2.2.6 Analogové vstupy	31
2.2.7 Napájení	34
2.3 FYZICKÁ REALIZACE HARDWARE	37
3 FIRMWARE	39
3.1 DEFINICE PERIFERÍ	39
3.2 INICIALIZACE MODULU	39
3.3 PŘIPOJENÍ OVLÁDACÍHO ROZHRANÍ, OVLÁDÁNÍ FREKVENČNÍHO MĚNIČE	40
3.4 TIME MANAGEMENT	42
3.5 ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÉHO SIGNÁLU	43
3.6 OVLÁDÁNÍ EXTERNÍHO D/A PŘEVODNÍKU	44

3.7	OBSLUHA ŘADIČE CAN	45
4	INSTALACE A PROVOZ MODULU	48
4.1	OVLÁDÁNÍ SYSTÉMU	48
4.2	ZKUŠEBNÍ PROVOZ	49
4.3	MĚŘENÍ PASIVNÍCH ZTRÁT.....	49
	ZÁVĚR.....	55
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	60
	SEZNAM GRAFŮ.....	62
	SEZNAM TABULEK	63
	SEZNAM PŘÍLOH	64

ÚVOD

Vlastnictví motorového vozidla se téměř po celém světě již stalo jakýmsi společenským standardem, bez něž si již mnoho z nás nedovede svůj každodenní život představit. Jak se motorová vozidla jako celky stávají stále složitějšími, je nutné zajištění kvalitnějšího servisu a přesnější diagnostiky. Jednou z diagnostických metod je právě zjišťování výkonu či krouticího momentu motoru na takzvaném dynamometru.

Pokud bychom chtěli změřit výkon motoru přesně, bylo by nutné jej z vozidla vyjmout a jeho klikovou hřídel spojit přímo s dynamometrem, tento proces je však obtížný, pracný a velmi zdlouhavý. V praxi se tak častěji setkáváme s tím, že motor je ponechán ve vozidle, které je spojeno se soustavou dynamometru prostřednictvím svých kol a stykového válce dynamometru. Jako v každém technologickém procesu, i tady však dochází ke ztrátám a to mezi dynamometrem a klikovou hřídelí motoru. Abychom mohli stanovit výkon motoru přesně, je nutné zjistit velikost těchto takzvaných pasivních ztrát.

Tato práce se zabývá návrhem komunikačního modulu, který bude začleněn právě do systému měření pasivních ztrát na válcovém dynamometru v laboratořích Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě a volně navazuje na bakalářskou práci Tomáše Kracíka, který tento systém v rámci své práce do zmíněných laboratoří začlenil. Tento modul bude z tenzometrického snímače získávat hodnotu síly vyvíjenou asynchronním motorem měřicího soustrojí na svůj rám, tuto hodnotu dále zpracuje a odešle na sběrnici CAN. Dále bude ovládat frekvenční měnič řídicí právě asynchronní motor. Modul bude možné také ovládat a v omezené míře konfigurovat pomocí sběrnice CAN, celý měřicí systém se tak zautomatizuje a uživatelsky zpříjemní. Zároveň však zůstane zachováno stávající ruční ovládání systému.

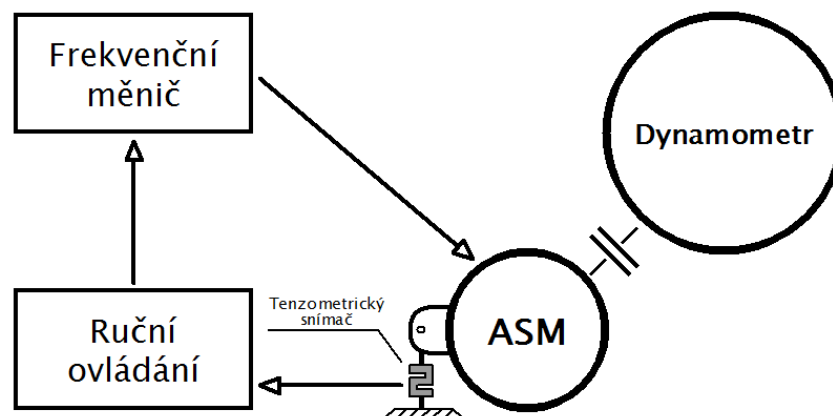
Ve své práci se nejprve zabývám teoretickým rozбором většiny částí modulu, jednotlivými sběrnicemi a komunikací po nich, zpracováním analogového signálu z tenzometru a způsobem ovládání frekvenčního měniče. Druhá kapitola pak vývojem hardwaru modulu, seznámením s jednotlivými funkčními celky a jeho fyzickou realizací. Třetí část práce je věnována vývoji firmwaru, psaném v programovacím jazyku C. Čtvrtá a poslední část se věnuje testování a ladění modulu, společně s prováděním kontrolních měření pasivních ztrát.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

V této kapitole se seznámíme se stavem systému měření pasivní ztrát v laboratořích Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, s jejich komponenty, které jsou významné pro tuto práci a dále s hlavními oblastmi spojenými s fungováním komunikačního modulu.

1.1 Stávající koncepce systému měření pasivních ztrát

S dynamometrem, k jehož stykovému válci je prostřednictvím svého zadního kola připojen měřený motocykl, je pomocí řemenu připojen asynchronní motor ovládaný frekvenčním měničem. Princip měření pasivních ztrát pak spočívá ve stisknutí spojky na měřeném motocyklu, roztočením celého systému asynchronním motorem na otáčky, při kterých byl měřen výkon motocyklu za současného nastavení nulového brzdného momentu dynamometru. Výkon, který je nutný pro roztočení celého systému, zjistíme díky otočnému uložení asynchronního motoru, na kterém je připevněno rameno působící na tenzometrický snímač. Tento snímač pak převádí působící síly (tah/tlak) na elektrický signál, vhodný k dalšímu zpracování.

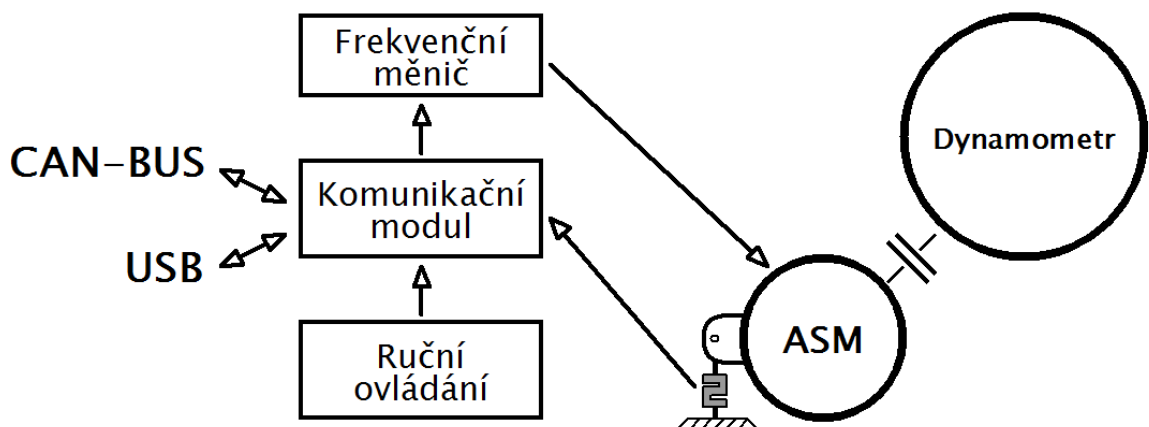


Obrázek 1.1 - Současná koncepce systému

Elektrický signál o určité hodnotě napětí je z tenzometrického snímače vyveden na měřicí zdířky ručního ovládání, které je dále nutné zpracovat. Pomocí ručního ovládání je ovládán frekvenční měnič, který řídí právě zmiňovaný asynchronní motor. Lze zde nastavovat rychlost a směr otáčení, zapnout/vypnout motor a potvrzovat chyby, které zde jsou zjednodušeným způsobem měničem signalizovány.

1.2 Budoucí podoba systému

Budoucí koncepce počítá se zapojením komunikačního modulu do systému jako prvku ovládající frekvenční měnič, zpracovávající signál z tenzometrického snímače a zároveň sloužící jako komunikační rozhraní systému pomocí sběrnice CAN. Ovládání frekvenčního měniče bude umožněno buď pomocí parametrů předaných modulu po sběrnici, nebo pomocí stávajícího ručního ovládání, které bude nově připojeno k modulu a nikoliv přímo k měniči. Hodnotu zpracovaného signálu z tenzometrického snímače bude modul periodicky odesílat na sběrnici CAN.



Obrázek 1.2 - Budoucí podoba systému

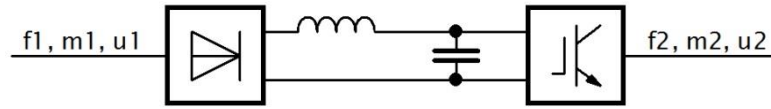
1.3 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič (někdy též nazývaný měničem kmitočtu) je zařízení umožňující přeměnu elektrického proudu (napětí) o určité frekvenci na proud (napětí) o frekvenci jiné. V dnešní době se používá zejména v oblastech elektrických pohonů k regulaci otáček (synchronní a asynchronní motory), v elektronických zářivkových předřadnících, k indukčnímu ohřevu, nebo k propojení distribučních sítí o různých kmitočtech (např. 50Hz/60Hz). Jejich rozšíření úzce souvisí s vývojem výkonové elektroniky a mikroprocesorové řídicí techniky.

Frekvenční měniče lze podle principu fungování rozdělit na nepřímé, přímé a maticové měniče. Vzhledem k tomu, že v laboratoři použitý měnič Siemens Sinamics G120 je nepřímý měnič s napěťovým meziobvodem, kterýžto je v současnosti také nejrozšířenějším druhem frekvenčních měničů, bude v této práci rozebrán princip fungování pouze tohoto druhu měničů.

Blokové schéma nepřímého frekvenčního měniče je zobrazeno na Obrázku 1.3. Na vstupu je přivedeno napájení o počtu fází m_1 , frekvenci f_1 a napětí u_1 , následuje neřízený

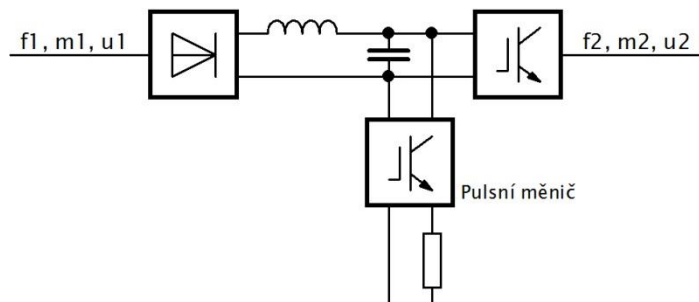
usměrňovač, stejnosměrný meziobvod (charakteristický právě pro nepřímé měniče) s vyhlazovacím kondenzátorem a střídačem na výstupu vytvářejícím síť o počtu fází m_2 , frekvenci f_2 a napětí u_2 .



Obrázek 1.3 - Blokové schéma nepřímého frekvenčního měniče

Tato nejjednodušší varianta není v pohonné technice vhodná pro dynamicky náročné aplikace, neboť neumožňuje rychlé zastavení motoru, kdy při prudkém poklesu frekvence přejde motor do režimu generátoru a jím vytvořená energie by mohla způsobit přepětí v meziobvodu měniče. Aby

nedošlo k poškození měniče, řídicí jednotka jej zablokuje. Tento neduh odstraňuje varianta zobrazená na Obrázku 1.4.

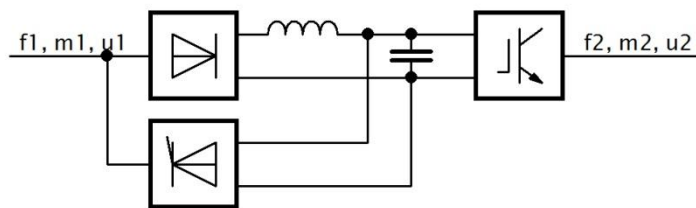


Obrázek 1.4 - Blokové schéma měniče s brzdným odporem

Toto uspořádání měniče umožňuje přebytečnou energii odvést na brzdný rezistor a přeměnit ji tak na teplo. Regulovaný motor tak lze rychle zastavit, nicméně z důvodu tepelných ztrát není toto řešení příliš vhodné pro dlouhodobé brzdění.

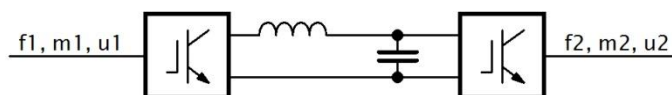
V případě technologických celků s více regulovanými motory lze jeden stejnosměrný meziobvod využít pro více střídačů a energii brzděného motoru tak lze využít v motoru jiném. Podmínkou pro správnou činnost tohoto systému je však opět připojení brzděného rezistoru a to pro případ, že by množství energie generované na brzděných motorech bylo větší, než aktuálně spotřebovované.

Z energetického hlediska by však bylo výhodnější energii generovanou brzděným motorem předávat do napájecí sítě namísto jejího maření na teplo v brzděném odporu. To v některých měničích umožňuje rekuperační jednotka tvořená například k neřízenému usměrňovači na vstupu antiparalelně zapojeným řízeným usměrňovačem pracujícím v invertorovém režimu, který umožňuje tok energie ze stejnosměrného meziobvodu zpět do střídavé sítě, takže regulovaný motor může dlouhodobě hospodárně brzdit.



Obrázek 1.5 - Blokové schéma měniče s rekuperační jednotkou

Nevýhodou tohoto zapojení je nesinusový průběh odebíraného i dodávaného proudu. Tento problém lze vyřešit použitím usměrňovače s pulzně-šířkovou modulací na vstupu měniče. Ten odebírá ze sítě téměř sinusový proud a zároveň změnou programu spínání součástek může pracovat jako střídač, takže umožňuje obousměrný přenos energie.



Obrázek 1.6 - Blokové schéma měniče s usměrňovačem s pulzně-šířkovou modulací

1.3.1 Ovládání frekvenčního měniče

V laboratoři použitý frekvenční měnič je v současnosti ovládán pomocí digitálních a analogových vstupů. Tento způsob ovládání bude zachován, modul tak bude muset obsahovat pro ovládání tři digitální výstupy s napěťovými úrovněmi 0 V a 24 V pro následující funkce:

- ON/OFF (zapnutí nebo vypnutí asynchronního motoru)
- Reverzace (volba směru otáčení asynchronního motoru)
- Potvrzení chyby (poté, co měnič signalizoval chybu)

Dále bude muset modul obsahovat analogový výstup, jež bude nabývat hodnot 0–10 V pro ovládání otáček asynchronního motoru.

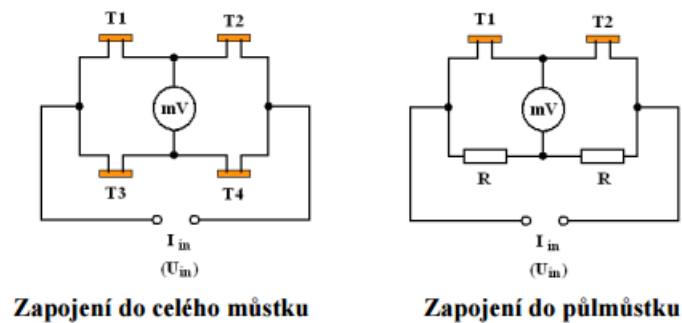
Frekvenční měnič dále prostřednictvím dvou digitálních výstupů s napěťovými úrovněmi 0 V a 24 V signalizuje následující:

- Chyba
- Varování

Tyto signály bude nutné modulem zpracovávat.

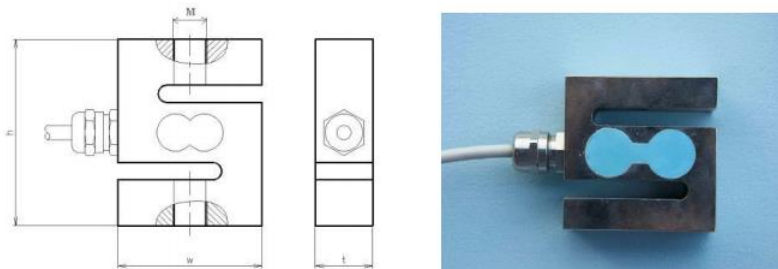
1.4 Tenzometrický snímač

Tenzometr je zařízení umožňující nepřímo měřit mechanické napětí na povrchu součásti prostřednictvím deformace jeho samého, čímž přesně mění svůj elektrický odpor. Běžně se tenzometry využívají k měření působící síly, kroutícího momentu, hmotnosti, tlaku, či deformaci. Nejpoužívanější zapojení tenzometrů je do Wheatstoneova můstku nebo půlmůstku z důvodu kompenzace teplotních vlivů.

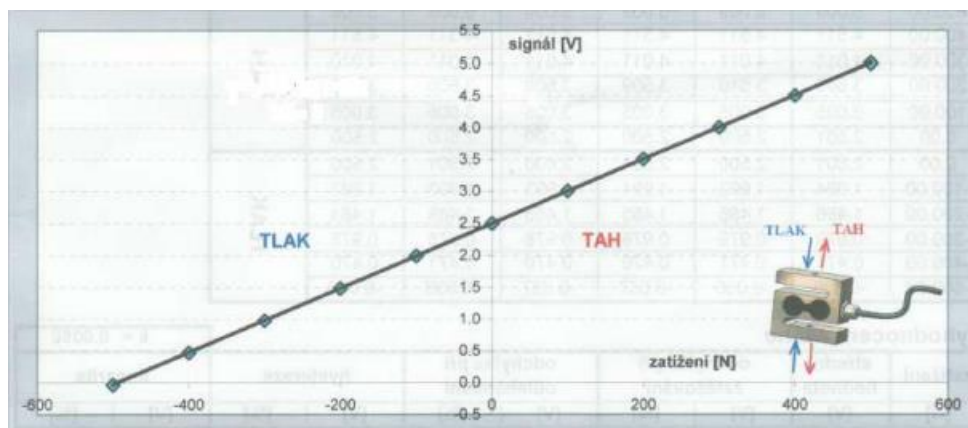


Obrázek 1.7 - Používaná zapojení tenzometrů [23]

V naší aplikaci je integrován ve snímači schopném měřit působící sílu v tahu nebo tlaku. Velikost těchto sil může být až 500 N, kdy výstupní napětí tohoto snímače se pohybuje v rozsahu 0–5 V v závislosti na působící síle dle kalibračního listu na Obrázku 1.9.



Obrázek 1.8 - Tenzometrický snímač ve tvaru "S" [23]



Obrázek 1.9 - Kalibrační list tenzometrického snímače [23]

1.5 Požadavky kladené na komunikační modul

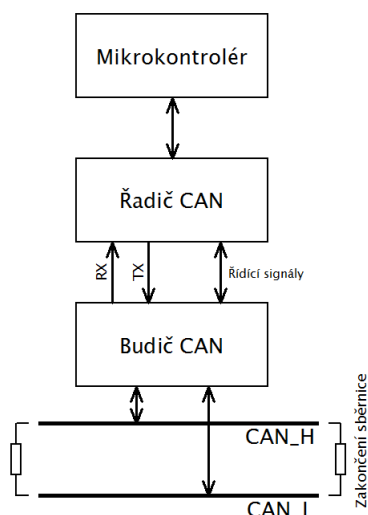
1.5.1 Sběrnice CAN

Controller Area Network (CAN) je sériová komunikační sběrnice vyvinutá firmou Bosch v roce 1986, určená původně pro automobilní techniku, rozšířila se však do více oblastí techniky. Hlavními důvody jejího vzniku byla nutnost meziprocesorové komunikace mezi řídicími jednotkami vozidla, rychlý přenos dat (komunikace v reálném čase), dobrá detekce chyb, nízká cena a v neposlední řadě také úspora kabeláže.

Základní vlastnosti sběrnice CAN jsou následující:

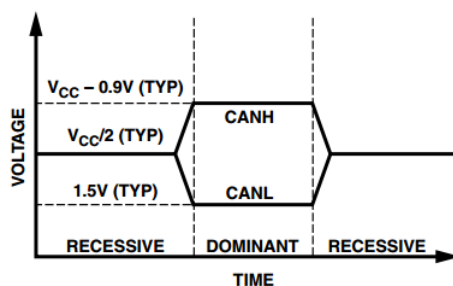
- Prioritizace zpráv
- Garance maximálního zpoždění
- Multicast příjem zpráv
- Multimaster sběrnice
- Stálost dat v celém systému
- Detekce a signalizace chyb
- Automatické znovuooslání poškozené zprávy v okamžiku přechodu sběrnice do nečinnosti
- Rozlišení mezi dočasnými chybami a trvalým poškozením uzlů a automatické odpojení vadných uzlů.

Fyzicky se sběrnice skládá ze dvou vodičů sběrnice (označovaných jako CAN_H (High) a CAN_L (Low), dvou ukončení sběrnice tvořených rezistory o hodnotě 120 Ω sloužících k impedančnímu přizpůsobení sběrnice (a tedy zamezení odrazů na vedení) a jednotlivých zařízení ke sběrnici připojených, které musí obsahovat budič (vysílač + přijímač) a řadič CAN sběrnice. Schematicky je tato struktura naznačena na Obrázku 1.10.



Obrázek 1.10 - Struktura zařízení s CAN rozhraním

Standart protokolu CAN (ISO 11898) definuje na sběrnici dvě možné logické úrovně – **dominant** (aktivní stav, představující log. 0) a **recessive** (pasivní stav, představující log. 1), přičemž je realizována funkce logického součinu, tedy pokud vysílá nějaký bod k sběrnici připojený stav dominant, je tento stav přítomen na celé sběrnici.



Obrázek 1.11 - Napět'ové úrovně na sběrnici CAN [3]

Zprávy na sběrnici CAN

Specifikace protokolu CAN definuje následující typy zpráv:

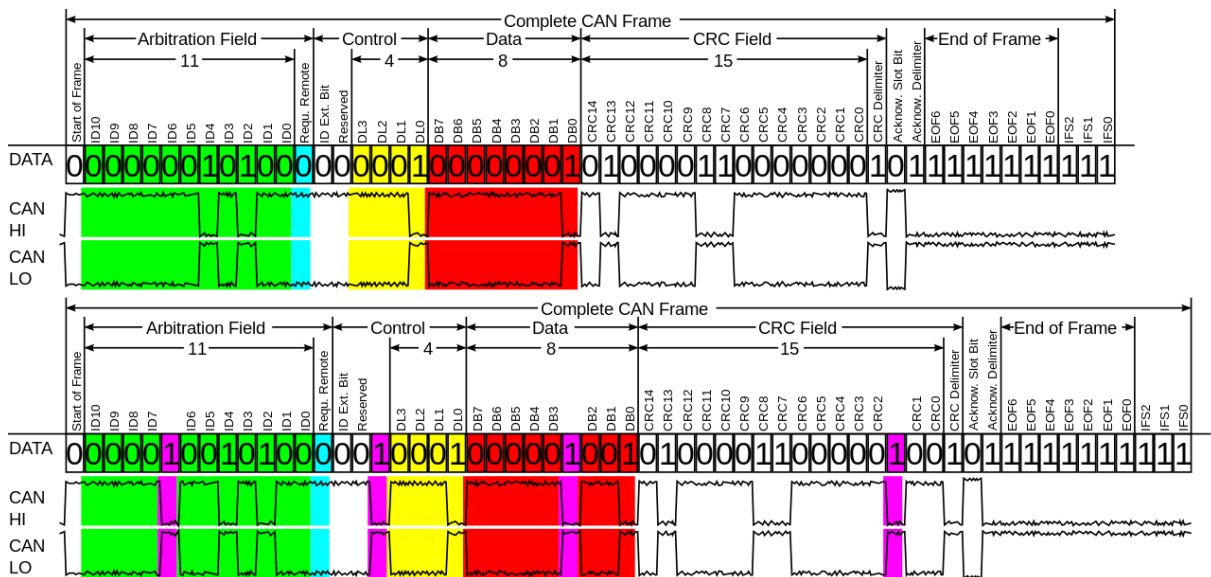
- Datová zpráva
- Žádost o data
- Chybová zpráva
- Zpráva o přetížení

Datová zpráva představuje základní prvek komunikace mezi prvky na sběrnici CAN. Každá zpráva může mít 0 až 8 datových bytů, přičemž případ bez odesílaných dat se využívá pro jednoduché příkazy typu zapni/vypni, čímž se zvyšuje propustnost sběrnice. Význam zpráv je definován jejich indentifikátorem, všechny zprávy jsou broadcast, jednotlivé

uzly se pak rozhodují, zda-li má pro ně právě přijatá zpráva význam či nikoliv a dle toho jí případně zpracují, příjem zpráv je tedy multicast. Podle specifikace se rozlišuje standardní formát s 11-bitovým identifikátorem (dle specifikace CAN 2.0A, označován jako Standard Frame) nebo rozšířený formát s 29-bitovým identifikátorem (dle CAN 2.0B, Extended Frame).

Každý z uzlů může zahájit vysílání v momentě, kdy je sběrnice volná. Uzel, který začne vysílat jako první, má rezervovanou sběrnici pro dobu nutnou k odeslání zprávy. Dojde-li k tomu, že začne vysílat více uzlů v jeden okamžik, přístup ke sběrnici dostane ten uzel, který odesílá zprávu s vyšší prioritou, určenou podle identifikátoru zprávy – čím nižší identifikátor, tím vyšší priorita.

Kompletní rámeček CAN zprávy dle CAN 2.0 je zobrazen na Obrázku 1.12 .



Obrázek 1.12 - Rámeček CAN zprávy [5]

Start of Frame (SOF) – Počáteční pole – Označuje počátek zprávy úrovní dominant.

Arbitration Field – Stavové pole – Určuje prioritu zprávy. Skládá se z 11-bitového ID zprávy a bitu RTR, který udává, zda se jedná o datovou zprávu (RTR = dominant), nebo žádost od data (RTR = recessive).

Control Field – Řídící pole – Určuje délku zprávy. Slouží příjemci pro kontrolu, zda zprávu obdržel kompletní. První dva bity jsou rezervované, bity D0:D3 udávají 4-bitově počet datových bytů zprávy.

Data Field – Datové pole – Obsahuje datové byty, tedy přenášenou informaci.

CRC Field – Kontrolní pole – Slouží ke zjišťování chyb v přenosu. Obsahuje 15-bitový kontrolní CRC kód zprávy a oddělovací bit ERC (vždy v úrovni recessive).

ACK Field – Potvrzovací pole – Slouží k potvrzení příjmu zprávy. Obsahuje bit ACK, jenž je potvrzovací a oddělovací bit ACD (vždy v úrovni recessive).

End of Frame – Ukončovací pole – Uzavírá přenášenou zprávu pomocí 7 bitů v úrovni recessive.

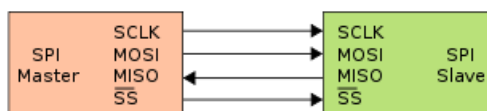
Je-li ve zprávě vysláno pět po sobě jdoucích bitů stejné úrovně, je do zprávy navíc vložen jeden bit opačné úrovně (v obrázku 1.13 označeny růžově). Toto opatření slouží jednak k detekci chyb, především pak k synchronizaci přijímačů jednotlivých uzlů.

1.5.2 Sběrnice SPI

Seriál Peripheral Interface (SPI) je sériové periferní rozhraní nejčastěji využívané pro komunikaci mezi mikroprocesory a ostatními periferními obvody, ale i pro komunikaci mezi více mikroprocesory či pro jejich programování. V základním zapojení může být na sběrnici přítomno jedno zařízení typu Master a jedno nebo více zařízení typu Slave. Sběrnice je tvořena čtyřmi vodiči:

- MOSI (Master Out Slave In) – Datový výstup obvodu Master připojen na datové vstupy obvodů Slave
- MISO (Master In Slave Out) – Datový výstup obvodu Slave připojen na datový vstup obvodu Master
- SCK (Serial Clock) – Synchronizační signál řízený obvodem Master připojen ke všem obvodům na sběrnici
- SS (Slave Select) – Signál sloužící pro výběr obvodu aktivní v logické „0“.

Pro komunikaci vystaví zařízení Master logickou „0“ na vodiči Slave Select příslušného periferního obvodu a poté začne na SCK generovat hodinový signál, přičemž obě zařízení začnou na příslušné vodiče (MOSI a MISO) vysílat data. Po odeslání dat buď komunikace pokračuje a zařízení Master dále generuje hodinový signál, nebo je komunikace u konce, hodinový signál již není generován a hodnota na SS je nastavena do logické „1“.



Obrázek 1.13 - Struktura sběrnice SPI [45]

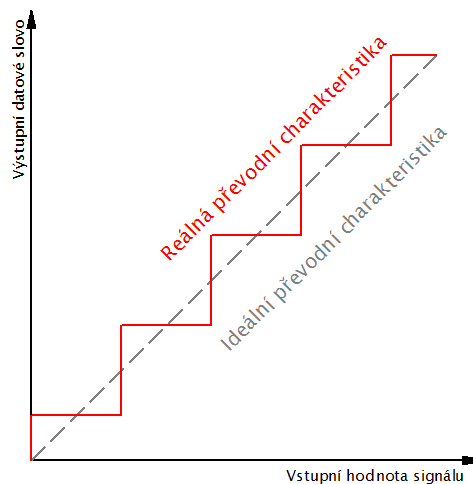
1.5.3 Zpracování analogového signálu

Aby bylo možné analogový (spojitý) signál mikrokontrolérem zpracovat, je nutné jej převést na digitální (číselnou, nespojitou) formu. K tomuto slouží analogově-digitální převodníky (zkráceně A/D převodníky). Výstupní signál však může nabývat jen konečného počtu hodnot, který je přímo závislý na tzv. rozlišovací schopnosti (zkráceně rozlišení) A/D převodníku. Obecně je tedy n-bitový A/D převodník dokáže na svém výstupu vystavit číselnou hodnotu o 2^n úrovních. Toto lze vyjádřit pomocí kvantizačního kroku, jehož význam je stejný jako rozlišovací schopnost, pomocí vztahu (1.1)

$$Q = \frac{U_{REF}}{(2^n - 1)} \quad (1.1)$$

Kde: Q – Kvantizační krok
 U_{REF} – Referenční hodnota napětí
n – bitová hodnota rozlišení převodníku

Chyba způsobená odchylkou hodnot těchto diskrétních hodnot výstupního signálu od hodnot ideálních se nazývá kvantizační chyba a je číselně rovná polovině kvantizačního kroku.



Obrázek 1.14 - Kvantizační chyba

Konkrétní hodnotu výstupního datového slova pak dostaneme pomocí vztahu (1.2).

$$ADC = \frac{U_{IN} * 2^n}{U_{REF}} * G \quad (1.2)$$

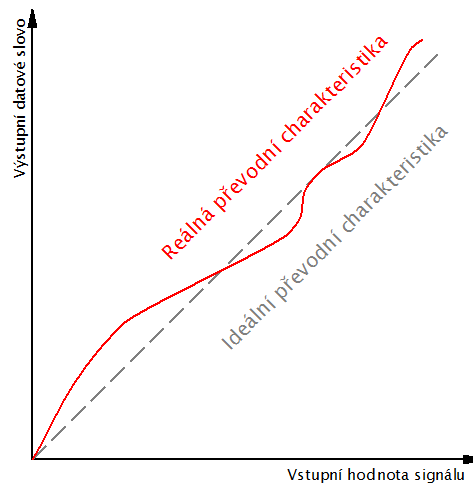
Kde: ADC – výstupní datové slovo
 U_{IN} – úroveň napětí na vstupu
n – rozlišení převodníku v bitech

U_{REF} – referenční hodnota napětí

G – napěťové zesílení

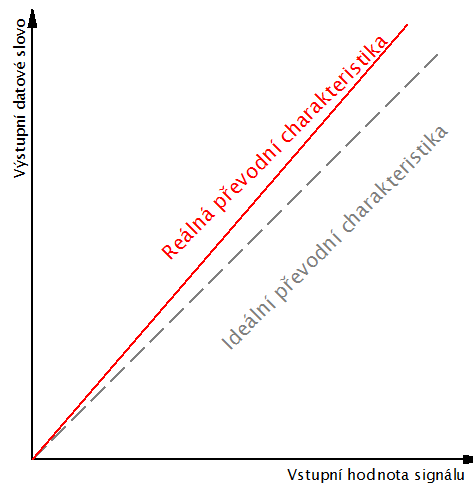
Z uvedených vztahů je zřejmé, že přesnost převodu je závislá na stabilitě zdroje referenčního napětí. Mezi další vlastnosti ovlivňující přesnost patří:

- Nelinearita převodu – Pro lineárně vzrůstající vstupní hodnotu napětí výstupní datové slovo nevzrůstá o stejnou hodnotu. Dělí se na integrální (maximální odchylka výstupu od ideální charakteristiky) a diferenciální (odchylka dvou po sobě následujících hodnot od ideálního rozdílu mezi bity).



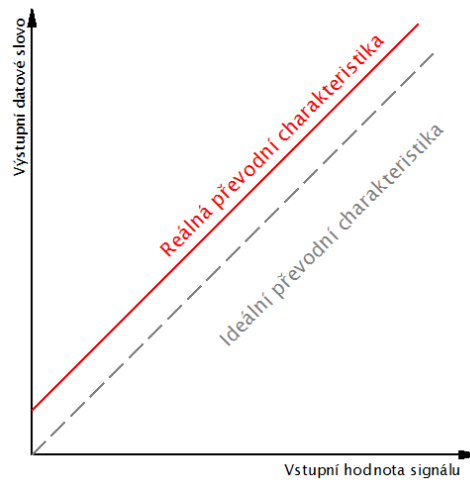
Obrázek 1.15 - Chyba nelinearity

- Chyba zesílení – chyba způsobená odchylkou hodnoty zesílení výstupního zesilovače převodníku od hodnoty ideální



Obrázek 1.16 - Chyba zesílení

- Chyba nuly (offset) – chyba způsobená stejnsměrným napěťovým posunem výstupu od ideální charakteristiky



Obrázek 1.17 - Chyba nuly

- Teplotní stabilita – závislost parametrů převodníku na teplotě

Další z důležitých parametrů převodníků je rychlost převodu, tedy doba, za kterou dojde k ustálení hodnoty výstupního datového slova při změně vstupní hodnoty napětí, resp. doba od počátku převodu.

Při převodu digitálního signálu na analogový vyvstává navíc problém, kdy D/A převodník je schopný na svém výstupu vystavit pouze konečný počet hodnot napětí daný jeho rozlišením. Velikost kroku je, obdobně jako v případě A/D převodníků, vyjádřena vztahem (1.1). Výstupní hodnota napětí je pak vyjádřena vztahem (1.3).

$$U_{OUT} = \frac{U_{REF} * D_n}{2^n} * G \quad (1.3)$$

Kde: U_{OUT} – výstupní hodnota napětí
 U_{REF} – referenční hodnota napětí
 D_n – vstupní datové slovo
 n – bitové rozlišení převodníku
 G – zesílení převodníku

Chyby a odchylky vznikající při převodu jsou analogické A/D převodníkům. V tomto případě je však datové slovo vstupem a analogová hodnota napětí výstupem.

2 HARDWARE

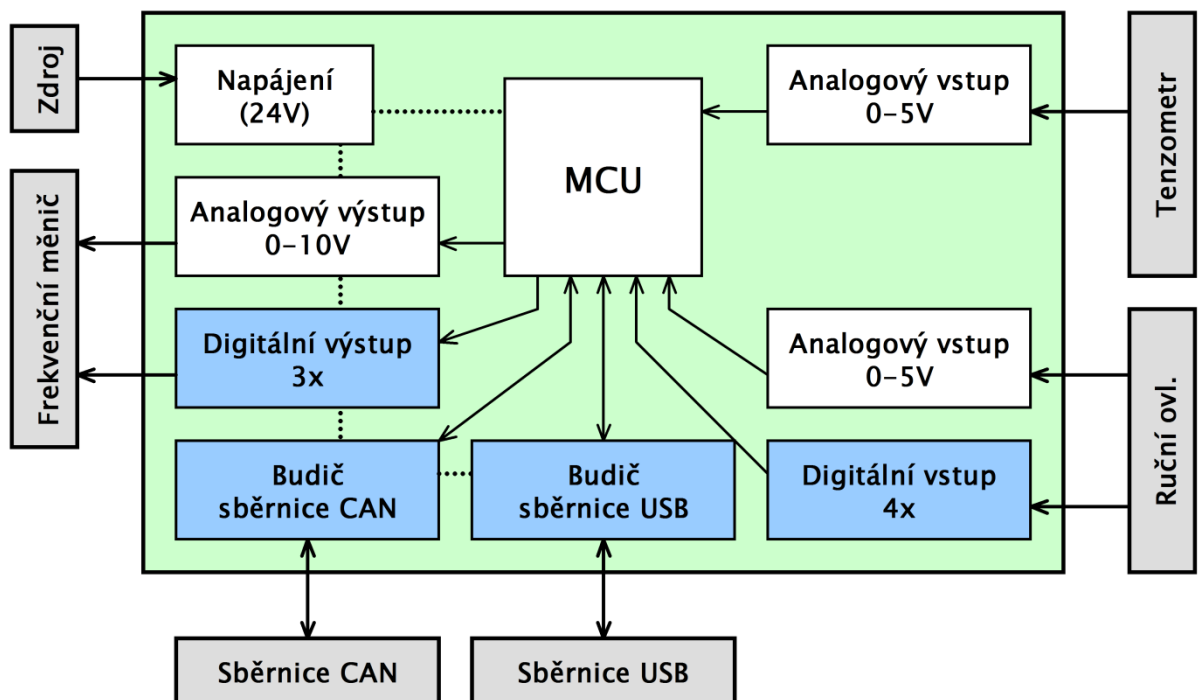
Tato kapitola se zabývá vývojem hardwaru komunikačního modulu, tedy volbou vhodných komponent pro jeho správnou funkci a výrobou desky plošných spojů. Na modul jsou kladeny následující požadavky:

- Komunikace po sběrnici CAN
- Zpracování analogového signálu z tenzometrického snímače
- Ovládání frekvenčního měniče
- Zachování stávajícího ručního ovládání
- Je-li to možné, zajistit napájení modulu z výstupu frekvenčního měniče (24 V / 300 mA)

K návrhu samotnému jsem použil program KiCad, dostupného pod GNU licenci.

2.1 Blokové schéma

Pro co největší názornost jsou jednotlivé funkční celky zobrazeny v blokovém schématu, které je oproti výslednému provedení zjednodušené. Návrh těchto celků bude v této kapitole dále podrobně rozebrán. Schéma ukazuje směr toku informací mezi jednotlivými funkčními celky modulu, i mezi modulem a jeho periferiemi (zobrazeny šedou barvou).



Obrázek 2.1 - Blokové schéma modulu

2.2 Hlavní funkční celky komunikačního modulu

2.2.1 Mikrokontrolér (MCU)

Mikrokontrolér (dále MCU) je výpočetním jádrem modulu. Při jeho výběru je vhodné, aby svými funkčními vlastnostmi pokryl co možná největší množství požadavků na modul kladených, celý návrh se tak značně zjednoduší, neboť ubude množství použitých součástek (zejména speciálních integrovaných obvodů). Jedním z požadavků je použití mikrokontroléru architektury AVR od firmy Atmel. Vzhledem k tomu, že požadavek na rychlost není pro tuto aplikaci nijak zásadní, postačí použití 8-bitového MCU. Je vhodné, aby zvolený MCU obsahoval integrovaný řadič sběrnice CAN pro komunikaci po dané sběrnici. Pro účely testování a ladění by měl také obsahovat sériové rozhraní, například UART. Dnes je již většina MCU vybavena integrovaným A/D převodníkem, což je výhodné z hlediska zpracování analogového signálu. Z důvodu použití externího D/A převodníku, je nutné, aby MCU obsahoval komunikační rozhraní SPI nebo I²C.

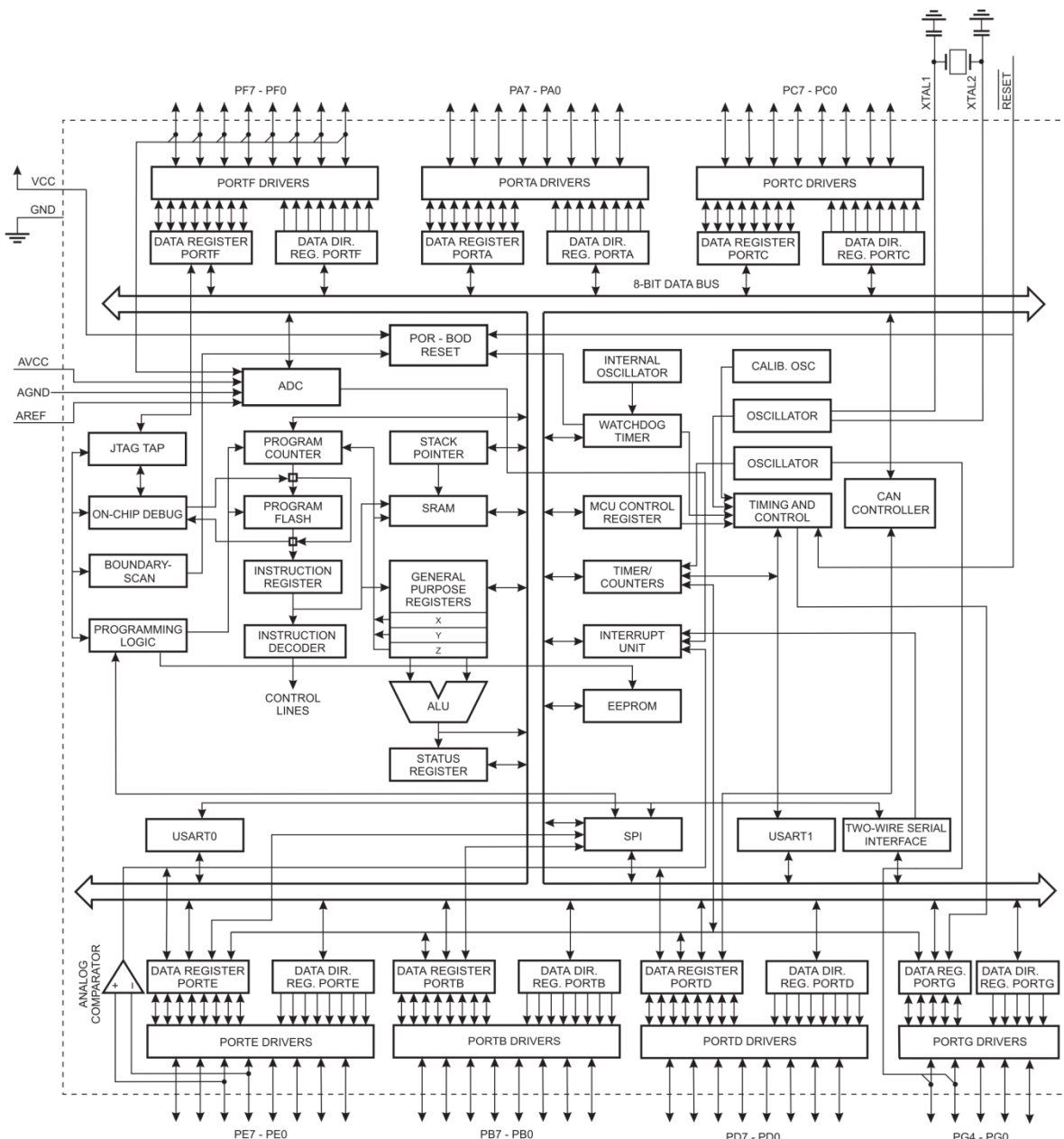
Na základě uvedených požadavků byl zvolen mikrokontrolér AT90CAN128 od firmy Atmel. Jedná se o MCU založeného na technologii CMOS, s nízkým příkonem, o architektuře AVR, využívající tzv. harvardskou architekturu, tedy oddělenou paměť programu a paměť dat. Výrobce uvádí přehled následujících vlastností:

- pracovní napětí 2,7 V až 5,5 V
- pracovní rozsah teplot -40 °C až 125 °C
- maximální frekvence 8 MHz při 2,7 V, 16 MHz při 4,5 V
- 128 kB programové FLASH paměti s možností čtení během zápisu
- 4 kB paměti EEPROM
- 4 kB datové paměti SRAM
- 53 vstupně-výstupních (I/O) linek
- 32 pracovních registrů
- řadič CAN 2.0A a 2.0B
- 4 čítače/časovače s komparačními módy a PWM
- 2 rozhraní USART
- rozhraní I²C (označované jako Two-wire)
- rozhraní SPI s možností programování
- programovací rozhraní JTAG
- osmikanálový 10-bit A/D převodník s programovatelným zesílením
- programovatelný Watchdog s interním oscilátorem

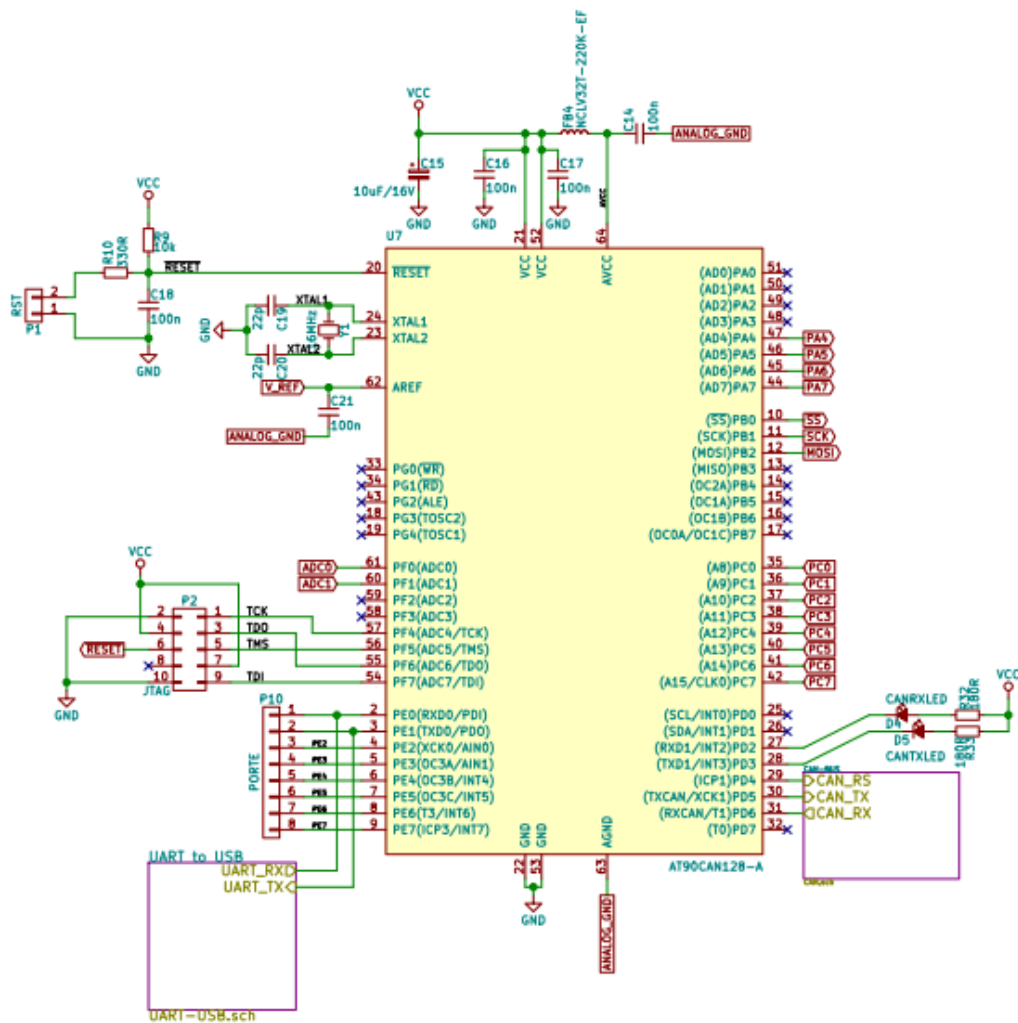
Podrobný popis nalezneme v materiálech výrobce [25]. Důvodem výběru právě tohoto MCU je jeho úspěšné nasazení v obdobných aplikacích na Katedře elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě a také přítomnost vývojových kitů DVK90CAN1 na katedře osazených právě těmito MCU. Na obrázku 2.2 je zobrazen blokový diagram MCU.

Konkrétní zapojení mikrokontroléru v modulu je zobrazeno na obrázku 2.3. K napájecím vývodům jsou připojeny blokovací kondenzátory, které pokrývají nárazové odběry proudu (zejména veskrze vstupy a výstupy MCU). Dále je zde přítomen filtrační LC článek pro napájení interního A/D převodníku (viz. obrázek 2.16). Dalším z důležitých prvků je připojení externího oscilátoru, jenž taktuje MCU na frekvenci 16 MHz. Na resetovacím vstupu jsou připojeny zkratovací svorky a zpožďovací RC článek pro generování resetovacího pulsu s dostatečnou dobou trvání. Na vstup AREF je připojena externí přesná napěťová reference o hodnotě 5 V pro integrovaný A/D převodník.

Sběrnice SPI je připojena na port B, pomocí níž bude možné ovládat externí D/A převodník. Na portu C jsou připojeny digitální vstupy, na portu A pak digitální výstupy modulu. K portu D je připojena sběrnice CAN a LED diody indikující její činnost. Na portu E je využito sériové rozhraní USART a celý port je vyveden na pinovou lištu, a to zejména pro účely ladění. Analogové signály jsou zpracovávány na portu F, na kterém je také připojeno programovací rozhraní JTAG . Port G zůstal nevyužit.



Obrázek 2.2 - Blokový diagram MCU [25]

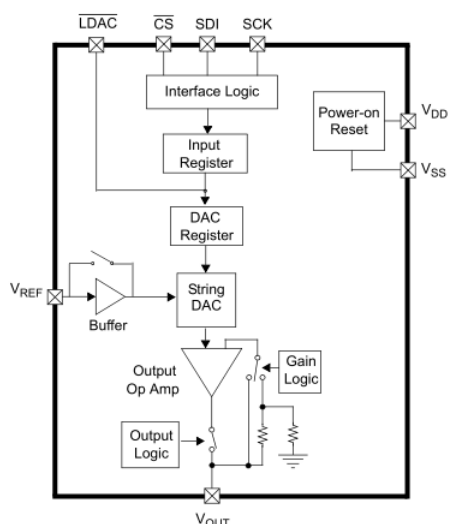


Obrázek 2.3 - Schéma zapojení MCU

2.2.2 Analogové výstupy

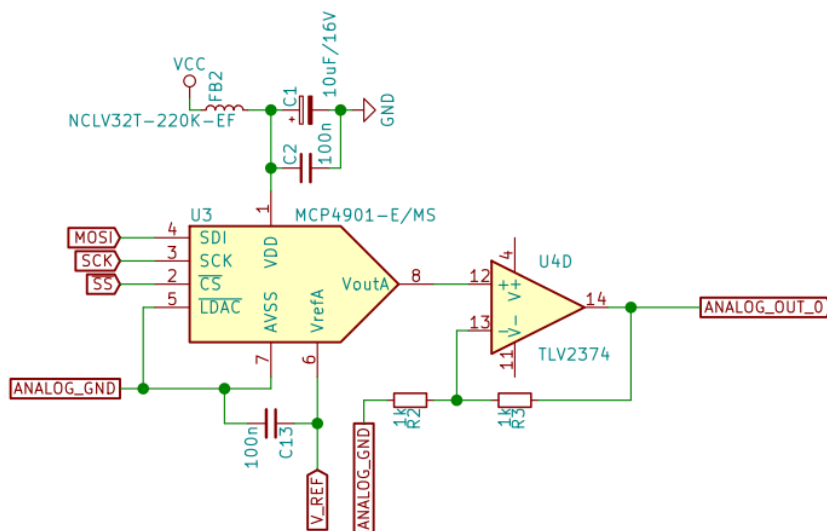
První analogový výstup slouží k ovládání frekvenčního měniče, konkrétně k nastavení výstupní frekvence měniče, na které přímo závisí otáčky asynchronního motoru. Tento ovládací signál může nabývat hodnot 0–10 V.

V modulu je použit D/A převodník MCP4901 od firmy Microchip Technology. Jedná se o 8-bitový D/A převodník s externí napětovou referencí, záchytným registrem a komunikačním rozhraním SPI. Tento převodník byl zvolen z důvodu dostatečného rozlišení, jehož případné navýšení (10-bit nebo 12-bit) je možné jednoduše realizovat pouhou výměnou součástky ze stejné řady D/A převodníků (MCP49x1) díky stejnému rozložení vývodů, dále díky snadnému připojení k MCU pomocí sběrnice SPI, výhodnému rozložení vývodů a nízkou cenou. Na obrázku 2.4 je zobrazen blokový diagram D/A převodníku.



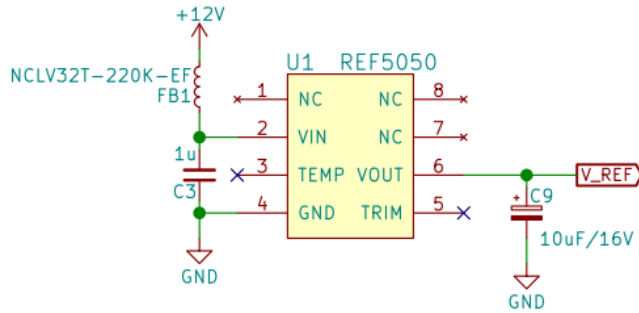
Obrázek 2.4 - Blokový diagram D/A převodníku [30]

Vzhledem k tomu, maximální hodnota výstupního napětí převodníku je 5 V, je v zapojení použit operační zesilovač (konkrétně TLV2374 od firmy Texas Instruments) v zapojení neinvertující zesilovač s dvojnásobným zesílením, výsledný výstupní signál modulu tak splňuje požadavky na rozsah napětí 0–10 V.



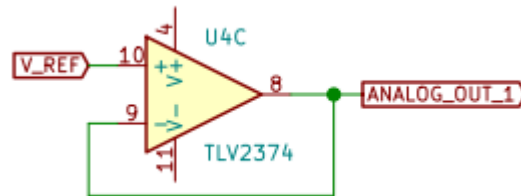
Obrázek 2.5 - Zapojení analogového výstupu 0

Pro správnou funkci (nejen) D/A převodníku je potřeba zajistit přesnou hodnotu referenčního napětí. Volba padla na obvod REF5050 od firmy Texas Instruments a to díky dostupnosti obvodu na katedře KEEZ.



Obrázek 2.6 - Zapojení napěťové reference

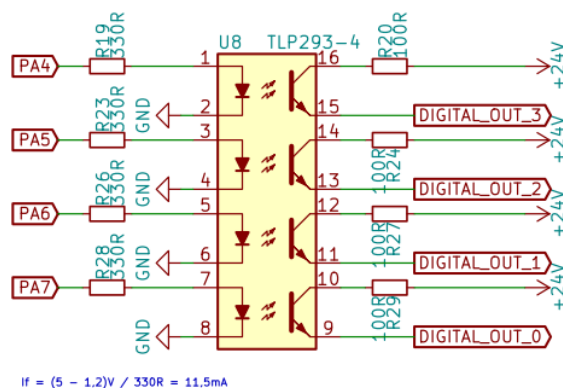
Druhý analogový výstup je použit k napájení děliče tvořeného potenciometrem na ručním ovládní. Pro získání stabilního napětí 5 V je použit signál z napěťové reference připojený k hradlu operačního zesilovače TLV2374 v zapojení napěťový sledovač, čímž získáme stabilní napětí na výstupu bez zbytečného zatěžování obvodu reference.



Obrázek 2.7 - Zapojení analogového výstupu 1

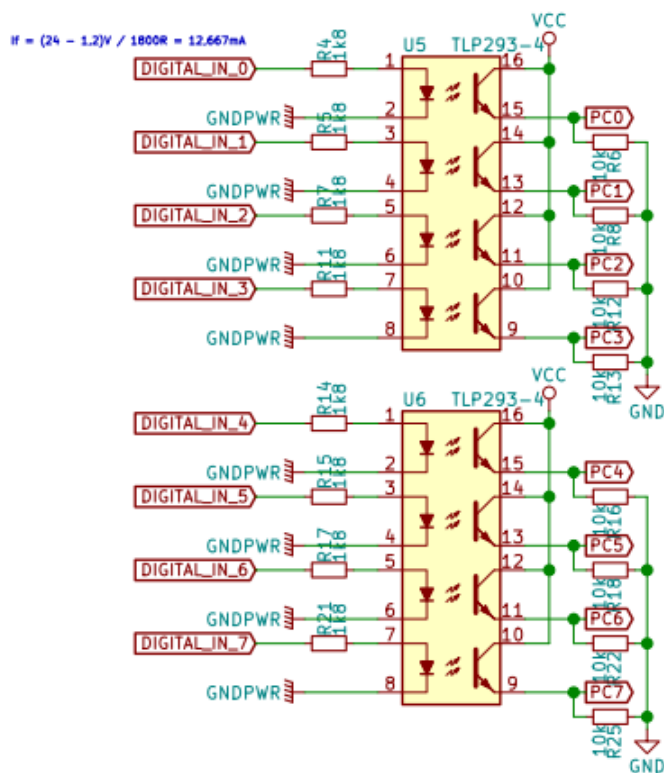
2.2.3 Digitální vstupy a výstupy

Digitální výstupy modulu slouží k ovládní frekvenčního měniče. Lze jimi nastavit směr otáčení asynchronního motoru (tzv. reverzace) a zapnutí či vypnutí chodu motoru. Je zde realizováno galvanické oddělení optickou vazbou pomocí optočlenů TLP293-4 od firmy Toshiba. Jedná se o 4x optočlen s tranzistorovým výstupem v jednom pouzdře (v tomto případě SO16) s udávaným CTR min. 50% a izolační pevností 3,75 kV. Logické úrovně na výstupech jsou pro logickou „0“ 0 V a pro logickou „1“ 24 V.



Obrázek 2.8 - Zapojení digitálních výstupů

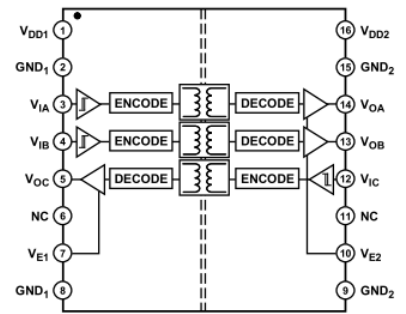
Na digitální vstupy jsou přivedeny signálové vodiče od stávajícího ručního ovládání a dále varovné signály z frekvenčního měniče. Přepínání mezi ovládáním měniče pomocí komunikačního modulu a ručního ovládání bude realizováno v modulu softwarově. V případě, že bude zvolena možnost ovládání pomocí ručního ovládání, modul zajistí vystavení příslušných úrovní napětí na výstupech ovládajících frekvenční měnič, případně signalizaci varovných kontrolků na ovladači. Fyzická realizace je stejně jako v případě vstupů optickou vazbou za použití optočlenů TLP293-4.



Obrázek 2.9 - Zapojení digitálních vstupů

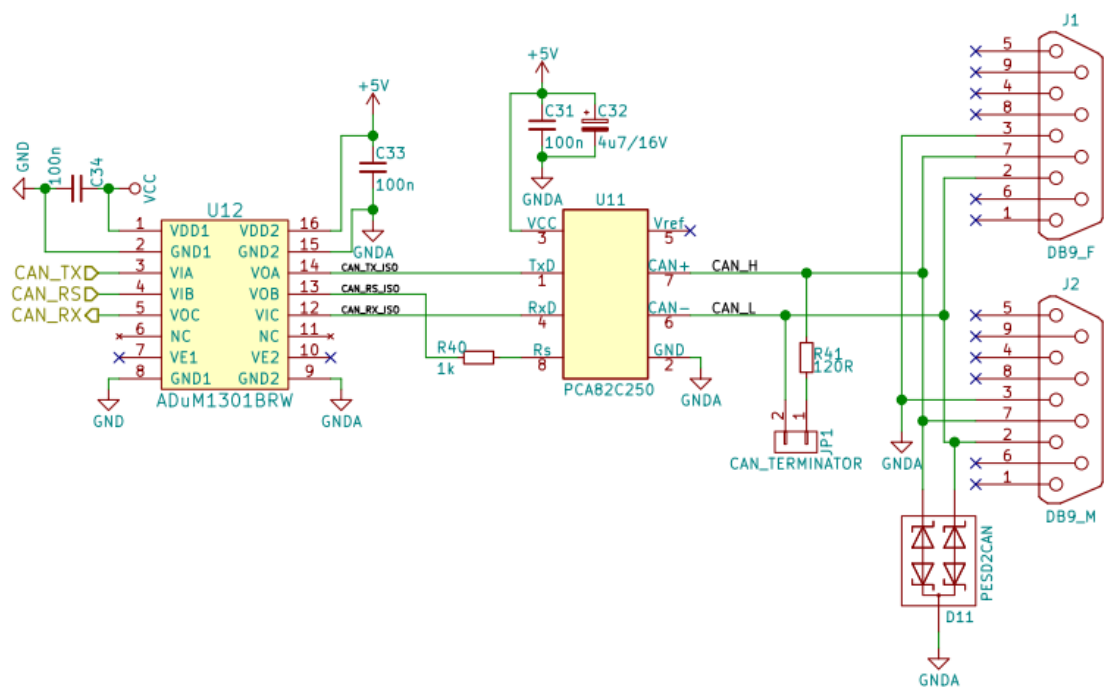
2.2.4 Sběrnice CAN

Vzhledem k tomu, že řadič sběrnice CAN je již integrován v použitém mikrokontroléru, celé zapojení se poměrně zjednodušilo. Z dalších součástek je nejdůležitější budič sběrnice, sloužící jako rozhraní mezi radičem a fyzickou sběrnicí. V zapojení je použit budič PCA82C250 od firmy Nexperia (dříve NXP Semiconductors, Philips). Detailnější popis obvodu nalezneme v dokumentaci výrobce [26]. Galvanické oddělení pro ochranu modulu při poruše na sběrnici je zde realizováno pomocí tříkanálového digitálního oddělovače ADuM1301 od firmy Analog Devices v souladu s aplikační příručkou, jež výrobce poskytuje [19]. Jeho nespornou výhodou je velmi jednoduché zapojení bez potřeby použití dalších součástek.



Obrázek 2.10 - Funkční schéma obvodu ADuM1301 [29]

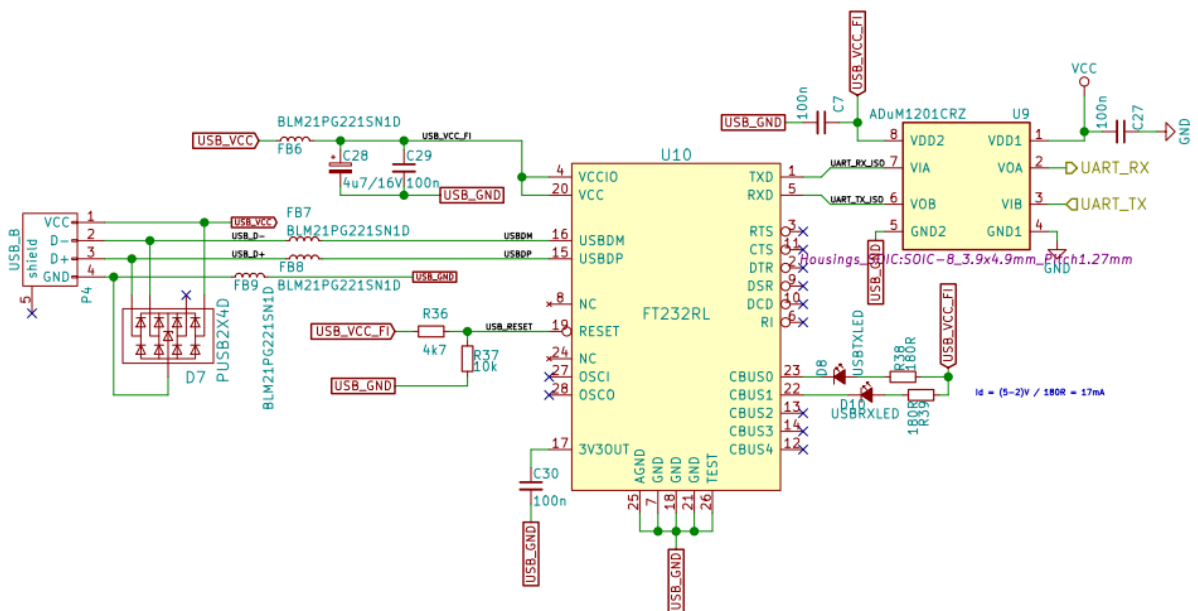
V zapojení je dále přítomný zakončovací odpor sběrnice o hodnotě 120 k Ω sloužící k impedančnímu přizpůsobení sběrnice, jež se ke sběrnici v případě potřeby připojuje pomocí zkratovací propojky (tzv. jumperu). Fyzické připojení sběrnice je realizováno pomocí dvou konektorů CANON 9 (samec a samice). Vzhledem k tomu, že budič sběrnice se nachází v již galvanicky oddělené části, je v zapojení použita i přepěťová ochrana, konkrétně ochranná dioda PESD2CAN od firmy Nexperia určená speciálně pro použití na sběrnici CAN.



Obrázek 2.11 - Zapojení obvodové části sběrnice CAN

2.2.5 Sběrnice USB

Základním prvkem v zapojení je obvod FT232RL od společnosti FTDI. Tento integrovaný obvod slouží jako převodník mezi USB a linkou UART, obsahuje zároveň řadič i budič sběrnice USB, včetně kompletního USB protokolu, odpadá tak poměrně složitá obsluha sběrnice USB mikrokontrolérem. Po připojení k PC se pak modul chová jako připojený k sériovému portu. Více informací o obvodu nalezneme v dokumentaci výrobce. Na jeho vývody CBUS0 a CBUS1 jsou připojeny i indikační LED diody. Galvanické oddělení je zde realizováno pomocí digitálního oddělovače ADuM1201 od společnosti Analog Devices. Dále je v zapojení použit ochranný obvod PUSB2X4D od firmy Nexperia pro dodatečnou ochranu zejména obvodu FT232RL. Obvody v této části jsou napájeny z USB.

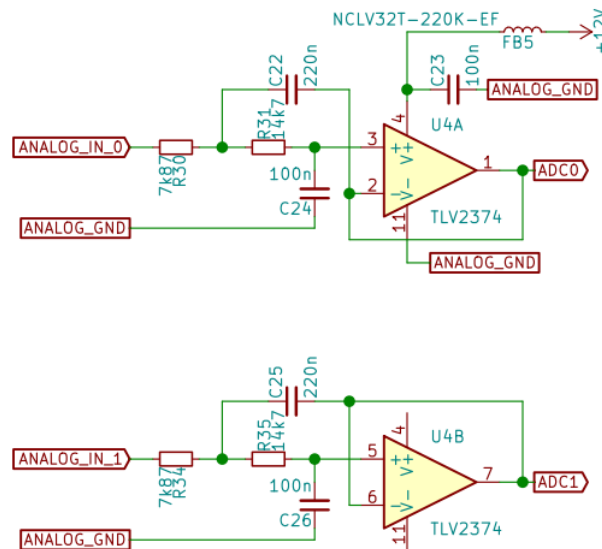


Obrázek 2.12 - Zapojení obvodové části sběrnice USB

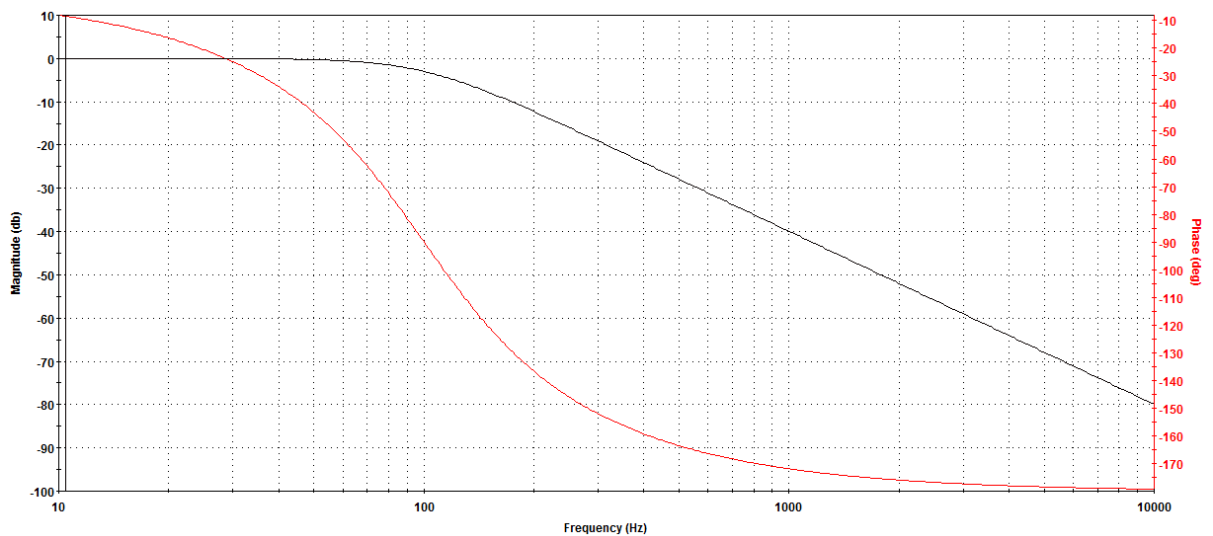
2.2.6 Analogové vstupy

Modul obsahuje dva analogové vstupy. První slouží k zpracování signálu z tenzometrického snímače, druhý je připojen k potenciometru ručního ovládání sloužícím k nastavení výstupní frekvence frekvenčního měniče. Obdobně jako v případě digitálních vstupů je při použití ručního ovládání zjištěna hodnota napětí na děliči tvořeného potenciometrem a následně vystavením příslušné hodnoty napětí na výstupu modulu. Na obou vstupech je aktivní filtr s operačním zesilovačem TLV2374 navržený pomocí programu FilterLab od firmy Microchip Technology. Jedná se o Butterworthův filtr druhého řádu s kritickou frekvencí 100 Hz. Převodní charakteristiky filtru jsou znázorněny na obrázku 2.14.

Filtrování signálu je v modulu použito z důvodu zamezení průniku rušení k A/D převodníku a tím znehodnocování výsledků převodů. Zdrojem rušení může být typicky frekvenční měnič, nebo napájení zesilovače tenzometrického snímače, kde je použito DC-DC měničů, jejichž rušení proniká i na analogový výstup.

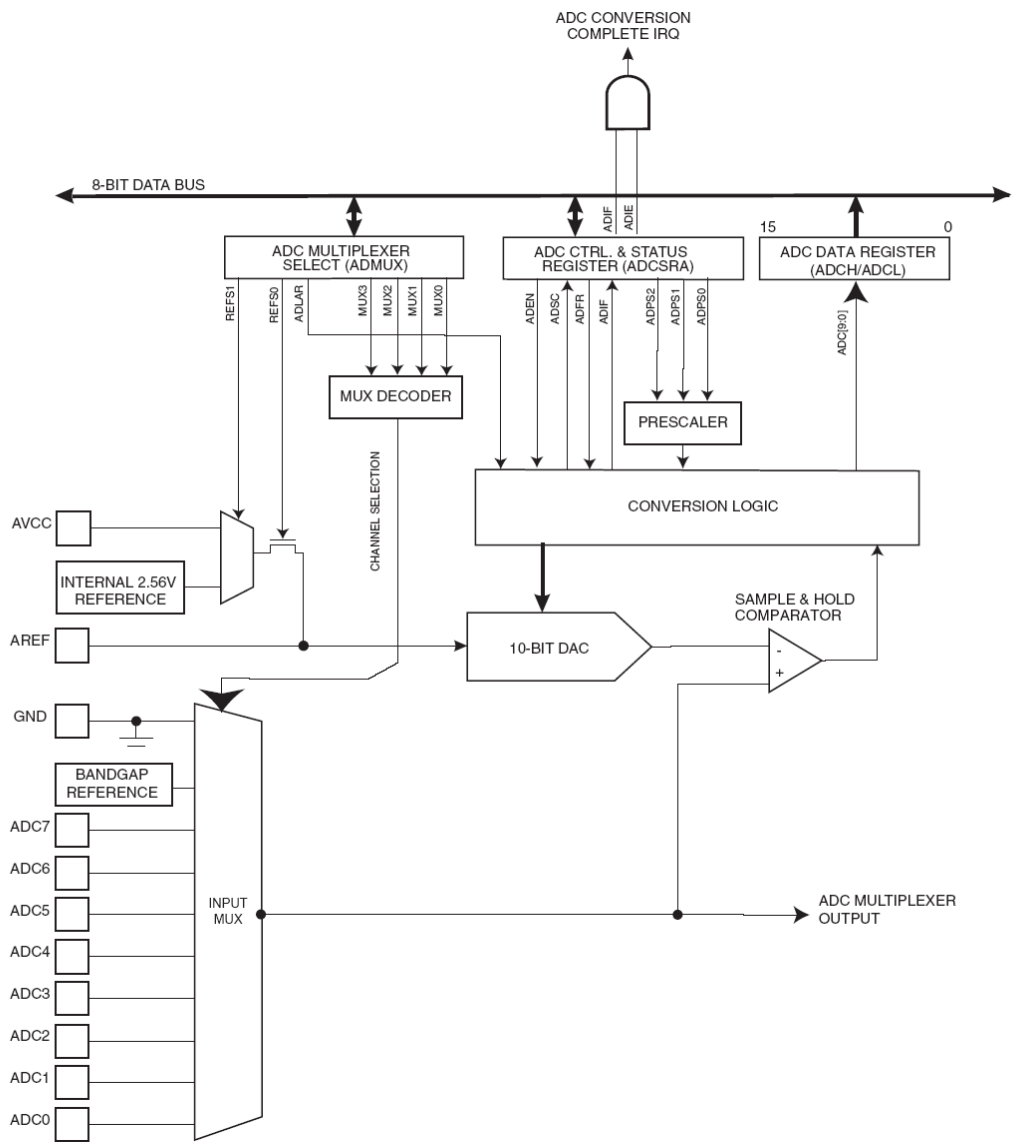


Obrázek 2.13 - Zapojení analogových vstupů



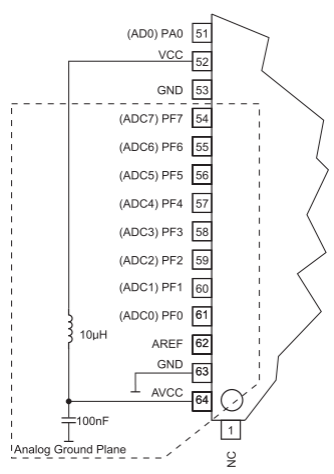
Obrázek 2.14 - Převodní charakteristiky analogových vstupních filtrů

Operační zesilovače také zajišťují impedanční oddělení vstupů. A/D převodník je použit interní na mikrokontroléru AT90CAN128. Jedná se o 10-bitový A/D převodník s postupnou aproximací s osmi multiplexovanými kanály o absolutní přesnosti 2 LSB (least significant bit), zahrnující kvantizační šum a všechny další chyby A/D převodníku. Blokový diagram je na obrázku 2.15.



Obrázek 2.15 - Blokový diagram interního A/D převodníku [25]

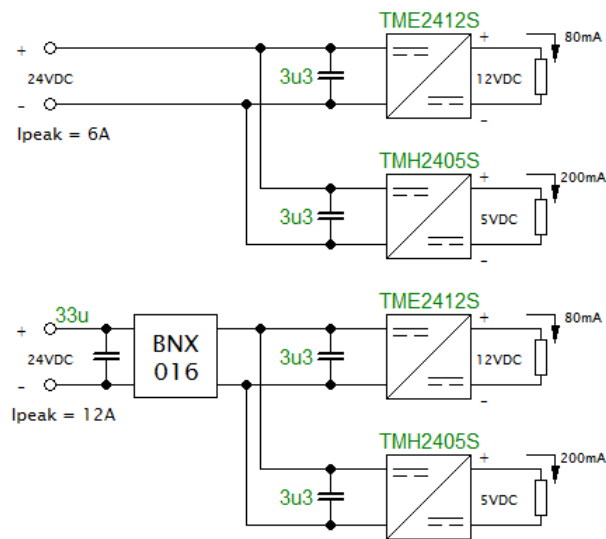
Jako zdroj referenčního napětí je zde, stejně jako u D/A převodníku, použit obvod REF5050. Z důvodu omezení vlivu přechodových dějů, šumu, atd. na napájecí větvi, ze které je napájen i A/D převodník a v důsledku čehož by mohlo docházet k ovlivnění výsledků převodu, je u napájecího pinu AVCC použit filtrační LC článek dle doporučení výrobce, viz. Obrázek 2.16.



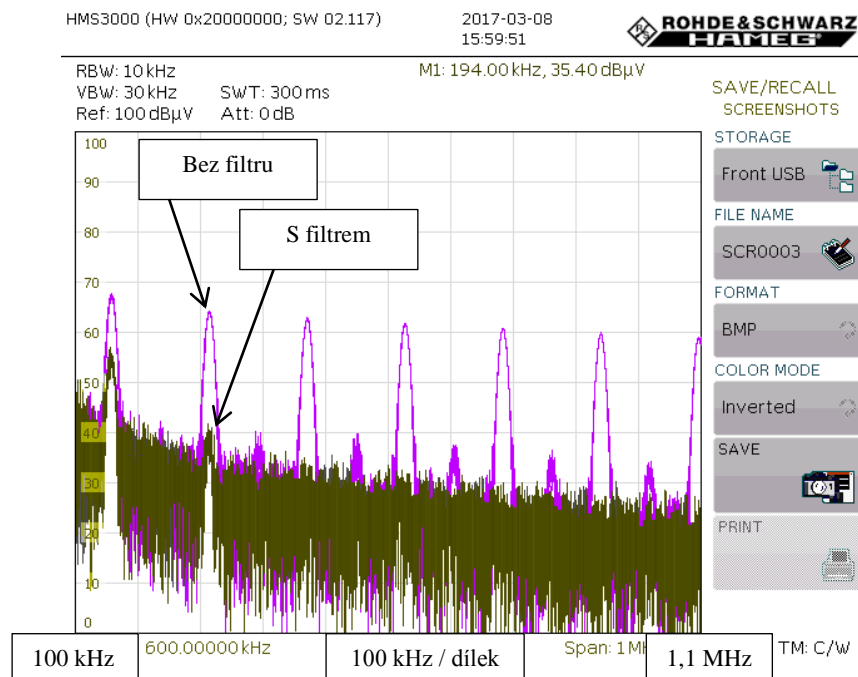
Obrázek 2.16 - LC filtr napájení A/D převodníku [25]

2.2.7 Napájení

Ihned za napájecími svorkami je ochranná trubičková pojistka 5x20mm v patici, následovaná Shottkyho diodou jako ochranou proti přepólování a transilem jako ochranou proti přepětí. Dále je zde použit filtr BNX016 od firmy Murata pro omezení rušení jak přijímaného, tak vyzařovaného, způsobeného použitím DC-DC měničů. O nasazení tohoto filtru bylo rozhodnuto po experimentálním změření jeho vlivu na vyzařované rušení způsobeného DC-DC měniči pomocí spektrálního analyzátoru. K měření byly použity měniče od firmy Traco Power, toho času dostupné na katedře KEEZ, se spínací frekvencí cca 80 kHz.



Obrázek 2.17 - Schéma zapojení měření vlivu vstupního filtru



Obrázek 2.18 - Vliv filtru BNX016 na vyzařované rušení (kolorováno)

V první větvi (+12V) je díky malému proudovému odběru použit lineární stabilizátor 78L12 k němuž je antiparalelně připojena Shottkyho dioda jako ochrana proti zkratu v případě, že by se z nějakého důvodu na výstupu vyskytlo napětí vyšší než vstupní. Z této větve jsou napájeny obvody REF5050 a TLV2374.

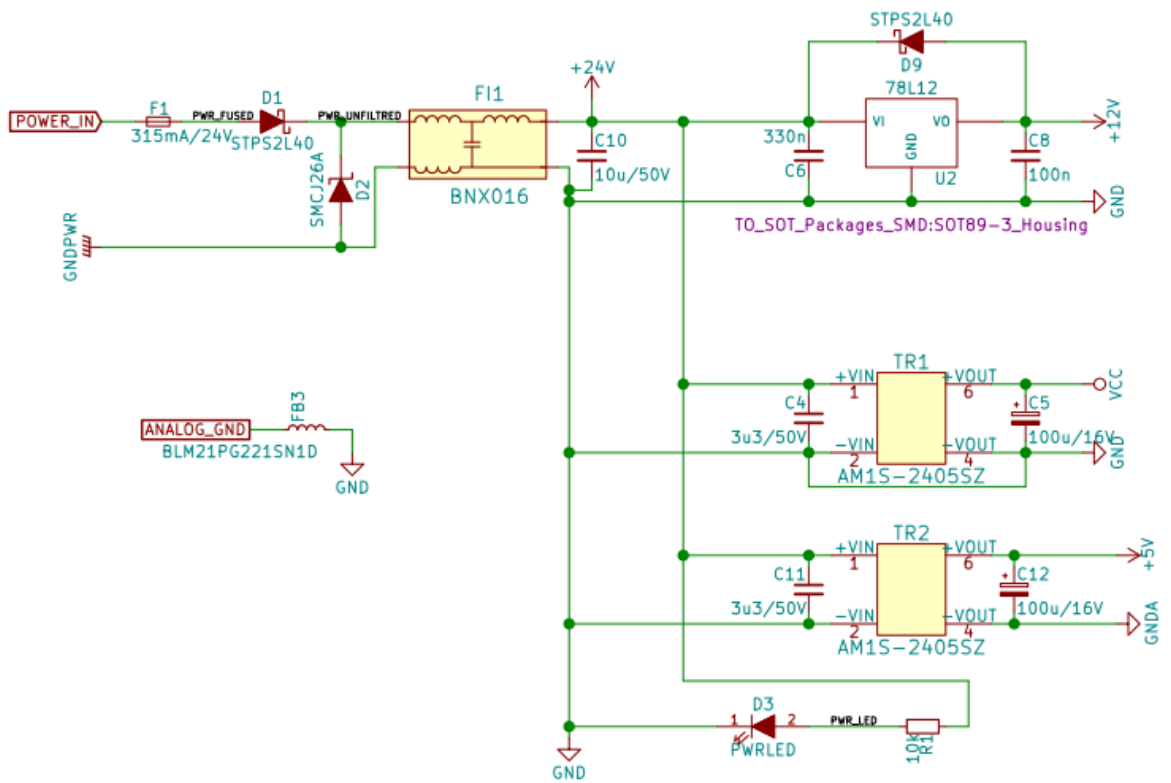
Druhá větev (VCC) je napájena z DC-DC měniče AM1S-2405SZ z důvodu dosažení vyšší účinnosti než při použití lineárního stabilizátoru. Zemní výstupy jsou u tohoto měniče spojeny, čímž je dosaženo zrušení galvanického oddělení. Z této větve je napájen MCU, D/A převodník MCP4901 a procesorové strany digitálních oddělovačů ADuM1201 a 1301.

Třetí větev (+5V) je také napájena z DC-DC měniče AM1S-2405SZ, v tomto případě je však využito galvanického oddělení výstupní strany, neboť tento měnič napájí obvodovou část budiče sběrnice CAN.

Odběry jednotlivých větví jsou shrnuty v tabulce 2.1.

Větev +24V	
PWR LED	22 mA
Celkem proud (+24V):	22 mA
Výkon (+24V):	528 mW
Větev +12V	
78L12	6 mA
TLV2374	10 mA
REF5050	1,2 mA
Celkem proud (+12V):	17,2 mA
Výkon (+12V):	206,4 mW
Větev VCC	
AT90CAN128	76 mA (+ blíže nespecifikovaný odběr portů)
ADuM1201	2,2 mA (1,1 mA / kanál)
ADuM1301	3,6 mA (1,2 mA / kanál)
TLP293-4 (pulldown odpory)	4 mA
MCP4901	0,35 mA
Celkem proud (VCC):	86,15 mA
Výkon (VCC):	430,75 mW
Větev +5V:	
PCA82C250	70 mA
ADuM1301	3,6 mA (1,2 mA / kanál)
Celkem proud (+5V):	73,6 mA
Výkon (+5V):	368 mW
Celkem výkon modulu:	1,533W (bez započítané rezervy)

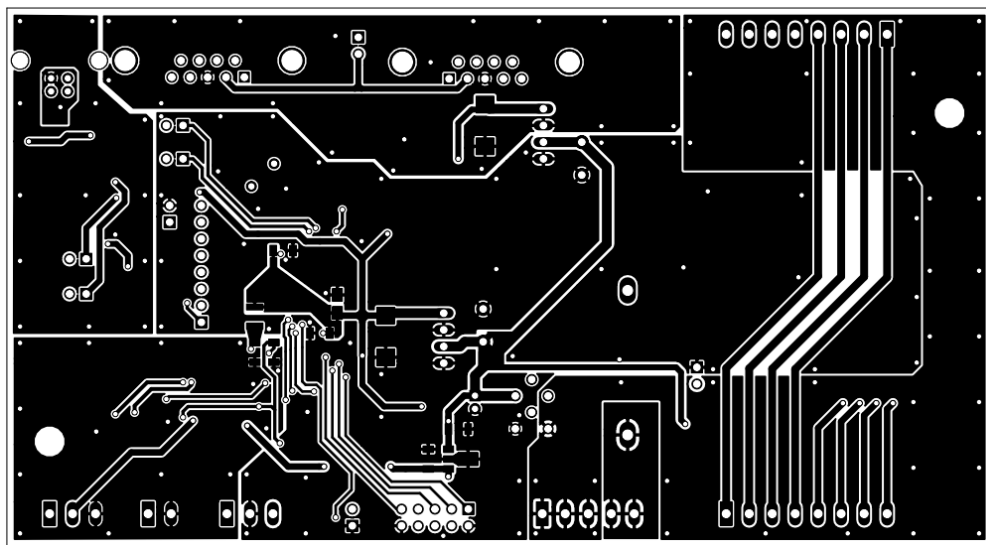
Tabulka 2.1 - Proudové odběry



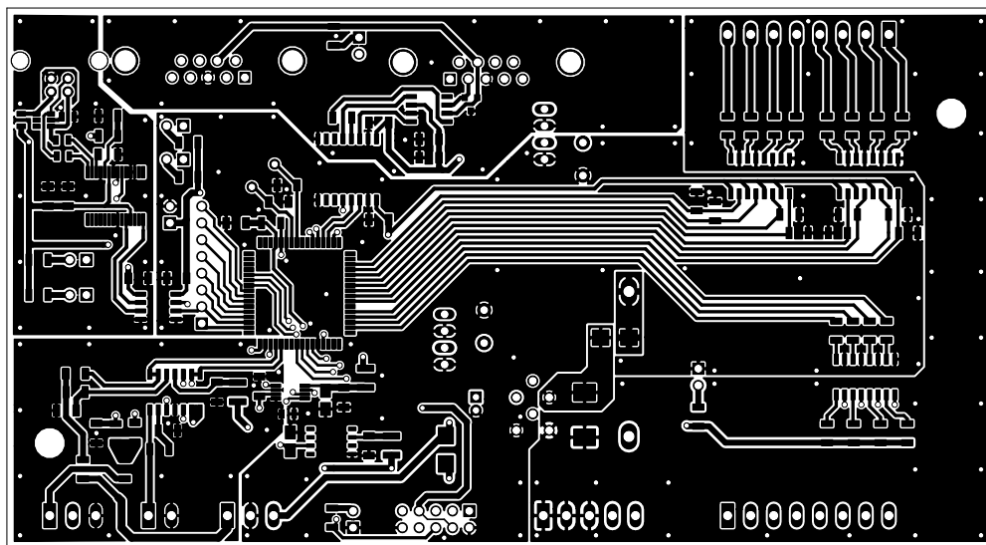
Obrázek 2.19 - Zapojení napájecí části

2.3 Fyzická realizace hardware

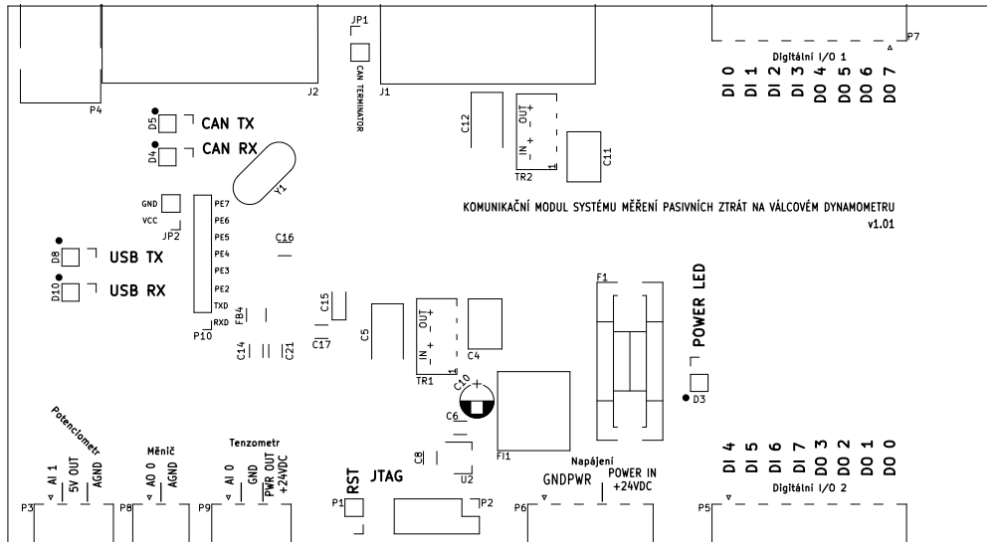
K návrhu samotné desky plošných spojů jsem použil opět program KiCad. Rozhodl jsem se navrhnout desku do krabičky, kterou lze umístit ve stávajícím rozvaděči na DIN lištu což je výhodné i vzhledem k potřebnému přepojení kabeláže, která je v rozvaděči již vyvedena. Krabička byla zvolena STARBOX s nízkým profilem o šířce 9 modulů od firmy A&A, této krabičce tedy musela být přizpůsobena výsledná velikost DPS a montážní otvory. Navržená deska je dvouvrstvá s prokoveny, se součástkami SMD z obou stran a vývodovými součástkami ze strany TOP. V čele krabičky jsou dále umístěny indikační diody: Napájení, příjem a odeslání CAN sběrnice a příjem a odeslání USB sběrnice.



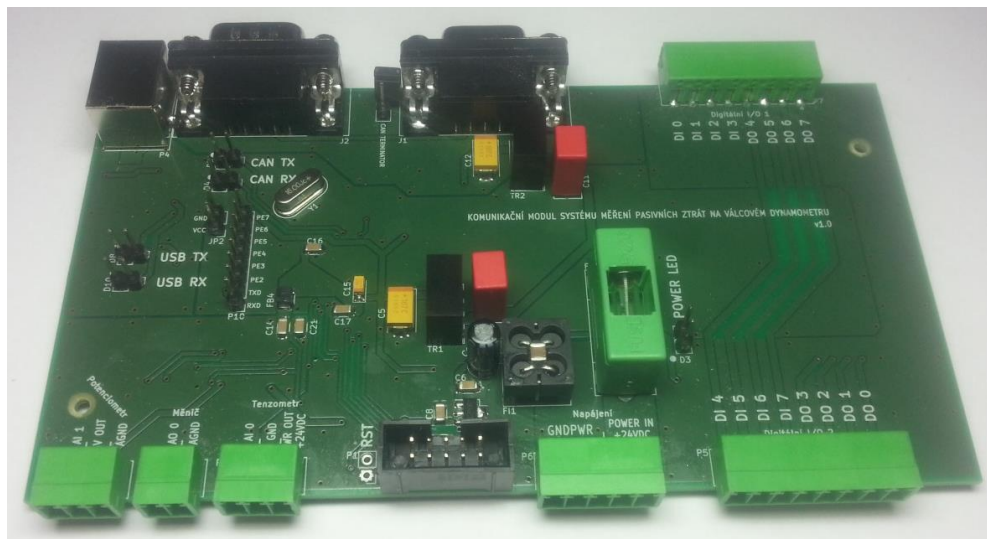
Obrázek 2.20 - Strana mědi TOP



Obrázek 2.21 - Strana mědi BOTTOM



Obrázek 2.22 - Strana potisku TOP



Obrázek 2.23 - Osazená DPS

3 FIRMWARE

Firmware modulu je vytvořen ve vývojovém prostředí Atmel Studio 6.1, v programovacím jazyku C, pro kompilátor AVR-GCC.

3.1 Definice periferií

Pro usnadnění jsou v úvodu nadefinovány symbolické konstanty jako makra bez parametrů. Digitální vstupy jsou na portu C, výstupy na portu A, pinech 4–7. Pro A/D převodník jsou nadefinovány použité kanály, pro CAN na portu D krom využitých pinů je třeba definovat i ID zpráv obsluhovaných modulem a význam bitových pozic v ovládacích zprávách. Sběrnice SPI je na portu B, UART na portu E.

3.2 Inicializace modulu

Po spuštění je inicializace periferií zajištěna voláním pomocné funkce `void Inicializace(void)`. Jsou zde nastaveny směry na portech, časovač, A/D převodník, sběrnice CAN pomocí volané funkce `CanInit()`, řadiče SPI a UART a v závěru jsou povoleny globální přerušování.

Jako další je volána inicializační funkce pro filtr EMA, využívaného pro filtrování výsledků převodů A/D převodníku. Tyto filtry mají nastavenou časovou konstantu 100ms, kterou již nelze v současné době zvyšovat, neboť by vlivem celočíselné aritmetiky použité ve výpočtu došlo k zaokrouhlení exponenciálního koeficientu na nulu a filtr by tak vracel pouze nulovou hodnotu.

Dále je do RAM nahrána převodní tabulka tenzometrického snímače z EEPROM.

V závěru se nastavují MOBy (Message Objects) sběrnice CAN na příjem zpráv, na které má modul reagovat.

```
/*
Nazev: Inicializace
Funkce: Inicializuje periferie, povoli preruseni
Predavane parametry: zadne
Navratova hodnota: zadna
*/
void Inicializace(void)
{
// Digitalni vstupy
DI_DDR = 0x00; // Vstupni
DI_PORT = 0x00; // bez pull-up

// Digitalni vystupy
DO_DDR = 0xF0; // Vystupni
DO_PORT = 0x00; // log. 0 na vseh pinech
```



```

// Casovac
TCCR0A |= (1<<WGM01) // CTC mode
OCR0A = TOPval; // Nastaveni max hodnoty (viz. definice periferii: A/D prevodnik!)
TIMSK0 |= (1<<OCIE0A); // Povoleni preruseni pri dosazeni max hodnoty v OCR1A
TCCR0A |= ((1<<CS01)|(1<<CS00)); // N=64, spusteni casovace!

// A/D prevodnik
ADMUX |= (1<<REFS0); // Volba externi napetove reference (5.00V)
ADCSRA |= (1<<ADEN); // ADC Enable
DIDR0 = 0x0F; // Digital Input Disable

// CAN
// Komunikacni rychlost 500kbps
CanInit(AVR_CLOCK_16_MHZ,CAN_SPEED_500_KBPS);
CAN_DDR |= ((1<<CAN_TXLED) | (1<<CAN_RXLED));
CAN_PORT |= ((1<<CAN_TXLED) | (1<<CAN_RXLED)); // Protoze LED jsou spinane k nule

// SPI
SPI_DDR |= ((1<<SPI_MOSI)|(1<<SPI_SCK)|(1<<SPI_SS)); // MOSI, SCK a SS jako output
SPCR |= ((1<<SPE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR0)); // SPI ENABLE, MASTER, fck/16
SPI_PORT |= (1<<SPI_SS) = 1; // Slave Select = 1;

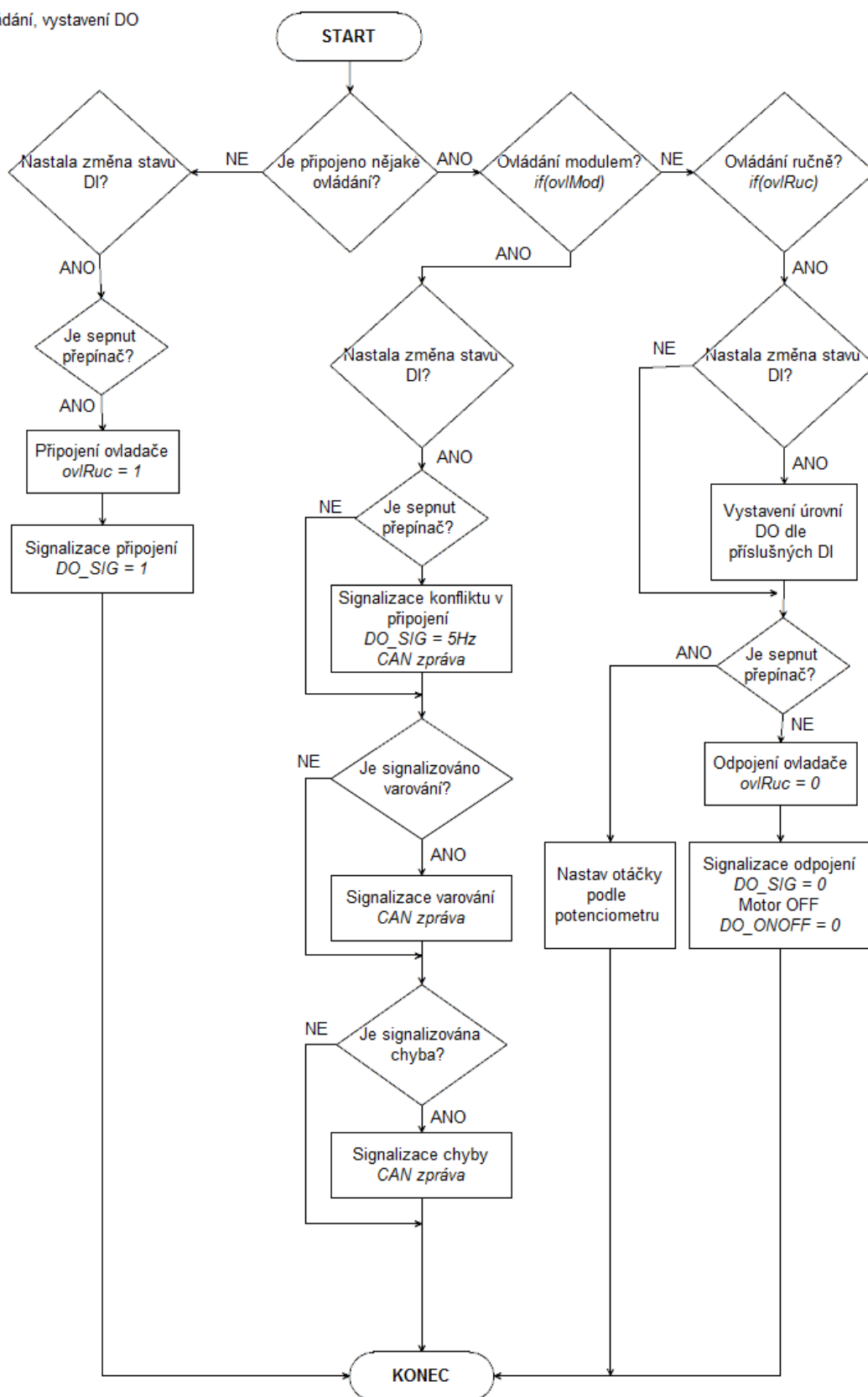
// UART
// Komunikacni rychlost 38400Bd
uart_init(UART_BAUD_SELECT(38400,F_CPU));
stdinout_to_uart(); // presmerovani proudu stdin a stdout na USART0

// Globalni povoleni preruseni
sei();
}

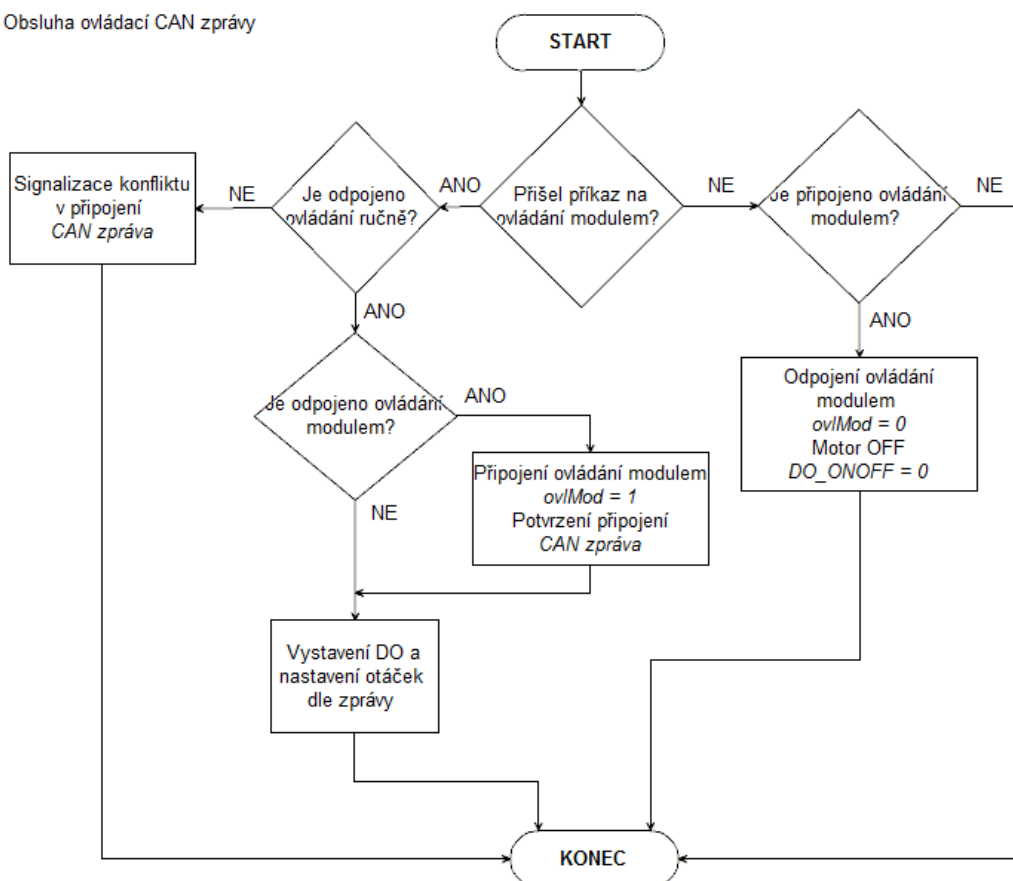
```

3.3 Připojení ovládacího rozhraní, ovládání frekvenčního měniče

Způsob řízení celého měřicího systému lze realizovat dvěma způsoby: příkazy přes sběrnici CAN nebo pomocí ručního ovladače. V každý okamžik tak může být připojen pouze jeden způsob řízení, popřípadě může být řízení odpojeno úplně. Tuto záležitost řeší modul softwarově. Je-li připojeno řízení pomocí ručního ovladače, modul zajistí vystavení příslušných úrovní analogového a digitálních výstupů odpovídající úrovním na vstupech z ovladače. Při řízení přes sběrnici CAN je využíváno jedné ovládací zprávy, která obsahuje hodnoty digitálních výstupů i žádanou hodnotu otáček asynchronního motoru. Celou záležitost znázorňují vývojové diagramy na obrázcích 3.1 a 3.2.



Obrázek 3.1 - Vývojový diagram logiky řízení



Obrázek 3.2 - Vývojový diagram obsluhy ovládací CAN zprávy

3.4 Time management

V programu je použito jednoduché odměřování času po 1ms pomocí proměnné `cas`, která je datového typu `unsigned long`. Teoreticky by tak modul mohl nepřetržitě fungovat necelých 50 dní, aniž by daná proměnná přetekla, v praxi je však takovýto případ vysoce nepravděpodobný. Hodnota této proměnné je inkrementována v rutině přerušení časovače `Timer/Counter 0`, vyvolávané právě po 1ms.

Zpráva po sběrnici CAN obsahující údaje z A/D převodníku a sílu působící na tenzometr je odesílána po 10 ms. V rutině přerušení časovače `Timer/Counter 0` je použita podmínka platná při nulovém zbytku po dělení desíti (modulo) proměnné `cas`. Je-li splněna, vystaví se příznak `timeToSend` zpracováváný v hlavní smyčce. Toto řešení je použito pro dosažení vyšší spolehlivosti chodu celého programu a vyšší flexibility nastavení periody odesílání.

Obdobně jako v předchozím případě, je s periodou 100 ms vystavován příznak `timeToBlink` využívaný pro rozblíkání signalizační kontrolky ručního ovládání v případě konfliktního pokusu o připojení ovladače.

3.5 Zpracování analogového signálu

Analogové signály jsou vzorkovány s frekvencí 1 kHz, tedy s periodou 1ms. Programově je toto ošetřeno tak, že funkce pro spuštění A/D převodu je volána z přerušení časovače právě každou 1ms. Výsledek převodu je ihned filtrován pomocí filtru EMA (Exponential Moving Average, Klouzavý průměr s exponenciálním zapomínáním). Je-li připojeno ovládání pomocí ručního ovladače, je po změně kanálu vždy nejprve vyčtena hodnota, která se nikam neukládá a to z důvodu stabilizace napětí na vstupním obvodu převodníku.

```
ISR(TIMER0_COMP_vect)
{
    cas++;
    if ((cas % 10) == 0) timeToSend = 1;
    if ((cas % 100) == 0) timeToBlink = 1;

    if (ovlRuc) read_adc(CH_TENZ); // DUMMY reading
    adcTenz = ema(read_adc(CH_TENZ) - TenzADCOffset_RAM,&FilterDataTenz);

    if (ovlRuc) read_adc(CH_POT); // DUMMY reading
    if (ovlRuc) adcPot = ema(read_adc(CH_POT),&FilterDataPot);
}
```

Převod analogového signálu na hodnotu síly se děje v hlavní části programu main(), při požadavku odeslání CAN zprávy s touto hodnotou (odesílány periodicky po 10 ms), a to pomocí lineární interpolace skrze funkci map().

```
if (timeToSend) // Kazdych 10ms - viz ISR
{
    SendTenz = adcTenz; // Zaloha hodnoty pred prepisanim pri vyvolani ISR
    /* 1B - LOW byte SILA */
    canData[0] = (unsigned char)(map((long)SendTenz,
                                   (long)ADCtoF_RAM[0][0],
                                   (long)ADCtoF_RAM[0][1],
                                   (long)ADCtoF_RAM[1][0],
                                   (long)ADCtoF_RAM[1][1]) & 0xFF);

    /* 2B - HIGH byte SILA */
    canData[1] = (unsigned char)(map((long)SendTenz,
                                   (long)ADCtoF_RAM[0][0],
                                   (long)ADCtoF_RAM[0][1],
                                   (long)ADCtoF_RAM[1][0],
                                   (long)ADCtoF_RAM[1][1])>>8 & 0xFF);

    /* 3B - LOW byte ADC */
    canData[2] = (unsigned char)(SendTenz & 0xFF);
    /* 4B - HIGH byte ADC */
    canData[3] = (unsigned char)((SendTenz>>8) & 0xFF);
    /* 5B - ADC offset LOW byte */
    canData[4] = (unsigned char)(TenzADCOffset_RAM & 0xFF);
    /* 6B - ADC offset HIGH byte */
    canData[5] = (unsigned char)((TenzADCOffset_RAM>>8) & 0xFF);
    canMsg = MakeCanMsg(TX_MODE,MSG_ID_SILA_TX,0x7FF,0,6,canData);/* vytvoreni zpravy */
    mobNo = CanTx(canMsg); /* odeslani zpravy */
    if (fLog && (mobNo==255)) printf("Odeslani zpravy CAN s id %0x se nezdarilo\n",
    MSG_ID_SILA_TX);
    timeToSend = 0;
}
```

3.6 Ovládání externího D/A převodníku

Vzhledem k tomu, že na sběrnici SPI není pevně definovaný komunikační protokol, bylo třeba sepsání ovládací funkce v souladu s protokolem uvedeným v dokumentaci D/A převodníku. Na obrázku 3.3 je takový příkaz zobrazen.

REGISTER 5-3: WRITE COMMAND REGISTER FOR MCP4901 (8-BIT DAC)

W-x	W-x	W-x	W-0	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x	W-x
0	BUF	$\overline{\text{GA}}$	SHDN	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	x	x	x	x
bit 15								bit 0							

Where:

- bit 15 0 = Write to DAC register
 1 = Ignore this command
- bit 14 **BUF**: V_{REF} Input Buffer Control bit
 1 = Buffered
 0 = Unbuffered
- bit 13 **$\overline{\text{GA}}$** : Output Gain Selection bit
 1 = $1x (V_{OUT} = V_{REF} * D/4096)$
 0 = $2x (V_{OUT} = 2 * V_{REF} * D/4096)$
- bit 12 **SHDN**: Output Shutdown Control bit
 1 = Active mode operation. V_{OUT} is available.
 0 = Shutdown the device. Analog output is not available. V_{OUT} pin is connected to 500 k Ω (typical).
- bit 11-0 **D11:D0**: DAC Input Data bits. Bit x is ignored.

Legend			
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 3.3 - Ovládací příkaz D/A převodníku MCP4901 [30]

Prakticky je odeslání tohoto příkazu řešeno uživatelskou funkcí `SendDAC()`. Předávané parametry této funkci jsou 8-bit hodnota výstupního napětí na D/A převodníku a ovládací bit výstupu – Output Shutdown Control Bit, jež může nabývat hodnot dle obrázku výše. Odeslání dat probíhá následovně: Stažení napěťové úrovně na Slave Select pinu do log. „0“, naplnění datového registru SPIR prvním bytem dat, což iniciuje odeslání, následně vyčkání na příznak SPIF (SPI Interrupt Flag) v registru SPSR, jež se po přístupu na tento registr sám maže, opakování postupu s druhým datovým bytem a následným vystavením log. „1“ na pinu Slave Select, čímž je přenos ukončen.

```

/*
Nazev: SendDAC
Funkce: Odesila data do DAC MCP4901 po SPI
Predavane parametry: unsigned char data: 8 datovych bitu (zadana analog. hodnota)
                    unsigned char shdn: SHUTDOWN - 1: Active
                    0: Vout off

Navratova hodnota: nic
*/
void SendDAC(unsigned char data, unsigned char shdn)
{
    /*
    MCP4901 je 8-bit DAC
    podporuje komunikaci v SPI Mode 0,0 a Mode 1,1.
    komunikace je 16-bit:
    0      BUF      ~GA~  ~SHDN~      D7:D0  x      x      x      x
    */
}

```

```

    0 - zapis do DAC registru (pri 1 DAC ignoruje prikaz)
    BUF - Vref buffered (1) / unbuffered (0)
    ~GA~ - Output gain 1x (0) / 2x (1)
    ~SHDN~ - Shutdown control: Active (1) / Device off (0)
    D7:D0 - datove bity (D7:D4 v prvni bytu, D3:D0 ve druhem bytu)
    x - ignorovane bity
*/
SPI_PORT &= ~(1<<SPI_SS);
SPDR = ((1<<5)|(shdn<<4)|((data>>4)&(0x0F))); // Odeslani prvnio bytu
while(!(SPSR & (1<<SPIIF)) ); // dokud nedojde k dokonceni odesilani
(priznak SPIF se maze automaticky pri pristupu na registr SPSR)
SPDR = (data<<4); // odeslani druhoho bytu
while(!(SPSR & (1<<SPIIF)) ); // dokud nedojde k dokonceni odesilani
SPI_PORT |= (1<<SPI_SS);
}

```

3.7 Obsluha řadiče CAN

K obsluze událostí na lince CAN slouží funkce `ProcessCanInterrupt()` volaná z hlavního programu `main()` v případě, že nastalo přerušení, které vygenerovalo příznak pojmenovaný `fCanInt`. Volání této funkce z hlavního programu je takto řešeno kvůli její časové náročnosti, aby případná další přerušení nebyla blokována obsluhou právě CAN řadiče.

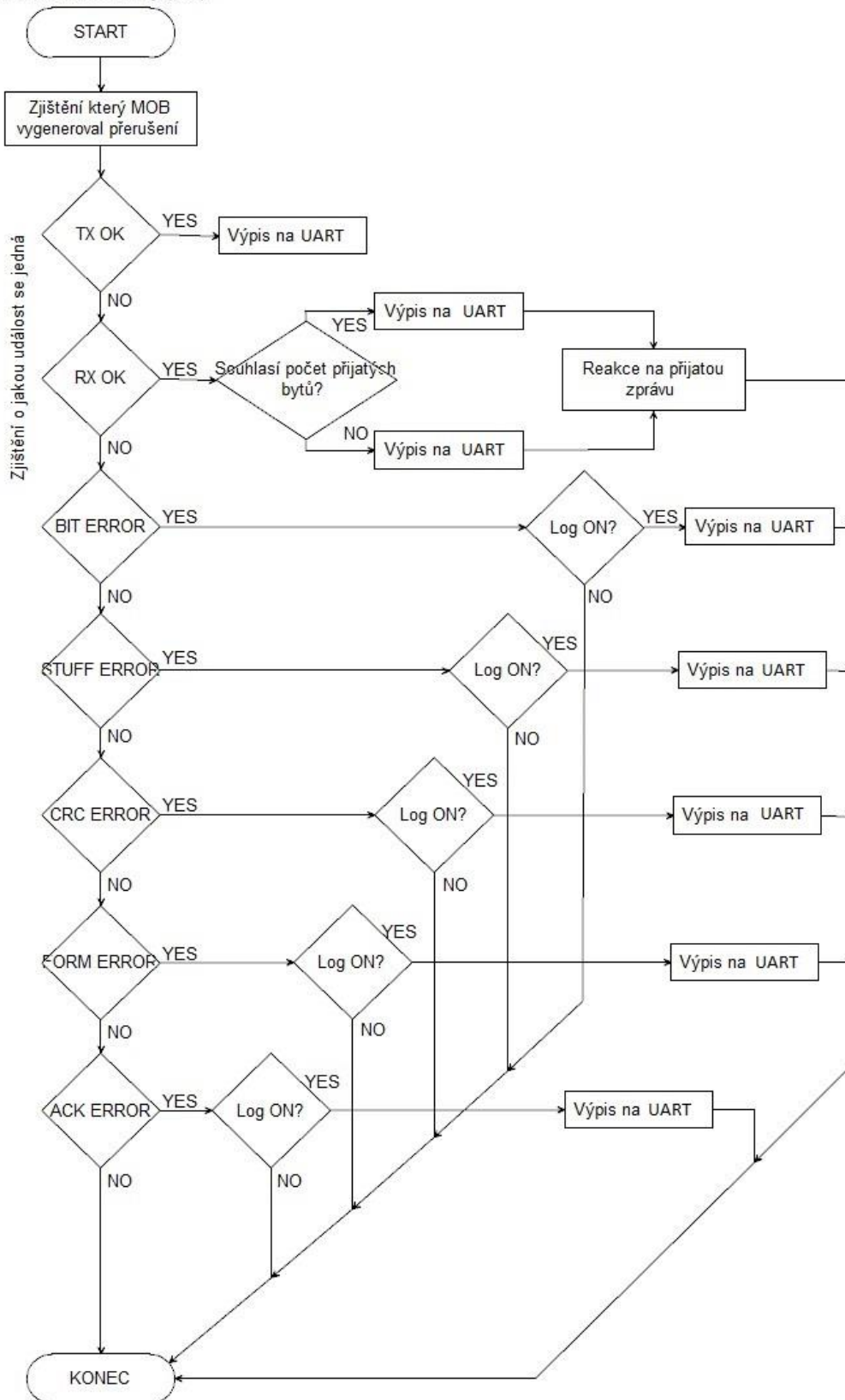
```

// obsluha preruseni od radice CAN
if (fCanInt)
{
    mCANIntOff; // vypnuti preruseni od radice CAN na dobu nezbytnu nutnou pro
zpracovani udalosti
    ProcessCanInterrupt(); // volani funkce pro zpracovani preruseni
    mCANIntOn; // znovu povoleni preruseni od radice CAN
}

```

Tato funkce nejdříve vynuluje příznak přerušení od řadiče CAN a následně zjišťuje, který MOB a jaká akce přerušení vygenerovala (Zpráva odeslána, zpráva přijata, některá z chyb). Pokud se jedná o úspěšný příjem zprávy, funkce zjišťuje o jakou zprávu se jedná (dle jejího ID), následně zda-li přišel očekávaný počet datových bitů, reakce na danou zprávu (dle toho, o jakou zprávu se jedná) a znovunastavením MOBU na příjem.

void ProcessCanInterrupt(void)



Obrázek 3.4 - Vývojový diagram reakce na přerušení CAN řadiče

Reakce na přijatou zprávu



Obrázek 3.5 - Vývojový diagram reakce na přijatou CAN zprávu

Odeslání zprávy na sběrnici je poměrně přímočarou záležitostí a skládá se ze tří kroků:

- 1) Naplnění datového pole
- 2) Vytvoření zprávy
- 3) Odeslání zprávy

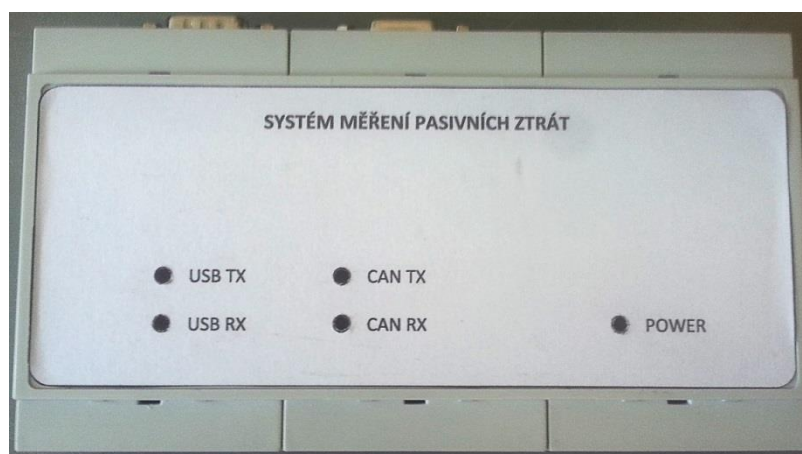
Pro naplnění datového pole slouží v programu proměnná `unsigned char canData[8]`. Při jeho plnění se postupně naplní požadovaný počet datových bytů zprávy. Pro vytvoření zprávy slouží funkce `MakeCanMsg()`, jejíž návratovou hodnotu (tedy zprávu samotnou) ukládáme do struktury `tCanMsg canMsg`. Funkci je nutno předat následující parametry:

- `mode`: Mód zprávy (RX, TX, ...)
- `id`: ID zprávy
- `mask`: Maska zprávy
- `ide`: Rámec zprávy (standart vs. extended)
- `dlc`: Počet datových bytů
- `data`: Datové pole zprávy

K odeslání zprávy slouží funkce `CanTx()`, která přebírá jako parametr vytvořenou zprávu v proměnné `canMsg`. Tato funkce se sama postará o nalezení volného MOBu.

4 INSTALACE A PROVOZ MODULU

Po zkompletování, naprogramování a ověření funkčnosti byl modul umístěn v rozvaděči stávajícího systému měření pasivních ztrát, kde kompletně nahradil stávající svorkovnici realizující signálové propojení mezi frekvenčním měničem, tenzometrickým snímačem a ručním ovladačem. Na ručním ovladači byly měřicí svorky nahrazeny přepínačem, kterým se připojuje ovládání právě pomocí ručního ovladače. Celý systém byl taktéž nově zapojen. Schéma zapojení je součástí přílohy.



Obrázek 4.1 - Zkompletovaný modul

4.1 Ovládání systému

Ovládání pomocí ručního ovládání je intuitivní a s jedinou obměnou stejně jako doposud. Není-li připojeno žádné ovládání, ruční ovladač lze připojit pomocí přepínače k tomu určenému. Uživatel bude v případě úspěchu informován rozsvícením zelené kontrolky, v případě konfliktního pokusu o připojení (je již připojeno ovládání pomocí CAN rozhraní) rozblíknutím kontrolky.

K ovládání pomocí sběrnice CAN je použita ovládací zpráva, obsahující hodnoty logických výstupů a žádaných otáček asynchronního motoru. Formát všech zpráv na sběrnici na které modul reaguje je uveden v příloze. V současné době není v dotčené laboratoři rozvedena sběrnice CAN, proto je tento způsob ovládání realizován například pomocí CAN analyzátoru. Do budoucna se však počítá s rozvedením sběrnice a realizací nadřazeného řídicího systému, pomocí něhož bude ovládání modulu komfortnější.

4.2 Zkušební provoz

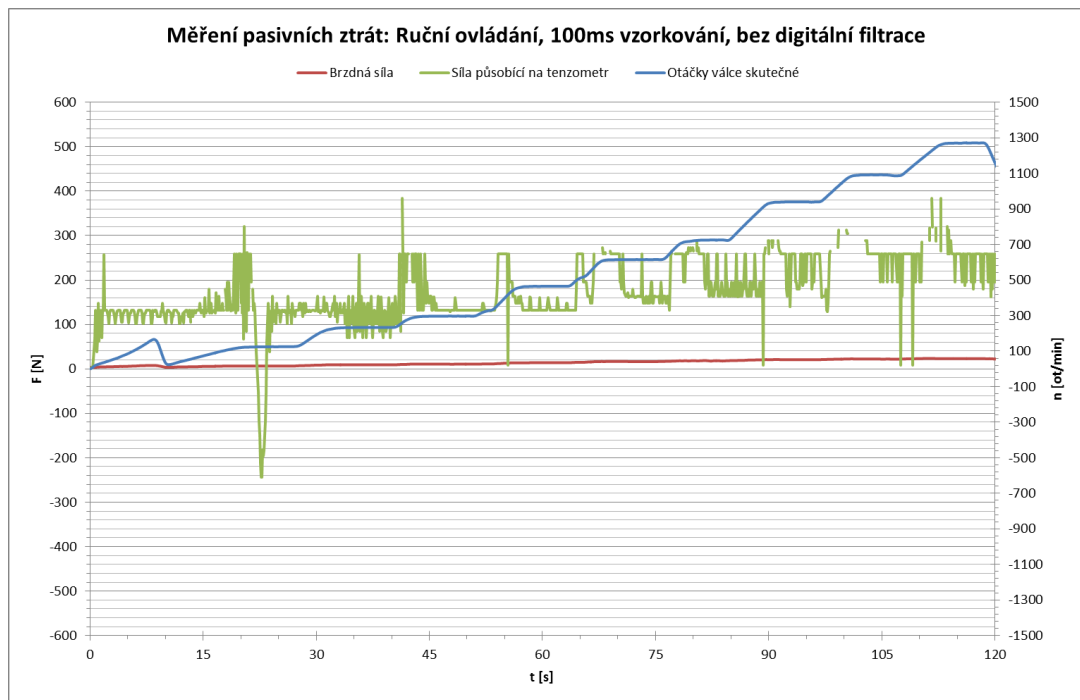
Prvotní oživení modulu probíhalo mimo dotčenou laboratoř, aby případné nedostatky neohrozily bezpečnost provozu celého systému a také aby se zamezilo riziku vzniku škod na některé z jeho částí. Modul byl napájen z laboratorního zdroje napětím 24 V, signál z tenzometru byl simulován také pomocí laboratorního zdroje (v rozsahu napětí 0–5 V), na analogové svorky ručního ovladače byl připojen potenciometr stejně, jako je připojen v ovladači, činnost digitálních výstupů byla ověřována pomocí LED diod v nepájivém poli, digitální vstupy byly spínány k 24 V a k ověření sběrnice CAN byl použit analyzátor od firmy Vector. Během této první fáze provozu byly odstraněny hardwarové i firmwarové nedostatky, aby při „ostrém“ nasazení již modul pracoval bez rizika vzniku rizikového stavu celého systému. Oproti původnímu návrhu byly na desku připájeny jednopinové patice na výstup analogových filtrů pro snazší připojení osciloskopu pro účely měření.

Ve druhé fázi testovacího provozu byl modul již zapojen v laboratoři a jeho funkce se znovu ověřovala, tentokrát však již přímo v systému, stejně jako při „ostrém“ provozu. Během této fáze se odladil firmware do konečné podoby.

4.3 Měření pasivních ztrát

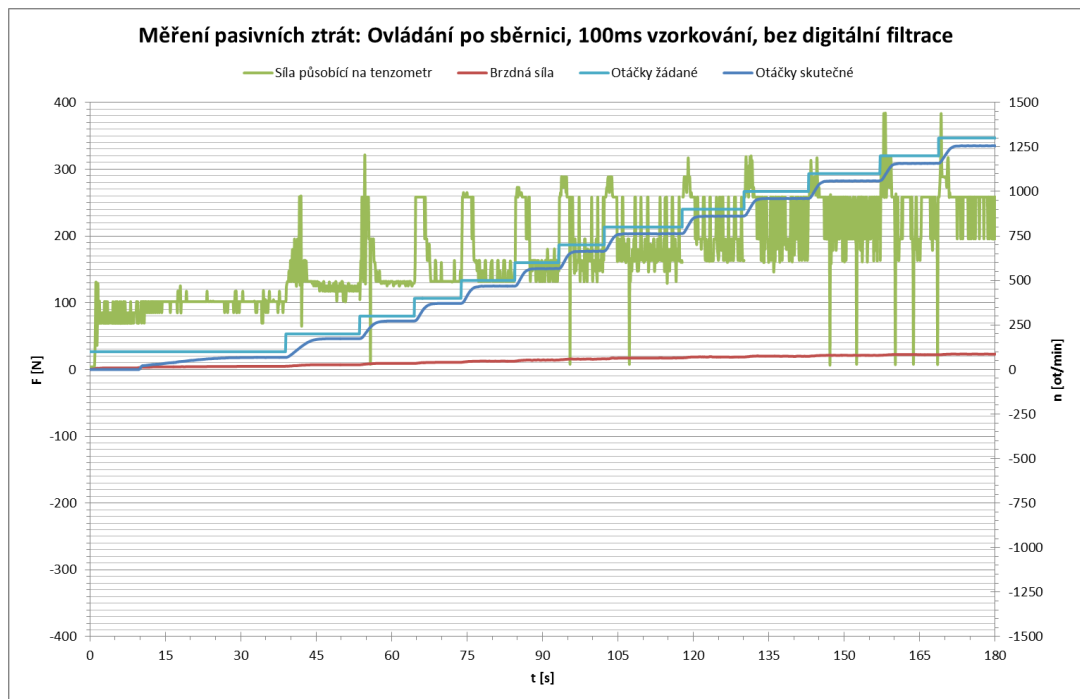
V rámci ověřovacích zkoušek bylo provedeno několik měření pasivních ztrát, při kterých byla prověřena funkčnost modulu v reálných podmínkách.

První měření probíhalo při ovládání pomocí ručního ovladače. Požadované otáčky stykového válce se nastavovaly v závislosti na údajích poskytovaným systémem válcové brzdy. Zpráva byla na sběrnici CAN odesílána s periodou 100 ms, digitální filtrace byla vypnuta.



Graf 1 - První měření pasivních ztrát

Při druhém měření byl systém ovládán příkazy po sběrnici CAN. Stejně jako v předešlém případě byly hodnoty síly působící na tenzometr odesílány s periodou 100ms a digitální filtrace byla vypnuta.



Graf 2 - Druhé měření pasivních ztrát

System nedosáhl žádaných otáček z důvodu skluzu asynchronního motoru, který jej celý pohání. Jako řešení se nabízí nastavení kompenzace skluzu na frekvenčním měniči.

Navzdory nastavenému nulovému brzdnému momentu byla naměřena nenulová brzdná síla, resp. brzdny moment. Tento jev může být způsoben například remanentním magnetismem válcové brzdy a pro korekci stačí okamžitou velikost brzdny síly odečíst od naměřeny síly působící na tenzometr. Rovnice (4.1) doplňuje pro úplnost vztah mezi působící silou a točivým momentem.

$$M = F * r \quad (4.1)$$

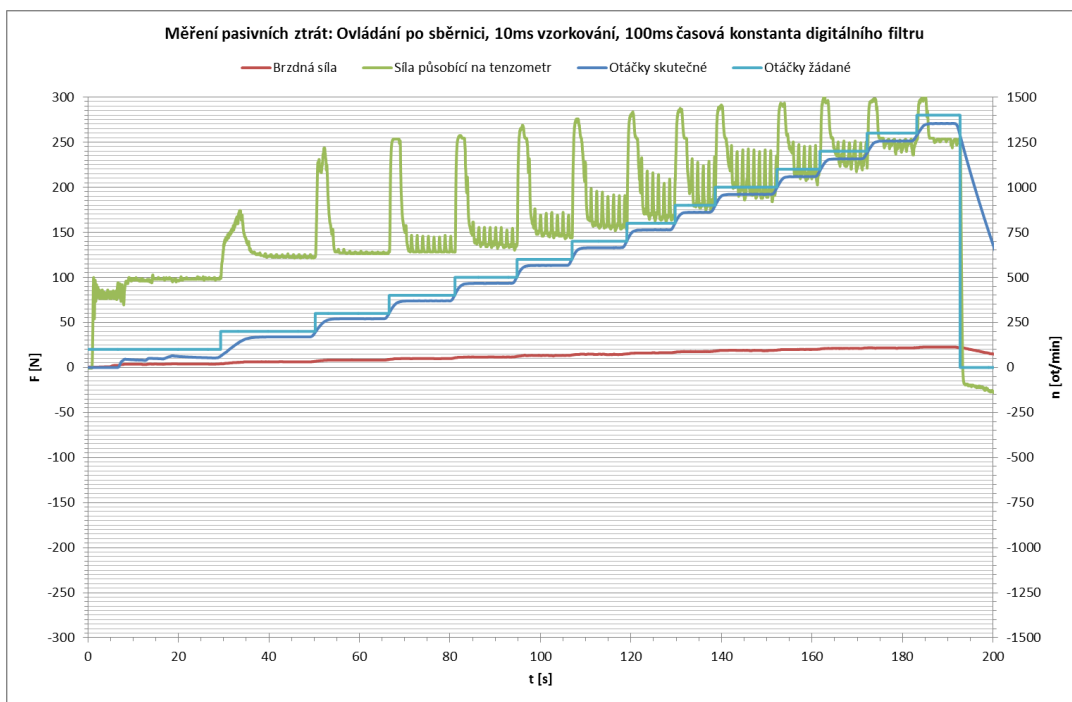
Kde: M – točivý moment
 F – síla
 r – rameno, na nějž síla působí

Při přechodných jevech (změna otáček soustrojí) vzrostla i hodnota síly působící na tenzometr, ta však ve většině případů vzrostla o stejnou hodnotu (s určitou tolerancí). Tento jev lze vysvětlit s odvoláním na zjednodušenou pohybovou rovnici (4.2), kdy velikost dynamického momentu je stále stejná, vzhledem k tomu že moment setrvačnosti systému se nemění a časová změna otáček je stále konstantní díky nastavené rozběhové rampě frekvenčního měniče.

$$M = M_z + M_d = M_z + J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (4.2)$$

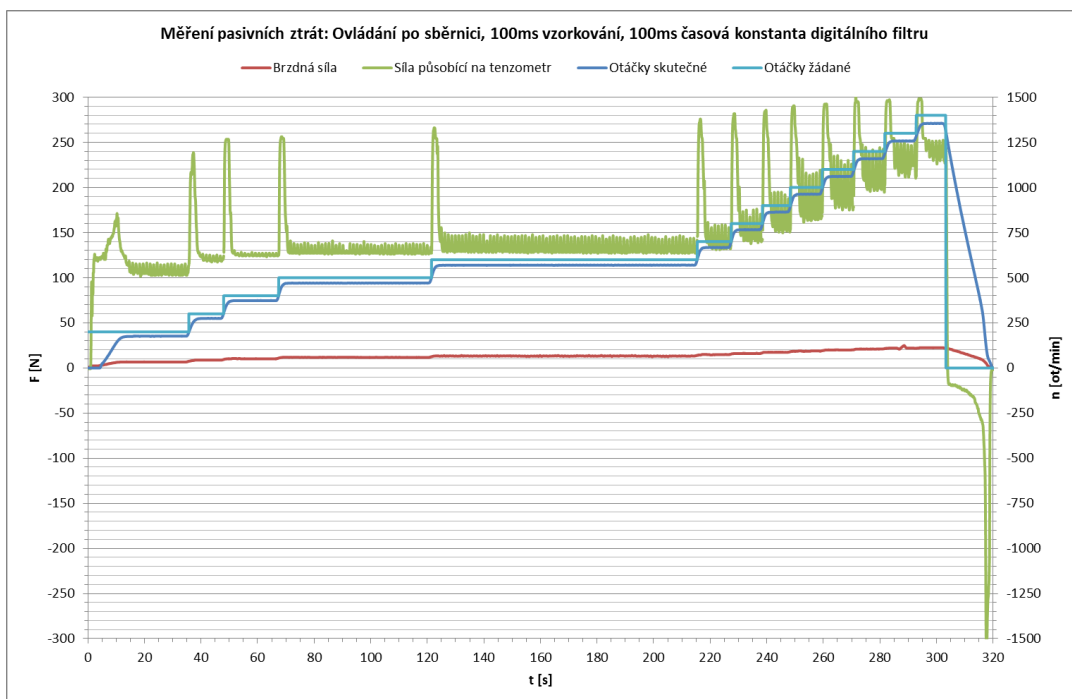
Kde: M – točivý moment celkový
 M_z – moment zátěže
 M_d – dynamický moment
 J – moment setrvačnosti
 ω_m – mechanická úhlová rychlost
 t – čas

Největším problémem naměřených hodnot bylo však rušení (dobře patrné na obrázcích 4.4 a 4.5) opakující se s periodou zhruba 1–1,5 s. Následovalo tedy třetí měření, tentokrát s digitální filtrací, u níž byla nastavena časová konstanta 100 ms a zjišťoval se vliv filtrace na měřené průběhy. Vzorkovací frekvence se upravila na 10 ms.



Graf 3 - Třetí měření pasivních ztrát

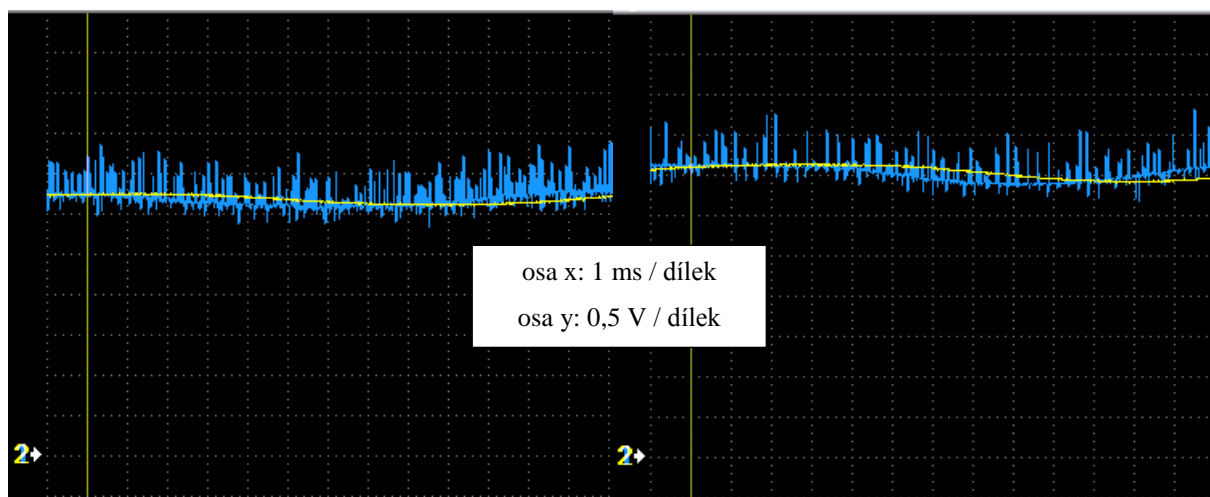
Toto měření ukázalo, že digitální filtrace pomohla vyřešit některé problémy s rušením. Pro porovnání proběhlo ještě čtvrté měření, při kterém byla perioda vzorkování nastavena opět na 100 ms.



Graf 4 - Čtvrté měření pasivních ztrát

Porovnáním naměřených výsledků bylo vybráno nejvhodnější nastavení, tedy 10 ms perioda odesílání hodnoty působící síly na sběrnici při časové konstantě 100 ms digitálního filtru, se kterým byl do modulu nahrán finální firmware.

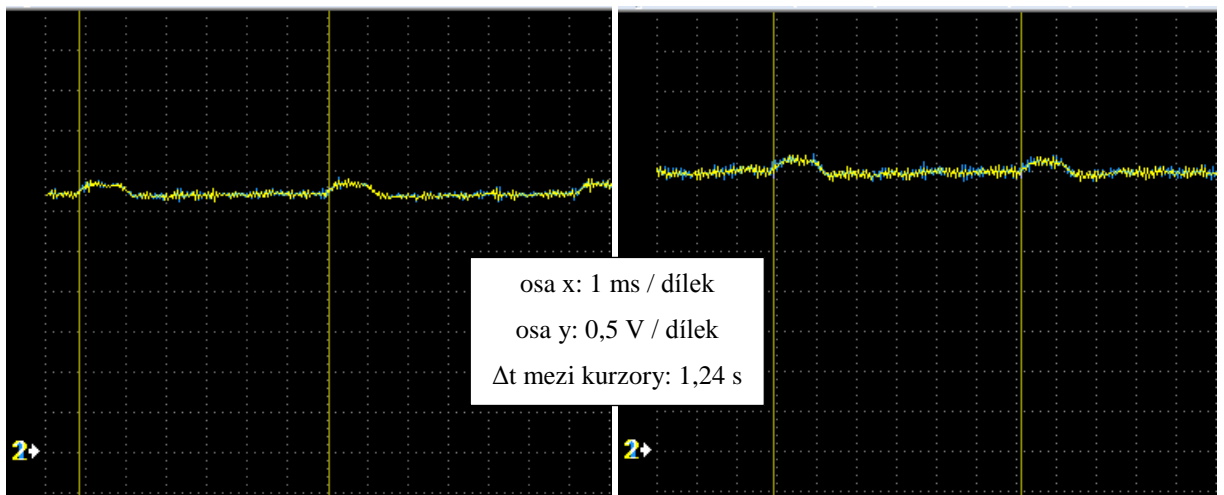
Dále bylo pro ověření funkčnosti vstupního analogového filtru provedeno několik měření vstupního signálu pomocí osciloskopu Autoscope II a to na analogovém vstupu modulu (modře) a za analogovým filtrem (žlutě). Měření probíhala při otáčkách 800 a 1500 ot/min při vzorkovacích frekvencích 50 a 250 kHz. Měření se vzorkovací frekvencí 250 kHz si kladlo za cíl ověřit správnou funkci analogového filtru, zejména tedy odstranění rušení na signálovém vodiči z tenzometru, způsobeného například napájecími měniči. Na následujících průbězích je dobře patrné, že rušení se na výstupu filtru takřka neobjevuje.



Obrázek 4.2 - Analogová filtrace: 250 kHz, 800 rpm

Obrázek 4.3 - Analogová filtrace: 250 kHz, 1500 rpm

Měření při 50 kHz vzorkovací frekvenci jsme blíže zkoumali rušivé špičky ovlivňující výsledky měření. Z průběhů je zřejmé, že se objevují s periodou cca 1,2 s a to konstantně v celém rozsahu otáček soustrojí. Jejich frekvence je tedy natolik nízká, že není možné je úpravou v současnosti použitých způsobů filtrace odstranit, aniž by došlo k negativnímu ovlivnění výsledků měření. Dále bylo zjištěno (zejména poslechem soustrojí), že tato „závada“ na průběhu je mechanického charakteru. Její odstranění je tedy otázkou zlepšení mechanického stavu celého systému, což však není předmětem této práce.



Obrázek 4.4 - Analogová filtrace: 50 kHz, 800 rpm

Obrázek 4.5 - Analogová filtrace: 50 kHz, 1500 rpm

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření modulu začleněného do systému měření pasivních ztrát motocyklu na válcovém dynamometru umístěném v laboratořích VVCD, protože bylo nutné se seznámit jak s některými specifiky tohoto systému, jako například způsob měření a použitý senzor, jakož i se způsobem interakce s připojenými periferiemi, tedy s frekvenčním měničem a jeho ovládním, sběrnici CAN a ručním ovladačem.

S ohledem na kladené požadavky byl navržen hardware i firmware modulu, proběhla jeho praktická realizace, umístění v laboratoři a série ověřovacích měření pro otestování jeho plné provozuschopnosti a dodržení všech požadovaných vlastností.

Jedinou doposud známou chybou, kterou modul vykazuje, je ignorování ovládací zprávy po sběrnici CAN, které nastává po velkém vytížení modulu, při kterém dochází k periodickému příjmu ovládací zprávy v krátkých intervalech (např. 100 ms) a častým změnám na digitálních vstupech. Vzhledem k tomu, že se podmínky pro výskyt této chyby nepodařilo přesně definovat, a dále také že se tato chyba vyskytuje velmi sporadicky a pouze při velkém vytížení modulu, nebyla ve firmwaru nijak ošetřena. Tento fakt však nemá na praktické fungování modulu žádný vliv, neboť je velice nepravděpodobné, že při běžném provozu systému tento stav nastane, což bylo ověřeno sérií testovacích měření.

Výsledkem této práce je tedy navržený, vytvořený, naprogramovaný, odzkoušený a funkční modul ovládní systému měření pasivních ztrát motocyklu na válcovém dynamometru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HLADÍK, Pavel. Modul řízení otáček ventilátoru. Pardubice, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Mašek.
- [2] KRACÍK, Tomáš. Systém pro měření pasivních ztrát motocyklu na válcovém dynamometru. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Mašek, Ph.D.
- [3] *CAN Specification: Version 2.0* [online]. Robert Bosch GmbH, 1991 [cit. 2016-11-07]. Dostupné z: http://www.bosch-semiconductors.de/media/ubk_semiconductors/pdf_1/can_iterator/can2spec.pdf
- [4] GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. *Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel*. Pardubice: Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 2008.
- [5] CAN bus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-10-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [6] *SPI Block Guide V03.06* [online]. Freescale Semiconductor, 2003 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: ftp://ztchs.p.lodz.pl/Int_w_sm/SPI.pdf
- [7] SIEMENS: SINAMICS G120. [online]. [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll/csfetch/27069930/CU240S__en-US.pdf?func=cslib.csFetch&nodeid=27069937&forcedownload=true
- [8] Studijní materiály k předmětu PPXCP – Programování v jazyku C
- [9] Studijní materiály k předmětu PMRTP – Mikroprocesorová řídicí technika
- [10] JAHSELKA, Michal. Návrh elektroniky v programu KiCad. *Vyvoj.hw.cz* [online]. 2013 [cit. 2016-10-10]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/software/navrh-elektroniky-v-programu-kicad-4-dil.html>
- [11] VLČEK, Jiří. *D/A a A/D převodníky* [online]. [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: http://elektro.tzb-info.cz/download.py?file=docu/texty/0001/000102_da_ad_prevodniky.pdf
- [12] BAKER, Bonnie C. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *AN699: Anti-Aliasing, Analog Filters for Data Acquisition Systems* [online]. 2002 [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00699b.pdf>
- [13] ATMEL CORPORATION. *AVR223: Digital filters with AVR* [online]. 2008 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2527.pdf>
- [14] ATMEL CORPORATION. *AVR042: AVR Hardware Design Considerations: Application Note* [online]. 2016 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z:

- http://www.atmel.com/Images/Atmel-2521-AVR-Hardware-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR042.pdf
- [15] ATMEL CORPORATION. *AVR186: Best Practices for the PCB Layout of Oscillators: Application Note* [online]. 2016 [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2521-AVR-Hardware-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR042.pdf
- [16] ATMEL CORPORATION. *AVR040: EMC Design Considerations: Application Note* [online]. 2016 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/Atmel-1619-EMC-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR040.pdf
- [17] ATMEL CORPORATION. *AVR1012: XMEGA A Schematic Checklist: Application Note* [online]. 2010 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8278.pdf>
- [18] NXP SEMICONDUCTORS N.V. *Application guide: ESD protection* [online]. 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://assets.nexperia.com/documents/leaflet/75017664.pdf>
- [19] KLIGER, Ronn a Sean CLARK. ANALOG DEVICES. *ICoupler® Isolation in CAN Bus Applications* [online]. 2005 [cit. 2016-11-03]. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-770.pdf>
- [20] EISELE, Harald a Egon JÖHNK. PHILIPS ELECTRONICS N.V. *PCA82C250 / 251 CAN Transceiver: Application Note* [online]. 1996 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN96116.pdf
- [21] ČOŽÍK, Ondřej. POUŽITÍ BLOKOVACÍCH KONDENZÁTORŮ PŘI NÁVRHU DPS. *Slaboproudý Obzor* [online]. 2013, **69**(3) [cit. 2016-11-22]. Dostupné z: <http://www.slaboproudyobzor.cz/files/20130308.pdf>
- [22] *Moderní učebnice elektroniky: Základy elektroniky, ideální a reálné prvky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 978-80-7300-286-2.
- [23] VTS Zlín s.r.o. - *Katalog* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://vtsz.cz/image.ashx?i=157410.pdf&fn=>
- [24] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. *Debugging FT232BM and FT245BM Designs* [online]. 2004 [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/AppNotes/AN232B-06_11.pdf
- [25] ATMEL CORPORATION. *8-bit Microcontroller with 32K/64K/128K Bytes of ISP Flash and CAN Controller: AT90CAN32, AT90CAN64, AT90CAN128* [online]. 2008 [cit. 2016-10-14]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc7679.pdf>

- [26] NXP SEMICONDUCTORS. *PCA82C250: CAN Controller Interface* [online]. 2011 [cit. 2016-10-18]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA82C250.pdf
- [27] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD. *FT232R USB UART IC* [online]. 2015 [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [28] ANALOG DEVICES. *ADuM1200/ADuM1201: Dual-Channel Digital Isolators* [online]. 2016 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1200_1201.pdf
- [29] ANALOG DEVICES. *ADuM1300/ADuM1301: Triple-Channel Digital Isolators* [online]. 2016 [cit. 2016-10-17]. Dostupné z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADuM1300_1301.pdf
- [30] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *8/10/12-Bit Voltage Output Digital-to-Analog Converter with SPI Interface: MCP4901/4911/4921* [online]. 2010 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22248a.pdf>
- [31] TEXAS INSTRUMENTS INC. *REF50xx: Low-Noise, Very Low Drift, Precision Voltage Reference* [online]. 2016 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ref5040.pdf>
- [32] NXP SEMICONDUCTORS. *PESD1CAN: CAN bus ESD protection diode* [online]. 2008 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/PESD1CAN.pdf>
- [33] NXP SEMICONDUCTORS. *PUSB2X4D: ESD protection for high-speed interfaces* [online]. 2013 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/PUSB2X4D.pdf>
- [34] TEXAS INSTRUMENTS INC. *TLV237x 500- μ A/Ch, 3-MHz Rail-to-Rail Input and Output Operational Amplifiers With Shutdown* [online]. 2016 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv2374.pdf>
- [35] TOSHIBA AMERICA ELECTRONIC COMPONENTS. *TOSHIBA PHOTOCOUPLER InGaAs IRED & PHOTO-TRANSISTOR TLP293-4* [online]. 2015 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z: <https://toshiba.semicon-storage.com/info/docget.jsp?did=15287&prodName=TLP293-4>
- [36] LITTLEFUSE, INC. *Transient Voltage Suppression Diodes: Surface Mount – 1500W > SMCJ series* [online]. 2015 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z:

- http://www.littelfuse.com/~/media/electronics/datasheets/tvs_diodes/littelfuse_tvs_diode_smcj_datasheet.pdf.pdf
- [37] AIMTEC. *Series AM1S-Z: 1 Watt DC-DC Converter* [online]. 2015 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.aimtec.com/site/Aimtec/files/Datasheet/HighResolution/AM1S-Z.pdf>
- [38] WIMA MKS 2: *Metallized Polyester (PET) Capacitors in PCM 5 mm* [online]. 2016 [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: http://www.wima.com/EN/WIMA_MKS_2.pdf
- [39] MURATA MANUFACTURING CO. LTD. *BNX016-01* [online]. 2017 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://www.murata.com/en-us/api/pdfdownloadapi?cate=&partno=BNX016-01>
- [40] MURATA MANUFACTURING CO. LTD. *Chip EMIFILr Inductor Type Chip Ferrite Beads: BLM21P Series (0805 Size)* [online]. 2006 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://datasheet.octopart.com/BLM21PG221SN1D-Murata-datasheet-8197962.pdf>
- [41] ST MICROELECTRONICS N.V. *L78L: Positive voltage regulators* [online]. 2016 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/15/55/e5/aa/23/5b/43/fd/CD00000446.pdf/files/CD00000446.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000446.pdf>
- [42] ST MICROELECTRONICS N.V. *STPS2L40: Low drop power Schottky rectifier* [online]. 2008 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/ca/8a/ee/ed/5b/ef/47/60/CD00002299.pdf/files/CD00002299.pdf/jcr:content/translations/en.CD00002299.pdf>
- [43] XINYA ELECTRONIC CO., LTD. *118-A-XXGAK: MLW10G* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.800-035.1.pdf>
- [44] OKW GEHÄUSESYSTEME. *B6505229: RAILTEC B, 9 modules, Vers. low profile* [online]. 2014 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://www.okw-pouzdra.cz/en/drawings-pdf/00016107.pdf>
- [45] Serial Peripheral Interface. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 - Současná koncepce systému	10
Obrázek 1.2 - Budoucí podoba systému	11
Obrázek 1.3 - Blokové schéma nepřímého frekvenčního měniče	12
Obrázek 1.4 - Blokové schéma měniče s brzdným odporem	12
Obrázek 1.5 - Blokové schéma měniče se sdíleným meziobvodem pro více střídačů Chyba! Záložka není definována.	
Obrázek 1.6 - Blokové schéma měniče s rekuperační jednotkou	13
Obrázek 1.7 - Blokové schéma měniče s usměrňovačem s pulzně-šířkovou modulací	13
Obrázek 1.8 - Používaná zapojení tenzometrů	14
Obrázek 1.9 - Tenzometrický snímač ve tvaru "S"	14
Obrázek 1.10 - Kalibrační list tenzometrického snímače	14
Obrázek 1.11 - Struktura zařízení s CAN rozhraním.....	16
Obrázek 1.12 - Napět'ové úrovně na sběrnici CAN.....	16
Obrázek 1.13 - Rámec CAN zprávy	17
Obrázek 1.14 - Struktura sběrnice SPI.....	18
Obrázek 1.15 - Kvantizační chyba.....	19
Obrázek 1.16 - Chyba nelinearity	20
Obrázek 1.17 - Chyba zesílení	20
Obrázek 1.18 - Chyba nuly	21
Obrázek 2.1 - Blokové schéma modulu.....	22
Obrázek 2.2 - Blokový diagram MCU.....	25
Obrázek 2.3 - Schéma zapojení MCU	26
Obrázek 2.4 - Blokový diagram D/A převodníku.....	27
Obrázek 2.5 - Zapojení analogového výstupu 0	27
Obrázek 2.6 - Zapojení napět'ové reference	28
Obrázek 2.7 - Zapojení analogového výstupu 1	28
Obrázek 2.8 - Zapojení digitálních výstupů.....	28
Obrázek 2.9 - Zapojení digitálních vstupů.....	29
Obrázek 2.10 - Funkční schéma obvodu ADuM1301	30
Obrázek 2.11 - Zapojení obvodové části sběrnice CAN	30
Obrázek 2.12 - Zapojení obvodové části sběrnice USB	31

Obrázek 2.13 - Zapojení analogových vstupů	32
Obrázek 2.14 - Převodní charakteristiky analogových vstupních filtrů	32
Obrázek 2.15 - Blokový diagram interního A/D převodníku	33
Obrázek 2.16 - LC filtr napájení A/D převodníku.....	33
Obrázek 2.17 - Zapojení napájecí části.....	36
Obrázek 2.18 - Strana mědi TOP	37
Obrázek 2.19 - Strana mědi BOTTOM	37
Obrázek 2.20 - Strana potisku TOP	38
Obrázek 2.21 - Osazená DPS.....	38
Obrázek 3.1 - Vývojový diagram logiky řízení	41
Obrázek 3.2 - Vývojový diagram obsluhy ovládací CAN zprávy	42
Obrázek 3.3 - Ovládací příkaz D/A převodníku MCP4901.....	44
Obrázek 3.4 - Vývojový diagram reakce na přerušení CAN řadiče	46
Obrázek 3.5 - Vývojový diagram reakce na přijatou CAN zprávu	47
Obrázek 4.1 - Zkompletovaný modul	48
Obrázek 4.2 - Analogová filtrace: 250kHz, 800rpm	53
Obrázek 4.3 - Analogová filtrace: 250kHz, 1500rpm	53
Obrázek 4.4 - Analogová filtrace: 50kHz, 800rpm	54
Obrázek 4.5 - Analogová filtrace: 50kHz, 1500rpm	54

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - První měření pasivních ztrát.....	50
Graf 2 - Druhé měření pasivních ztrát	50
Graf 3 - Třetí měření pasivních ztrát	52
Graf 4 - Čtvrté měření pasivních ztrát	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 - Proudové odběry.....	35
------------------------------------	----

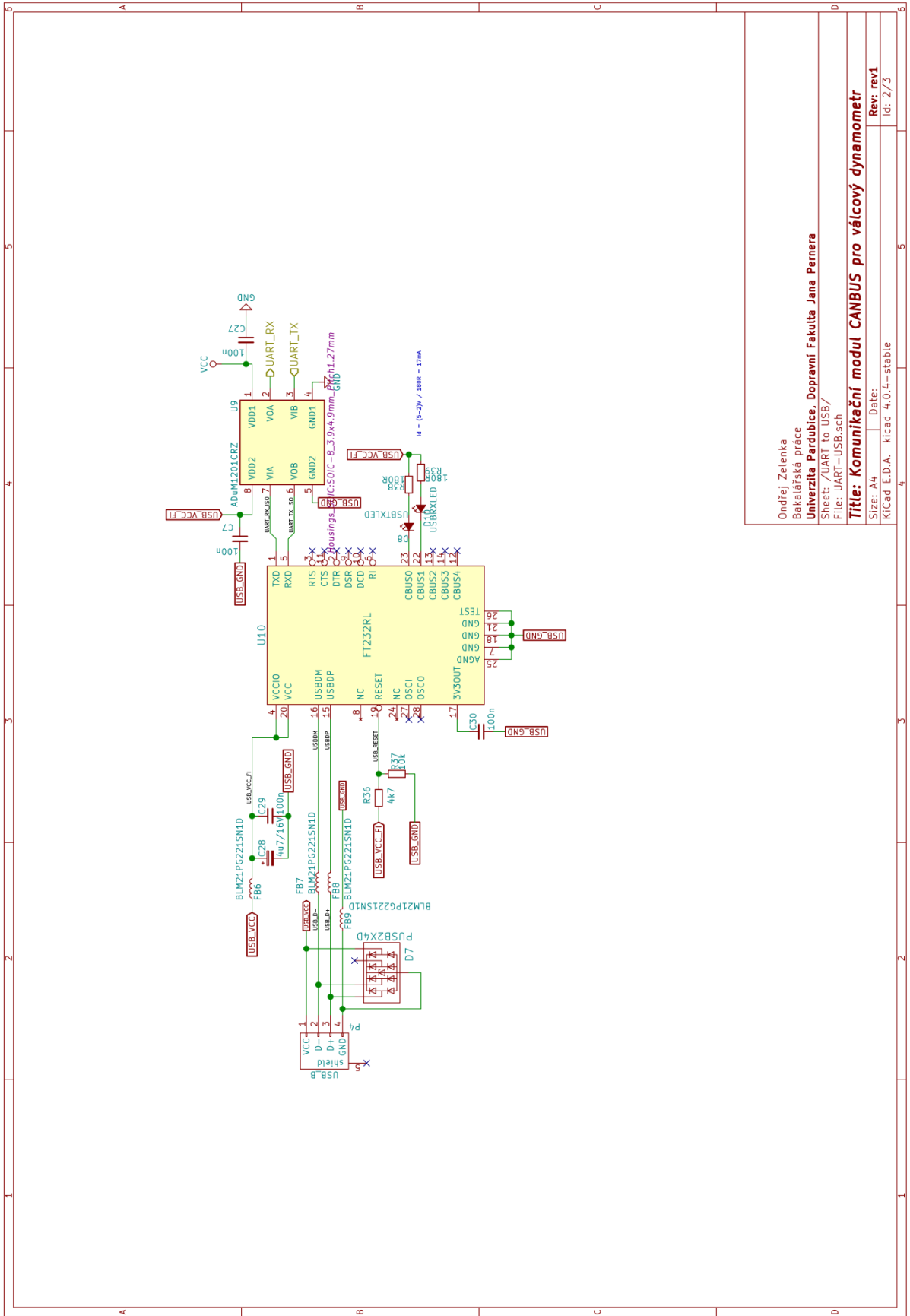
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Schéma zapojení DPS modulu

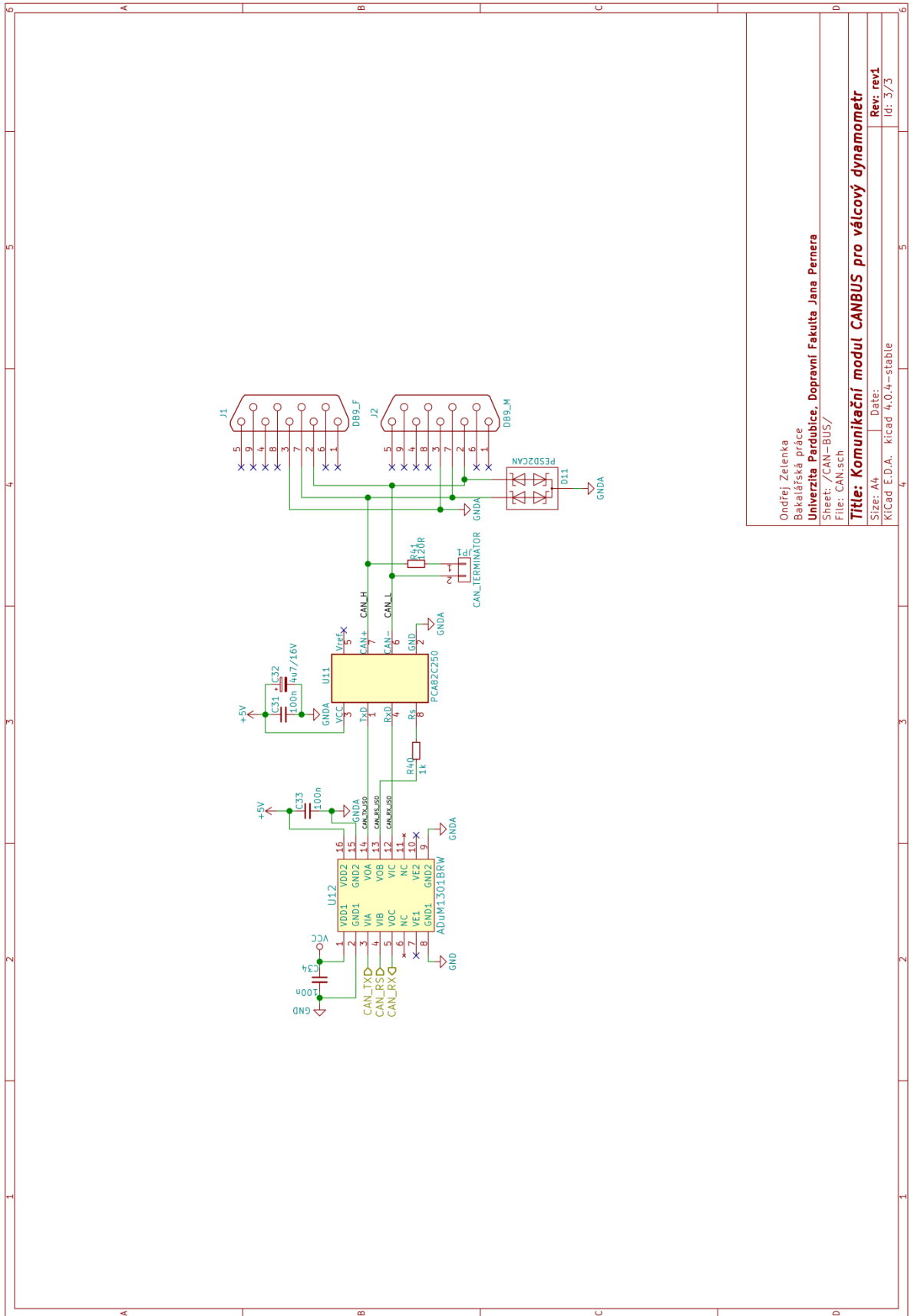
Příloha B – Funkční schéma zapojení modulu

Příloha C – Schéma zapojení systému měření pasivních ztrát

Příloha D – Formát zpráv na sběrnici CAN obsluhovaných modulem



Ondřej Zelenka
 Bakalářská práce
 Univerzita Pardubice, Dopravní Fakulta Jana Pernera
 Sheet: /UART to USB/
 File: UART-USB.sch
Title: Komunikační modul CANBUS pro válcový dynamometr
 Size: A4 Date:
 KiCad E.D.A., kicad 4.0.4-stable
 Rev. rev1
 Id: 2/3

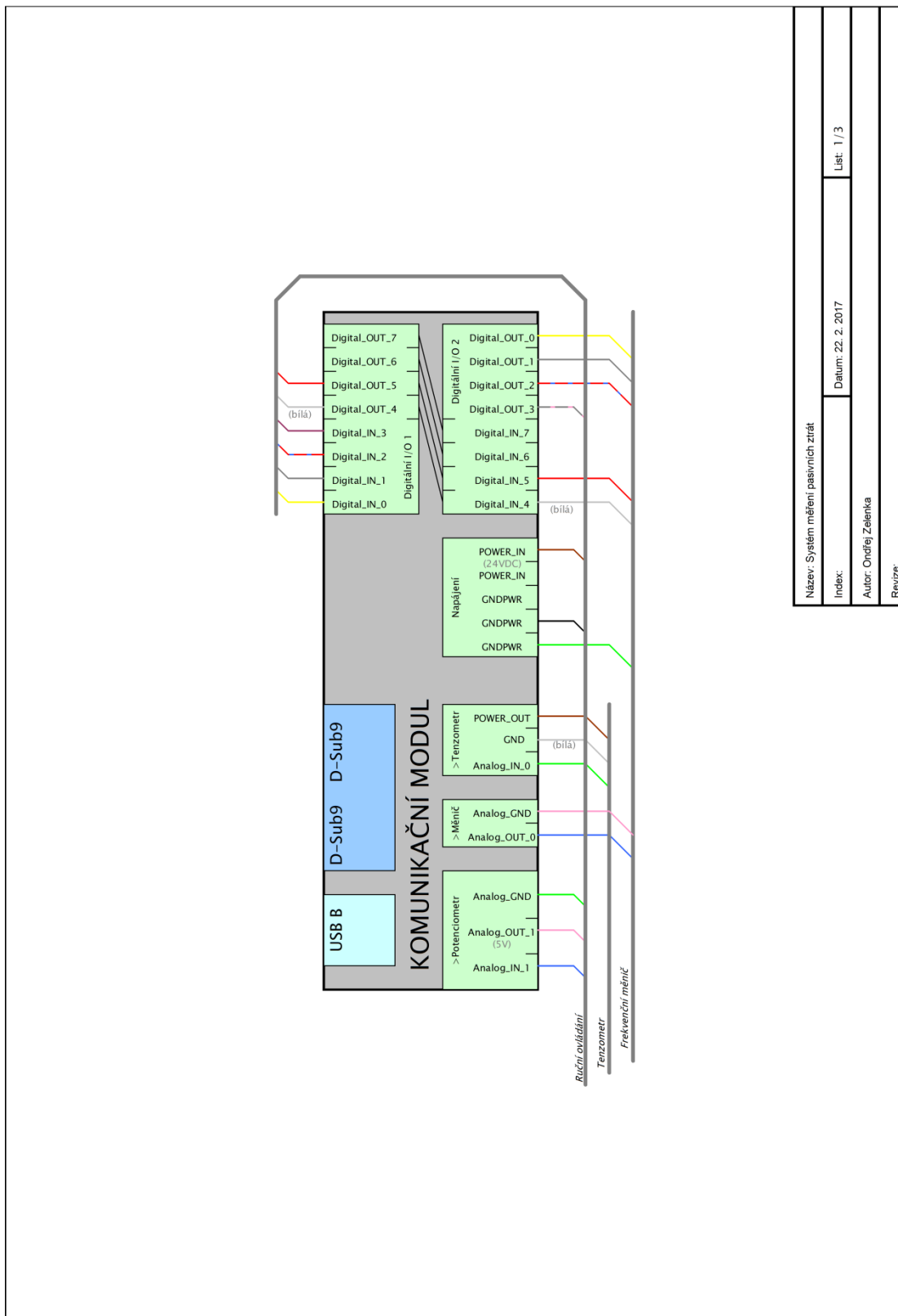


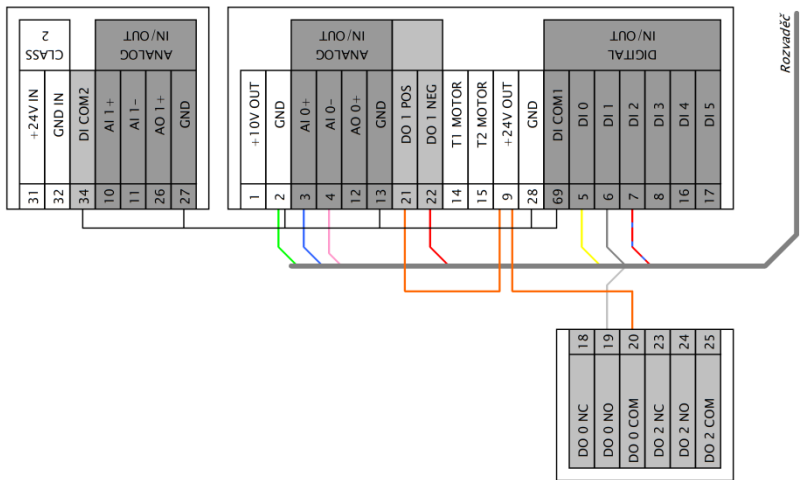
Ondřej Zelenka
 Bakalářská práce
 Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
 Sheet: 7/CAN-BUS/
 File: CAN.isch

Title: Komunikační modul CANBUS pro válcový dynamometr

Size: A4 | Date: | Rev: rev1
 KiCad E.D.A. kicad 4.0.4--stable | Id: 3/73

PŘÍLOHA C – SCHÉMA ZAPOJENÍ SYSTÉMU MĚŘENÍ PASIVNÍCH ZTRÁT





Název: Systém měření pasivních ztrát

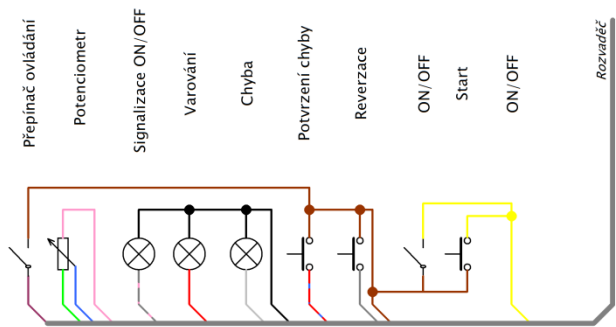
Index:

Datum: 22. 2. 2017

List: 2 / 3

Autor: Ondřej Zelenka

Revize:



Název: Systém měření pasivních ztrát

Index:

Datum: 22. 2. 2017

List: 3 / 3

Autor: Ondřej Zelenka

Revize:

PŘÍLOHA D – FORMÁT ZPRÁV NA SBĚRNICI CAN OBSLUHOVANÝCH MODULEM

Formát zpráv na sběrnici CAN															
Název:		Síla													
Směr:		TX													
ID:		0x01													
Velikost:		4B													
4B								3B							
X	X	X	X	X	X	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1	N0
2B								1B							
S15	S14	S13	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0
N9:N0		uint16		Filtrovaná hodnota z ADC (Napětí)											
S15:S0		uint16		Síla působící na tenzometr, offset 32768, rozlišení 0,1N											
X		Nevyužité bity													
Název:		Ovládání													
Směr:		RX													
ID:		0x03													
Velikost:		3B													
3B								2B							
O15	O14	O13	O12	O11	O10	O9	O8	O7	O6	O5	O4	O3	O2	O1	O0
1B															
X	X	X	X	P3	P2	P1	P0								
O15:O0		uint16		Žádané otáčky asynchronního motoru (v ot/min)											
P3		0, 1		Potvrzení chyby											
P2		0, 1		Reverzace											
P1		0, 1		ON/OFF ASM											
P0		0, 1		ON/OFF Ovládání po sběrnici CAN											
X		Nevyužité bity													
Název:		Ovládání													
Směr:		TX													
ID:		0x04													
Velikost:		1B													
1B															
X	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0								
P6		0, 1		Potvrzení nastavení offsetu ADC											
P5		0, 1		Varování (z měniče)											
P4		0, 1		Chyba (z měniče)											
P3		0, 1		Chyba připojení ručního ovladače											
P2		0, 1		Chyba připojení ovládání po sběrnici											
P1		0, 1		Potvrzení připojení ručního ovladače											
P0		0, 1		Potvrzení připojení ovládání po sběrnici											
X		Nevyužité bity													

Název:	Hlášení															
Směr:	RX															
ID:	0x06															
Velikost:	1B															
1B																
X	X	X	X	X	X	X	X	H0								
H0		0, 1		Hlášení na UART/USB ON/OFF												
Název:	Kalibrace															
Směr:	RX															
ID:	0x07															
Velikost:	8B															
8B								7B								
P15	P14	P13	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	P0	
6B								5B								
S15	S14	S13	S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	
4B								3B								
V15	V14	V13	V12	V11	V10	V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	V0	
2B								1B								
U15	U14	U13	U12	U11	U10	U9	U8	U7	U6	U5	U4	U3	U2	U1	U0	
P15:P0		uint16		Hodnota síly v bodě [2], offset 32768, rozlišení 0,1N												
S15:S0		uint17		Hodnota síly v bodě [1], offset 32768, rozlišení 0,1N												
V15:V0		uint18		Hodnota ADC v bodě [2], 10-bit												
U15:U0		uint19		Hodnota ADC v bodě [1], 10-bit												
Název:	Offset ADC															
Směr:	RX															
ID:	0x08															
Velikost:	0B															
Nastavuje offset ADC na okamžitou hodnotu																