

Abstrakt

Tato diplomová práce obsahuje základní popis funkce a zapojení Elektronického rychloměru RE1xx firmy UniControls – Tramex. Hlavním cílem této práce je návrh a realizace funkčního modulu, sdružujícího čtyři frekvenční vstupy, dva analogové vstupy a osm binárních vstupů. Navržený modul musí být plně kompatibilní se stávajícím systémem elektronického rychloměru a musí splňovat základní technicko-právní normy, týkající se dané oblasti použití tohoto zařízení.

Na základě rozboru metod zpracování jednotlivých snímaných signálů je navrženo několik koncepcí vstupního modulu. Jednotlivé koncepce jsou popsány včetně výhod a nevýhod. Na návrh koncepce tohoto modulu navazuje popis použitého snímače otáček, který je umístěn na nápravě vozu. Návrh obvodového zapojení zvolené koncepce je podrobně popsán a rozdělen do několika částí (řídící část, frekvenční vstupy, analogové vstupy, binární vstupy). U tohoto modulu je kladen důraz na zvýšenou spolehlivost a funkceschopnost, které je dosaženo použitím např. power monitoru, externího watchdogu atd. Z důvodu realizace prototypu je součástí práce návrh desky plošných spojů.

Práce obsahuje teoretické výpočty potřebné pro návrh programového vybavení. Na funkčním vzorku vstupního modulu je vypracován a odladěn provozní firmware, který je založen na jedno-vláknové koncepci programu. Pro měření aktuální rychlosti jsou odladěny dva algoritmy – metoda pravidelného vzorkování a metoda externích přerušení. Dále je uveden popis měření a zpracování analogových a binárních signálů (použité algoritmy potlačují zakmitávání vstupních signálů).

Výsledkem této diplomové práce je funkční vzorek Modulu frekvenčních, analogových a binárních vstupů, který měří rychlost kolejového vozidla, ujetou dráhu, směr pohybu, dva analogové signály a vyhodnocuje stavy jednotlivých binárních signálů. Předzpracovaná data jsou odesílána do Modulu centrálního procesoru sériovou komunikací RS485.

Klíčová slova

ATmega 64, Drážní vozidlo, Elektronický rychloměr, GEL 2710.X, Jednotka elektroniky, Tachograf, Vstupní modul.

Abstract

This master's thesis contains a basic description of the function and wiring of Electronic tachograph RE1xx from company UniControls - Tramex. The main objectives of this thesis are design and implementation of a functional module, combining the four frequency inputs, two analog inputs and eight digital inputs. The proposed module must be fully compatible with current system of Electronic tachograph and must be according by the basic technical-law standards, which refer of this branch for application this device.

Based on the analysis of methods of processing various signals are proposed several concepts of the input module. Individual concepts are described with advantages and disadvantages. On the design concept of this module, followed by a description of the speed sensor, is placed on the redress of vehicle. Design of circumferential involvement of the chosen conception is detailed described and divided into several parts (controlling part, frequency inputs, analog inputs, binary inputs). In this module is accent on increased reliability and interoperability, which is achieved by using for example: power monitor, external watchdog, etc. For realization prototype is a part of thesis design of the PCB.

Thesis includes theoretical calculations, which is needed for the design of software. On a functional input module is developed and debugged operating firmware, which is based on single-fiber design of the program. To measure the actual speed are debugged two algorithms - method of periodic sampling and the method of external interrupt. The following is a description of the measurement and processing of analog and digital signals (used algorithms suppress oscilation of input signals).

The result of this master's thesis is functional Module of frequency, analog and digital inputs, which measures vehicle speed, distance covered, direction of movement, two analog signals and evaluates states of the binary signal. Preprocessed data are sent to a Module of central processor through serial communications RS485.

Key words

ATmega 64, Rail vehicle, Electronic tachograph, GEL 2710.X, Unit of electronics, Tachograph, Input module.

Bibliografická citace

FEILHAUER, P. *Vstupní modul elektronického rychloměru RE 1xx*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 92 s., 27 s. příloh. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. František Zezulka, CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Vstupní modul elektronického rychloměru RE 1xx" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne : **24.května 2010**

Podpis:

P o d ě k o v á n í

Chtěl bych poděkovat všem lidem, bez nichž by nemohla tato práce vzniknout, především svému vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Františku Zezulkoví, CSc. za vedení, připomínky a poznámky k práci. Dále děkuji pracovníkům vývojového oddělení firmy UniControls – Tramex za odborné konzultace. V neposlední řadě děkuji také osobám blízkým, zejména za jejich podporu a pomoc při mém studiu.

V Brně dne : **24. května 2010**

Podpis:

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. ELEKTRONICKÝ RYCHLOMĚR RE1XX.....	12
2.1 Základní charakteristika	12
2.2 Základní charakteristika jednotlivých modulů.....	14
2.3 Souhrn základních technických parametrů	15
3. NÁVRH KONCEPCE MODULU VSTUPŮ	17
3.1 Požadavky na navrhovaný modul	17
3.2 Popis navrhovaného modulu.....	17
3.3 Možnosti uspořádání modulu.....	19
3.4 Volba nejvhodnější koncepce modulu	24
3.5 Popis modulu s ohledem na zvýšenou funkční spolehlivost a bezpečnost	25
3.6 Oblast působnosti ČSN EN 50121-3-2	27
3.7 Ochrany proti přepětí a EMC.....	27
3.8 Galvanické oddělení.....	28
4. SNÍMAČ OTÁČEK GEL 2710.X	29
5. OBVODOVÝ NÁVRH VSTUPNÍCH KANÁLŮ MODULU.....	31
5.1 Frekvenční vstupní kanál	31
5.2 Vstupní kanál binárních vstupů	37
5.3 Vstupní kanál pro měření analogových veličin.....	42
6. OBVODOVÝ NÁVRH ŘÍDICÍ A KOMUNIKAČNÍ ČÁSTI MODULU .	46
6.1 Napájení modulu.....	46
6.2 Řídicí obvod modulu.....	47
6.3 Komunikace RS485	48
6.4 Hlídací obvod – watchdog a power monitor	49
6.5 A/D převodník	50
6.6 Napájení A/D převodníku	51
6.7 Programování	52
6.8 Pull-up rezistory	52
7. NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	53
8. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ RYCHLOSTI.....	54

8.1	vyhodnocení rychlosti metodou čítání pulsů	54
8.2	Přehled průměrů kol kolejových vozidel	56
8.3	Mezní parametry snímače otáček.....	56
8.4	Výpočet vzorkovací frekvence.....	57
8.5	Výpočet chyby měření rychlosti	58
9.	POPIS ZPRACOVNÍ DAT A FUNKCE SW	61
9.1	Vyhodnocení binárních vstupů	62
9.2	Vyhodnocení analogových vstupů	62
9.3	Vyhodnocení rychlosti a směru pohybu.....	63
9.4	Způsob určení zrychlení vozidla	65
10.	POPIS FUNKCÍ PROVOZNÍHO SW	66
10.1	Architektura firmware	66
10.2	Nastavení I/O portů a pojistkových bitů	67
10.3	Popis knihoven a funkcí.....	69
10.4	Vyhodnocované chyby.....	76
10.5	Komunikace a popis vysílaných zpráv.....	76
10.6	Výsledný tvar FW a Časová náročnost FW	77
11.	PRAKTICKÁ MĚŘENÍ A ZKOUŽKY MODULU	78
11.1	Zkouška funkce hardwarového watchdogu a power monitoru	78
11.2	Měření proudových odběrů modulu v sestavě rychloměru.....	78
11.3	Měření vstupních kanálů.....	79
11.4	Celková výkonová ztráta modulu	81
11.5	Rozsah provozních teplot.....	81
11.6	Podmínky provedených měření	81
11.7	Výsledné parametry navrženého modulu.....	81
11.8	Vstupní moduly konkurenčních firem	82
12.	DALŠÍ MOŽNOSTI MODULU	83
13.	VÝSLEDNÁ CENA MODULU	84
14.	ZÁVĚR.....	85
15.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	88
16.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	91
17.	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

Tabulky:

Tab. 3.1: Základní parametry přepětových ochranných prvků	28
Tab. 5.1: Srovnání vlastností snímače otáček dle počtu kanálů	31
Tab. 8.1: Přehled trhu hnacích vozidel – průměr kol	56
Tab. 9.1: Přehled využívaných přerušení řídicího obvodu	61
Tab. 9.2: Vzájemná správa přerušení	61
Tab. 9.3: Nastavení inicializačních bitů	63
Tab. 9.4: Vyhodnocení směru pohybu vozidla	65
Tab. 9.5: Správa externích přerušení	65
Tab.10.1: Mapa I/O portů řídicího mikrokontroleru ATmega64	68
Tab.10.2: Nastavení pojistkových bitů	69
Tab.10.3: Stavby indikačních LED modulu	74

Obrázky:

Obr. 2.1: Blokové schéma stávající koncepce Elektronického rychloměru RE1xx ..	16
Obr. 3.1: Blokové schéma navrhovaného modulu	18
Obr. 3.2: Blokové schéma varianty A	20
Obr. 3.3: Blokové schéma varianty B	21
Obr. 3.4: Blokové schéma varianty C	22
Obr. 3.5: Blokové schéma varianty D	24
Obr. 3.6: Blokové schéma modulu, zvýšená provozní spolehlivost	26
Obr. 4.1: Ukázka montáže snímače GEL 2710.xx	29
Obr. 4.2: Průběh signálů snímače otáček pro čtyři kanály	30
Obr. 5.1: Blokové schéma – frekvenční vstup	32
Obr. 5.2: Obvodové schéma frekvenčního vstupního kanálu od snímače otáček	33
Obr. 5.3: Náhradní obvodové schéma vstupního filtru (frekvenční vstup)	36
Obr. 5.4: Blokové schéma – binární vstup	37
Obr. 5.5: Obvodové schéma vstupního kanálu binárních vstupů	38
Obr. 5.6: Blokové schéma – analogový vstup	43
Obr. 5.7: Obvodové schéma vstupního kanálu pro měření analogových veličin	44
Obr. 6.1: Blokové schéma modulu, zvýšená provozní spolehlivost	46
Obr. 6.2: Definování klidového stavu linky	49
Obr. 8.1: Průběh signálů snímače otáček	55
Obr. 9.1: Průběh komunikace mezi μC a AD převodníkem	63
Obr.10.1 Nastavení pojistkových bitů – PonyProg2000	69

1. ÚVOD

Elektronický rychloměr je zařízení na kolejovém vozidle, které slouží kromě generování výstupních signálů a záznamu provozních informací, zejména k měření aktuální rychlosti, ujeté dráhy, analogových signálů od snímačů fyzikálních veličin a dvoustavových signálů. Jednou z nejdůležitějších součástí elektronického rychloměru na kolejovém vozidle, kromě Modulu centrálního procesoru a paměti, je Modul frekvenčních, analogových a binárních vstupů. Tento modul slouží zejména k vykonávání výše uvedených činností.

Navrhovaný modul je jedinou částí Elektronického rychloměru, která zajišťuje informaci o pohybu kolejového vozidla. Při návrhu obvodového zapojení, ale i při návrhu provozního firmwaru, je kladen důraz na zvýšenou spolehlivost a funkceschopnost. Hnací kolejová vozidla v dnešní době dosahují provozní rychlosti v řádu stovek km/h. Dojde-li k poruše nebo výpadku navrženého modulu, musí obsluha hnacího vozidla ihned vozidlo odstavit z provozu, což pro provozovatele představuje značné ekonomické ztráty. V případě, že dojde v tomto okamžiku k nějaké mimořádné události, nebude z daného časového intervalu žádný časový záznam o průběhu rychlosti, tlaku vzduchu v průběžném brzdovém potrubí a mnoha dalších signálů, které by měl modul zpracovávat.

Na základě získaných poznatků je vypracován návrh koncepce modulu, který splňuje požadované vlastnosti a jeho realizace je v současné době ekonomicky nejvýhodnější. Podle zvolené koncepce je navrženo obvodové zapojení celého modulu, návrh desky plošných spojů a je provedena realizace modulu. V obvodovém návrhu je zahrnuta problematika přepětových ochran, galvanického oddělení, výkonových ztrát vstupních kanálů, EMC a mnoho dalších. Při návrhu DPS je kladen důraz na funkceschopnost a použití součástek povrchové montáže (zlevnění výroby a ceny modulu, vyšší spolehlivost a životnost). Modul vyhovuje technicko-právním normám a technickým parametrům kolejových vozidel.

Výsledkem této diplomové práce je realizovaný funkční vzorek vstupního modulu s vypracovaným a odladěným provozním firmwarem. Součástí realizace jsou základní provozní zkoušky modulu.

2. ELEKTRONICKÝ RYCHLOMĚR RE1XX

2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA [4]

Elektronický rychloměr typové řady RE1xx je elektronické zařízení určené pro provoz drážních kolejových vozidel. Mezi jeho základní funkce patří především:

- měření rychlosti
- zobrazení rychlosti
- záznam rychlosti
- záznam ujeté dráhy
- záznam statistických dat

Mimo zmíněných základních funkcí rychloměr umožňuje registraci a zpracování dvoustavových (binárních) a analogových vstupních signálů, které charakterizují dynamiku a vlastnosti jízdy kolejového vozidla.

Dalším úkolem rychloměru je řízení a ovlivňování funkcí jiných zařízení kolejového vozidla pomocí binárních výstupů – výstupních kontaktů relé nebo polovodičových spínačů. Tyto výstupy mohou být závislé na čase, rychlosti, ujeté dráze nebo jiných provozních událostech (např. pro impulsní ovládání mazání okolků, pískování nebo rychlostní spínací funkce pro ovládání zabezpečovacích zařízení vozidla, atd.).

Rychloměr může komunikovat (příjem a předávání provozních dat) s palubním počítačem vozidla a dalšími elektronickými zařízeními kolejového vozidla prostřednictvím sériové komunikace typu CAN eventuelně MVB, RS485 nebo RS422.

K záznamu dynamiky jízdy vozidla a všech provozních událostí včetně statistických údajů slouží polovodičová paměť FLASH. Zaznamenaná data je možné přenést do počítače PC a provést archivaci zaznamenaných dat a vyhodnocení dynamiky jízdy, případně vytisknout příslušné protokoly a grafy.

Elektronický rychloměr RE1xx sestává z následujících komponent:

- komunikační a indikační jednotka
- jednotka elektroniky
- snímač tlaku
- snímač otáček
- propojovací skříňka (svorkovnice)
- přijímač časové informace

Součástí rychloměru jsou maximálně dvě komunikační a indikační jednotky umístěné na stanovištích strojvedoucího, které slouží především k zobrazování rychlosti a k zadávání statistických údajů. Informace o pohybu (rychlosti) vozidla jsou získávány ze snímače otáček, který je umístěn na nápravě (domku dvojkolí). Jednotka elektroniky, komunikační a indikační jednotka, snímač tlaku a přijímač časové informace jsou umístěny uvnitř skříně vozidla. Propojovací skříňka je montována na rám vozidla.

Pozn.: Blokové schéma zapojení stávající koncepce je uvedeno na obrázku 2.1.

Elektronický rychloměr je víceprocesorový systém, kde je vzájemná komunikace mezi moduly založena na sériovém rozhraní RS485. Řídící jednotkou je *Modul centrálního procesoru a paměti*.

Jednotka elektroniky RJE sestává z těchto zásuvných modulů:

- Modul centrálního procesoru s pamětí záznamu (**CPP**)
- Modul binárních, analogových a frekvenčních vstupů (**DAS**)
- Modul binárních vstupů, reléových a polovodičových výstupů (**DRP**)
- Modul binárních vstupů (**DIN**)
- Modul reléových výstupů (**ROT**)
- Modul napájecího zdroje (**NZE**)
- Plošná kabeláž (**PKE**)
- Modul sériové komunikace (**DSK**)
- Modul stahování dat na USB FLASH disk (**USB**)

2.2 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH MODULŮ

Vzájemné vazby mezi moduly elektronického rychloměru jsou patrné z obrázku 2.1. Pro návrh vstupního modulu je potřebné uvést popis zejména modulů **CPP**, **NZE** a **PKE**.

2.2.1 Modul centrálního procesoru s pamětí záznamu CPP

Díky tomu, že tento modul obsahuje řídicí počítač elektronického rychloměru, slouží k řízení celého rychloměru a komunikaci s *komunikační a indikační jednotkou RJI* a použitými moduly *jednotky elektroniky RJE*.

Modul vyhodnocuje předzpracovaná vstupní data získaná ostatními moduly a řídí činnost všech reléových a polovodičových výstupů. Dochází zde ke shromažďování, zpracování a ukládání údajů o průběhu jízdy vozidla do paměti záznamu typu FLASH.

Pomocí sériového rozhraní RS485 řídicí počítač komunikuje a řídí činnost ostatních modulů *jednotky elektroniky RJE*. Dvě *komunikační a indikační jednotky RJI* se k řídicímu počítači připojují prostřednictvím dvou-vláknového optického kabelu.

Kvůli smysluplnosti a věrohodnosti zaznamenaných údajů o jízdě je nutné zaznamenávat i čas. Součástí řídicího počítače je tedy i obvod vnitřních hodin a kalendáře. Tento obvod je nezávislý na stavu napájení vozidla, protože je zálohovaný baterií instalovanou přímo na modulu. Věrohodnost záznamu je závislá na správnosti zaznamenané časové informace, proto je chod vnitřních hodin možno synchronizovat pomocí *přijímače časové informace DCF*, který je umístěn přímo ve vozidle.

Údaje charakterizující vlastnosti a dynamiku jízdy vozidla jsou ukládány do paměti FLASH, která je umístěna přímo na desce modulu **CPP**.

Modul na svém čelním panelu obsahuje kromě konektorů pro připojení jednotek **RJI** také konektor pro připojení **DCF** nebo servisního počítače (sériová komunikace RS232), pro diagnostiku a parametrizaci systému rychloměru. Stahování dat z paměti FLASH se provádí do notebooku prostřednictvím USB kabelu. Kromě

konektoru USB je k dispozici i konektor pro připojení paralelního portu PC (záložní způsob) pro stahování dat z paměti.

2.2.2 Modul napájecího zdroje NZE

Tento modul poskytuje potřebné napájecí napětí pro celou *jednotku elektroniky RJE*. K tomu slouží dva pulsní měniče. Pro napájení externích zařízení (např. *snímač otáček*) je použit třetí pulsní měnič.

2.2.3 Plošná kabeláž PKE

Hlavním úkolem je zajištění propojení jednotlivých modulů (rozvod napájecího napětí, sériové komunikace, atd.).

2.3 SOUHRN ZÁKLADNÍCH TECHNICKÝCH PARAMETRŮ [4]

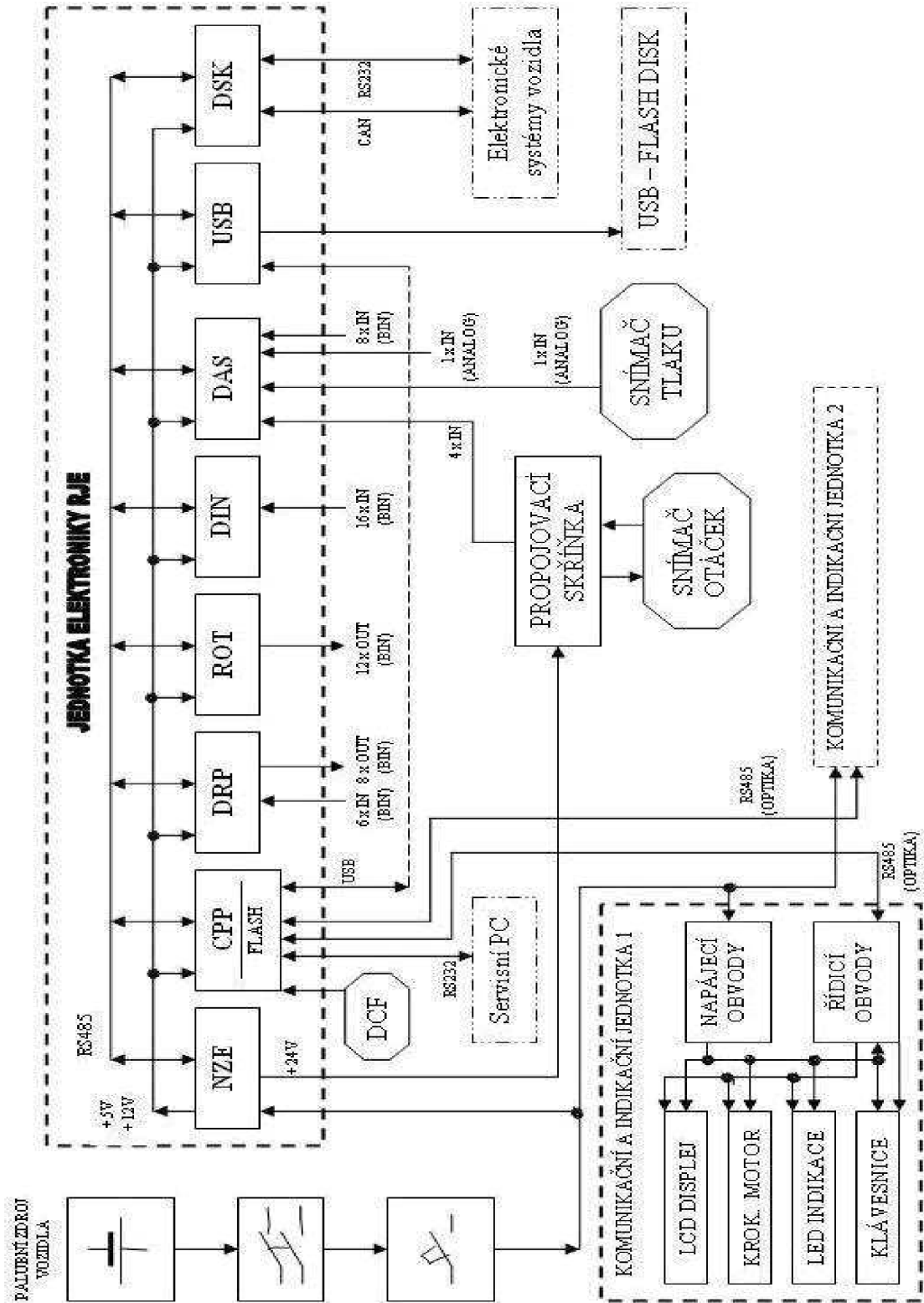
Jmenovité napájecí napětí: 24 V_{ss}, 48 V_{ss}, 72 až 110 V_{ss} (- 30 % + 25 %)

Rychlostní rozsahy stupnice: 80, 100, 140, 180, 200, 250 km/h

Třída přesnosti indikace okamžité rychlosti: 1,5 (rozlišovací schopnost 1 km/h)

Třída přesnosti zobrazení předvolené rychlosti: 2,0

Třída přesnosti zobrazení maximální rychlosti: 2,0



Obrázek 2.1: Blokové schéma stávající koncepce Elektronického rychloměru RE1xx [4]

3. NÁVRH KONCEPCE MODULU VSTUPŮ

3.1 POŽADAVKY NA NAVRHOVANÝ MODUL

Tento modul je součástí modulárního zařízení Elektronického rychloměru řady RE1xx firmy UniControls-Tramex. Modul je primárním členem pro měření a v případě potřeby i pro výpočet ujeté dráhy, rychlosti a zrychlení kolejového vozidla. Dále modul slouží k zpracování analogových signálů (např. snímače neelektrických veličiny s analogovým výstupem) a dvoustavových vstupních signálů (např. snímání stavu tlačítek, stykačů apod.). Pro správnou funkci a možnost rozšíření stávajícího zařízení o tento navrhovaný modul je tedy nutné dodržet mechanickou, hardwarovou a softwarovou kompatibilitu. Z výše uvedeného výčtu funkcí je patrné, že se jedná o zařízení složité a náročné jednak na samotný funkční návrh, obvodový návrh, softwarové vybavení, zvýšenou spolehlivost plynoucí z dané aplikace a dlouhodobou stálost a životnost.

Zajištění mechanické kompatibility [4]

Elektronický rychloměr RE1xx je stavebnicové koncepce, která se skládá ze zásuvných modulů s deskami plošných spojů normalizovaného formátu 100 x 160 mm. Šířka jednotlivých modulů je násobkem 20 mm. Jednotlivé moduly jsou zasunuty do kazety standardu 3U, kde jsou vzájemně propojeny plošnou kabeláží.

Zajištění hardwarové kompatibility [4]

Připojení modulu k plošné kabeláži, vzhledem k jejímu provedení, je nutné provést systémovým zásuvným konektorem typu C. Pro připojení modulu k externí kabeláži je nutné použít zásuvný konektor typu F.

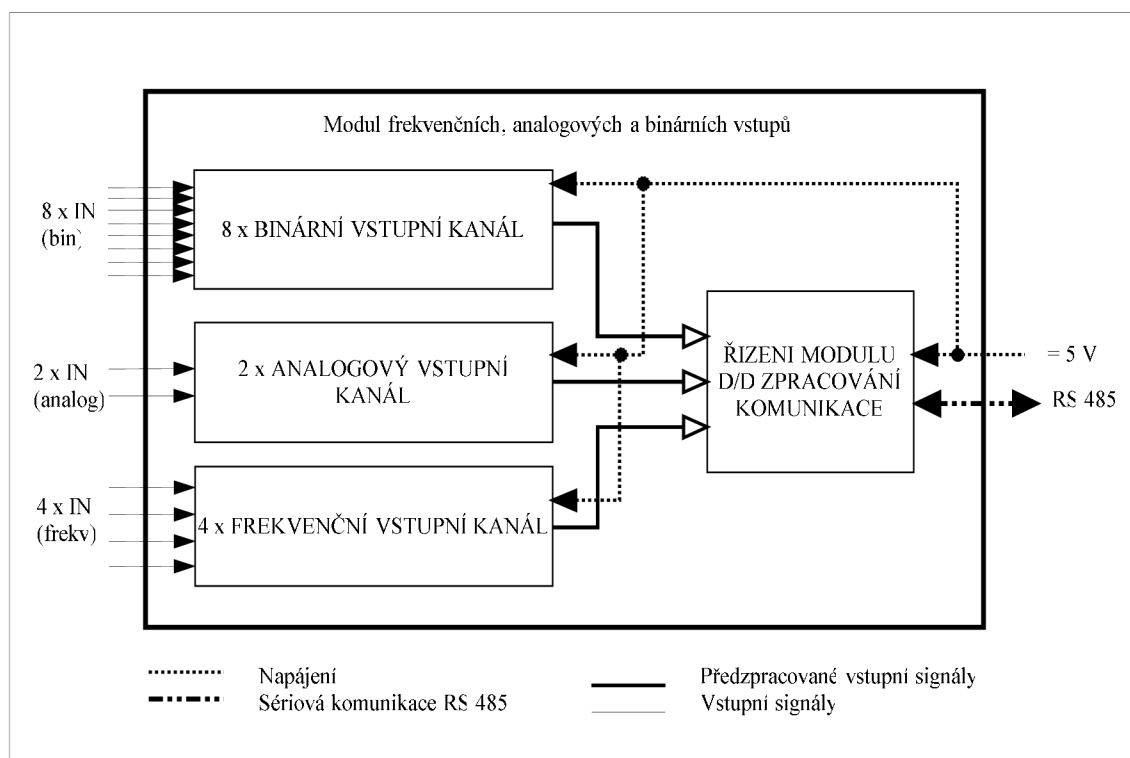
3.2 POPIS NAVRHOVANÉHO MODULU

Snímač otáček, který je mechanicky spojen s dvojkolím vozidla, je pro tachograf primárním (v současné době jediným) zdrojem informace o pohybu vozidla. Je tedy nutné brát zřetel na zvýšenou spolehlivost celého zařízení – např. s ohledem na působící vibrace, výpadky napájecího napětí, EMC, přepětí měřených signálů, kvalitu návrhu modulu apod.

Modul obsahuje tyto vstupní kanály:

- 8x binární vstup
- 2x analogový vstup
- 4x frekvenční vstup

Toto obsazení modulu již nedovoluje rozšíření o další vstupní kanály, jelikož je plně obsazen externí zásuvný konektor modulu. Blokové schéma modulu je znázorněno na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Blokové schéma navrhovaného modulu

Měřené signály vstupující z technologie do tohoto modulu mohou být silně zarušené nebo mohou obsahovat krátkodobá přepětí. Vstupní kanály (frekvenční, binární i analogové) je tedy nutno ochránit vůči přepětí a EMC. Dále je potřeba zabránit šíření rušení do řídicích obvodů modulu a dalších modulů elektronického rychloměru.

- Další požadavky**
- galvanické oddělení měřicích kanálů od elektroniky rychloměru
 - sériová komunikace po RS485 s nadřazeným modulem

3.3 MOŽNOSTI USPOŘÁDÁNÍ MODULU

Koncepci navrhovaného modulu lze řešit několika možnými způsoby, zde budou uvedeny čtyři základní. Každá navržená varianta má jisté přednosti a určité nevýhody, které jsou u každé z nich uvedeny.

3.3.1 Varianta A

Blokové schéma varianty A je uvedeno na obrázku 3.2.

Binární vstupy

- každý dvoustavový vstupní signál je přiveden přes galvanické oddělení na I/O bránu řídicího mikrokontroleru (popř. mapované I/O periferie), kde dochází ke vzorkování signálů.

Analogové vstupy

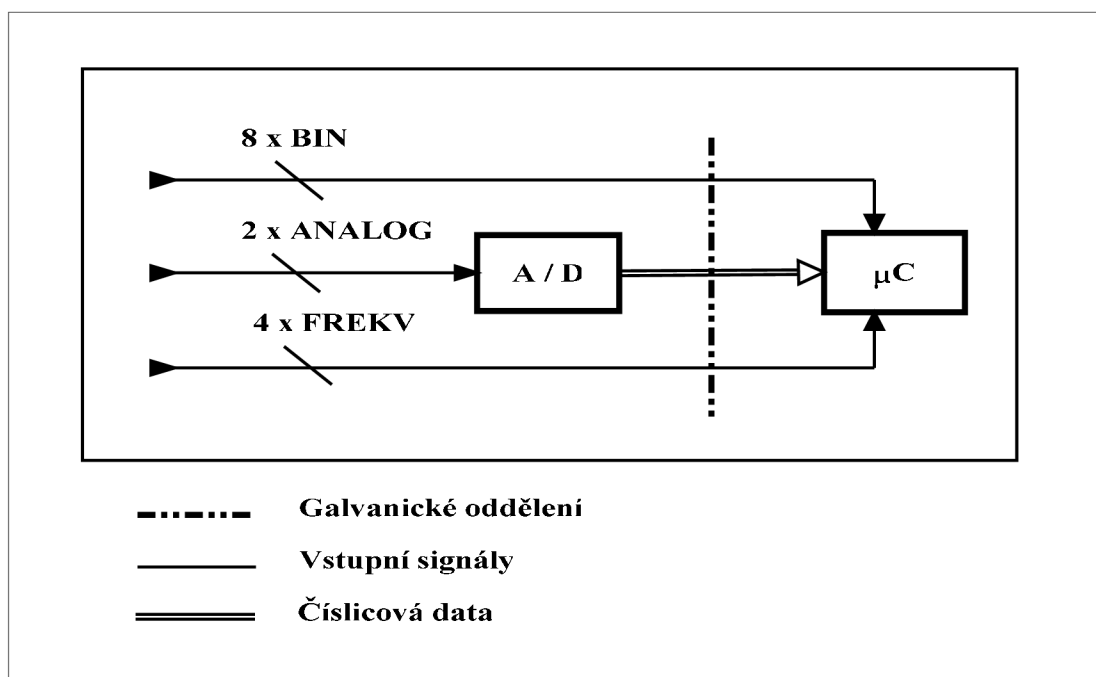
- v plovoucí části modulu je umístěn dvou-kanálový, popř. dva jedno-kanálové A/D převodníky, které jsou napájeny z galvanicky odděleného zdroje. Řízení převodníku je provedeno signály z řídicího mikrokontroleru, které musí být galvanicky odděleny. Číslcová data jsou předávána převodníkem řídicímu obvodu po galvanicky oddělené sériové komunikaci, popř. sérioparalelně po čtyřech bitech s využitím časovacího signálu.

Frekvenční vstupy

- každý signál od snímače otáček je přiveden přes galvanické oddělení na I/O bránu řídicího mikrokontroleru (popř. mapované I/O periferie), kde dochází ke vzorkování signálů.

Výhody a nevýhody tohoto uspořádání:

- + jednoduché řešení
- + velká odolnost vůči rušení
- + provozní software pouze pro řídicí obvod
- galvanicky oddělený zdroj pro AD převodník
- velké množství prvků pro galvanické oddělení signálů



Obrázek 3.2: Blokové schéma varianty A

Pozn.: Pro měření analogových vstupů lze místo samostatného A/D převodníku použít mikrokontroler vybavený A/D převodníkem. Nevýhodou této varianty je nutnost vypracovat provozní FW pro oba mikrokontrolery. (Nevýhody viz. varianta C)

3.3.2 Varianta B

Blokové schéma varianty B je uvedeno na obrázku 3.3.

Binární vstupy

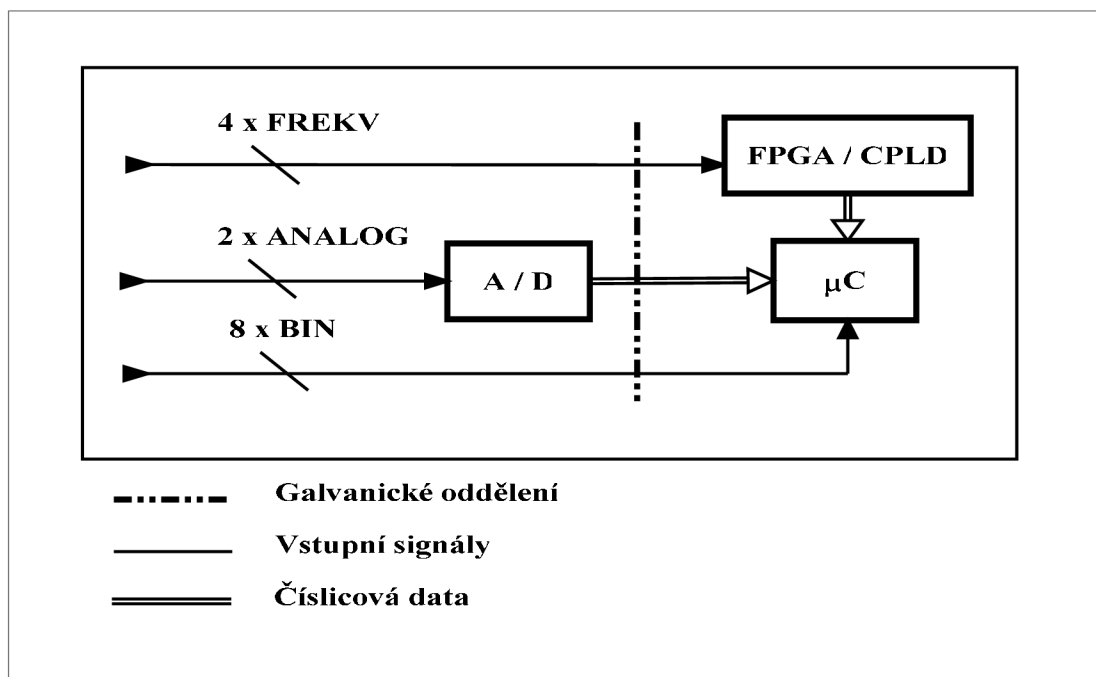
- každý dvoustavový vstupní signál je přiveden přes galvanické oddělení na I/O bránu řídicího mikrokontroleru (popř. mapované I/O periferie), kde dochází ke vzorkování signálů.

Analogové vstupy

- v plovoucí části modulu je umístěn dvou-kanálový, popř. dva jedno-kanálové A/D převodníky, které jsou napájeny z galvanicky odděleného zdroje. Řízení převodníku je provedeno signály z řídicího mikrokontroleru, které musí být galvanicky odděleny. Číslicová data jsou předávána převodníkem řídicímu obvodu po galvanicky oddělené sériové komunikaci, popř. sérioparalelně po čtyřech bitech s využitím časovacího signálu.

Frekvenční vstupy

- každý signál od snímače otáček je přiveden přes galvanické oddělení na vstupní pin hradlového pole (FPGA popř. CPLD). V tomto obvodu jsou implementovány hardwarové čítače a hardwarová logika pro určení směru pohybu.



Obrázek 3.3: Blokové schéma varianty B

Pozn.: Pro měření analogových vstupů lze místo samostatného A/D převodníku použít mikrokontroler vybavený A/D převodníkem. Nevýhodou této varianty je nutnost vypracovat provozní FW pro oba mikrokontrolery. (Nevýhody viz. varianta C)

Výhody a nevýhody tohoto uspořádání:

- + velká odolnost vůči rušení
- + snížení výpočetní zátěže řídicího mikrokontroleru
- + provozní software pouze pro řídicí obvod
- galvanicky oddělený zdroj pro AD převodník
- velké množství prvků pro galvanické oddělení signálů
- v případě použití hradlového pole typu FPGA, je nutné vždy po zapnutí napájení nahrát obvodové zapojení do obvodu

3.3.3 Varianta C

Blokové schéma varianty C je uvedeno na obrázku 3.4.

Binární vstupy

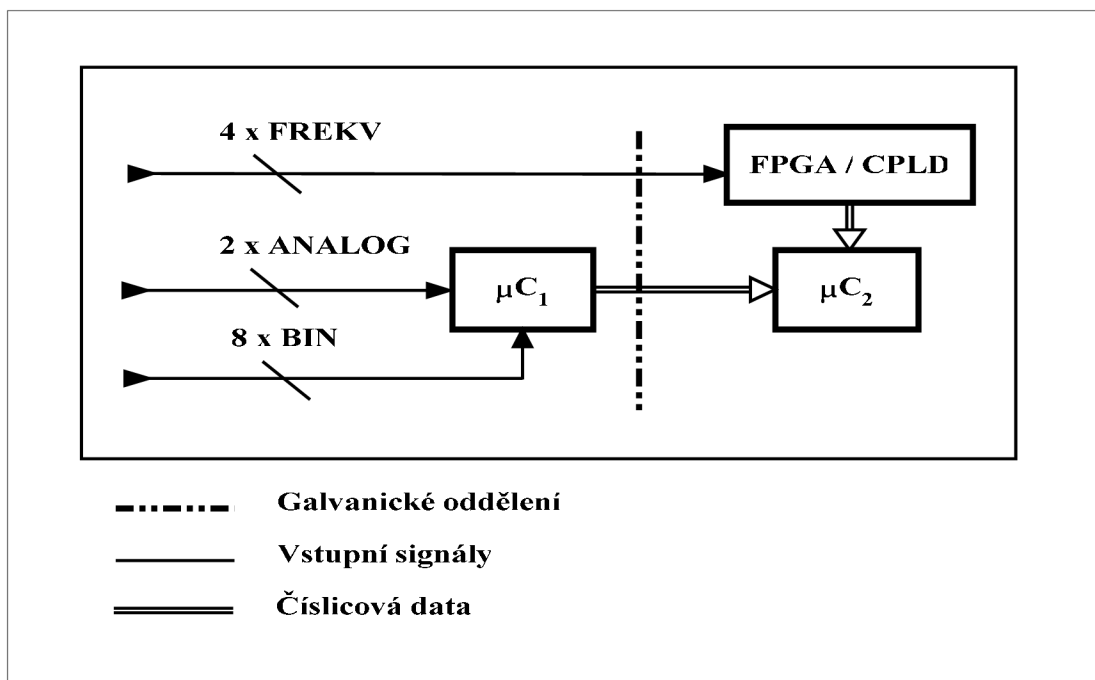
- každý dvoustavový vstupní signál je přiveden na I/O bránu mikrokontroleru, který je umístěn v plovoucí části modulu. Mikrokontroler provede navzorkování a předzpracování signálů. Obvod je napájen z galvanicky odděleného zdroje.

Analogové vstupy

- v plovoucí části modulu je umístěn mikrokontroler, který obsahuje jeden či více A/D převodníků. Obvod je napájen z galvanicky odděleného zdroje. Řídicí povely a zpětně číslcová data měřených analogových signálů a stavy binárních vstupů jsou předávány po galvanicky oddělené sériové komunikaci mezi mikrokontrolerem v plovoucí části obvodu a řídicím mikrokontrolerem.

Frekvenční vstupy

- každý signál od snímače otáček je přiveden přes galvanické oddělení na vstupní pin hradlového pole (FPGA popř. CPLD). V tomto obvodu jsou implementovány hardwarové čítače a hardwarová logika pro určení směru pohybu.



Obrázek 3.4: Blokové schéma varianty C

Výhody a nevýhody tohoto uspořádání:

- + snížení výpočetní zátěže řídicího mikrokontroleru
- + menší počet prvků pro galvanické oddělení
- **binární kanály nejsou vůči sobě galvanicky odděleny**
- obvod μC_1 bude více ovlivňován rušením
- galvanicky oddělený zdroj pro μC_1
- provozní FW pro dva mikrokontrolery
- v případě použití hradlového pole typu FPGA, je nutné vždy po zapnutí napájení nahrát obvodové zapojení do obvodu

3.3.4 Varianta D

Blokové schéma varianty D je uvedeno na obrázku 3.5.

Binární vstupy

- každý dvoustavový vstupní signál je přiveden na I/O bránu mikrokontroleru, který je umístěn v plovoucí části modulu. Mikrokontroler provede navzorkování a předzpracování signálů. Obvod je napájen z galvanicky odděleného zdroje.

Analogové vstupy

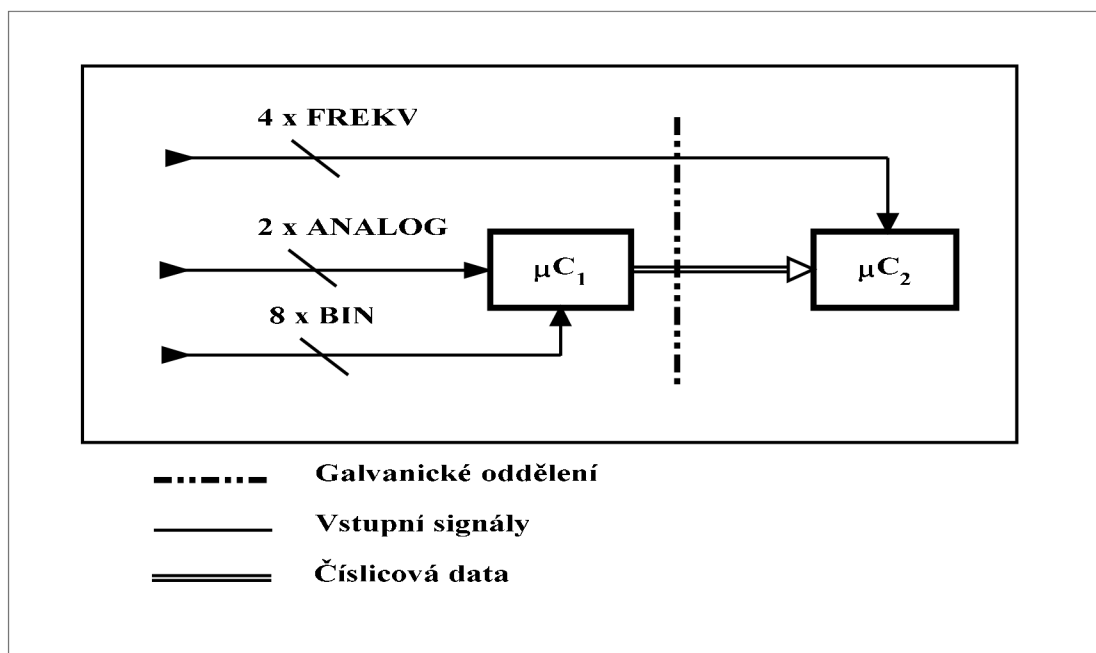
- v plovoucí části modulu je umístěn mikrokontroler, který obsahuje jeden či více AD převodníků. Obvod je napájen z galvanicky odděleného zdroje. Řídicí povely a zpětně číslicová data měřených analogových signálů a stavy binárních vstupů jsou předávány po galvanicky oddělené sériové komunikaci mezi mikrokontrolerem v plovoucí části obvodu a řídicím mikrokontrolerem.

Frekvenční vstupy

- každý signál od snímače otáček je přiveden přes galvanické oddělení na I/O bránu řídicího mikrokontroleru (popř. mapované I/O periferie), kde dochází k vzorkování signálů.

Výhody a nevýhody tohoto uspořádání:

- + menší počet prvků pro galvanické oddělení
- + snížení výpočetní zátěže řídicího mikrokontroleru
- **binární kanály nejsou vůči sobě galvanicky odděleny**
- obvod μC_1 bude více ovlivňován rušením
- galvanicky oddělený zdroj pro μC_1
- provozní FW pro dva mikrokontrolery



Obrázek 3.5: Blokové schéma varianty D

3.4 VOLBA NEJVHODNĚJŠÍ KONCEPCE MODULU

Z výše navržených koncepcí modulu výběr nejvhodnější varianty závisí zejména na srovnání výhod, nevýhod a možností realizace jednotlivých variant. Budou-li binární signály vzorkovány mikrokontrolerem umístěným v plovoucí části modulu, může dojít vlivem rozdílnosti potenciálů měřených signálů ke zničení tohoto obvodu. Z tohoto důvodu lze vyloučit varianty C a D. Variantu B, kde je využito hradlové pole k zpracování (popř. předzpracování) signálů od snímače otáček, je vhodné zahrnout do návrhu tehdy, nebude-li řídicí obvod stíhat vzorkovat a zpracovávat signály od snímače otáček. Rychlost je potřeba měřit s vysokou přesností v širokém rozsahu rychlostí. Bude-li řídicí mikrokontroler disponovat dostatečnou výpočetní rychlostí a dané úkony bude provádět s dostatečnou časovou rezervou je zbytečné hradlové pole v zapojení používat, protože zbytečně zvyšuje výkonovou ztrátu modulu, komplikuje obvodový návrh a v neposlední řadě výrazně prodražuje celý modul.

Velice jednoduché, odolné a levné řešení je varianta A. Pro volbu této koncepce je třeba použít dostatečně výpočetně výkonný řídicí mikrokontroler a vhodně optimalizovat výpočetní metodu s ohledem na dobu výpočtu. Výpočet rychlosti vzorkování signálů od snímače otáček a tedy zjištění maximální možné

doby na provedení potřebných výpočtů rychlosti, ujeté dráhy, zrychlení, komunikaci atd., bude uvedeno dále v práci.

3.5 POPIS MODULU S OHLEDEM NA ZVÝŠENOU FUNKČNÍ SPOLEHLIVOST A BEZPEČNOST

S ohledem na použití daného zařízení je nutné zabezpečit zvýšenou spolehlivost, funkční bezpečnost a dlouhou životnost. Je potřebné modul vybavit obvody, které dané funkce zabezpečí. Mezi základní části navrženého modulu bude patřit power monitor a watchdog.

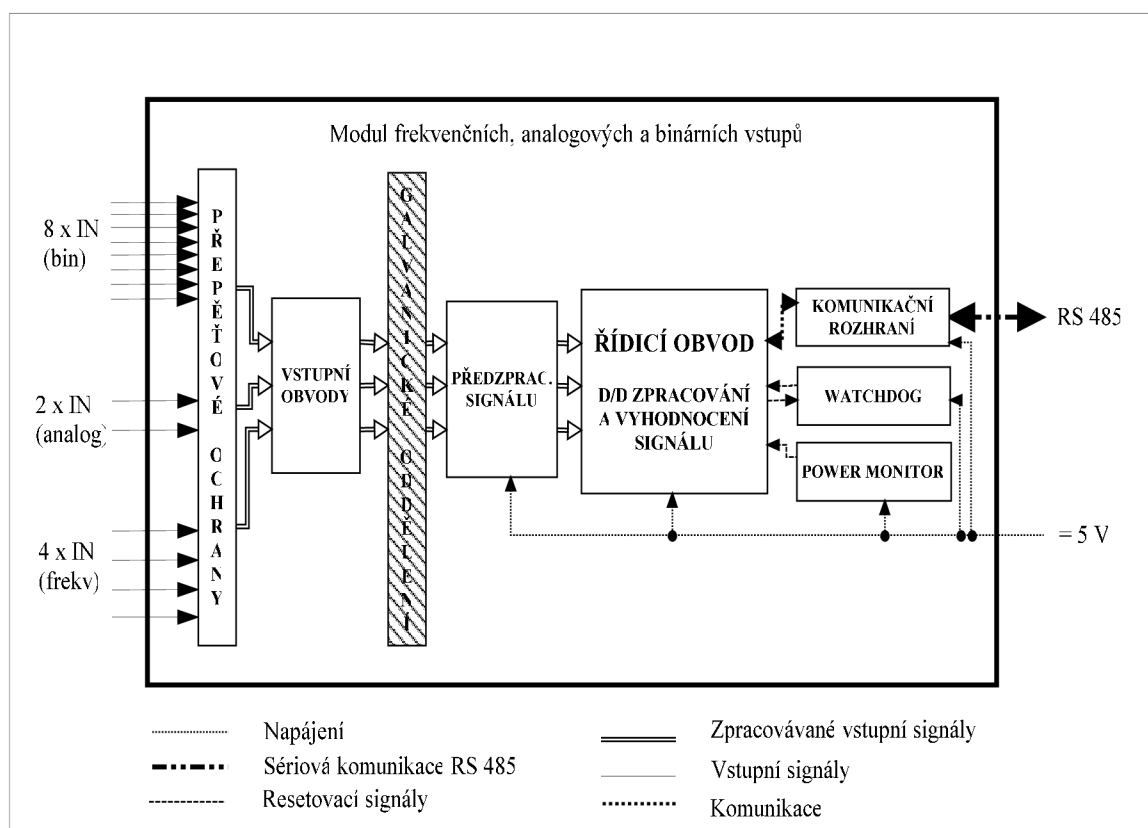
Power monitor – jedná se o obvod, který kontroluje úroveň napájecího napětí a v případě výpadku, poklesu pod určitou hodnotu nebo malé strmosti náběhu napájecího napětí provádí reset mikrokontroleru po definované době.

Během provozu mohou nastat tři nestandardní stavy napájení:

- pomalý vzestup napájecího napětí – strmost je menší než určitá hodnota (např. 0,05 V / ms)
- blackout – stav, kdy dojde k úplnému výpadku napájecího napětí
- brownout – stav, kdy dochází ke krátkým poklesům napájecího napětí na nedostatečnou úroveň napájecího napětí

Během výše uvedených stavů napájecího napětí, může dojít k chybnému naběhnutí mikrokontroleru nebo výpadku funkce mikrokontroleru. Z těchto důvodů bude použit power monitor, který bude resetovat mikrokontroler minimálně po dobu poklesu napájecího napětí (tzn. vrátí-li se napětí na požadovanou hodnotu bude mikrokontroler v resetu ještě definovanou dobu např. 50 ms).

Řada dnes dostupných mikrokontrolerů má ve své struktuře integrován watchdog, kontrolující činnost celého obvodu. Pro zvýšení funkční bezpečnosti bude na modulu implementován externí watchdog. Tento obvod bude dohlížet na činnost řídicího mikrokontroleru, který bude muset provádět pravidelnou odezvu. Nedojde-li k odezvě řídicího obvodu (např. vlivem zacyklení mikrokontroleru), provede obvod watchdogu reset mikrokontroleru po definované době.



Obrázek 3.6: Blokové schéma modulu, zvýšená provozní spolehlivost

Nezapojené nebo nevyužité vstupní piny mikrokontroleru a použitých logických obvodů je nutné připojit na napájecí napětí nebo na zem a definovat tak jejich logický stav. Jednotlivé signály, zejména u obvodů s otevřeným kolektorem nebo třístavovým výstupem, je nutné pro správnou činnost ošetřit pull-up nebo pull-down rezistory (trvale definovaný logický stav a zrychlení náběžných hran).

Komunikace s modulem centrálního procesoru je provedena pomocí sériové komunikace RS 485, která se vyznačuje značnou odolností vůči rušení díky diferenciálnímu zapojení.

Na funkční bezpečnost bude mít vliv zejména navržený provozní firmware, jehož vlastnosti budou popsány později. U řídicího mikrokontroleru je důležité softwarově ošetřit všechny nevyužité I/O porty, aby nezůstaly v nedefinovaném stavu a nedocházelo k ovlivňování vnitřní struktury obvodu.

Podrobné blokové schéma modulu s výše popsanými doplňujícími obvody je znázorněno na obrázku 3.6.

3.6 OBLAST PŮSOBNOSTI ČSN EN 50121-3-2

ČSN EN 50121-3-2 Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita Část 3-2: Drážní vozidla – zařízení

Tato norma platí pro emise a odolnost z hlediska EMC pro elektrická a elektronická zařízení určená k použití na železničním drážním vozidle. Předpokládaný kmitočtový rozsah je od DC do 400 GHz. Tato norma neplatí pro přechodné emise při zapnutí a vypnutí zařízení.

Základním problémem při zpracování jednotlivých signálů je nutnost galvanického oddělení vstupních kanálů proti dalším částem elektronického rychloměru. Předzpracování nebo úpravy signálů je nutno provést před galvanickým oddělením v tzv. plovoucí části modulu.

Plovoucí část modulu bude obsahovat ochranu jednotlivých kanálů vůči krátkodobému přepětí a EMC. Vlivem špatně navržené ochrany může docházet k výpadku činnosti navrženého modulu nebo ostatních modulů sestavy elektronického rychloměru. V krajním případě může dojít i ke zničení daného modulu popř. celého rychloměru. Problematiku přepětí a EMC je potřeba důkladně rozebrat.

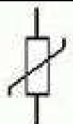


3.7 OCHRANY PROTI PŘEPĚTÍ A EMC

Základní ochranu vůči krátkodobému přepětí dělíme na „hrubou“ a jemnou“. V první řadě lze použít jako „hrubou“ ochranu varistorů (Voltage Dependent Resistor - VDR) a pro „jemnou“ ochranu Zenerovy diody a supresorové diody (tzv. transily). Vlastnosti jednotlivých prvků jsou uvedeny v tabulce 3.1. Z tabulky je patrné, že varistorů jsou schopny absorbovat velké množství energie, ale jejich rychlost reakce je v řádu desítek nanosekund. Jsou vhodné zejména pro krátkodobé přepětí a díky své rychlosti jako „hrubá přepětíová ochrana“. Transily se vyznačují velmi vysokou rychlostí reakce na přepětí a vysokou hodnotou průchozího proudu. Jsou vhodné zejména jako jemná přepětíová ochrana – ochrana vůči velmi krátkým elektrickým pulzům.

Budou-li vstupní obvody namáhány přepětím delší dobu nebo velmi vysokým napětím, dojde k destrukci ochranných prvků. V tomto případě je nutné vstupní obvody opatřit externí přepětíovou ochranou, která chrání vstupní obvody elektronického rychloměru před destrukcí. Výše popsaná situace může nastat

v případě poruchového stavu na kolejovém vozidle (např. u starých vozidel nevhodnou elektroinstalací nebo starými ochrannými prvky elektrických rozvodů vozidla, které již neplní původní funkci).

Návrh desky plošného spoje je nutné přizpůsobit požadavkům na EMC (bude rozebráno při obvodovém návrhu modulu), kdy je nutné se řídit určitými pravidly a doporučeními kladení spojů. Při využití vhodného schematického editoru lze provést simulace daného návrhu.

Název	Varistory	Zenerovy diody	Supresorové diody (Transily)
Schematická značka			
Ochranné napětí [V]	6 ÷ 2 000	2,4 ÷ 200	6 ÷ 440
Maximální proud po dobu 1 ms [A]	120	10	200
Max. absorbovaná energie [J]	2 000	0,1	1
Přípustné výkonové zatížení [W]	2	50	5
Vlastní kapacita [pF]	40 ÷ 40 000	5 ÷ 15 000	300 ÷ 15 000
Doba reakce[ns]	25	10	0,01
Druh ochrany	hrubá	jemná	jemná

Tabulka 3.1: Základní parametry přepětových ochranných prvků [5,23]

3.8 GALVANICKÉ ODDĚLENÍ

Ke galvanickému oddělení jednotlivých vstupních kanálů a komunikačních signálů mezi plovoucí a neplovoucí částí modulu budou použity optočleny s izolační pevností min. 2500 V. S ohledem na galvanické oddělení bude proveden i návrh desky plošného spoje), kdy je nutné se řídit určitými pravidly a doporučeními kladení spojů. Výběr použitých optočlenů bude závislý na velikosti izolačního napětí a maximální možné pracovní frekvenci. Maximální pracovní frekvence je určena zejména maximální frekvencí signálů od snímače otáček a komunikačních signálů mezi řídicím obvodem a AD převodníkem v plovoucí části modulu.

Pro napájení AD převodníků v plovoucí části modulu (popř. dalších obvodů vyžadujících napájení v plovoucí části modulu) bude nutno použít DC/DC měnič s požadovanou izolační pevností min. 2500 V.

4. SNÍMAČ OTÁČEK GEL 2710.X

Snímač otáček typové řady GEL 2710.x je pasivní snímač (vyžadující napájení) úhlové rychlosti a otáček, vyráběný firmou LENORD+BAUER. Snímač řadíme mezi impulsní snímače otáček, který využívá čidla založena na magnetickém principu – jsou použity Hallovy sondy. Magnetický princip měření zajišťuje robustnost snímače, značnou odolnost vůči špíně, olejům a kondenzaci vlhkosti.

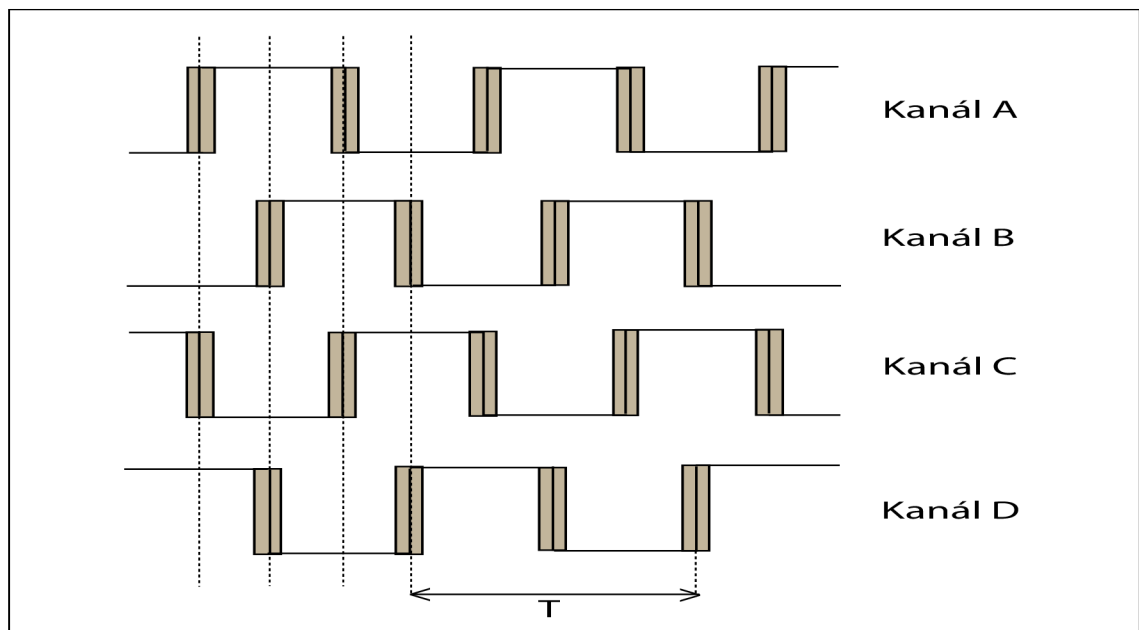
Tento vícekanálový snímač je speciálně určený pro potřeby kolejových vozidel. Je navržen tak, aby poskytoval nezávislé výstupní signály pro další zpracování a vyhodnocení.

Technické parametry snímače:

Počet kanálů	4
Fázový posun mezi 2 kanály	90°
Počet pulsů na 1 otáčku	100
Střída výstupních signálů	50 % ± 10 %
Napájecí napětí U_{CC}	10 - 30 V DC
Proudový odběr na 1 kanál (na prázdko)	≤ 30 mA
Výstupní signál	obdélníkový průběh
• logická 1	$U_{CC} - 2 \text{ V}$
• logická 0	< 2 V
Maximální otáčky	5000 min ⁻¹
Hmotnost	2000 g (bez přívodního kabelu)
Rozsah pracovních teplot	- 40 °C až + 100 °C
IP – ochrana	IP 67



Obrázek 4.1: Ukázka montáže snímače GEL 2710.xx [33]



Obrázek 4.2: Průběh signálů snímače otáček pro čtyři kanály

Způsob montáže a uchycení snímače

Tento snímač otáček je montován pomocí příruby na nápravu vozidla. Samotné dvojkolí, jehož otáčky měříme, je spojeno se snímačem pomocí mechanické spojky – vidličky. Vidlička zabezpečuje spojení mezi pohyblivou částí snímače a rotujícím dvojkolím. Díky svému tvaru chrání snímač před poškozením vlivem nesouososti (snímač – dvojkolí).

Výhody a nevýhody snímače

- + poměrně jednoduché zpracování signálu
- + vysoká spolehlivost
- + při použití dvou a více kanálů lze rozlišit směr pohybu
- + při použití čtyř a více kanálů a použití vhodného softwaru stoupá spolehlivost, kdy snímač je schopen provozu i při výpadku některého z čidel
- + spolehlivý provoz i v případě netěsnosti krytu
- umístění na nápravě vozidla – těžké pracovní podmínky
- nutnost použít spojku pro spojení s dvojkolím – dochází k opotřebení
- nutnost napájení
- vysoké nároky na propojovací kabel
- problémy s vyhodnocováním při prokluzu či zablokování dvojkolí

5. OBVODOVÝ NÁVRH VSTUPNÍCH KANÁLŮ MODULU

5.1 FREKVENČNÍ VSTUPNÍ KANÁL

5.1.1 Obecný popis frekvenčních vstupů

Použitý snímač otáček disponuje čtyřmi výstupními signály, které budou sloužit k vyhodnocování pohybu vozidla. Modul bude obsahovat čtyři frekvenční vstupy, na každý vstup bude přiveden jeden z těchto signálů. Větší počet signálů od snímače otáček komplikuje a prodražuje obvodový návrh modulu, zvyšuje nároky na rychlost zpracování a vyhodnocení. Kromě uvedených nevýhod, vzrůstá spolehlivost zařízení, přesnost měření a možnosti vyhodnocení pohybu vozidla.

Z tabulky 5.1 je patrné, že volba čtyř-kanálového snímače otáček je optimální vzhledem k zachování funkce i v případě výpadku jednoho kanálu (popř. dvou - viz. tabulka 5.1). Snímač otáček je umístěn na nápravě vozidla a je mechanicky spojen s dvojkolím, toto umístění má za následek zvýšené riziko výskytu poruch, protože je podroben nejsilnější rázům a vibracím, které se na kolejovém vozidle vyskytují. V případě poruchy jednoho kanálu je možné indikovat poruchový stav, ale není nutné kolejové vozidlo ihned odstavit (rychloměr je nadále plně funkční). Vozidlo pokračuje v nezbytném provozu a v nejbližší době se provede servis snímače otáček.

Počet signálů snímače	Vlastnosti
1	- lze určit ujetou dráhu, rychlost a zrychlení vozidla - nelze určit směr pohybu - při výpadku žádná informace o pohybu
2	- lze určit ujetou dráhu, rychlost, zrychlení i směr pohybu vozidla - při výpadku jednoho kanálu nelze určit směr pohyb, měří rychlost a dráhu - při výpadku dvou kanálů žádná informace o pohybu
3	- lze určit ujetou dráhu, rychlost, zrychlení i směr pohybu vozidla - při výpadku jednoho krajního kanálu pracuje jako dvou-kanálový snímač - při výpadku středního nebo obou krajních kanálů pracuje jako jedno-kanálový - při výpadku tří kanálů žádná informace o pohybu
4	- lze určit ujetou dráhu, rychlost, zrychlení i směr pohybu vozidla - při výpadku jednoho libovolného kanálu, pracuje jako tří-kanálový, lze určit všechny provozní veličiny - při výpadku kanálů A+B, B+C, C+D nebo A+D, pracuje jako dvou-kanálový - při výpadku kanálu A+C, B+D nebo tří kanálů, pracuje jako jedno-kanálový - při výpadku čtyř kanálů žádná informace o pohybu

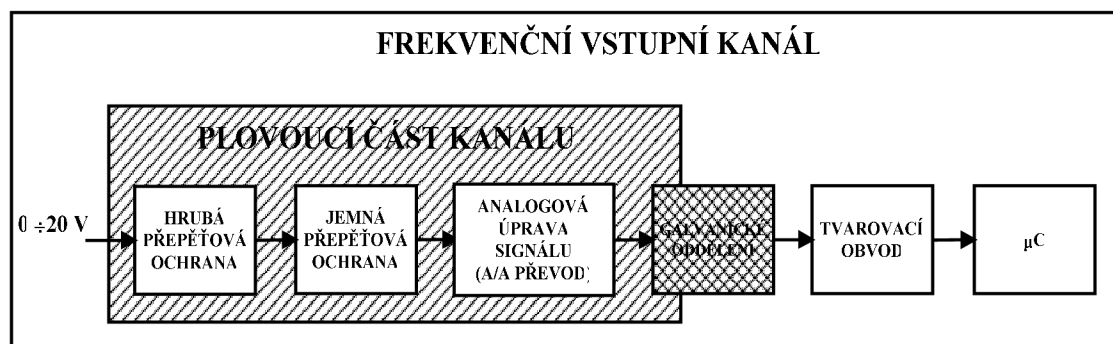
Tabulka 5.1: Srovnání vlastností snímače otáček dle počtu kanálů

Vstupní obvody frekvenčních vstupů obsahují „hrubou“ a „jemnou“ ochranu proti přepětí a EMC. Jednotlivé kanály musí být navrženy tak, aby zatěžovaly snímač maximálně 30 mA / kanál (dáno technickými parametry snímače). Při stavu log.1 signál prochází přes oddělovací optočlen, který zajistí požadované galvanické oddělení. Z důvodu číslicového zpracování následuje za optočlenem tvarovací obvod, kde dochází k natvarování signálu. Průchodem signálu přes optočlen a tvarovací obvod vzniká dopravní zpoždění, které se nachází ve všech čtyřech kanálech a nebude docházet ke vzniku vzájemného fázového posuvu při vzorkování a zpracování signálu.

Řídicí mikrokontroler v pravidelném intervalu vzorkuje vstupní kanály současně, aby nedocházelo k fázovému posuvu mezi kanály. Vzorkovací perioda bude vypočtena v kapitole 8.4. Pro snížení výpočetní zátěže mikrokontroleru, lze pohyb vozidla vyhodnocovat při změně logické úrovně na jednom ze čtyř kanálů pomocí externích přerušeni řídicího obvodu. Výpočet ujeté dráhy, komunikace a další potřebné operace budou probíhat v intervalu mezi vzorkováním.

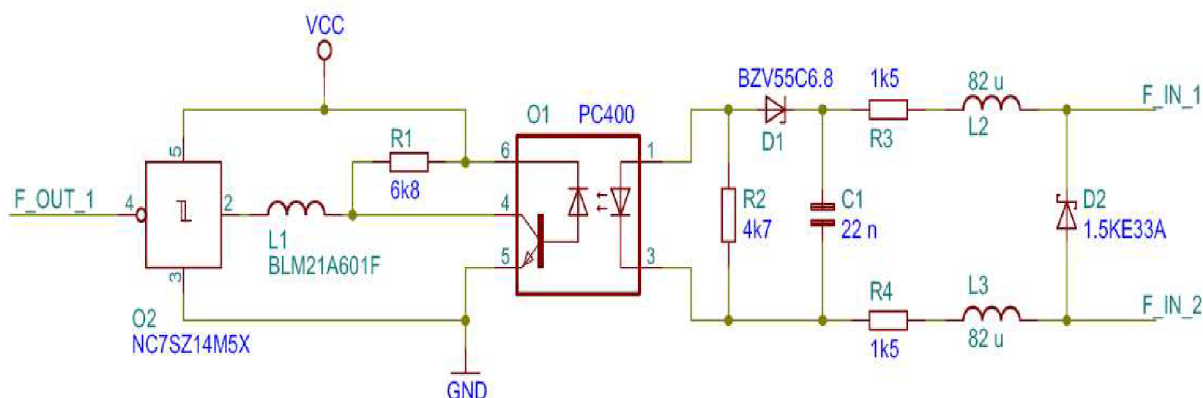
5.1.2 Obvodový popis

Navrhovaný modul obsahuje čtyři vstupní frekvenční kanály, ke kterým bude připojen snímač otáček. Snímač otáček je umístěný na nápravě vozidla a měří otáčky dvojkolí kolejového vozidla. Dle výše zpracovaného rozboru je vstupní kanál od snímače otáček uspořádán dle obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Blokové schéma – frekvenční vstup

Blokové uspořádání frekvenčního vstupního kanálu je obvodově znázorněno na obrázku 5.2. Vstupy jsou zde označeny F_IN_1, F_IN_2 a výstup, který je dále připojen k mikrokontroleru je označen F_OUT_1.



Obrázek 5.2: Obvodové schéma frekvenčního vstupního kanálu od snímače otáček

Blok hrubé a jemné přepět'ové ochrany je soustředěn pouze v prvku D2. Jedná se o jednosměrný transil (supresorovou diodu) typu 1,5KE33A, jeho prahové napětí je 33 V. Podrobné parametry jsou uvedeny v [44]. Většinou se transily používají pouze k jemné přepět'ové ochraně. Prvek hrubé přepět'ové ochrany (např. varistor) je zde vypuštěn, protože použitý typ je schopen absorbovat požadovaný špičkový ztrátový výkon, který může být až 1500 W (což je pro danou aplikaci dostatečné). Dalším důvodem, proč není pro hrubou přepět'ovou ochranu použit varistor, je postupná degradace materiálu prvku při přetížení [24].

Prvek galvanického oddělení je použit obvod PC400, jehož parametry jsou uvedeny v [39]. Tento optočlen má izolační pevnost 3,75 kV (AC), požadovaná izolační pevnost je minimálně 2,5 kV. Výstupní část obvodu PC400 je zapojení s otevřeným kolektorem, je zde definována pouze log.0 (tranzistor sepnut). Ve stavu, kdy je výstupní tranzistor rozepnut, není pevně definována výstupní logická úroveň. Rezistor R1 plní funkci pull-up rezistoru. Bude-li výstupní tranzistor obvodu O1 rozepnut, tak pull-up rezistor R1 určuje stav log.1 na výstupu tohoto optočlenu. Rezistorem R1 dále nastavuje citlivost a strmost nástupných hran tohoto obvodu. Čím menší hodnota R1, tím menší citlivost a strmější nástupné hrany.

Výstup z optočlenu (O1) je přiveden přes tlumivku L1 na vstup obvodu O2. Tato tlumivka slouží k potlačení vysokých frekvencí vstupních signálů a zabránění šíření rušení k řídicím obvodům. Obvod O2 je Schmittův klopný obvod (NC7SZ14M5X), jehož základní parametry jsou uvedeny v [43]. Tento obvod zde plní funkci tvarovače signálu - na výstupu bude vždy obdélníkový signál, který je požadován při číslicovém zpracování mikrokontrolerem. Výstupní signál z obvodu O2, který je označen F_OUT_1, je dále přiveden na vstupní bránu mikrokontroleru.

Průchodem signálu přes optočlen (O1) a tvarovací obvod (O2) dochází ke vzniku dopravního zpoždění. Toto zpoždění se nachází ve všech čtyřech

frekvenčních kanálech a nebude tedy docházet ke vzniku vzájemného fázového posuvu při vzorkování a zpracování signálu.

Vstupní filtr, který se nachází mezi přepětovou ochranou (transil D2) a galvanickým oddělení (obvod O1) se skládá z pasivních prvků L2, L3, R3, R4 a C1. Tento filtr je zatěžován paralelním spojením rezistoru R2 a vstupní LED optočlenu O1, ke kterým je v sérii řazena Zenerova dioda D1.

Zátěž výše popsaného filtru tvoří Zenerova dioda D1, která slouží pouze pro definování stavu log.1. Stav log.1 nastane, bude-li výstupní napětí filtru (napětí na kondenzátoru C1) větší než Zenerovo napětí diody D1 a úbytek napětí na rezistoru R2 bude dostatečný pro rozsvícení vstupní LED optočlenu O1 (vývody 1 a 3 obvodu O1), tedy asi 1,1 V (uvedeno v [39]). Výpočet napětí potřebného na výstupu filtru pro rozsvícení vstupní LED optočlenu a tedy průchodu signálu dále systémem k mikrokontroleru, bude uvedeno níže.

Tlumivky L2 a L3 slouží k potlačení signálů vyšších frekvencí, aby se omezilo šíření vysokofrekvenčního rušení k řídicím obvodům. Rezistory R3 a R4 omezují proud tekoucí obvodem. Filtr využívá vlastností kondenzátoru C1, který pro signály se vzrůstajícím kmitočtem snižuje impedanci. K omezení proudu tímto prvkem slouží rezistory R3 a R4. Filtr lze pro výpočet obvodově překreslit – obrázek 5.3. Tento filtr byl matematicky simulován v prostředí Matlab. Amplitudová frekvenční charakteristika tohoto filtru (bez zátěže) je uvedena – viz. Příloha E.

5.1.3 Výpočty potřebné pro návrh frekvenčního vstupního kanálu

$$U_{NAPAJ} = 5V \quad (V_{CC} - \text{napájecí napětí})$$

$$U_{SATUR_PC400} = 0,2V \quad (\text{napětí na výstupu optočlenu v sepnutém stavu})$$

$$U_{IN_PC400} = 1,1V \quad (\text{napětí na vstupu optočlenu – napětí na LED})$$

- Proud tekoucí rezistorem R1:

$$I_{R1} = \frac{U_{NAPAJ} - U_{SATUR_PC400}}{R1} \quad (5.1)$$

$$I_{R1} = \frac{5 - 0,2}{6800} = \frac{4,8}{6800} = 7,06 \cdot 10^{-4} A = \underline{\underline{0,706 mA}} \quad (5.2)$$

$$I_{m \text{ axoptoclenem}} = 50 mA \quad (\text{uvedeno v [39]})$$

$$\underline{\underline{I_{R1} < I_{m \text{ axoptoclenem}}}}$$

- Výkonová ztráta na rezistoru R1:

$$P_{R1} = R_1 \cdot (I_{R1})^2 \quad (5.3)$$

$$P_{R1} = 6800 \cdot (7,06 \cdot 10^{-4})^2 = 3,39 \cdot 10^{-3} \text{ W} = \underline{\underline{3,39 \text{ mW}}} \quad (5.4)$$

- Nabíjecí časová konstanta kondenzátoru C1:

$$\tau_{NAB_C1} = C_1 \cdot (R_3 + R_4) \quad (5.5)$$

$$\tau_{NAB_C1} = 22 \cdot 10^{-9} \cdot (1500 + 1500) = 6,6 \cdot 10^{-5} \text{ s} = \underline{\underline{66 \mu\text{s}}} \quad (5.6)$$

- Vybíjecí časová konstanta kondenzátoru C1:

$$\tau_{VYB_C1} = C_1 \cdot \frac{R_2 \cdot (R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4} \quad (5.7)$$

$$\tau_{VYB_C1} = 22 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{4700 \cdot (1500 + 1500)}{4700 + 1500 + 1500} = 22 \cdot 10^{-9} \cdot 1831,16 = 4,03 \cdot 10^{-5} \text{ s} = \underline{\underline{40,3 \mu\text{s}}} \quad (5.8)$$

- Napětí na výstupu filtru potřebné pro sepnutí optočlenu:

$$U_{LOG1} = U_{IN_PC400} + U_{D1} \quad (5.9)$$

$$U_{LOG1} = 1,1 + 6,8 = \underline{\underline{7,9 \text{ V}}} \quad (5.10)$$

- Maximální proud tekoucí rezistorem R2:

$$I_{R2} = \frac{U_{IN_PC400}}{R_2} \quad (5.11)$$

$$I_{R2} = \frac{1,1}{4700} = 2,34 \cdot 10^{-4} = \underline{\underline{0,23 \text{ mA}}} \quad (5.12)$$

- Výkonová ztráta na rezistoru R2:

$$P_{R2} = R_2 \cdot (I_{R2})^2 \quad (5.13)$$

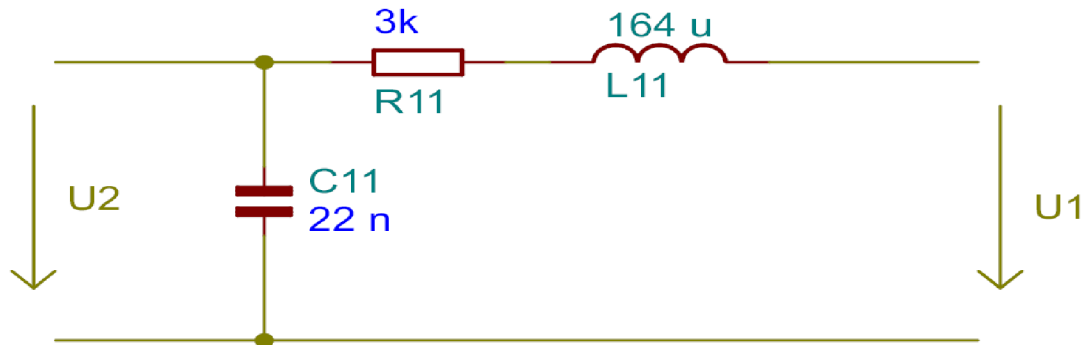
$$P_{R2} = 4700 \cdot (2,34 \cdot 10^{-4})^2 = 2,57 \cdot 10^{-4} \text{ W} = \underline{\underline{0,257 \text{ mW}}} \quad (5.14)$$

- Maximální vstupní proud frekvenčního kanálu:

$$I_{FREKVMAX} = I_{IN_PC400} + I_{R2} \quad (5.15)$$

$$I_{FREKVMAX} = \frac{U_{FREKVIN} - U_{D1} - U_{IN_PC400}}{R_3 + R_4} + I_{R2} \quad (5.16)$$

$$I_{FREKVMAX} = \frac{24 - 6,8 - 1,1}{1500 + 1500} + 0,23 \cdot 10^{-3} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{5,6 \text{ mA}}} \quad (5.17)$$



Obrázek 5.3: Náhradní obvodové schéma vstupního filtru (frekvenční vstup)

- Výpočet parametrů náhradního modelu

$$L_{11} = L_2 + L_3 \quad (5.18)$$

$$L_{11} = 82 + 82 = \underline{\underline{164 \mu H}} \quad (5.19)$$

$$R_{11} = R_2 + R_3 \quad (5.20)$$

$$R_{11} = 1500 + 1500 = 3000 \Omega = \underline{\underline{3 k\Omega}} \quad (5.21)$$

$$C_{11} = C_1 = \underline{\underline{22 nF}} \quad (5.22)$$

- Přenos filtru z obrázku 2.3:

$$F(j\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{11} \left(R + j \cdot \omega \cdot L_{11} + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{11}} \right)} \quad (5.23)$$

$$F(j\omega) = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_{11} \cdot (R + j \cdot \omega \cdot L_{11}) + 1} \quad (5.24)$$

$$F(j\omega) = \frac{1}{-\omega^2 \cdot C_{11} \cdot L_{11} + j \cdot \omega \cdot C_{11} \cdot R + 1} \quad (5.25)$$

Amplitudová frekvenční charakteristika vstupního frekvenčního kanálu je znázorněna – Příloha E. Simulace byla provedena v prostředí Matlab.

5.2 VSTUPNÍ KANÁL BINÁRNÍCH VSTUPŮ

5.2.1 Obecný popis binárních vstupů

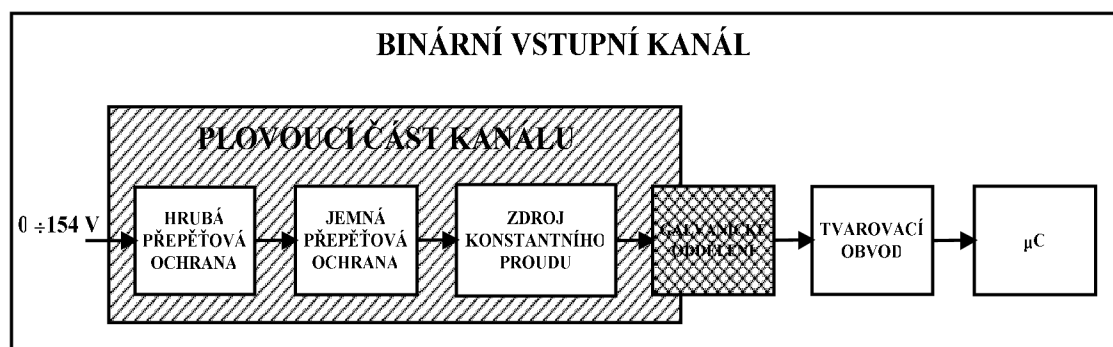
Na kolejovém vozidle je řada dvoustavových signálů, které je nutno zpracovat, jejich stav v čase zaznamenat a případně na tyto stavy reagovat. Typickým příkladem dvoustavových signálů jsou např.: tlačítko bdělosti, houkačka, zavírání dveří, osvětlení, odbuzení motoru, požární snímač atd.

Vstupní obvody binárních vstupů obsahují „hrubou“ a „jemnou“ ochranu proti přepětí a EMC. Navazující obvodové zapojení je řešeno tak, aby při vstupním napětí 0 – 154 V byl proudový odběr maximálně 8 mA. Tzn. že v plovoucí části kanálu je umístěn zdroj proudu, který sepne proud optočlenem v okamžiku, kdy napětí na vstupu překročí hodnotu log.1. Z důvodu číslicového zpracování následuje za optočlenem tvarovací obvod, kde dochází k natvarování signálu. Průchodem signálu přes optočlen a tvarovací obvod vzniká dopravní zpoždění. Toto zpoždění bude ve všech osmi kanálech shodné a nebude docházet ke vzniku časového posuvu při vzorkování a zpracování signálů.

Řídicí mikrokontroler vzorkuje v pravidelném intervalu vstupní kanály současně, aby nedocházelo k fázovému posuvu mezi kanály. Vyhodnocení stavů binárních vstupů, komunikace a další potřebné operace budou probíhat v intervalu mezi vzorkováním.

5.2.2 Obvodový popis

Navrhovaný modul obsahuje osm vstupních binárních kanálů, ke kterým budou připojeny signály od tlačítek, spínačů, stykačů apod. Dle výše zpracovaného rozboru je vstupní kanál binárních vstupů uspořádán dle obrázku 5.4.

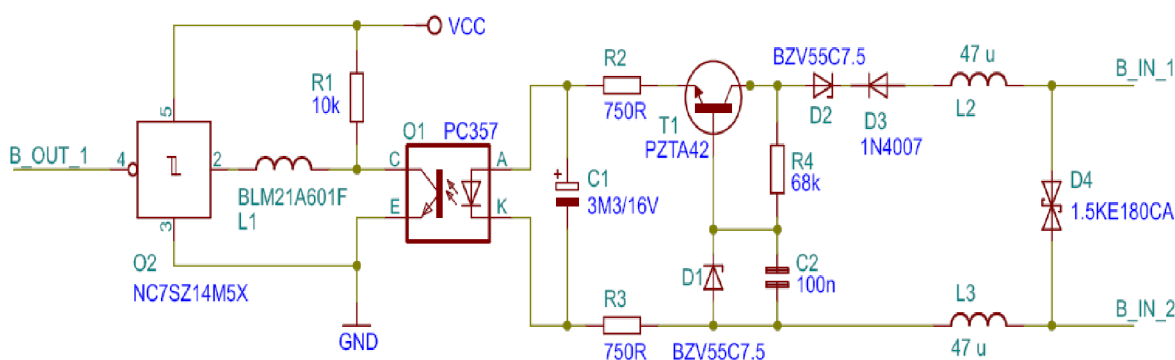


Obrázek 5.4: Blokové schéma – binární vstup

Rozhodovací úroveň pro vyhodnocování vstupních signálů je dána napětím palubních zdrojů kolejového vozidla. Dle normy [2] je možno provozovat kolejová vozidla s palubním zdrojem o napětí 24 V, 48 V a 72 V – 110 V. Pro dosažení nejnižších výrobních a vývojových nákladů je nejvýhodnější navrhnout jednotnou vstupní kartu pro všechny úrovně palubních rozvodů. Tuto jednotnou vstupní kartu lze realizovat dvěma způsoby. Rozhodovací úroveň lze dynamicky měnit, kdy obvod sám rozpozná úroveň napětí palubního rozvodu nebo se pevně zvolí rozhodovací úroveň, která bude vhodná pro všechny typy rozvodů.

Návrh tohoto modulu vychází z myšlenky jednotné a pevně dané rozhodovací úrovně, kdy pro všechna napětí rozvodů je log.0 pro napětí menší než 7,5 V a log.1 pro napětí vyšší než 15,7 V. Rozhodovací napětí pro log.1 musí být nižší než je minimální možné napětí palubního rozvodů u kolejových vozidel s 24 V rozvody. Minimální napětí palubních rozvodů nastává v případě vybitých palubních zdrojů. U používaných olověných akumulátorů činí toto napětí 0,7-mi násobek nominální hodnoty napětí, čili $24V \cdot 0,7 = \underline{\underline{16,8V}}$. Logická nula je u všech rozvodů dána nulovým potenciálem.

Blokové uspořádání binárního vstupního kanálu je obvodově znázorněno na obrázku 5.5. Vstupy jsou zde označeny B_IN_1, B_IN_2 a výstup, který je dále připojen k mikrokontroleru, je označen B_OUT_1.



Obrázek 5.5: Obvodové schéma vstupního kanálu binárních vstupů

Blok hrubé a jemné přepět'ové ochrany je soustředěn pouze v prvku D4. Jedná se o obousměrný transil (supresorovou diodu) typu 1,5KE180CA, jeho prahové napětí je 180 V. Podrobné parametry jsou uvedeny v [44]. Většinou se transily používají pouze k jemné přepět'ové ochraně. Prvek hrubé přepět'ové ochrany

(např. varistor) je zde vypuštěn, protože použitý typ je schopen absorbovat špičkový ztrátový výkon, který může být až 1500 W (což je pro danou aplikaci dostatečné).

Prvek galvanického oddělení je použit obvod PC357, jehož parametry jsou uvedeny v [38]. Tento optočlen má izolační pevnost 3,75 kV (AC), požadovaná izolační pevnost je minimálně 2,5 kV. Výstupní část obvodu PC357 je zapojení s otevřeným kolektorem, je zde definována pouze log.0 (tranzistor sepnut). Ve stavu, kdy je výstupní tranzistor rozepnut, není pevně definována výstupní logická úroveň. Rezistor R1 plní funkci pull-up rezistoru. Bude-li výstupní tranzistor obvodu O1 rozepnut, tak pull-up rezistor R1 určuje stav log.1 na výstupu tohoto optočlenu.

Výstup z optočlenu (O1) je přiveden přes tlumivku L1 na vstup obvodu O2. Tato tlumivka slouží k potlačení vysokých frekvencí vstupních signálů a zabránění šíření rušení k řídicím obvodům. Obvod O2 je schmidtův klopný obvod (NC7SZ14M5X), jeho základní parametry jsou uvedeny v [43]. Tento obvod zde plní funkci tvarovače signálu - na výstupu bude vždy obdélníkový signál, který je požadován při číslicovém zpracování mikrokontrolerem. Výstupní signál z obvodu O2, který je označen B_OUT_1, je dále přiveden přímo na vstupní bránu mikrokontroleru.

Průchodem signálu přes optočlen (O1) a tvarovací obvod (O2) dochází ke vzniku dopravního zpoždění. Toto zpoždění se nachází ve všech osmi binárních kanálech a nebude tedy docházet ke vzniku vzájemného fázového posuvu při vzorkování a zpracování signálu.

Mezi přepěťovou ochranou (transil D4) a galvanickým oddělením (obvod O1) se nachází ochranné prvky vstupního kanálu a zdroj konstantního proudu. Tlumivky L2 a L3 slouží k potlačení signálů vyšších frekvencí, aby se omezilo šíření vysokofrekvenčního rušení k řídicím obvodům. K ochraně proti přepólování, zde slouží dioda D3, která chrání vstupní kanál při připojení napětí opačné polarity (předpokládáme, že na B_IN_1 bude připojen vodič s vyšším potenciálem než na B_IN_2).

Dioda D3, Zenerova dioda D2 a D1 slouží k definování stavu log.1. Bude-li vstupní napětí menší než součet prahového napětí diody D3 a Zenerových napětí diod D2 a D3, zůstane tranzistor T1 rozepnut a vstupní LED optočlenu O1 zůstane zhasnutá (log.0). Přesáhne-li vstupní napětí tuto hodnotu, dojde k sepnutí tranzistoru T1 a rozsvícení vstupní LED obvodu O1 (log.1). Rezistory R2 a R3 nastavují

velikost proudu tekoucího vstupní LED obvodu O1. Rezistor R4 nastavuje velikost pracovního proudu tekoucího diodou D1 a při rozepnutém stavu tranzistoru T1, také diodami D2 a D3. Rezistor R4 je nutné dostatečně výkonově dimenzovat, protože na něm dochází k výraznému napěťovému úbytku, zejména při vysokém vstupním napětí. Kondenzátor C2 má pro vysokofrekvenční signály malou impedanci a nedochází k přenosu vysokofrekvenčního rušení k řídicím obvodům.

Vstupní filtr, který se nachází mezi přepěťovou ochranou (transil D2) a galvanickým oddělením (obvod O1) se skládá z pasivních prvků L2, L3, R3, R4 a C1. Tento filtr je zatěžován paralelním spojením rezistoru R2 a vstupní LED optočlenu O1, ke kterým je v sérii řazena Zenerova dioda D1.

5.2.3 Výpočty potřebné pro návrh binárního vstupního kanálu

$$U_{NAPAJ} = 5V \quad (V_{CC} - \text{napájecí napětí})$$

$$U_{SATUR_PC357} = 0,1V \quad (\text{napětí na výstupu optočlenu v sepnutém stavu})$$

$$U_{IN_PC357} = 1,2V \quad (\text{napětí na vstupu optočlenu – napětí na LED})$$

$$U_{IN_MAX} = 154V \quad (\text{maximální vstupní napětí kanálu})$$

$$U_{CE_MAX} = 0,5V \quad (\text{saturační napětí tranzistoru T1})$$

$$U_{D1} = 7,5V \quad (\text{zenerovo napětí diody D1})$$

$$U_{D2} = 7,5V \quad (\text{zenerovo napětí diody D2})$$

$$U_{D3} = 0,7V \quad (\text{prahové napětí diody D3})$$

- Proud tekoucí rezistorem R1:

$$I_{R1} = \frac{U_{NAPAJ} - U_{SATUR_PC400}}{R1} \quad (5.26)$$

$$I_{R1} = \frac{5 - 0,1}{6800} = \frac{4,9}{6800} = 7,21 \cdot 10^{-4} A = \underline{\underline{0,721 mA}} \quad (5.27)$$

$$I_{maxoptoclenem} = 50 mA \quad (\text{ uvedeno v [38] })$$

$$I_{R1} < I_{maxoptoclenem}$$

- Výkonová ztráta na rezistoru R1:

$$P_{R1} = R_1 \cdot (I_{R1})^2 \quad (5.28)$$

$$P_{R1} = 6800 \cdot (7,21 \cdot 10^{-4})^2 = 3,53 \cdot 10^{-3} \text{ W} = \underline{\underline{3,53 \text{ mW}}} \quad (5.29)$$

- Maximální proud tekoucí rezistorem R4:

$$I_{R4_MAX} = \frac{U_{IN_MAX} - U_{D3} - U_{D2} - U_{D1}}{R4} \quad (5.30)$$

$$I_{R4_MAX} = \frac{154 - 0,7 - 7,5 - 7,5}{68000} = \frac{138,3}{68000} = 2,034 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{2,034 \text{ mA}}} \quad (5.31)$$

- Maximální výkonová ztráta na rezistoru R4:

$$P_{R4_MAX} = R_4 \cdot (I_{R4_MAX})^2 \quad (5.32)$$

$$P_{R1} = 68000 \cdot (2,034 \cdot 10^{-3})^2 = 0,28 \text{ W} = \underline{\underline{280 \text{ mW}}} \quad (5.33)$$

- Proud tekoucí LED optočlenu:

$$I_{OPTO} = \frac{U_{BE} + U_{D1} - U_{IN_PC357}}{R_2 + R_3} \quad (5.34)$$

$$I_{OPTO} = \frac{0,6 + 7,5 - 1,2}{750 + 750} = \frac{6,9}{1500} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{4,6 \text{ mA}}} \quad (5.35)$$

- Maximální výkonová ztráta na rezistorech R2, R3:

$$P_{R2} = P_{R3} = R_2 \cdot (I_{OPTO})^2 \quad (5.36)$$

$$P_{R2} = P_{R3} = 750 \cdot (4,6 \cdot 10^{-3})^2 = 1,59 \cdot 10^{-2} \text{ W} = \underline{\underline{15,9 \text{ mW}}} \quad (5.37)$$

- Nabíjecí časová konstanta kondenzátoru C1:

$$\tau_{NAB_C1} = C_1 \cdot (R_2 + R_3) \quad (5.38)$$

$$\tau_{NAB_C1} = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot (750 + 750) = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1500 = 4,95 \cdot 10^{-3} \text{ s} = \underline{\underline{4,95 \text{ ms}}} \quad (5.39)$$

- Nabíjecí časová konstanta kondenzátoru C₂:

$$\tau_{NAB_C2} = C_2 \cdot R_4 \quad (5.40)$$

$$\tau_{NAB_C1} = 100 \cdot 10^{-9} \cdot 68000 = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ s} = \underline{\underline{6,8 \text{ ms}}} \quad (5.41)$$

- Maximální vstupní proud binárního kanálu:

$$I_{IN_MAX} = \frac{U_{IN_MAX} - U_{D3} - U_{D2}}{R_4} + I_{OPTO} \quad (5.42)$$

$$I_{IN_MAX} = \frac{154 - 0,7 - 7,5}{68000} + 4,6 \cdot 10^{-3} = 2,14 \cdot 10^{-3} + 4,6 \cdot 10^{-3} = 6,74 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{6,74 \text{ mA}}} \quad (5.43)$$

- Minimální vstupní napětí, kdy je zaručen stav log.1:

$$U_{LOG1} = U_{D3} + U_{D2} + U_{D1} \quad (5.44)$$

$$U_{LOG1} = 0,7 + 7,5 + 7,5 = \underline{\underline{15,7 \text{ V}}} \quad (5.45)$$

5.3 VSTUPNÍ KANÁL PRO MĚŘENÍ ANALOGOVÝCH VELIČIN

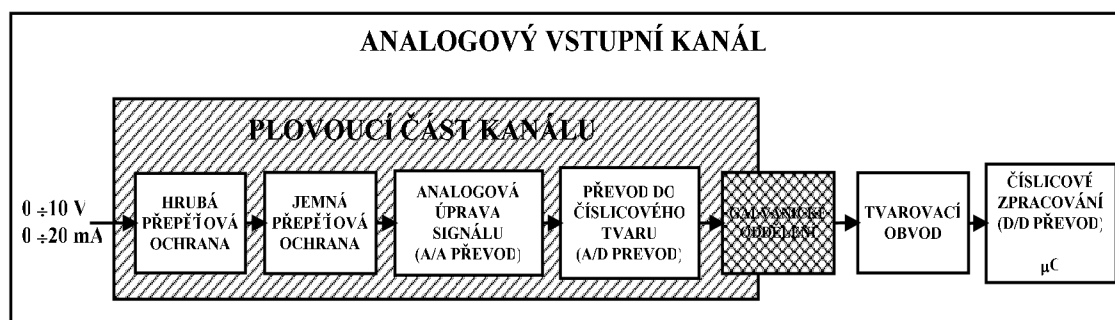
5.3.1 Obecný popis analogových vstupů

Mezi velmi důležité informace, které je nutno archivovat a v případě nehody doložit je časový průběh tlaku v průběžném brzdovém potrubí. Snímač tlaku, který snímá tlak vzduchu v průběžném brzdovém potrubí má analogový výstup, který bude navrhovaný modul zpracovávat. Navržený modul disponuje dvěma kanály pro připojení libovolného snímače s analogovým výstupem o normovaném výstupním signálu (0 - 10 V, popř. 0 - 20 mA). Mohou to být snímače teploty, mechanického namáhání konstrukce vozidla, otáček motoru apod.

Vstupní obvody analogových vstupů obsahují „hrubou“ a „jemnou“ ochranu proti přepětí a EMC a analogovou úprava signálu. Nedílnou součástí vstupního kanálu je A/D převodník, který je umístěn v plovoucí části kanálu. Číslicová hodnota měřené veličiny je pomocí sériové komunikace, předána přes galvanické oddělení řídicímu mikrokontroleru, který spouští jednotlivé A/D převody.

5.3.2 Obvodový popis

Navrhovaný modul obsahuje dva vstupní analogové kanály, ke kterým je připojen např. snímač tlaku v průběžném potrubí brzdy. Dle výše zpracovaného rozboru je vstupní kanál analogových vstupů uspořádán dle obrázku 5.6.



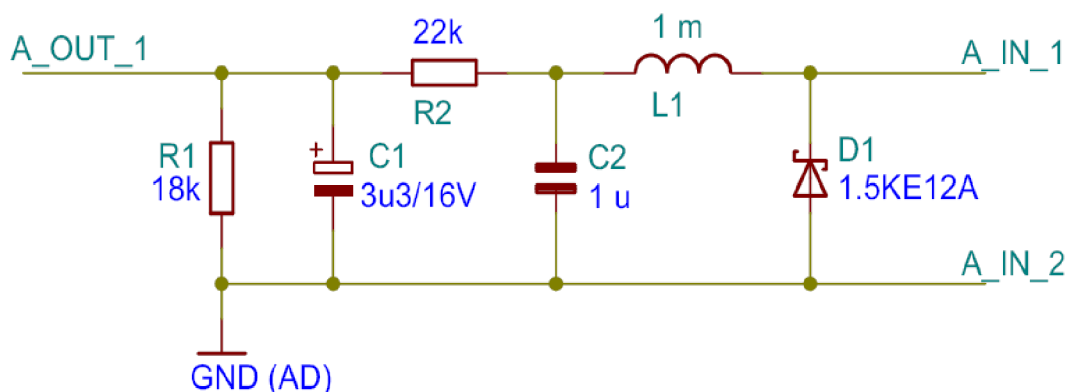
Obrázek 5.6: Blokové schéma – analogový vstup

Mezi měření analogových veličin patří zejména měření tlaku vzduchu v průběžném potrubí brzdy. Vzhledem k dynamice a časové konstantě tohoto systému, kdy vypuštění tlaku z potrubí trvá asi 5 s (natlakování mnohonásobně déle), je navržen vstupní filtr předřazený před A/D převodník.

Základem filtru je odporový dělič. Maximální vstupní napětí A/D převodníku je 5V. Rozsah měřených napětí je v rozsahu 0-10 V. Pomocí odporového děliče je na vstup přiváděno 45 % vstupního napětí. Dělicí poměr není zvolen přesně polovina, ale menší, z důvodu použité 12 V ochrany (transil D1). V případě přepětí a omezení na 12 V se na vstup A/D převodníku nedostane více než 5V.

Blokové uspořádání analogového vstupního kanálu, lze obvodově znázornit podle obrázku 5.7. Vstupy jsou zde označeny A_IN_1, A_IN_2 a výstup, který je dále připojen k A/D převodníku je označen A_OUT_1.

Blok hrubé a jemné přepětové ochrany je soustředěn pouze v prvku D1. Jedná se o jednosměrný transil (supresorovou diodu) typu 1,5KE12A, jeho prahové napětí je 12 V. Podrobné parametry jsou uvedeny v [44]. Většinou se transily používají pouze k jemné přepětové ochraně. Prvek hrubé přepětové ochrany (např. varistor) je zde vypuštěn, protože použitý typ je schopen absorbovat požadovaný špičkový ztrátový výkon, který může být až 1500 W (pro danou aplikaci dostatečné).



Obrázek 5.7: Obvodové schéma vstupního kanálu pro měření analogových veličin

Vstupní filtr, který se nachází za přepětíovou ochranou (transil D1) se skládá z pasivních prvků L1, C1, C2, R1 a R2. Tlumivka L1 slouží k potlačení signálů vyšších frekvencí, aby se omezilo šíření vysokofrekvenčního rušení k řídicím obvodům. Měronosný signál, který je přiváděn na vstup A/D převodníku je snímán na rezistoru R1, který s rezistorem R2 vytváří odporový dělič. Vstupní analogové napětí se nachází v rozsahu 0 – 10 V a v případě přepětí se na vstupu vyskytne maximálně 12 V (prahové napětí transilu D1). Tento dělič má nastaven dělicí poměr tak, aby i při přepětí nedošlo ke zničení vstupu A/D převodníku. K filtraci signálu na snímacím rezistoru R1 slouží kondenzátor C1. Filtr využívá vlastností kondenzátoru C2, který má pro vysokofrekvenční signály malou impedanci. Popis A/D převodníku a jeho galvanické oddělení bude popsáno níže.

Pozn.: Při připojení snímače s proudovým výstupem 0 – 20 mA, bude zvoleno

$$R_1 = 220 \, \Omega, R_2 = 200 \, \Omega, C_1 = 22 \, \mu F$$

5.3.3 Výpočty potřebné pro návrh analogového vstupního kanálu

$$U_{IN} = 10V \quad (\text{maximální vstupní napětí ze snímače})$$

$$U_{IN_MAX} = 12V \quad (\text{maximální vstupní napětí v případě přepětí})$$

- Maximální proud tekoucí rezistory R1, R2 (provozní režim bez přepětí):

$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{U_{IN}}{R_1 + R_2} \quad (5.46)$$

$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{10}{18000 + 22000} = \frac{10}{40000} = 2,5 \cdot 10^{-4} \, A = \underline{\underline{0,25 \, mA}} \quad (5.47)$$

- Výkonová ztráta na rezistoru R1:

$$P_{R1} = R_1 \cdot (I_{R1})^2 \quad (5.48)$$

$$P_{R1} = 18000 \cdot (2,5 \cdot 10^{-4})^2 = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ W} = \underline{\underline{1,125 \text{ mW}}} \quad (5.49)$$

- Výkonová ztráta na rezistoru R2:

$$P_{R2} = R_2 \cdot (I_{R2})^2 \quad (5.50)$$

$$P_{R1} = 22000 \cdot (2,5 \cdot 10^{-4})^2 = 1,375 \cdot 10^{-3} \text{ W} = \underline{\underline{1,375 \text{ mW}}} \quad (5.51)$$

- Nabíjecí časová konstanta kondenzátoru C1:

$$\tau_{NAB_C1} = C_1 \cdot R_2 \quad (5.52)$$

$$\tau_{NAB_C1} = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 22000 = 7,26 \cdot 10^{-2} \text{ s} = \underline{\underline{72,6 \text{ ms}}} \quad (5.53)$$

- Vybíjecí časová konstanta kondenzátoru C1:

$$\tau_{VYB_C1} = C_1 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (5.54)$$

$$\tau_{VYB_C1} = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{18000 \cdot 22000}{18000 + 22000} = 3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 9900 = 3,27 \cdot 10^{-2} \text{ s} = \underline{\underline{32,7 \text{ ms}}} \quad (5.55)$$

- Maximální vstupní proud analogového kanálu (provozní režim bez přepětí):

- vstupní proud obvodu AD převodníku: $I_{IN_LTC1298} = 250 \mu\text{A}$

$$I_{ANALOGIN} = I_{R1} + I_{IN_LTC1298} \quad (5.56)$$

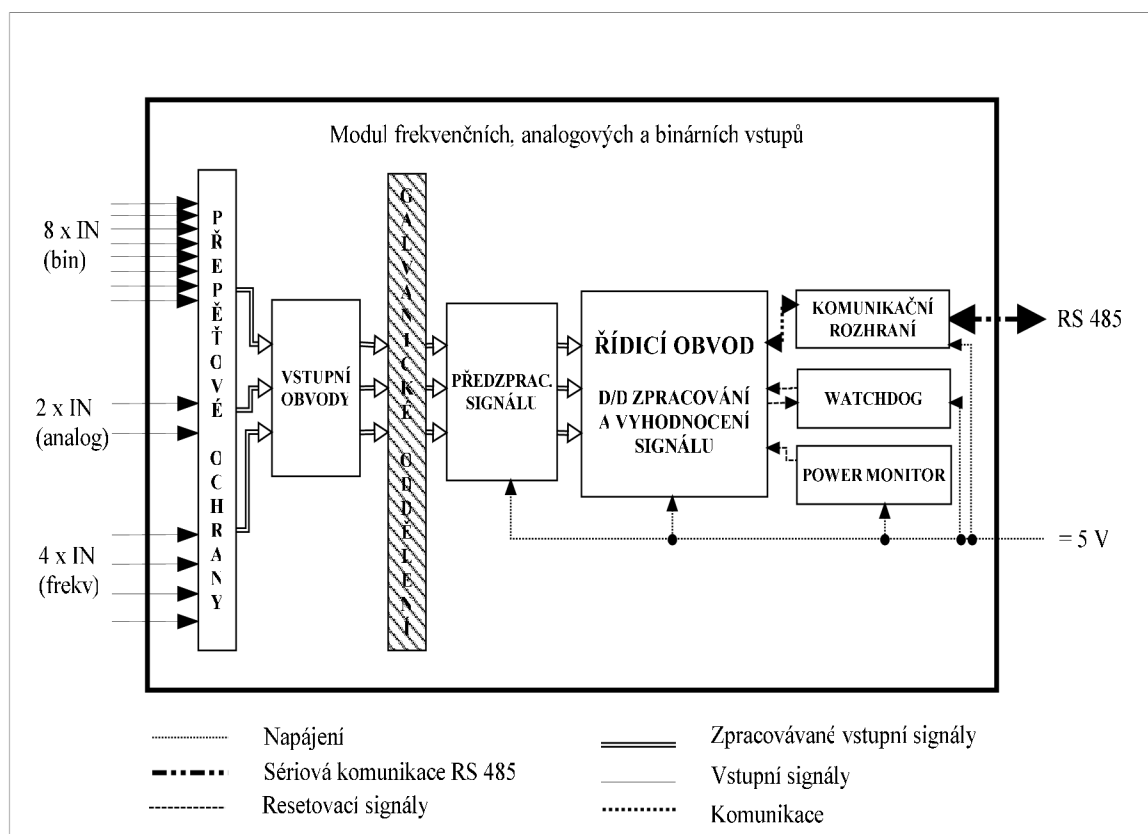
$$I_{ANALOGIN} = 0,25 \cdot 10^{-3} + 250 \cdot 10^{-6} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{0,5 \text{ mA}}} \quad (5.57)$$

6. OBVODOVÝ NÁVRH ŘÍDICÍ A KOMUNIKAČNÍ ČÁSTI MODULU

Pozn.: Celkové schéma obvodového zapojení modulu je znázorněno – Příloha A.

Pozn.: Seznam použitých součástek je uveden – Příloha D.

Celkový obvodový návrh řídicí a komunikační části modulu vychází z výše uvedené koncepce, která je znázorněna na obrázku 6.1. V této kapitole bude popsán řídicí obvod, komunikační rozhraní, watchdog a powermonitor. Přepět'ové ochrany, vstupní obvody, galvanické oddělení a část předzpracování vstupních signálů byly uvedeny v kapitole 5.



Obrázek 6.1: Blokové schéma modulu, zvýšená provozní spolehlivost

6.1 NAPÁJENÍ MODULU

K napájení Modulu frekvenčních, analogových a binárních vstupů je využit interní rozvod napájecího napětí z modulu NZE. Pro napájení řídicí a komunikační části je použito napájecí napětí +5 V.

Napájecí napětí je filtrováno pomocí kondenzátorů C14-C19 a C37-C43, které jsou umístěny v přívodu napájecího napětí do modulu a dále v blízkosti jednotlivých integrovaných obvodů. Tlumivky L1, L28, L29 a L31 chrání tento modul proti šíření vysokofrekvenčního rušení po rozvodu napájení, které by se mohlo šířit z jednotky elektroniky, např. zarušením některého z dalších modulů rychloměru. Tyto tlumivky na druhou stranu chrání jednotku elektroniky, proti vysokofrekvenčnímu rušení, které by mohlo vzniknout v tomto modulu – např. při zpracování silně zarušených signálů nebo zarušením celého modulu z jiného důvodu.

6.2 ŘÍDICÍ OBVOD MODULU

S ohledem na požadovaný výpočetní výkon potřebný pro výpočet rychlosti, zrychlení a ujeté dráhy kolejového vozidla, možnosti komunikace a z důvodu zavádění jednotné řady mikrokontrolerů pro moduly elektronického rychloměru, byl zvolen jako řídicí prvek tohoto modulu mikrokontroler firmy Atmel – AVR ATmega64. Tento mikrokontroler svým počtem vstupně/výstupních kanálů a velikostí jednotlivých typů programových oblastí plně dostačuje pro použití v tomto modulu.

ATmega64 je nízkopříkonový CMOS-mikrokontroler, který je založen na 8bitové RISC (redukovaná instrukční sada) architektuře. Jádro mikrokontrolerů řady AVR je podobné jádru většiny RISC procesorů, které jsou v současné době dostupné. Jádro (AVR Core) je založeno na harvardské architektuře (oddělená oblast paměti pro data a pro program), která je optimalizována pro běh programů v jazyce C.

Základní technické údaje:

[4]

- napájecí napětí: 4,5 – 5,5 V (ss)
- pracovní teplota: - 65 °C až + 125 °C
- FLASH paměť: 64 kB PROGRAM (programovatelná)
- EEPROM paměť: 2048 B DATA
- SRAM paměť: 4096 B DATA
- rychlost: 0 - 16 MHz

Mikrokontroler ATmega64 (označen IO1) je napájen z vyfiltrovaného napájecího napětí +5 V. Na vývody 23 a 24 je připojen externí oscilátor o frekvenci 16 MHz, který je zapojen dle doporučeného zapojení [34] [4].

Reset tohoto obvodu je prováděn pomocí hardwarového watchdogu, který je připojen na vývod 20. Pro resetovací signál je použita inverzní logika, tzn. je-li signál v log.1 - mikrokontroler běží, v případě log.0 - dochází k resetu po dobu trvání log.0. Reset je indikován pomocí LED D1 (rudé barvy), která je připojena přímo na tento signál. Je-li zařízení v běhu LED nesvítí, v případě resetu LED svítí.

Indikační LED D5-D7 (D5 rudé barvy, D6 a D7 zelené barvy) jsou připojeny k portu G (vývody 33, 34 a 43). Tyto LED budou softwarově obsluhovány a budou mít přiřazeny jednotlivé indikační funkce – např. zařízení v provozu, porucha apod.

Mezi další přípustné mikrokontrolery pro tuto aplikaci lze použít z nabídky firmy Atmel ATxmega 64, případně ARM7 s jádrem ARM.

6.3 KOMUNIKACE RS485

Navržený modul je vybaven dvěma oddělenými linkami sériové datové komunikace RS485. Řídicí obvod obsahuje dva USART (universální sériová linka) komunikační kanály, které jsou využity pro předávání dat mezi řídicím obvodem (IO1) a obvody rozhraní (IO3, IO4). Komunikační interface RS485 zajišťují obvody ST485BD (ekvivalent MAX485). Tento nízkopříkonový obvod vytváří fyzické rozhraní sériové datové komunikace RS485, obsahuje vysílací i přijímací část. Výstup obvodu je proveden jako třístavový. Maximální počet zařízení (vysílačů / přijímačů) na jednom vedení je 32. RS485 umožňuje obousměrný přenos dat. Při využití dvou vodičového zapojení je nutné řídit směr komunikace. [4]

Hodnota zatěžovací impedance mezi dvojicí komunikačních vodičů se na obou koncích vedení volí shodně s impedancí vedení tak, aby se zabránilo odrazům na vedení (typicky 120 Ω).

Základní technické údaje:

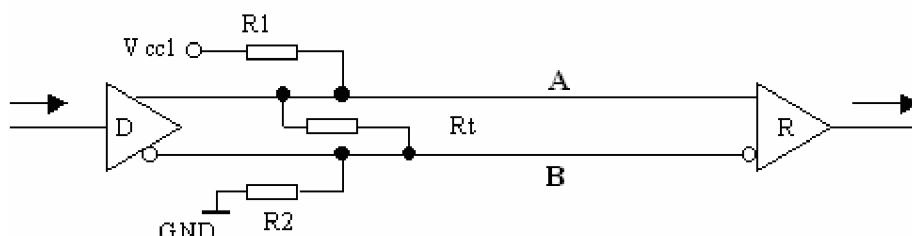
[4]

- napájecí napětí: 3 V – 12 V (ss)
- pracovní teplota: - 40 °C až + 85 °C
- typ komunikace: half-duplex
- doporučená zatěžovací impedance: 120 Ω

V případě, že se bude jednat o modul, který je umístěn v jednotce elektroniky elektronického rychloměru na okrajové pozici, je nutné propojit zkratovací propojkou piny S4 a S5, popř. S6 a S7. Propojením uvedených pinů, dojde k připojení impedančního přizpůsobení vedení sériové komunikace (zabezpečení proti odrazům) a zároveň definování klidového stavu linky. Proti šíření vysokofrekvenčního rušení z modulu a do modulu, jsou do obvodu komunikace zařazeny tlumivky L4, L5, popř. L6, L7.

Pro řízení komunikace po RS485 (čtení X zápis) je použito signálů DIR485, popř. DIR485SP, které jsou připojeny k IO1 na vývody 4 a 29. Pro případ externího řízení této komunikace je nutno propojit zkratovací propojkou piny S8, popř. S9.

Stejně důležité jako impedanční přizpůsobení je definování klidového stavu linky. Při komunikaci po lince RS485 se vysílače odpojují, dochází tedy ke stavu, kdy na linku žádné zařízení nevysílá. V této době není stav linky definován a linka je extrémně citlivá na indukovaná napětí, které se jeví jako přicházející data. Proto je třeba definovat klidový stav linky připojením rezistorů R1 a R2 dle obrázku 6.2 [4].



Obrázek 6.2: Definování klidového stavu linky (předpokládáno, že v klidu je vodič B zápornější než A) [4]

Pozn.: Rezistor R_t je zakončovací (např. 150Ω), rezistory R_1 a R_2 definují klidový stav (oba např. 470Ω až $4,7 \text{ k}\Omega$). V_{cc} a GND jsou lokální napájení a zem budiče.

6.4 HLÍDACÍ OBVOD – WATCHDOG A POWERMONITOR

Z důvodu požadované zvýšené spolehlivosti je pro hlídací činnost řídicího obvodu použit externí obvod watchdogu a power monitoru. Obvod DS1232 (označen IO2) zajišťuje funkci hardwarového watchdogu a power monitoru, který hlídá stav napájecího napětí a nedefinovanou činnost řídicího mikrokontroleru. Tento obvod dokáže potlačit negativní následky black-out a brown-out efektu [15].

Reset je vyvolán v případě poklesu napájecího napětí pod nastavenou hodnotu, která činí 4,5 V nebo nedostane-li tento obvod pravidelnou odezvu od řídicího mikrokontroleru. Čas odezvy je nastaven na hodnotu 600 ms, tzn. nedojde-li minimálně jednou za 600 ms k odezvě od mikrokontroleru, dojde k resetu.

Watchdog také sleduje stav resetovacích signálů od mechanického tlačítka, SPI rozhraní, JTAG rozhraní a signálu externího resetu, který může být vyvolán nadřazeným systémem. Vybočení z jednotlivých definovaných mezí, či přítomnost některého z resetovacích signálů, vyvolá reset řídicího mikrokontroleru.

6.5 A/D PŘEVODNÍK

Navrhovaný modul obsahuje dva vstupní analogové kanály. Vstupní obvody tohoto kanálu byly popsány výše (kapitola 5.3). Pro převod výstupního napětí z tohoto filtru do číslicové podoby je použit A/D převodník. Pro tento modul byl vybrán obvod LTC1298 (IO5), jehož podrobný popis je uveden v [40]. Jedná se o dvoukanalový, 12bitový A/D převodník s postupnou aproximací, umožňující komunikaci po SPI. Tento obvod se nachází v plovoucí části modulu a pro jeho napájení je použit DC-DC měnič (viz. kapitola 6.6). A/D převodník komunikuje s řídicím mikrokontrolerem pomocí čtyř vodičů, kde tři (CS/, CLK, DIN) jsou vedeny od mikrokontroleru k převodníku a jeden (DOUT) od převodníku k mikrokontroleru. Signály CS/, CLK a DIN slouží k definovanému řízení převodníku. Signál DOUT slouží k odesílání číslicové podoby měřeného napětí. Pro zajištění galvanického oddělení jsou mezi převodníkem a řídicím mikrokontrolerem, na těchto čtyřech signálech, použity optočleny. Prvek galvanického oddělení je použit obvod PC400, jehož parametry jsou vedeny v [39]. Tento optočlen má izolační pevnost 3,75 kV (AC), požadovaná izolační pevnost je minimálně 2,5 kV. Výstupní část obvodu PC400 je zapojení s otevřeným kolektorem, čili je zde definována pouze log.0 (tranzistor sepnut). Ve stavu, kdy je výstupní tranzistor rozepnut, není pevně definována výstupní logická úroveň. Rezistory R51-R54 plní funkci pull-up rezistorů. Bude-li výstupní tranzistor obvodu O13 rozepnut, tak pull-up rezistor R35 určuje stav log.1 na výstupu tohoto optočlenu. Rezistor R35 také nastavuje citlivost a

strmost nástupných hran tohoto obvodu. Čím menší hodnota R_{35} , tím menší citlivost a strmější nástupné hrany.

Výstup každého z optočlenu (O13-O16) je přiveden na vstup obvodu IO21-IO24. V jednotlivých kanálech jsou použity tlumivky L40-L43, které slouží k potlačení vysokých frekvencí a zabránění šíření rušení k řídicím obvodům. Obvody IO21-IO24 jsou Schmidtovy klopné obvody (NC7SZ14M5X), jejichž základní parametry jsou uvedeny v [43]. Tyto obvody zde slouží jako tvarovače signálu - na výstupu bude vždy obdélníkový signál, který je požadován při číslicovém zpracování mikrokontrolerem a převodníkem.

Základní technické údaje:

- napájecí napětí:	4,5 V – 5,5 V
- pracovní teplota:	- 40 °C až + 85 °C
- rozlišení:	12 bitů
- kvantizační chyba:	± 3 LSB
- počet kanálů:	2 (multiplexované)
- max. vzorkovací frekvence:	11,1 kHz
- doba převodu:	90 μ s
- max. frekvence CLK:	200 kHz

6.6 NAPÁJENÍ A/D PŘEVODNÍKU

A/D převodník se nachází v plovoucí části obvodu, proto je jeho napájení řešeno galvanicky odděleným zdrojem. Galvanicky oddělený zdroj napětí lze použít i pro napájení připojených snímačů.

Galvanicky oddělený zdroj je použit DC-DC měnič s typovým označením TSM0515s firmy TRACO. Podrobný popis a parametry jsou uvedeny v [41]. Nejdůležitějšími parametry jsou vstupní napětí (5 V), výstupní napětí (15 V) a izolační pevnost 2500 V (DC). Na výstup tohoto měniče je připojen napěťový stabilizátor LE50CD (označen IO7). Výstupní napětí stabilizátoru je 5 V a slouží přímo k napájení použitého A/D převodníku. Napájecí napětí pro napájení připojených snímačů je vyvedené přímo na V/V konektor.

6.7 PROGRAMOVÁNÍ [4]

Pro programování řídicího mikrokontroleru (IO1), který je osazen přímo v modulu je využito dvou rozhraní, která podporují sériové programování přímo v systému. Jedná se o rozhraní SPI (konektor S2), které využívá signály MISO, MOSI, SCK a RESET. Druhou možností, jak programovat mikrokontroler je rozhraní JTAG, které je vyvedeno na konektor K3 - jedná se o signály TCK, TMS, TDO, TDI a RESET.

6.8 PULL-UP REZISTORY [4]

Jednotlivé signály, které jsou využity pro komunikaci, programování, signály vedené z mikrokontroleru a do mikrokontroleru jsou ošetřeny tzv. pull-up rezistory z důvodu ochrany proti nedefinovanému stavu. Tyto rezistory zaručují, že v případě nedefinovaného stavu výstupu (např. po zapnutí nebo při resetu) budou signály „vytaženy“ do log.1. Dále slouží ke zrychlení náběžných hran v případě přechodu ze stavu log.0 do log.1.

Hodnota pull-up rezistorů činí 10 k Ω (při napájecím napětí 5 V, protéká pull-up rezistorem 0,5 mA). Tato velikost je volena tak, aby nedocházelo k výraznému zatěžování logických obvodů a k nárůstu proudového odběru z napájecího zdroje.

7. NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

Vlastní realizace navrhovaného modulu vyžaduje provést návrh desky plošných spojů (dále jen DPS), která musí splňovat řadu parametrů a podmínek.

Pro zajištění mechanické kompatibility s existujícím systémem elektronického rychloměru RE1xx, musí být DPS rozměrově kompatibilní s celým systémem. Rozměr zásuvné karty je 100 mm x 160 mm (výška 3U). Na čelní straně je umístěn V/V konektor pro připojení snímače otáček, tlaku a snímaných dvoustavových signálů. Na zadní straně je umístěn systémový konektor, který slouží k propojení s plošnou kabeláží (PKE).

Během návrhu modulu byl kladen důraz na maximální využití součástek povrchové montáže. Díky tomuto kroku lze dosáhnout nižších nákladů, vyšší spolehlivosti, menších rozměrů, popř. větší hustoty prvků na modulu. Při využití SMD technologie je nutné dát pozor zejména na maximální výkonovou ztrátu na jednotlivých prvcích a na maximální dovolené napětí jednotlivých prvků (např. rezistory a kondenzátory).

U navrhované DPS tohoto modulu byl kladen důraz na správný návrh s ohledem na velikosti vstupních napětí jednotlivých kanálů. Bylo nutné dodržet dostatečné izolační vzdálenosti mezi spoji ve vrstvách. Dalším kritériem při návrhu je problematika EMC, kdy musíme dbát na správné vedení spojů, stínění rozlíváním mědi pod řídicími obvody daného modulu apod. Touto problematikou při návrhu DPS se podrobně zabývá [9] [10]. Požadavek galvanického oddělení musí respektovat i návrh desky plošných spojů tohoto modulu. Na DPS je jasně patrná izolační bariéra, která je vedena napříč deskou všemi vrstvami – pod optočleny (řazeny v jedné linii).

Navržená DPS je oboustranná, každá strana je provedena ve dvou vrstvách. Jednotlivé vrstvy spojů TOP a BOTTOM jsou zobrazeny – Příloha B.1 – B.4.

Odolnost vůči oxidaci je zajištěna nepájivou maskou a pocínováním pájecích plošek (tato technologie usnadňuje osazení a pájení). Osazený modul po oživení bude nalakován technickým lakem, aby se prodloužila celková životnost modulu a minimalizoval se vliv působení vlhkosti na jednotlivých prvcích.

Obvodový návrh i DPS byly vytvořeny v prostředí EAGLE, verze 5.6.0

Realizovaná osazená DPS je znázorněna na fotografiích - Příloha I.

8. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ RYCHLOSTI

8.1 VYHODNOCENÍ RYCHLOSTI METODOU ČÍTÁNÍ PULSŮ

Z důvodu vzájemné kompatibility se současným systémem elektronického rychloměru bude tento modul pracovat v 200 ms smyčce, kdy na konci této smyčky musí být zpracovány následující data pro odeslání:

- aktuální rychlost
- ujetá dráha
- směr pohybu
- stav binárních vstupů
- hodnota analogové veličina kanálu 1
- hodnota analogové veličina kanálu 2

Pro měření rychlosti, výpočet ujeté dráhy a určení směru pohybu vozidla lze v tomto modulu použít dva základní přístupy využívající čítání pulsů signálů od snímače otáček, kdy je rychlost určena z počtu načítaných pulsů za dobu 200 ms :

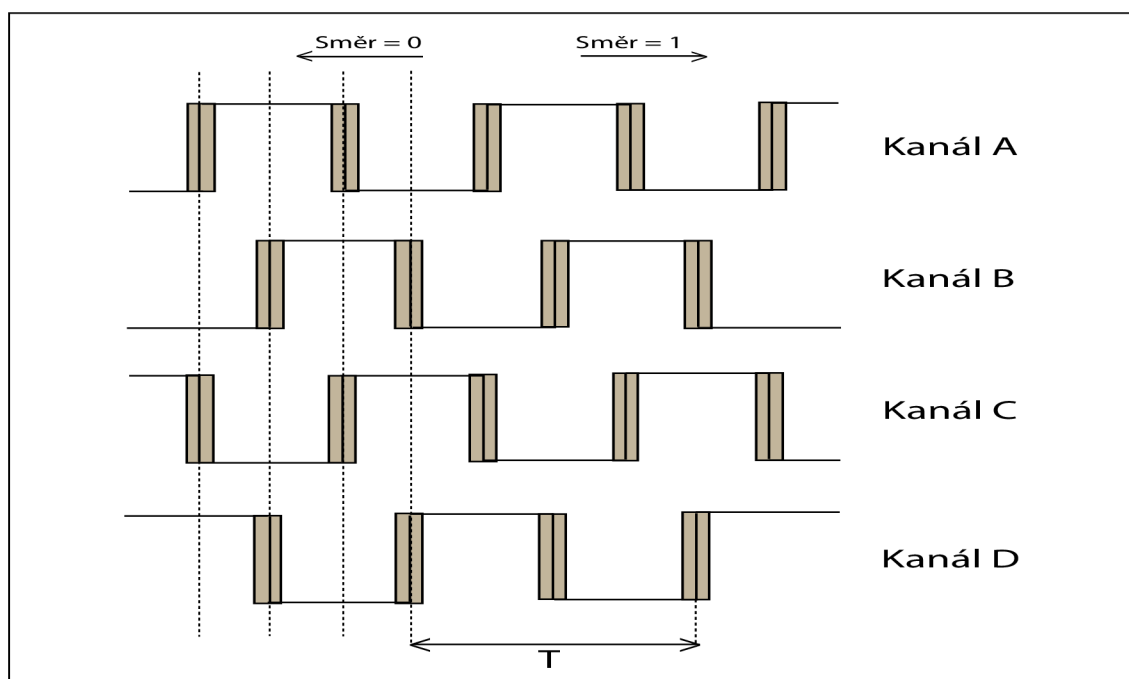
- **Pravidelné vzorkování**
 - při pravidelném vzorkování je aktuální vzorek signálů porovnáván s minulým vzorkem a dle stavové tabulky (příloha F.1 – F.4) je vyhodnoceno, který čítač pro měření ujeté dráhy (resp. rychlosti) je inkrementován a jakým směrem se vozidlo pohybuje.
- **Externí přerušení**
 - jednotlivé signály od snímače otáček jsou přivedeny na vstupní piny řídicího mikrokontroleru, které umožňují generovat přerušení na nástupnou (popř. sestupnou) hranu. Během přerušení se provede navzorkování signálů a vyhodnocení pomocí stavové tabulky nebo pouze inkrementaci čítače kanálu, na kterém se přerušení vyskytlo. Důležitou součástí je ošetření zakmitávání nástupných hran, aby nedocházelo k ovlivňování měření rychlosti a ujeté dráhy. Měření je založeno na povolování a zakazování jednotlivých přerušení.

Pomocí vyhodnocovací stavové tabulky je možné vyhodnotit chyby jednotlivých kanálů. Na obrázku 8.1 je znázorněn průběh signálů od snímače otáček.

Pro obě metody a jejich přesnost jsou rozhodující maximální rychlost vozidla, počet pulsů snímače na jednu otáčku (parametry snímače jsou uvedeny v kapitole 4) a způsob zpracování v nadřazeném *Modulu centrálního procesoru (CPP)*.

Hlavním problémem je měření aktuální rychlosti, jejíž hodnota je každých 200 ms odesílána. Formát odesílané zprávy je uveden v kapitole 10.5, jedná se o celočíselný počet pulsů načítaných během měřicí smyčky (200 ms). Výsledný přepočet se provádí v nadřazeném modulu **CPP**. Měření vysokých rychlostí touto metodou nečiní potíže, ale měření malých rychlostí je problematické, protože měřicí interval je krátký. Řešením je prodloužit tento interval, ale údaj o rychlosti je nutné odesílat každých 200 ms v celočíselné podobě. Minimální rychlost je tedy 1 puls/200 ms, čímž je v současné době modul omezen. Při budoucí změně modulu CPP nebo jeho FW lze použít dynamicky se měnící měřicí interval a provádět měření rychlosti přesněji – viz. níže uvedené výpočty. Rozlišovací schopnost *Zobrazovací a indikační jednotky* je 1 km/h pro maximální rychlost vozidla 120 km/h a 5 km/h pro maximální rychlost vozidla 250 km/h.

Měření rychlosti a ujeté dráhy vozidla bude blíže popsáno v kapitole 9.3.



Obrázek 8.1: Průběh signálů snímače otáček

8.2 PŘEHLED PRŮMĚRŮ KOL KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Z důvodu měření rychlosti na kolejovém vozidle je nutné znát používané průměry kol. Průměr kola ovlivňuje počet otáček (tím i počet pulsů), které je nutné vykonat pro ujetí určené dráhy. Při měření rychlosti počet pulsů udává minimální vzorkovací frekvenci. Orientační přehled vozidel na trhu, včetně používaných průměrů kol, je uveden v tabulce 8.1.

Typ vozidla	Průměr kola	
	Nová [mm]	Max. opotřebená [mm]
Siemens Taurus ES64U4	1150	1070
Škoda 109E (řada 380)	1250	1170
Škoda City elephant (řada 471)	920	854
Škoda City (studie)	850	780
TGV Eurostar	920	850
ICE 3 (řada 406)	920	854

Tabulka 8.1: Přehled trhu hnacích vozidel – průměr kol

U nákladních kolejových vozidel se průměry kol pohybují v rozmezí 790 mm až 890 mm. Z tohoto faktu a z tabulky 8.1 jsou pro následné výpočty uvažovány průměry kol v rozmezí 750 mm až 1350 mm.

Pozn. Pro následující výpočty je používáno: $\pi \approx 3,14$

8.3 MEZNÍ PARAMETRY SNÍMAČE OTÁČEK

Parametry snímače

- Maximální otáčky $\omega_{\max} = 5000 \text{ min}^{-1} \approx 83 \text{ s}^{-1} = 83 \text{ Hz}$
- Počet pulsů na otáčku $puls = 100$ [-]
- Počet kanálů snímače $kanal = 4$ [-]

Parametry kola

- Min průměr $d_{\min} = 750 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$
- obvod $O_{\min} = \pi \cdot d_{\min} = 3,14 \cdot 0,75 = \underline{\underline{2,355 \text{ m}}}$ (8.1)

- Max průměr $d_{\max} = 1350 \text{ mm} = 1,35 \text{ m}$
- obvod $O_{\max} = \pi \cdot d_{\max} = 3,14 \cdot 1,35 = \underline{\underline{4,239 \text{ m}}}$ (8.2)

Maximální teoretická rychlost vozidla, kterou je snímač schopen zpracovat

- minimální průměr kola

$$v_{\min \text{ teor}} = \omega_{\max} \cdot O_{\min} = 83 \cdot 2,355 = \underline{\underline{195,47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 703,67 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (8.3)$$

- maximální průměr kola

$$v_{\max \text{ teor}} = \omega_{\max} \cdot O_{\max} = 83 \cdot 4,239 = \underline{\underline{351,84 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 1266,62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}}} \quad (8.4)$$

Maximální teoretická frekvence měřeného signálu, zanedbáme-li přesnost střídý

$$f_{\max \text{ teor}} = \omega_{\max} \cdot \text{puls} = 83 \cdot 100 = \underline{\underline{8300 \text{ Hz}}} \quad (8.5)$$

Minimální vzorkovací frekvence, maximální perioda vzorkování, zanedbáme-li přesnost střídý ($f_{\max \text{ teor}} = 8300 \text{ Hz}$) - aplikace Shannon-Kotelnikova teorému

$$f_{VZ\text{teor}} \geq 2 \cdot f_{\max \text{ teor}}$$

$$f_{VZ\text{teor}} \geq 2 \cdot 8300 \quad (8.6)$$

$$\underline{\underline{f_{VZ\text{teor}} \geq 16600 \text{ Hz} = 16,6 \text{ kHz}}}$$

$$T_{VZ\text{teor}} \leq \frac{1}{f_{VZ\text{teor}}}$$

$$T_{VZ\text{teor}} \leq \frac{1}{16,6 \text{ kHz}} \quad (8.7)$$

$$\underline{\underline{T_{VZ\text{teor}} \leq 60,24 \mu\text{s}}}$$

8.4 VÝPOČET VZORKOVACÍ FREKVENCE

- Přesnost měření v rozsahu 5 - 250km/h $\delta_{\max} \leq 1,5\%$
- Maximální měřená rychlost $v_{\max} = 250 \text{ km/h} \approx 69,44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Minimální měřená rychlost $v_{\min} = 5 \text{ km/h} \approx 1,39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Maximální frekvence měřeného signálu (max. rychlost 250 km/h, min. průměr kola), zanedbáme-li přesnost střídý

$$f_{\max \text{ sig}} = \frac{v_{\max}}{O_{\min}} \cdot \text{puls} = \frac{69,44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2,355 \text{ m}} \cdot 100 = \underline{\underline{2948,62 \text{ Hz}}} \quad (8.8)$$

Maximální frekvence měřeného signálu (max. rychlost 250 km/h, min. průměr kola), při uvážení přesnosti střídý

- uvažován nejhorší případ - 10 %, tzn. 40 % periody log.1, 60 % periody log.0

$$f_{\max \text{ sigstřida}} = f_{\max \text{ sig}} \cdot 1,25 = 2948,62 \cdot 1,25 = 3685,78 \text{ Hz} \approx \underline{\underline{3686 \text{ Hz}}} \quad (8.9)$$

Minimální vzorkovací frekvence, maximální perioda vzorkování, uvážíme-li přesnost střídý (max. rychlost 250 km/h, min. průměr kola) - aplikace Shannon-Kotelnikova teorému

$$\begin{aligned} f_{VZ} &\geq 2 \cdot f_{\max \text{ sigstrida}} \\ f_{VZ} &\geq 2 \cdot 3686 \\ f_{VZ} &\geq \underline{\underline{7372 \text{ Hz} = 7,372 \text{ kHz}}} \end{aligned} \quad (8.10)$$

$$\begin{aligned} T_{VZ} &\leq \frac{1}{f_{VZ}} \\ T_{VZ} &\leq \frac{1}{7,372 \text{ kHz}} \\ T_{VZ} &\leq \underline{\underline{135,65 \mu\text{s}}} \end{aligned} \quad (8.11)$$

Perioda vzorkování bude určena časovačem, jehož chod je odvozen od použitého krystalu a vnitřního uspořádání mikrokontroleru. Je nutné zajistit, aby perioda vzorkování byla $\leq 135,65 \mu\text{s}$.

8.5 VÝPOČET CHYBY MĚŘENÍ RYCHLOSTI

Navrhovaný modul využívá pro měření rychlosti měřicí interval 200 ms a pravidelně odesílá zpracovaná data nadřazenému Modulu centrálního procesoru (CPP). Pro odstranění kolísání rychlosti, vlivem chyb způsobeným vzorkováním, je aktuální rychlost vypočtena klouzavým průměrem ze dvou, po sobě jdoucích měřicích intervalů (aktuální rychlost je průměr rychlosti v minulém a současném měřicím intervalu).

Vliv chyby měření se uplatňuje zejména při nízkých rychlostech a velkém průměru kola. K velké chybě měření může dojít při vysoké rychlosti, pokud by nebyl dodržen vzorkovací teorém a docházelo by k tzv. aliasing efektu. Vzorkovací frekvenci pro daný rozsah rychlostí jsme stanovili výše. Chyba měření, která vznikne při nízké rychlosti na intervalu 200 ms, je dána chybou \pm polovina dráhy odpovídající jednomu pulsu signálu snímače otáček. Budeme-li uvažovat možnost měření na dvou kanálech, je tato chyba poloviční (čtvrtina odpovídající jednomu pulsu signálu snímače otáček).

Dráha odpovídající jednomu pulsu signálu ze snímače otáček, při maximálním průměru kola

$$s_{\text{puls max}} = \frac{O_{\max}}{\text{puls}} = \frac{4,239 \text{ m}}{100} = 0,04239 \text{ m} = \underline{\underline{4,239 \text{ cm}}} \quad (8.12)$$

Ujetá dráha při 5 km/h za dobu 200 ms, při maximálním průměru kola

$$s_{5km/h} = \frac{v_{\min}}{5} = \frac{1,39 m \cdot s^{-1}}{5} = 0,278 m = \underline{\underline{27,8 cm}} \quad (8.13)$$

Absolutní chyba měření rychlosti

$$\Delta_{rychlost} = \frac{s_{puls\ max}}{2} = \frac{0,04239 m}{2} = 0,0212 m = \underline{\underline{2,12 cm}} \quad (8.14)$$

Relativní chyba při 5 km/h pro měřicí interval 200 ms

$$\delta_{5km/h} = \frac{100}{s_{5km/h}} \cdot \Delta_{rychlost} = \frac{100}{27,8 cm} \cdot 2,12 cm = \underline{\underline{7,63 \%}} \quad (8.15)$$

Chyba měření rychlosti (pravidelným vzorkováním) je větší, než požadovaných 1,5 %. Při měření rychlosti u impulsních snímačů se pro nízké rychlosti (malý počet pulsů) využívá měření periody signálu. Pro vysoké rychlosti je tato metoda technicky nerealizovatelná, protože je potřeba měřit velmi krátké periody pulsů (čím kratší měřený puls, tím větší chyba měření).

V této aplikaci provedeme přepínání metod určení rychlosti vozidla. Od určité rychlosti je měřena perioda pulsů a naopak od jiné rychlosti je měřena frekvence. Vzniká pásmo hystereze a nedochází, např. v okolí rychlosti 20 km/h, k neustálému přepínání měřicích metod.

Nejnižší rychlost, kdy chyba měření nepřevyšuje 1,5 % činí 25,2 km/h.

$$v_{25,2km/h} = 25,2 km/h \approx 7 m \cdot s^{-1} \quad (\text{uvažován max. průměr kola}) \quad (8.16)$$

Ujetá dráha při 25,2 km/h za dobu 200 ms, při maximálním průměru kola

$$s_{25,2km/h} = \frac{v_{25,2km/h}}{5} = \frac{7 m \cdot s^{-1}}{5} = 1,4 m = \underline{\underline{140 cm}} \quad (8.17)$$

Relativní chyba při 25,2 km/h pro měřicí interval 200 ms

$$\delta_{25,2km/h} = \frac{100}{s_{25,2km/h}} \cdot \Delta_{rychlost} = \frac{100}{140 cm} \cdot 2,12 cm = \underline{\underline{1,5 \%}} \quad (8.18)$$

Od rychlosti 5 km/h minimálně do rychlosti 25,2 km/h je nutné zabezpečit přesnost 1,5 % metodou měření periody. Při měření periody uvažujeme nejhorší situaci pro minimální průměr kola – větší frekvence pulsů, než pro maximální průměr kola.

Perioda pulsu při rychlosti 25,2 km/h a min. průměru kola

$$\tau_{25,2km/h} = \frac{1}{\frac{v_{25,2km/h}}{O_{\min}} \cdot puls} = \frac{1}{\frac{7 m \cdot s^{-1}}{2,355 m} \cdot 100} = \underline{\underline{3,364 ms}} \quad (8.19)$$

Výpočet periody pulsů pro měření periody signálu s požadovanou chybou měření max. 1,5 %, absolutní chyba je maximálně jeden měřicí puls (25,2 km/h, min. průměr kola)

$$\tau_{\text{měřic}} = \frac{\tau_{25,2\text{ km/h}}}{100} \cdot \delta_{\text{max}} = \frac{3,345\text{ ms}}{100} \cdot 1,5 = 0,050175\text{ ms} = \underline{\underline{50,175\ \mu\text{s}}} \quad (8.20)$$

Aby chyba měření byla menší nebo rovna 1,5 % musí být $\tau_{\text{měřic}} \leq 50,175\ \mu\text{s}$.

Perioda pulsů $\tau_{\text{měřic}}$ bude určena časovačem, jehož chod je odvozen od použitého krystalu a vnitřního uspořádání mikrokontroleru. Je nutné zajistit, aby perioda pulsu byla $\leq 50,175\ \mu\text{s}$.

Absolutní chyba měření periody při rychlosti 25,2 km/h, min. průměr kola

$$\Delta_{\text{PERIOD}25,2\text{ km/h}} = \tau_{\text{měřic}} = 50,175\ \mu\text{s}$$

Relativní chyba měření periody při rychlosti 25,2 km/h, min. průměr kola

$$\delta_{\text{PERIOD}25,2\text{ km/h}} = \frac{100}{\tau_{25,2\text{ km/h}}} \cdot \Delta_{\text{PERIOD}25,2\text{ km/h}} = \frac{100}{3,345\text{ ms}} \cdot 50,175\ \mu\text{s} = \underline{\underline{1,5\ \%}} \quad (8.21)$$

Čím bude měřená rychlost menší, tím větší přesnosti při měření periody dosáhneme.

Pro zavedení hystereze přepínání metod měření rychlosti, je nutné určit přepínací body. Dle výše uvedených výpočtů je zvoleno:

- > 26 km/h - měření rychlosti vzorkováním a čítáním pulsů po dobu 200 ms
- < 30 km/h - měření rychlosti pomocí měření periody signálu

Doba trvání pulsu při rychlosti 30 km/h a minimálním průměru kola

$$\tau_{30\text{ km/h}} = \frac{1}{\frac{v_{30\text{ km/h}}}{O_{\text{min}}} \cdot \text{puls}} = \frac{1}{\frac{8,333\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{2,355\text{ m}} \cdot 100} = \underline{\underline{2,826\text{ ms}}} \quad (8.22)$$

Výpočet periody pulsů pro měření periody signálu s požadovanou chybou měření max. 1,5 %, absolutní chyba je maximálně jeden měřicí puls (30 km/h, min. průměr kola)

$$\tau_{\text{měřic}30\text{ km/h}} = \frac{\tau_{30\text{ km/h}}}{100} \cdot \delta_{\text{max}} = \frac{2,826\text{ ms}}{100} \cdot 1,5 = 0,04239\text{ ms} = \underline{\underline{42,93\ \mu\text{s}}} \quad (8.23)$$

Aby chyba měření byla menší nebo rovna 1,5 % musí být $\tau_{\text{měřic}30\text{ km/h}} \leq 42,93\ \mu\text{s}$.

9. POPIS ZPRACOVNÍ DAT A FUNKCE SW

Po náběhu napájecího napětí je po uvolnění nulování mikrokontroleru spuštěn software implementovaný v obvodu. Nejprve je provedena prvotní inicializace periférií, sériové komunikace, časovačů, test snímače otáček a zjištění ID modulu v sestavě rychloměru. Ve vývojovém diagramu – Příloha G.1, je znázorněn průběh inicializace a hlavní programové smyčky. Po dobu inicializace jsou globálně zakázána přerušení, k povolení dochází, až je celý obvod inicializován. Po této části programu následuje hlavní programová smyčka (tzv. supersmyčka [27]), která obsluhuje HW watchdog, indikačních LED a odesílá zprávy po sériové komunikaci RS485 do nadřazeného modulu **CPP**. Pro správnou funkci modulu jsou využívána přerušení, která jsou uvedena v tabulce 9.1. Tato přerušení mohou přerušovat hlavní programovou smyčku.

Číslo vektoru	Zdroj	Definice přerušení
1	RESET	Externí pin, power-on, brown-out, watchdog, JTAG
6	INT4	Externí požadavek na přerušení 4
7	INT5	Externí požadavek na přerušení 5
8	INT6	Externí požadavek na přerušení 6
9	INT7	Externí požadavek na přerušení 7
10	T2 COMP	Časovač 2, komparace
13	T1 COMPA	Časovač 1, komparace A
16	T0 COMP	Časovač 0, komparace
31	USART1, RX	USART1, příjem zprávy

Tabulka 9.1: Přehled využívaných přerušení řídicího obvodu

V tabulce 9.2 je uvedena vzájemná správa (povolování a zakazování) přerušení, která se mohou objevit v jednotlivých přerušeních.

Nové přerušení	Probíhající přerušení						
	INT4	INT5	INT6	INT7	T0	T1	USART1
INT4	X	Z	Z	Z	P	P	P
INT5	Z	X	Z	Z	P	P	P
INT6	Z	Z	X	Z	P	P	P
INT7	Z	Z	Z	X	P	P	P
T0	Z	Z	Z	Z	X	Z	P
T1	Z	Z	Z	Z	P	X	P
USART1	Z	Z	Z	Z	Z	Z	X

Pozn.: Z – zakázáno, P – povoleno

Tabulka 9.2: Vzájemná správa přerušení

Celý systém pracuje v základní 200 ms smyčce, která je odvozena od časovače T1, který každých 10 ms vyvolá přerušení. Tato smyčka slouží pro měření rychlosti, měření ujeté dráhy a určení směru pohybu. Zpracování naměřených dat je v této smyčce shodné pro oba typy metod (pro pravidelné vzorkování i pro měření pomocí externích přerušení). Přerušení od časovače T1 je vyvoláno každých 10 ms, v rutíně obsluhy tohoto přerušení jsou navzorkovány binární vstupy a jejich zpracování dle vývojového diagramu – Příloha G.8, G.9. Současně je povolen AD převod obou analogových kanálů. Každých 200 ms jsou naměřené hodnoty zpracovány a přepsány do výstupních bufferů, které jsou následně po vyžádání CPP odeslány. Počet načítaných pulsů je přepsán do bufferu rychlosti, k bufferu ujeté dráhy je přičtena hodnota načítaných pulsů, aktuálně zjištěný směr pohybu, hodnota obou analogových kanálů a výsledný stav binárních vstupů na tomto intervalu jsou také uloženy do výstupních bufferů.

9.1 VYHODNOCENÍ BINÁRNÍCH VSTUPŮ

Navržený modul pracuje v základní měřicí smyčce 200 ms, stav binárních vstupů je nutné vzorkovat častěji. Vyhodnocením dlouhodobých provozních záznamů elektronického rychloměru stačí vzorkovat dvoustavové signály každých 10ms. Z důvodů zakmitávání a přechodových dějů je nutné, aby alespoň R z 20 vzorků, které jsou navzorkovány za 200 ms, byly ve stavu log.1 (popř. log.0). Firmware počítá po sobě jdoucí stejné vzorky jednotlivých kanálů. Dle zkušenosti vyplývající z provozních záznamů je hodnota R nastavena individuálně podle charakteru jednotlivých snímaných prvků - stykače, tlačítka, apod. Hodnota počtu shodných vzorků je většinou nastavena na hodnotu 10. To znamená, že se neakceptují změny vstupního signálu kratší než 100 ms. Celý algoritmus je zachycen ve vývojové diagramu – Příloha G.1, G.2.

9.2 VYHODNOCENÍ ANALOGOVÝCH VSTUPŮ

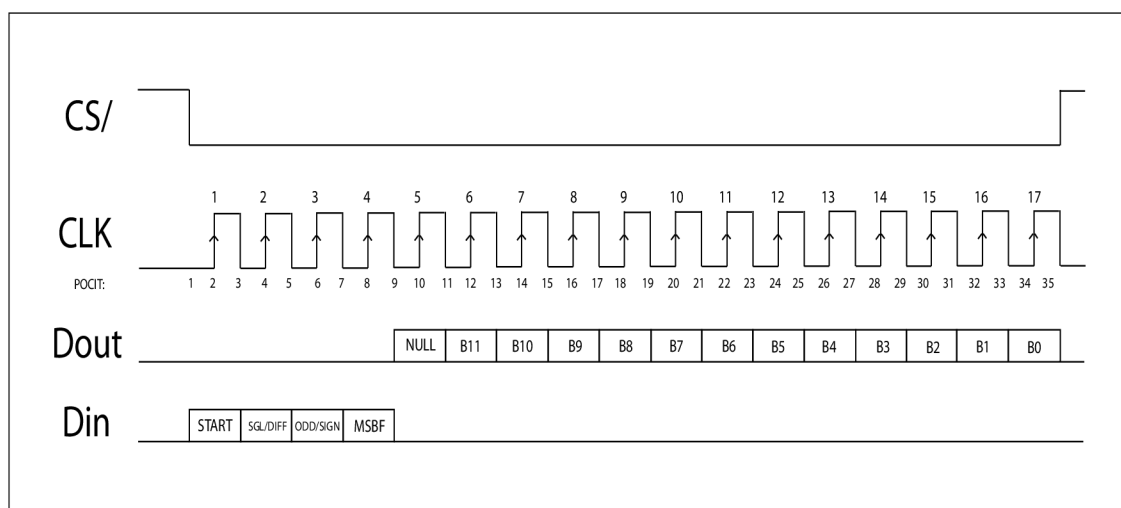
Navržený modul pracuje v základní měřicí smyčce 200 ms, ale analogové vstupy jsou současně s binárními zpracovávány každých 10 ms. Pro časování komunikace mezi řídicím obvodem a AD převodníkem je využit časovač T0, který vyvolá přerušení každých 30us. Od tohoto časovače je odvozen časovací signál komunikace mezi řídicím mikrokontrolerem a AD převodníkem, jehož perioda je

60 μ s, (frekvence 40 kHz). Převodník je nejprve inicializován a následně je vyčtena číslcová hodnota měřeného signálu. Inicializace jednoho kanálu a vyčtení číslcové hodnoty trvá 17 hodinových period, tedy 1,02 ms. Nejprve je povolen AD převod prvního a následně druhého kanálu. Nastavení inicializačních bitů je pro jednotlivé kanály uvedeno v tabulce 9.3. Průběh komunikace je zobrazen na obrázku 9.1 a její implementace je řešena stavovým automatem..

Přepoččet z periferní na fyzikální hodnotu bude probíhat v nadřazeném modulu **CPP**.

START	SGL/DIFF	ODD/SIGN	MSBF	Kanál
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Tabulka 9.3: Nastavení inicializačních bitů



Obrázek 9.1: Průběh komunikace mezi μ C a AD převodníkem

Výstup AD převodníku je 12bitový. Tyto data jsou filtrována plovoucím průměrem a při přepisu do výstupního bufferu jsou oříznuta na osm bitů. Modul detekuje chybu komunikace testováním prvního vyčteného bitu z AD převodníku (NULL bit), který musí mít stav log.0. Pokud tomu tak není, měření je nezapočítáno.

9.3 VYHODNOCENÍ RYCHLOSTI A SMĚRU POHYBU

Měření rychlosti, ujeté dráhy a vyhodnocení směru pohybu vozidla se provádí v rámci měřicí smyčky, která činí 200 ms. Pro měření rychlosti lze využít dvě

metody – pravidelné vzorkování nebo externí přerušení. Obě tyto metody využívají stejný způsob měření rychlosti – rychlost měří čítáním pulsů po dobu 200 ms.

9.3.1 Pravidelné vzorkování

Signály od snímače otáček jsou v pravidelných intervalech vzorkovány. Vzorkování je prováděno v obslužné rutině přerušení od časovače T2, který generuje přerušení každých 68 μ s. Minulý a současný vzorek je uložen v jednom bajtu, který je dále vyhodnocen pomocí stavových tabulek, které jsou uvedeny v příloze F.1 – F.4. V těchto stavových tabulkách jsou uvedeny všechny teoretické stavy, které mohou nastat při měření čtyř signálů. Implementace je řešena stavovým automatem. Pomocí stavové tabulky je vyhodnoceno, který čítač bude inkrementován a jakým směrem se vozidlo pohybuje. Zvolená perioda vzorkování musí být menší než teoreticky vypočtená maximální vzorkovací perioda s ohledem na střihu signálů.

Po 200 ms se obsahy všech čtyř čítačů vyhodnotí a vybraný se přepíše do výstupního bufferu rychlosti. Na obrázku 8.1 je znázorněn průběh signálů snímače otáček.

9.3.2 Externí přerušení

Signály od snímače otáček jsou připojeny na řídicí obvod pomocí pinů, které umožňují generování externího přerušení při nástupné hraně připojeného signálu. Jednotlivé rutiny obsluh přerušení pro připojené signály jsou zobrazeny ve vývojovém diagramu – Příloha G.2 – G.5. Dojde-li k vygenerování externího přerušení od jednoho z kanálů, globálně se zakáže přerušení, navzorkují se všechny kanály od snímače otáček, provede se vyhodnocení chyby snímače a následně se inkrementuje čítač příslušného kanálu, na kterém bylo přerušení vygenerováno. Zakáže se čítání od kanálu, který přerušení vygeneroval a kanálu, který je fázově posunut o 180°. V případě indikované poruchy jednoho, popř. dvou kanálů dochází ke změně správy přerušení dle tabulky 9.5. Po 200 ms se obsahy všech čtyř čítačů vyhodnotí a vybraný se přepíše do výstupního bufferu rychlosti.

Vyhodnocení směru pohybu je založeno na porovnání, od kterého kanálu přišlo přerušení v minulém a současném okamžiku. Na základě této informace je dle tabulky 9.4 určen směr pohybu vozidla.

Předchozí stav				Současný stav				Směr
D	C	B	A	D	C	B	A	
X	X	X	↑	X	X	↑	X	1
X	X	X	↑	↑	X	X	X	0
X	X	↑	X	X	X	X	↑	0
X	X	↑	X	X	↑	X	X	1
X	↑	X	X	X	X	↑	X	0
X	↑	X	X	↑	X	X	X	1
↑	X	X	X	X	X	X	↑	1
↑	X	X	X	X	↑	X	X	0

Tabulka 9.4: Vyhodnocení směru pohybu vozidla

Nástupná hrana na kanálu	Počet funkčních kanálů snímače otáček		
	4,3,2	4	3, 2
	Zákaz přerušení pro kanál	Povolení přerušení pro kanál	Povolení přerušení pro kanál
A	A	B,D	B,C,D
B	B	A,C	A,C,D
C	C	B,D	A,B,D
D	D	A,C	A,B,C

Tabulka 9.5: Správa externích přerušení

9.4 ZPŮSOB URČENÍ ZRYCHLENÍ VOZIDLA

Určení zrychlení vozidla nebylo součástí požadavků na modul. V současné době se řeší výpočtem v nadřazeném modulu **CPP**. Do budoucna lze předpokládat o výpočtu této veličiny přímo v modulu – dojde ke snížení výpočetní zátěže modulu **CPP**, jelikož navrhovaný modul má dostatečný výpočetní výkon.

Zrychlení se vypočítá jako diference dvou, po sobě naměřených rychlostí (aktuální, předchozí). V případě kladné diference, vozidlo zrychluje a v případě záporné diference vozidlo zpomaluje. Výpočtem zrychlení, lze zmenšit chyby vznikajících vlivem prokluzu nebo zablokování dvojkolí vozidla. Bude-li nárůst zrychlení velmi strmý, jedná se o prokluz dvojkolí. V tomto případě je nutné, pro danou hmotnost vozidla, numericky vypočítat maximální možné zrychlení vozidla a toto zrychlení jím nahradit. To stejné platí i pro záporné zrychlení („zpomalení“) vozidla. Dojde-li k zablokování kol, je nutné numericky vypočítat maximální možné záporné zrychlení a jím naměřenou hodnotu nahradit.

10. POPIS FUNKCÍ PROVOZNÍHO SW

10.1 ARCHITEKTURA FIRMWARE

Navržený firmware je založen na jedno-vláknové koncepci programu, kde veškeré události jsou zpracovávány v hlavní programové smyčce, kterou může přerušit libovolné ze sedmi využitých přerušení. Čtyři přerušení pro snímač otáček, které generují přerušení na nástupnou hranu signálu od snímače otáček. Tři přerušení patří časovačům, první určuje časování komunikace s AD převodníkem, druhé je použito k určení doby měřicí smyčky a vzorkování binárních vstupů a třetí k určení periody vzorkování signálů od snímače otáček (ve výsledném FW nevyužito, použita metoda externích přerušení). Jedno přerušení pro sériovou komunikaci RS485.

Programové vybavení je nahráváno do řídicího mikrokontroleru systémem ISP – pomocí sběrnice JTAG nebo SPI. Oba programovací konektory jsou umístěny na desce modulu (JTAG – K3, SPI – S2). Současně jsou na desce umístěny tři indikační LED (dvě zelené a jedna rudá).

Seznam základních požadavků firmware

- Měření rychlosti a ujeté dráhy vozidla
- Určování směru pohybu vozidla
- Vyhodnocování chyb snímače otáček
- Vyhodnocování stavu binárních vstupů
- Komunikace s AD převodníkem
- Vyhodnocování měření analogových vstupů
- Komunikace po sériové komunikaci RS485 s nadřazeným modulem CPP
- Řízení externího hardwarového watchdogu
- Ovládání tří indikačních led

Seznam potřebných vývojových prostředků

- PC s prostředím Windows XP
- AVR Studio verze 4.13, Service Pack 2
- Kompilátor gcc verze 4.1.2 a AVR libc verze 1.4.6 (vše součástí balíku WinAVR-20070525)
- Programátor SPI (paralelní port)
- Prototyp modulu frekvenčních, analogových a binárních vstupů

- Elektronický tachograf s modulem CPP01
- Sada servisních přípravků pro Elektronický tachograf RE1xx
- Stabilizovaný zdroj

10.2 NASTAVENÍ I/O PORTŮ A POJISTKOVÝCH BITŮ

V průběhu inicializace řídicího mikrokontroleru jsou nastaveny I/O porty podle tabulky 10.1. Nevyužité piny jsou nastaveny jako výstupní do log. 0, aby nedocházelo k ovlivňování vnitřní struktury např. rušením.

Port	Označení pinu	Popis	Stav	Inicializační hodnota
Binární vstupy				
PA0	DIN1	Binární vstup – kanál 1	Vstup	-
PA1	DIN2	Binární vstup – kanál 2	Vstup	-
PA2	DIN3	Binární vstup – kanál 3	Vstup	-
PA3	DIN4	Binární vstup – kanál 4	Vstup	-
PA4	DIN5	Binární vstup – kanál 5	Vstup	-
PA5	DIN6	Binární vstup – kanál 6	Vstup	-
PA6	DIN7	Binární vstup – kanál 7	Vstup	-
PA7	DIN8	Binární vstup – kanál 8	Vstup	-
ID číslo + SPI				
PB0	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PB1	SCK	SCK signál sériového nahrávání přes SPI	Výstup	0
PB2	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PB3	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PB4	ID1	ID bit 0	Vstup	-
PB5	ID2	ID bit 1	Vstup	-
PB6	ID4	ID bit 2	Vstup	-
PB7	ID8	ID bit 3	Vstup	-
Komunikační port k A/D převodníku				
PC0	RES1	Rezerva – nevyužito	Výstup	0
PC1	RES2	Rezerva – nevyužito	Výstup	0
PC2	RES3	Rezerva – nevyužito	Výstup	0
PC3	RES4	Rezerva – nevyužito	Výstup	0
PC4	A/D cs	CS pro AD převodník	Výstup	1
PC5	A/D clk	CLK pro AD převodník	Výstup	0
PC6	A/D din	DIN pro AD převodník	Výstup	0
PC7	A/D dout	DOUT od AD převodníku	Vstup	-

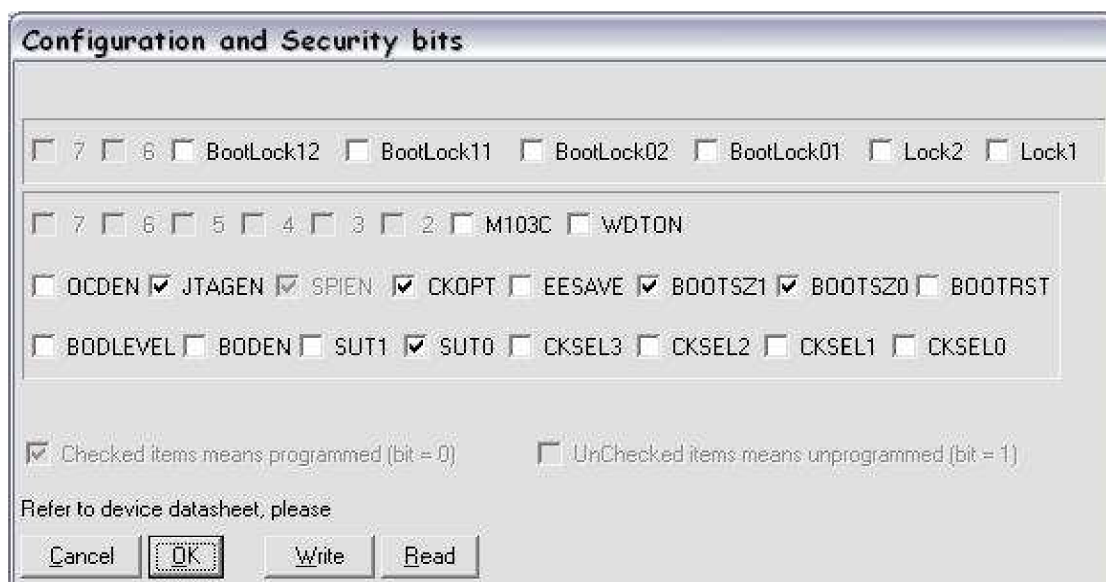
Port	Označení pinu	Popis	Stav	Inicializační hodnota
RS 485				
PD0	EXTINT/	Externí přerušení ze systému tachografu	Vstup	-
PD1	RES5	Rezerva - nevyužito	Výstup	0
PD2	RXD 485	Přijímací signál pro RS485	Vstup	-
PD3	TXD 485	Vysílací signál pro RS485	Výstup	0
PD4	DIR 485	Ovládání směru RS485	Výstup	0
PD5	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PD6	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PD7	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
RS 485SP/SPI + Watchdog + Frekvenční vstupy				
PE0	RXD 485SP-MOSI	Přijímací signál pro RS485SP nebo SPI sig.	Vstup	-
PE1	TXD 485SP-MISO	Vysílací signál pro RS485SP nebo SPI sig.	Výstup	0
PE2	DIR 485SP	Ovládání směru RS485SP	Výstup	0
PE3	WDST/	Nulování HW watchdogu	Výstup	1
PE4	SOI1	Frekvenční vstup – snímač otáček – A	Vstup	-
PE5	SOI2	Frekvenční vstup – snímač otáček – B	Vstup	-
PE6	SOI3	Frekvenční vstup – snímač otáček – C	Vstup	-
PE7	SOI4	Frekvenční vstup – snímač otáček – D	Vstup	-
JTAG				
PF0	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PF1	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PF2	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PF3	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PF4	TCK/JTAG	JTAG signál	Vstup	-
PF5	TMS/JTAG	JTAG signál	Vstup	-
PF6	TDO/JTAG	JTAG signál	Výstup	0
PF7	TDI/JTAG	JTAG signál	Vstup	-
LED indikace				
PG0	LED FCE 2	Ovládání zelené LED – funkce 2	Výstup	0
PG1	LED FCE 1	Ovládání zelené LED – funkce 1	Výstup	0
PG2	LED ERR	Ovládání rudé LED – chybová funkce	Výstup	0
PG3	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0
PG4	Nevyužit	Nevyužit	Výstup	0

Tabulka 10.1: Mapa I/O portů řídicího mikrokontroleru ATmega64

Pojistkové bity jsou uloženy celkem ve třech bytech (bližší popis v [34]). Pojistkové bity jsou naprogramovány, jsou-li nastaveny do log.0. Pro navržený firmware je nastavení těchto bitů uvedeno v tabulce 10.2. Vlastní nastavení v programu PonyProg2000 je zobrazeno na obrázku 10.1.

Byte	7	6	5	4	3	2	1	0
Extended Fuse Byte	x	x	x	x	x	x	1	1
Fuse High Byte	1	0	0	0	1	0	0	1
Fuse Low Byte	1	1	1	0	1	1	1	1

Tabulka 10.2: Nastavení pojistkových bitů



Obrázek 10.1: Nastavení pojistkových bitů – PonyProg2000

10.3 POPIS KNIHOVEN A FUNKCÍ

DAS.c - inicializace a hlavní programová smyčka vstupního modulu

Tento soubor obsahuje hlavní programovou funkci (main) a hlavní programovou smyčku. Na začátku main funkce se provede inicializace celého modulu. Hlavní programová smyčka může být přerušena libovolným přerušením, které jsou uvedeny v tabulce 9.1. Součástí tohoto souboru jsou funkce obsluhy přerušení od všech využitých časovačů, které slouží pro řízení modulu a zajištění potřebných funkcí.

-funkce:

- ISR (SIG_OUTPUT_COMPARE0)
 - obslužná rutina přerušení časovače T0. Tato funkce slouží k řízení komunikace řídicího mikrokontroleru s AD převodníkem. Vždy při přerušení od časovače T0 dochází ke změně hodinového signálu CLK.
- ISR (SIG_OUTPUT_COMPARE1A)
 - obslužná rutina přerušení časovače T1. Tato funkce řídí hlavní měřicí smyčku (200 ms). Při každém vygenerování tohoto přerušení (každých 10ms) jsou navzorkovány binární vstupy a povolen AD převod analogových kanálů. Na konci 200 ms smyčky se vyhodnocuje rychlost vozidla, ujetá dráha, směr pohybu a všechny provozní informace jsou uloženy do výstupních bufferů a jsou připraveny k odeslání.
- ISR (SIG_OUTPUT_COMPARE2)
 - obslužná rutina přerušení časovače T2. Tato funkce slouží k pravidelnému vzorkování signálů od snímače otáček. Ve výsledném firmware je tento časovač vypnut a pro vyhodnocení jsou použita externí přerušení.
- int main(void)
 - main funkce – funkce, která obsahuje inicializace a hlavní programovou smyčku, která může být přerušena jednotlivými přerušeními, které jsou uvedeny v tabulce 9.1.

DAS 485.c - knihovna pro sériovou komunikaci RS485

Knihovna zajišťuje sériovou komunikaci RS485 s řízením směru pomocí I/O pinu mikrokontroleru ATmega64. Vlastní funkci zajišťuje modul USART1 řídicího mikrokontroleru. Knihovna využívá pro příjem přerušení od příjmu dat z důvodu absence fifo bufferu USARTu, aby nedocházelo ke ztrátám dat. V přerušovací rutině jsou jednotlivé byty vyhodnocovány stavovým automatem. Pro vysílání dat je použita funkce, která po uvolnění vysílacího bufferu USART modulu do něj zapíše nový odesílaný byte.

- funkce:

- void initUART1(void) ;
 - funkce pro inicializaci sériové komunikace RS485. Ve funkci je povoleno přerušení od příjmu USARTu a směr komunikace je nastaven na příjem dat.

- SIGNAL(SIG_UART1_RECV)
 - obslužná rutina pro příjem dat z RS485. Identifikace přijímaných paketů. Platný paket je rozpoznán a je zpracován pokud se jedná o neadresní povel. Funkce pak zpracovává typ paketu.
- void UARTTransmit(void);
 - funkce přepne sériovou komunikaci RS485 na vysílání.
- void UARTReceive(void);
 - funkce přepne sériovou komunikaci RS485 na příjem.
- void SendAnswer(unsigned char LocalCountAnswer);
 - funkce pro odeslání bytu po sériové komunikaci RS485. Před přenosem je změněn směr RS485 na vysílání a po dokončení je směr vrácen na příjem.
- Void ReceivePrefixAdress
 - funkce pro kontrolu prvních tří bytů přijaté zprávy.

DAS ADkomun.c - knihovna pro komunikaci s AD převodníkem

Knihovna zajišťuje komunikaci mezi řídicím mikrokontrolerem a AD převodníkem. Vlastní komunikace je znázorněna na obrázku 9.1. Komunikace je řízena pomocí časovače T0, který udává takt hodinového signálu. Při každém přerušení od časovače T0 dochází ke změně logické hodnoty hodinového signálu.

- funkce:

- void AD_CLK_change(void);
 - funkce pro změnu logické hodnoty hodinového signálu.
- void AD_CLK_ON(void);
 - funkce pro nastavení hodinového signálu do log. 1.
- void AD_CLK_OFF(void);
 - funkce pro nastavení hodinového signálu do log. 0.
- void AD_CS_change(void);
 - funkce pro změnu logické hodnoty chip select (CS) signálu.
- void AD_CS_ON(void);
 - funkce pro nastavení chip select (CS) signálu do log. 1.
- void AD_CS_OFF(void);
 - funkce pro nastavení chip select (CS) signálu do log. 0.

- void AD_DIN_change(void);
- funkce pro změnu logické hodnoty datového signálu od μC k převodníku.
- void AD_DIN_ON(void);
- funkce pro nastavení datového signálu od μC k AD převodníku do log. 1.
- void AD_DIN_OFF(void);
- funkce pro nastavení datového signálu od μC k AD převodníku do log. 0.
- void AD_init(void);
- funkce pro nastavení řídicích signálů do inicializovaného stavu (CLK = 0; CS = 1; DIN = 0), aby byl AD převodník v definovaném „sleep“ stavu.

DAS frekv in.c - knihovna zpracování signálů od snímače otáček

Knihovna zajišťuje čítání pulsů od snímače otáček, vyhodnocení směru pohybu vozidla a chyb snímače otáček. Součástí této knihovny jsou čtyři služby externích přerušení, které jsou vyvolány na nástupnou hranu jednotlivých signálů od snímače otáček.

-funkce:

- void TEST_CHYBA_ABCD(void);
- funkce provede test snímače otáček, zda nejsou všechny kanály v log. 0 nebo log. 1.
- void DIRECTION(unsigned char);
- funkce, která na základě předzpracovaných dat od externích přerušení signálů snímače otáček určí směr pohybu vozidla.
- ISR (SIG_INTERRUPT4)
- obslužná rutina externího přerušení – signál A od snímače otáček. Tato funkce slouží k čítání pulsů, správě povolení a zakázání čítání od jednotlivých kanálů a předzpracování dat k určení směru pohybu.
- ISR (SIG_INTERRUPT5)
- obslužná rutina externího přerušení – signál B od snímače otáček. Tato funkce slouží k čítání pulsů, správě povolení a zakázání čítání od jednotlivých kanálů a předzpracování dat k určení směru pohybu.
- ISR (SIG_INTERRUPT6)
- obslužná rutina externího přerušení – signál C od snímače otáček. Tato funkce slouží k čítání pulsů, správě povolení a zakázání čítání od jednotlivých kanálů a předzpracování dat k určení směru pohybu.

- ISR (SIG_INTERRUPT7)
 - obslužná rutina externího přerušení – signál D od snímače otáček. Tato funkce slouží k čítání pulsů, správu povolení a zakázání čítání od jednotlivých kanálů a předzpracování dat k určení směru pohybu.

DAS inicializace.c - knihovna obsahující funkce potřebné k inicializaci modulu

Tato knihovna obsahuje základní inicializační funkce, které jsou volány zejména po resetu řídicího mikrokontroleru nebo během provozu při výskytu poruchového stavu. Jsou zde funkce pro inicializaci časovačů a externích přerušení.

-funkce:

- void DAS_init(void);
 - funkce pro nastavení I/O portů a prvotní nastavení logické úrovně na výstupních pinech.
- void TIMER0_init(void);
 - funkce pro inicializaci časovače T0 – komparace s přednastavenou hodnotou. Časovač generuje přerušení každých 12,5 μ s a je použit pro komunikaci s AD převodníkem.
- void TIMER0_stop(void);
 - funkce pro zastavení časovače T0.
- void TIMER0_run(void);
 - funkce pro spuštění časovače T0.
- void TIMER1_init(void);
 - funkce pro inicializaci časovače T1 – komparace s přednastavenou hodnotou. Časovač generuje přerušení každých 10 ms.
- void TIMER2_init(void);
 - funkce pro inicializaci časovače T2 – komparace s přednastavenou hodnotou. Časovač generuje přerušení každých 68 μ s a je použit pro vzorkování signálů od snímače otáček. Ve výsledném FW je nevyužit.
- void EXTERNIRQ_init(void);
 - funkce pro inicializaci čtyř externích přerušení, které reagují na nástupnou hranu signálů od snímače otáček.

DAS led.c - knihovna pro ovládání LED signalizace

V této knihovně jsou umístěny funkce pro řízení indikačních LED diod, které informují o stavu modulu. Funkce indikačních LED jsou uvedeny v tabulce 10.3.

- funkce:

- void LED_green1_ON(void);
- funkce pro rozsvícení zelené LED 1 (provozní).
- void LED_green2_ON(void);
- funkce pro rozsvícení zelené LED 2 (provozní).
- void LED_red_ON(void);
- funkce pro rozsvícení rudé LED (chybové).
- void LED_green1_OFF(void);
- funkce pro zhasnutí zelené LED 1 (provozní).
- void LED_green2_OFF(void);
- funkce pro zhasnutí zelené LED 2 (provozní).
- void LED_red_OFF(void);
- funkce pro zhasnutí rudé LED (chybové).
- void LED_green1_change(void);
- funkce pro změnu stavu svitu zelené LED 1 (provozní).
- void LED_green2_change(void);
- funkce pro změnu stavu svitu zelené LED 2 (provozní).
- void LED_red_change(void);
- funkce pro změnu stavu svitu rudé LED (chybové).
- void LED_all_ON(void);
- funkce pro rozsvícení všech indikačních LED.
- void LED_all_OFF(void);
- funkce pro zhasnutí všech indikačních LED.

Navržený provozní FW poskytuje pomocí indikačních LED informace o aktuálním stavu modulu. Stav svítelné indikace jsou uvedeny v tabulce 10.3.

	Svíí	Bliká
Zelená LED 1	X	Modul v provozu
Zelená LED 2	Vozidlo v pohybu	X
Rudá LED	Chyba AC,BD	Chyba AC nebo BD

Tabulka 10.3: Stav indikačních LED modulu

DAS podprog.c - knihovna obsahující pomocné funkce pro funkci modulu

Tato knihovna obsahuje pomocné funkce potřebné pro funkci modulu. Jsou určeny pro řízení komunikace s AD převodníkem, zpracování naměřených dat, zjištění ID modulu a pro měření rychlosti.

-funkce:

- void AD_stavy(unsigned int, unsigned char);
- funkce pro řízení komunikace s AD převodníkem. Funkce inicializuje AD převodník, nastaví, který kanál bude převeden a vyčte číslicovou posloupnost.
- unsigned char ID_DAS(void);
- funkce pro zjištění nastaveného ID na přepínači modulu.
- unsigned char BIN_read(void);
- funkce pro navzorkování binárních vstupů.
- void vyhodnoc_OT(unsigned char);
- funkce pro vyhodnocení a inkrementaci čítačů rychlosti na základě současného a minulého vzorku signálů snímače otáček při měření rychlosti pomocí pravidelného vzorkování. Ve výsledném FW tato funkce nevyužita.
- void AD_read(unsigned char);
- funkce pro vyčítání číslicové hodnoty z AD převodníku. AD převodník disponuje 12bitovým rozlišením, 12 bitů je ukládáno do dvou-bajtové proměnné. Tuto funkci využívá rutina obsluhy přerušování od časovače T0.

DAS wdog.c - knihovna pro ovládání externího watchdogu

Knihovna zajišťuje softwarový dohled nad externím watchdogem. Watchdog musí být softwarově obslužen alespoň jednou za 600 ms, jinak dojde k resetu řídicího mikrokontroleru. Obsluha watchdogu je prováděna v průběhu inicializace a dále v nekonečné smyčce hlavní programové smyčky.

-funkce:

- void wdog_init(void);
- funkce pro inicializaci softwarové obsluhy externího watchdogu.
- void wdog_run(void);
- funkce softwarové obsluhy externího watchdogu, která provede nastavení obslužného signálu do log. 0 a následně do log.1.

10.4 VYHODNOCOVANÉ CHYBY

Chyby vzniklé při vyčítání číslicové hodnoty (chybný null bit) z AD převodníku nejsou hlášeny. V případě chyby dochází k opětovnému vyčtení chybného kanálu. U snímače otáček jsou detekovány chyby kanálů AC a BD. Jsou-li tyto chyby detekovány alespoň desetkrát, tak jsou odesílány nadřazenému **CPP** příznaky chyb. Chyby vzniklé během komunikace po RS485 (např. chybný paket nebo špatné CRC) nejsou ukládány ani nikde hlášeny.

Vyhodnocované chyby

- chyba AC (snímač otáček)
- chyba BD (snímač otáček)
- chyba AD1 (analogový kanál č.1)
- chyba AD2 (analogový kanál č.2)
- chyba RS485

10.5 KOMUNIKACE A POPIS VYSÍLANÝCH ZPRÁV

Elektronický rychloměr je multiprocessorový systém. Komunikace je možné provádět na dvou sériových kanálech s rozhraním RS485. V současné době je využíván pouze jeden komunikační kanál.

Programové nastavení sériové komunikace:

- rychlost: 38400 Bd
- parita: -
- datových bitů: 8
- stop bity: 1

Řídicí obvod vykonává řadu výpočtů a obsluh periferií. Některé operace jsou důležitější než jiné, proto jsou zavedeny priority jednotlivých úkonů. Pro správnou činnost je v tabulce 9.2 uvedena správa jednotlivých přerušení. Komunikace s nadřazeným modulem patří prioritně mezi méně významný úkon.

Modul **CPP** vyšle výzvu s adresou. Je-li zpráva určena pro modul frekvenčních, analogových a binárních vstupů, modul odpoví na výzvu následující 11-bytovou zprávou:

Stav snímače otáček a naměřená data

- 1 bajt - počet následně odesílaných bajtů = 10
- 1 bajt - specifikace dat a stav LTV

- Bit 7 - kladný přírůstek rychlosti (kladné zrychlení)
- Bit 6 - záporný přírůstek rychlosti (záporné zrychlení)
- Bit 5, 4, 3 - rezerva
- Bit 2 - směr pohybu vozidla (1 = vpřed)
- Bit 1 - chyba kanálů BD
- Bit 0 - chyba kanálů AC
- 2 bajty - čítač rychlosti (počet dráhových impulsů za 200 ms) v pořadí Lo, Hi
- 2 bajty - čítač dráhových impulsů v pořadí Lo, Hi
- 1 bajt - hodnota 1. analogového kanálu
- 1 bajt - hodnota 2. analogového kanálu
- 1 bajt - stav osmi binárních vstupů (Bit 7..Bit 0 = BVI8..BVI1)
- 2 bajty - CRC

10.6 VÝSLEDNÝ TVAR FW A ČASOVÁ NÁROČNOST FW

Výsledný FW pro navržený modul vstupů nevyužívá k měření rychlosti metodu pravidelného vzorkování signálů od snímače otáček, ale metodu externích přerušení a to z důvodu menší výpočetní zátěže řídicího mikrokontroleru.

FW je založen na hlavní měřicí smyčce (200 ms), v jejíž průběhu je spouštěna každých 10 ms pomocná programová smyčka. Během těchto 10 ms je potřebné stihnout vykonat všechny potřebné výpočty, jinak může dojít ke ztrátě dat.

Při uvažované maximální rychlosti (250 km/h) a minimálního průměru kola (750 mm) - rov. (8.8) nastane během 10 ms 118 externích přerušení. Doba zpracování jednoho externího přerušení včetně určení směru pohybu je 8,75 us.

- A/D převod 1.kanálu včetně zpracování dat: 1,43 ms
- A/D převod 2.kanálu včetně zpracování dat: 1,43 ms
- Navzorkování a zpracování binárních signálů: 0,03 ms
- Zpracování 118 externích přerušení: 1,04 ms

Celková doba zpracování dat během 10ms smyčky: **3,93 ms**

Doba zpracování naměřených dat během pomocné programové smyčky (10ms), vyžaduje asi 40 % času, který je k dispozici. Zbýlých 60 % času v každé této smyčce je celkem asi 120 ms v rámci hlavní měřicí smyčky. Tento čas je dostatečná rezerva pro komunikaci a výsledné zpracování, které nastává jednou za 200 ms. Vyhodnocení naměřených dat po 200 ms vyžaduje 0,02 ms výpočetního času.

11. PRAKTICKÁ MĚŘENÍ A ZKOUŽKY MODULU

11.1 ZKOUŠKA FUNKCE HARDWAROVÉHO WATCHDOGU A POWER MONITORU

Po připojení napájecího napětí +5 V je signál RESET v log.0 a LED D4 nesvítí. Při poklesu tohoto napětí pod hodnotu 4,39 V, nastaví obvod power monitoru signál RESET do log. 1 a současně se rozsvítí rudá LED D4. Po zvýšení napájecího napětí tato LED zhasne a RESET je v log.0. Po dobu stisku tlačítka S1 je signál RESET nastaven do log.1 a LED D4 svítí, po uvolnění tlačítka přechází RESET do log.0 a LED zhasne.

Doba trvání signálu RESET je 247 ms. Doba čekání watchdogu na „občerstvovací“ impuls od mikrokontroleru je 574 ms, pak dochází k aktivaci resetu.

11.2 MĚŘENÍ PROUDOVÝCH ODBĚRŮ MODULU V SESTAVĚ RYCHLOMĚRU

- Minimální proudový odběr z interního 5 V rozvodu
- mikrokontroler v resetu, LED zhasnuty

$$I_{MIN5V} = 82 \text{ mA}$$

- Maximální proudový odběr z interního 5 V rozvodu
- mikrokontroler v činnosti, LED rozsvíceny (2 x zelená, 1 x rudá)

$$I_{MAX5V} = 117 \text{ mA}$$

- Příkon modulu při maximálním proudovém odběru

$$P_{5V} = V_{CC5} \cdot I_{MAX5V} \tag{11.1}$$

$$P_{5V} = 5 \cdot 117 = \underline{\underline{585 \text{ mW}}} \tag{11.2}$$

11.3 MĚŘENÍ VSTUPNÍCH KANÁLŮ

11.3.1 Frekvenční vstupní kanál

Vypočtený vstupní proud frekvenčního kanálu za normálního provozu, kdy napětí signálů od snímače otáček v log.1 je 24 V, je podle rovnice (5.17)

$$I_{FREKVMAX} = 5,6 \text{ mA}.$$

Při připojení napětí $U_{FREKV} = 24 \text{ V}$ na vstup frekvenčního kanálu, byl proudový odběr $I_{FREKV} = 5,39 \text{ mA}$. Rozdíl mezi teoreticky spočtenou a naměřenou hodnotou je způsobeno tolerancí použitých součástek.

Frekvenční charakteristika vstupního frekvenčního kanálu změřená na realizovaném vzorku je znázorněna – Příloha H.1.

- Výkonová ztráta jednoho frekvenčního kanálu:

$$P_{FREKV} = U_{FREKV} \cdot I_{FREKV} \quad (11.3)$$

$$P_{FREKV} = 24 \cdot 5,39 \cdot 10^{-3} \quad (11.4)$$

$$P_{FREKV} = \underline{\underline{129,36 \text{ mW}}} \quad (11.5)$$

- Rozhodovací úroveň frekvenčního kanálu - napětí log.1 a log.0

- Teoreticky $U_{LOG1_TEOR} = 7,9 \text{ V}$

- Měřeno $U_{LOG1_MĚŘ} = 7,9 \text{ V}$

$$U_{LOG0_MĚŘ} = 6,9 \text{ V}$$

11.3.2 Binární vstupy

Vypočtený vstupní proud binárního kanálu za normálního provozu, kdy napětí signálů z technologie v log.1 může být až 154 V, je podle rovnice (5.43)

$$I_{BIN_MAX} = 6,74 \text{ mA}.$$

Při připojení napětí $U_{BIN} = 154 \text{ V}$ na vstup binárního kanálu, byl proudový odběr $I_{BIN} = 5,82 \text{ mA}$. Rozdíl mezi teoreticky spočtenou a naměřenou hodnotou je způsobeno tolerancí použitých součástek.

Frekvenční charakteristika vstupního binárního kanálu změřená na realizovaném vzorku je znázorněna – Příloha H.2.

- Výkonová ztráta jednoho binárního kanálu:

$$P_{BIN} = U_{BIN} \cdot I_{BIN} \quad (11.6)$$

$$P_{BIN} = 154 \cdot 5,82 \cdot 10^{-3} \quad (11.7)$$

$$P_{BIN} = \underline{\underline{896,28 \text{ mW}}} \quad (11.8)$$

- Rozhodovací úrovně binárního kanálu - napětí log.1 a log.0

- Teoreticky $U_{LOG1_TEOR} = 15,7 \text{ V}$

- Měřeno $U_{LOG1_MĚŘ} = 16,5 \text{ V}$

$$U_{LOG0_MĚŘ} = 7,6 \text{ V}$$

11.3.3 Analogové vstupy

Vypočtený vstupní proud analogového kanálu za normálního provozu, kdy napětí signálů z technologie může být maximálně 10 V, je podle rovnice (5.57) $I_{ANALOGIN} = 0,5 \text{ mA}$.

Při připojení napětí $U_{ANALOG} = 10 \text{ V}$ na vstup analogového kanálu, byl proudový odběr $I_{ANALOG} = 0,42 \text{ mA}$. Rozdíl mezi teoreticky spočtenou a naměřenou hodnotou je způsobeno tolerancí použitých součástek, popř. rozdílným vstupním odporem AD převodníku.

Frekvenční charakteristika vstupního analogového kanálu změřená na realizovaném vzorku je znázorněna – Příloha H.3.

- Výkonová ztráta jednoho analogového kanálu:

$$P_{ANALOG} = U_{ANALOG} \cdot I_{ANALOG} \quad (11.9)$$

$$P_{ANALOG} = 10 \cdot 0,42 \cdot 10^{-3} \quad (11.10)$$

$$P_{ANALOG} = \underline{\underline{4,2 \text{ mW}}} \quad (11.11)$$

11.4 CELKOVÁ VÝKONOVÁ ZTRÁTA MODULU

Maximální výkonová ztráta na modulu vznikne v případě maximálního proudového odběru z interního napájecího rozvodu řídicí a komunikační části modulu a současně, budou-li všechny připojené vstupní signály ve stavu log. 1. Celková výkonová ztráta je pak dána součtem jednotlivých výkonových ztrát (4x frekvenční vstup, 8x binární vstup, 2x analogový vstup).

$$P_{MAX} = P_{5V} + 4 \cdot P_{FREKV} + 8 \cdot P_{BIN} + 2 \cdot P_{ANALOG} \quad (11.12)$$

$$P_{MAX} = 585 + 4 \cdot 129,36 + 8 \cdot 896,28 + 2 \cdot 4,2 \quad (11.13)$$

$$P_{MAX} = 8281,08 \text{ mW} = \underline{\underline{8,3 \text{ W}}} \quad (11.14)$$

11.5 ROZSAH PROVOZNÍCH TEPLŮT

Funkční vlastnosti modulu v sestavě rychloměru byly testovány v rozsahu teploty okolí modulu $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ až $+45 \text{ }^\circ\text{C}$. V celém teplotním rozsahu nedošlo k výpadku nebo omezení funkce modulu.

11.6 PODMÍNKY PROVEDENÝCH MĚŘENÍ

Provedená měření proběhla dne: 21.4.2010

Teplota: $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ Tlak: 994 hPa Vlhkost: 55 %

Měřicí přístroje: digitální multimetr PU 510, v.č.: 6511418

 digitální multimetr PU 510, v.č.: 6543227

 osciloskop TEKTRONIX 225, v.č. : 21546983

11.7 VÝSLEDNÉ PARAMETRY NAVRŽENÉHO MODULU

- Napájecí napětí: $+5 \text{ V (DC)}$
- Počet frekvenčních vstupů: 4
- Min. napětí log.1: $7,9 \text{ V}$
- Maximální vstupní proud: $5,6 \text{ mA (24 V)}$
- Maximální frekvence: $3,9 \text{ kHz (pravidelné vzorkování)}$
- Počet binárních vstupů: 8
- Maximální připojitelné napětí: 154 V
- Ochrana proti přepólování: ANO
- Min. napětí log.1: $16,5 \text{ V}$

- Maximální vstupní proud: 6,8 mA (154 V)
- Počet analogových vstupů: 2
- Měřicí rozsah: 0 – 10 V; 0 – 20 mA
- Maximální vstupní proud: 0,5 mA
- Rozlišení analogové hodnoty: 12 bitů měření, 8 bitů zpracování
- Izolační pevnost plovoucí části: min. 2,5 kV (DC)
- Rozsah měřených rychlostí: 0,5 – 250 km/h
- Chyba měření: 1,5 % (5-250 km/h)
- Komunikace: interní 2x RS485

11.8 VSTUPNÍ MODULY KONKURENČNÍCH FIREM

- **EKE electronics [49]**
 - Analogue input module (AIM)
 - Napájení +5 V (DC)
 - Příkon 1,25 W
 - Počet analogových vstupů 8
 - Měřicí rozsah 0 – 10 V, 4 – 20 mA
 - Rozlišení 12 bitů
 - Počet frekvenčních vstupů 4
 - Maximální frekvence 15 kHz
- **MSV elektronika [50]**
 - Modul analogových vstupů
 - Napájení +5 V (DC)
 - Příkon 0,5 W
 - Počet vstupů 8
 - Měřicí rozsah 0 – 10 V, 0 – 20 mA
 - Rozlišení 10 bitů
 - Modul digitálních vstupů
 - Napájení +5 V (DC)
 - Příkon 0,5 W
 - Počet vstupů 24
 - Vstupní proud 10 mA
 - Vstupní napětí max. 30V

12. DALŠÍ MOŽNOSTI MODULU

Hardwarový návrh Modulu frekvenčních, analogových a binárních vstupů a jeho vlastnosti spolu s dalšími možnostmi řídicího mikrokontroleru ATmega64, umožňují rozšířené možnosti programového vybavení. Některé prvky rozšiřujícího programového vybavení bylo naprogramováno a odladěno, ale není v současné době využito z důvodů kompatibility se stávajícím systémem.

Rozšířené možnosti:

- podpora pro druhou sériovou komunikaci RS485 na mikroprocesorovém modulu USART0 (v programu je toto rozhraní zatím využito pro ladění a sledování výpisů)
- využití zjištěného ID modulu (identifikační signály ID1, ID2, ID4 a ID8 – vícekontakový přepínač S12)
- pro snížení spotřeby je vhodné využívat některý z úsporných režimů řídicího mikrokontroleru ATmega64 (v současné době se mikrokontroler ATmega64 neuspává a neuvádí do úsporných režimů)
- externí přerušovací signál EXTINT není využit
- signály RES1-MP, RES2-MP, RES3-MP, RES4-MP, RES5-MP zatím bez funkce

13. VÝSLEDNÁ CENA MODULU

Použitím součástek pro povrchovou montáž SMD byla výsledná cena materiálu použitého na výrobu modulu a pracnost při osazování značně snížena. Rozpiska materiálu s cenou jednotlivých součástek je uvedena v příloze D. Výsledná cena materiálu včetně desky plošného spoje je 1229 Kč.

Cena za osazení tohoto modulu (SMD i klasická montáž) činí 750,-Kč/modul. Cena za oživení celého modulu při využití oživovacího softwaru a oživovacího přípravku činí 420,-Kč/modul. Oživením se myslí pohledová kontrola kvality osazení celého modulu, kontrola polarit diod, kondenzátorů, kontrola správného otočení integrovaných obvodů, test hardwarového watchdogu, otestování pomocí oživovacího softwaru a přípravku, ověření AD převodníku, komunikace atd.

- Cena materiálu: 1229,- Kč
- Cena osazení: 750,- Kč
- Cena oživení: 420,- Kč

Celková cena modulu: **2399,- Kč**

Výsledná cena, která obsahuje kompletní materiál dle rozpisky materiálu, osazovací a oživovací práci činí 2399,- Kč. Jedná se o předpokládanou nákladovou cenu jednoho modulu, ve které není zahrnuta cena návrhu a vývoje tohoto modulu.

Pozn.: Rozpiska materiálu s jednotlivými cenami je uvedena – viz. Příloha D.

14. ZÁVĚR

V této práci je uveden základní popis jednotlivých částí elektronického rychloměru RE1xx firmy UniControls - Tramex. Na základě seznámení s problematikou tohoto zařízení a problematikou měření rychlosti, ujeté dráhy, zpracování analogových a dvoustavových signálů na kolejových vozidlech, bylo vypracováno několik koncepcí vstupního modulu. Navržené koncepce sdružují čtyři frekvenční vstupy (snímač otáček dvojkolí vozidla), dva analogové vstupy (snímače fyzikálních veličin – např. tlak vzduchu v průběžném brzdovém potrubí) a osm binárních vstupů (dvouhodnotové signály – např. tlačítko bdělosti, houkačka, zavírání dveří, osvětlení, odbuzení motoru, požární snímač apod.).

Podrobně je v této práci rozebrána problematika měření ujeté dráhy, aktuální rychlosti a zrychlení na kolejových vozidlech. Klíčovým prvkem je v tomto případě snímač otáček, který je umístěn přímo na nápravě vozidla a jeho pohyblivá část je mechanicky spojena s rotujícím dvojkolím. Typ snímače otáček byl dopředu zadán a na základě jeho parametrů bylo nutné vypracovat koncepci modulu. Zadaný snímač je čtyř-kanálový, díky tomu je zajištěna vysoká spolehlivost a funkceschopnost celé koncepce. Dojde-li během provozu k výpadku některého z kanálů, nemusí dojít k odstavce vozidla. Jednotlivé kanály jsou připojeny nezávisle až k řídicímu obvodu. Při výpadku jednoho nebo dvou měřených signálů může vozidlo pokračovat v jízdě a oprava nebo výměna snímače proběhne až během pravidelné odstávky.

Na základě rozboru navržených koncepcí byl vypracován obvodový návrh tohoto modulu, který je založen na řídicím mikrokontroleru ATmega 64. Hlavní důraz byl při praktickém návrhu kladen na zvýšenou provozní bezpečnost, spolehlivost, funkceschopnost a dále na požadovanou přesnost měření. Obvodový návrh tohoto modulu vycházel z technických požadavků, které budou na tento modul kladeny. Jedná se především o maximální přípustná napětí dvoustavových signálů, maximální rychlost kolejového vozidla, která spolu s průměrem kola a typem snímače otáček určuje maximální kmitočet vstupního signálu. Jednotlivé vstupní kanály jsou galvanicky odděleny od obvodů rychloměru pomocí optočlenů, izolační pevnost přesahuje požadovanou hodnotu. Signály od snímače otáček jsou přivedeny na vstupní port řídicího mikrokontroleru, který sdružuje funkci klasického

dvouhodnotového vstupu a funkci externího přerušení. To umožňuje dvojí přístup k měření rychlosti a ujeté dráhy. Jednotlivé vstupní kanály obsahují ochranu proti přepětí, binární kanály i ochranu proti přepólování.

Obvodový návrh je rozšířen o návrh desky plošných spojů, potřebný k vlastní realizaci modulu. Deska plošných spojů byla navržena s ohledem na EMC, odolnost vůči vysokofrekvenčnímu rušení a s ohledem na požadované galvanické oddělení. Při návrhu byla zajištěna mechanická kompatibilita se současným systémem Elektronického rychloměru.

Na funkčním vzorku vstupního modulu byl vypracován a odladěn provozní firmware, který je založen na jedno-vláknové koncepci programu. Modul pracuje v základní 200 ms měřicí smyčce. Na konci této smyčky, po vyžádání, odesílá nadřazenému Modulu centrálního procesoru předzpracovaná data. Pro měření aktuální rychlosti byly odladěny dva algoritmy – metoda pravidelného vzorkování a metoda externích přerušení. Do výsledného provozního firmwaru byla použita metoda externích přerušení, která šetří výpočetní čas řídicího mikrokontroleru a je použitelná i pro měření vyšších rychlostí. Měření a zpracování analogových signálů je prováděno s 12bitovým rozlišením. U binárních vstupů je použit algoritmus potlačující zakmitávání vstupních signálů a je schopen indikovat změny stavu v délce minimálně 10 ms (vzorkovací perioda zadána na základě zkušeností z provozu, v případě potřeby lze vzorkovací periodu zkrátit až na 4 ms). Komunikace probíhá po sériové komunikaci RS485 s komunikačním protokolem UCT_485. Z důvodu softwarové a komunikační kompatibility jsou odesílána data s menší přesností než je modul schopen poskytnout – rozlišení analogových veličin je sníženo na osm bitů. Měření rychlosti a ujeté dráhy je omezeno celočíselným tvarem zpráv (počet dráhových impulsů za 200 ms), se kterými dále pracuje nadřazený modul. Softwarovou úpravou může navržený modul zpracovávat naměřená data s dvojnásobnou přesností. V případě potřeby je možno upravit firmware modulu tak, aby se zvýšila přesnost měření při nízkých rychlostech.

V rámci této práce jsou odladěny softwarové funkce, které nejsou v současné době využívány, ale v blízké době lze jejich využití očekávat – např. zjištění ID modulu, komunikace pomocí druhé sériové komunikace RS485.

Výsledkem této práce je funkční vzorek Modulu frekvenčních, analogový a binárních vstupů, který splňuje příslušné technicko - právní normy a všechny stanovené podmínky a požadavky zadání. Předzpracovaná data nesoucí informace o rychlosti, ujeté dráze, směru pohybu, poruše snímače otáček, stavu analogových a binárních vstupů jsou odesílána nadřazenému modulu sériovou komunikací RS485. Na realizovaném vzorku bylo provedeno měření elektrických parametrů a funkční zkoušky, jejichž výsledky odpovídají teoretickým předpokladům. Výsledné technické parametry navrženého modulu jsou uvedeny v kapitole 11.7. Schéma modulu, rozpiska použitých součástek, výkresy jednotlivých vrstev desky plošných spojů, výkres rozmístění součástek a základní vývojové diagramy jsou uvedeny v Příloze. Cena materiálu navrženého modulu činí 1229 Kč. Obvodové zapojení bylo rozšířeno o prvky zvyšující funkční spolehlivost a funkceschopnost. V rámci provozního softwaru byly navrženy rozšiřující funkce nad rámec zadání.

15. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Normy

- [1] ČSN EN 50121-3-2. Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 3-2: Drážní vozidla – Zařízení. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20s.
- [2] ČSN EN 50155. Drážní zařízení – Elektronická zařízení drážních vozidel. Praha: Český normalizační institut, 2002. 52s.
- [3] ČSN EN 61373. Drážní zařízení – Zařízení drážních vozidel – Zkoušky rázy a vibracemi. Praha: Český normalizační institut, 2002. 40s.

Odborná literatura

- [4] FEILHAUER, P. Modul reléových výstupů elektronického tachografu. Brno: VUT, FEKT, 2008. 85s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. František Zezulka, Csc.
- [5] FEILHAUER, P. Modul frekvenčních, analogových a binárních vstupů. Brno: VUT, FEKT, 2009. 44s. Vedoucí semestrální práce 1 prof. Ing. František Zezulka, Csc.
- [6] FEILHAUER, P. Modul frekvenčních, analogových a binárních vstupů. Brno: VUT, FEKT, 2009. 30s., 8s. příloh. Vedoucí semestrální práce 2 prof. Ing. František Zezulka, Csc.
- [7] SEDLÁČEK, J., VALSA, J. Elektrotechnika 2. Brno: VUT, FEKT, 2004. 143s.
- [8] ŠVEC, J., ŠÍŠKA, J., VAVŘÍN, P. Teorie řízení 1 – Lineární systém. Brno: VUT, FE, 1982. 208 s.
- [9] ZÁHLAVA, V. Praktický průvodce návrháře OrCAD. Praha: GRADA, 1999. 124 s.
- [10] KAHLE, P., NOVÁK, V., STARÝ, J. Návrhové systémy plošných spojů. Elektronické skriptum. Brno: VUT, FEKT, 2005. 204 s.
- [11] ARCHAMBEAULT, B., R. PCB Design for Real-World EMI Kontrol. USA, Massachusetts, Norwell: 2002. 241 s.
- [12] PAARMANN, L., D. Design and analysis of analog filters. ISBN: 0-7923-7373-1. USA, Massachusetts, Norwell: 2001. 433 s.
- [13] HABIGER, E. Elektromagnetische Verträglichkeit. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1992
- [14] ČEJKA, M. Elektronické měřicí systémy. Elektronické skriptum. Brno: VUT, FEKT, 2002. 118s.
- [15] KUČERA, P., FIEDLER, P., BRADÁČ, Z. Embedded system for industrial kontrol. Elektronické skriptum. Brno: VUT, FEKT, 2006. 86s.
- [16] BEJČEK, L. Sensory neelektrických veličin. Elektronické skriptum. Brno: VUT, FEKT, 2007. 229s.

- [17] RIPKA, P., ĎAĎO, S., KREIDL, M., NOVÁK, J. Senzory a převodníky. Praha: ČVUT, 2005. 136 s.
- [18] ČEJKA, M. Elektronické měřicí systémy. Elektronické skriptum. Brno: VUT, FEKT, 2002. 118s.
- [19] DOEBELIN, E. O.: Measurement Systems Application and Design. New York: 1990. 747s.

Odborné články

- [20] KUNZEL, K., PAPEŽ, J. Úskalí návrhu odrušovacích filtrů. Automatizace, ročník 50, číslo 7-8, srpen 2007, strana 494.
- [21] DUDÁŠ, J. Principy konstrukce a funkce varistorových svodičů napětí. Elektro, rok 2006, číslo 5.
- [22] ZEZULKA, F., BRADÁČ., Z. Development in safety and reliability of programmable devices and systems. BRNO: VUT, FEKT, 2006. 4s
- [23] DUDÁŠ, J., TICHÝ, V. Ochrana ústředny EZS před přepětím. Automatizace, ročník 47, číslo 10, říjen 2004, strana 645.
- [24] DUDÁŠ, J. Přepěťová ochrana slaboproudých rozvodů. Automatizace, ročník 47, číslo 12, prosinec 2004, strana 773.
- [25] KUKAL, J. Zpracování signálů. Automatizace, ročník 51, číslo 4, duben 2008, strana 250.
- [26] ŠMEJKAL, L. Měření polohy a úhlového natočení – přehled trhu. Automatizace, ročník 48, číslo 12, prosinec 2005, strana 783.
- [27] KUČERA, P. Operační Systémy reálného času I [online].[cit. 2010-02-16]. Dostupné z:
<http://sciotech.cz/tc/lectures/mrts/data/01_uvod_cz.pdf>

Firemní dokumentace

- [28] Interní vývojová dokumentace firmy UniControls - Tramex
- [29] Materiály firmy DEUTA – Werke
- [30] Materiály firmy HaslerRail AG
- [31] Materiály firmy Bombardier Transportation
- [32] Materiály firmy Sécheron

Katalogové listy

- [33] GEL 2701, 2710, 2711 [online]. Version 05.07. 8s., [cit. 2010-01-10]. Dostupné z:
<http://www.lenord.de/de/produkte/sensorline/inkremental/gel27xx/TI27xx_e.pdf>
- [34] DATA SHEET ATMEGA64 [online]. c2007. 391s., [cit. 2010-04-06]. Dostupné z:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2490S.pdf>
- [35] DATA SHEET ATMEGA64 - SUM [online]. 2007. 24s., [cit. 2010-04-06]. Dostupné z:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/2490S.pdf>.

- [36] DATA SHEET DS1232 [online]. c2002. 8s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/DallasSemiconductor/mXqzxy.pdf>>.
- [37] DATA SHEET MAX485 [online]. c2003. 20s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX1487-MAX491.pdf>>.
- [38] DATA SHEET PC357 [online]. c1997. 15s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/43330/SHARP/PC357.html>>.
- [39] DATA SHEET PC400 [online]. c2004. 5s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Sharp/mXrvyvq.pdf>>.
- [40] DATA SHEET LTC1298 [online]. c2002. 24s., [cit. 2010-02-17].
Dostupné z:
<<http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1155,C1001,C1158,P1445,D2760>>.
- [41] DATA SHEET TSM0515S [online]. c2005. 5s., [cit. 2010-02-17].
Dostupné z:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/32594/TRACOPOWER/TSM0515S.html>>.
- [42] DATA SHEET LE50CD [online]. c2002. 26s., [cit. 2010-02-17].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/stmicroelectronics/2573.pdf>>.
- [43] DATA SHEET NC7SZ14M5X [online]. c2004. 9s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/4/09jw6it25y984dljy390hh4ul3cy.pdf>>.
- [44] DATA SHEET 1,5KE series [online]. c2003. 7s., [cit. 2010-02-16].
Dostupné z:
<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/comchip/1.5KE10A.pdf>>.

Internetové stránky

- [45] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility[online]. Brno, VUT, FEKT, Ústav radioelektroniky., [cit. 2010-01-26]. Dostupné z:
<<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php?soubor=obsah.htm>>
- [46] DEUTA-WERKE [online]. [cit. 2010-04-02]. Dostupné z:
<<http://www.deuta.com/en.html>>
- [47] BOMBARDIER [online]. [cit. 2010-04-02]. Dostupné z:
<<http://www.bombardier.com/en>>
- [48] HaslerRailAG [online]. [cit. 2010-04-03]. Dostupné z:
<<http://www.haslerrail.com/>>
- [49] EKE electronics [online]. [cit. 2010-04-03]. Dostupné z:
<<http://www.eke.com/>>
- [50] MSV elektronika [online]. [cit. 2010-04-03]. Dostupné z:
<<http://www.msvelektronika.cz/>>

16. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CPP		- Modul centrálního procesoru s pamětí záznamu
DAS		- Modul frekvenčních, analogových a binárních vstupů
NZE		- Modul napájecího zdroje
PKE		- plošná kabeláž
RJI		- komunikační a indikační jednotka
RJE		- jednotka elektroniky
FW		- firmware
DPS		- deska plošného spoje
-		- úroveň log.1 signálu
—		- úroveň log.0 signálu
↑		- nástupná hrana signálu
↓		- sestupná hrana signálu
U_{NAPAJ}	[V]	- napájecí napětí 5V
U_{SATUR_PC400}	[V]	- napětí na výstupu optočlenu PC400 v sepnutém stavu
U_{IN_PC400}	[V]	- napětí na vstupu optočlenu PC400 (napětí LED)
$I_{FREKVMAX}$	[A]	- maximální vstupní proud frekvenčního kanálu
U_{SATUR_PC357}	[V]	- napětí na výstupu optočlenu PC357 v sepnutém stavu
U_{IN_PC357}	[V]	- napětí na vstupu optočlenu PC357 (napětí LED)
U_{IN_MAX}	[V]	- maximální vstupní napětí binárního kanálu
I_{IN_MAX}	[A]	- maximální vstupní proud binárního kanálu
U_{IN}	[V]	- vstupní napětí analogového kanálu
U_{INMAX}	[V]	- maximální vstupní napětí analogového kanálu
$I_{ANALOGIN}$	[A]	- maximální vstupní proud analogového kanálu
D_{MIN}	[m]	- minimální průměr kola kolejového vozidla
D_{MAX}	[m]	- maximální průměr kola kolejového vozidla
$f_{MAX\ TEOR}$	[Hz]	- maximální teoretická frekvence, zanedbaná přesnost střídý
f_{VZteor}	[Hz]	- minimální vzorkovací frekvence, zanedbaná přesnost střídý
I_{MIN5V}	[A]	- klidový proudový odběr modulu - měřený (5V)
I_{MAX5V}	[A]	- maximální proudový odběr modulu - měřený (5V)
P_{5V}	[W]	- maximální příkon modulu z 5V rozvodu
$I_{FREKVMAX}$	[A]	- maximální proudový odběr frekvenčního kanálu při 24 V
P_{FREKV}	[W]	- maximální výkonová ztráta frekvenčního kanálu
I_{BINMAX}	[A]	- maximální proudový odběr binárního kanálu při 154 V
P_{BIN}	[W]	- maximální výkonová ztráta binárního kanálu
$I_{ANALOGIN}$	[A]	- maximální proudový odběr analogového kanálu při 10 V
P_{ANALOG}	[W]	- maximální výkonová ztráta analogového kanálu
P_{MAX}	[W]	- maximální výkonová ztráta vstupního modulu

17. SEZNAM PŘÍLOH

A – Schéma zapojení vstupního modulu	P1
B – Výkresová dokumentace ..	P2
B.1 - Deska plošných spojů – vrstva TOP 1 ..	P2
B.2 - Deska plošných spojů – vrstva TOP 2 ..	P3
B.3 - Deska plošných spojů – vrstva BOTTOM 1 ..	P4
B.4 - Deska plošných spojů – vrstva BOTTOM 2 ..	P5
C – Výkres rozmístění součástek ..	P6
D – Rozpiska materiálu ..	P7
E – Frekvenční amplitudová charakteristika – návrh vstupního frekvenčního kanálu	P8
F – Stavová tabulka – měření rychlosti a ujeté dráhy ..	P9
F.1 - Měření rychlosti a ujeté dráhy – rozhodovací tabulka 00h – 3Fh ..	P9
F.2 - Měření rychlosti a ujeté dráhy – rozhodovací tabulka 40h – 7Fh ..	P10
F.3 - Měření rychlosti a ujeté dráhy – rozhodovací tabulka 80h – BFh ..	P11
F.4 - Měření rychlosti a ujeté dráhy – rozhodovací tabulka C0h – FFh ..	P12
G – Vývojové diagramy provozního FW ..	P13
G.1 - Vývojový diagram inicializace modulu a hlavní programové smyčky ..	P13
G.2 - Vývojový diagram – obsluha externího přerušení A od snímače otáček ..	P14
G.3 - Vývojový diagram – obsluha externího přerušení B od snímače otáček ..	P15
G.4 - Vývojový diagram – obsluha externího přerušení C od snímače otáček ..	P16
G.5 - Vývojový diagram – obsluha externího přerušení D od snímače otáček ..	P17
G.6 - Vývojový diagram – obsluha přerušení od časovače T0 (obsluha AD) ..	P18
G.7 - Vývojový diagram – obsluha přerušení od sériového kanálu (UART) ..	P19
G.8 - Vývojový diagram – obsluha přerušení od časovače T1 (2 ms) 1/3 ..	P20
G.9 - Vývojový diagram – obsluha přerušení od časovače T1 (2 ms) 2/3 ..	P21
G.10 - Vývojový diagram – obsluha přerušení od časovače T1 (2 ms) 3/3 ..	P22
H – Frekvenční charakteristiky realizovaného modulu ..	P23
H.1 - Frekvenční charakteristika - vstupní frekvenční kanál (realizovaný prototyp) ..	P23
H.2 - Frekvenční charakteristika - vstupní binární kanál (realizovaný prototyp) ..	P24
H.3 - Frekvenční charakteristika - vstupní analogový kanál (realizovaný prototyp) ..	P25
I – Fotodokumentace realizovaného modulu ..	P26
I.1 – Realizovaný prototyp navrženého vstupního modulu – strana TOP ..	P26
I.2 – Realizovaný prototyp navrženého vstupního modulu – strana BOTTOM ..	P26
J – Obsah příloženého CD ..	P27