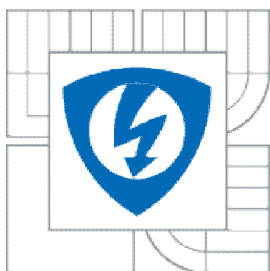




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

INTELIGENTNÍ PŘEVODNÍK 0-10V S ROZHRANÍM ETHERNET

ANALOG 0-10V TO ETHERNET CONVERTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

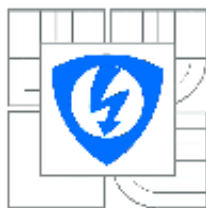
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN HLÚPIK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Martin Hlúpík
Ročník: 2

ID: 77697
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci elektroniky převodníku, který umožní připojit standardní analogový senzor 0-10V na Ethernet. Vlastní elektronika bude založena na procesoru Rabbit. Implementujte WWW stránky pro konfiguraci a poskytování dat, Modbus TCP pro přenos informací a základní funkčnost dataloggeru. Realizujte návrh HW, osadte a oživte DPS. Sestavte programové vybavení a demonstруйте plnou funkčnost zařízení. Sepište diplomovou práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6
Dle zadání vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 24.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

INTELIGENTNÍ PŘEVODNÍK 0-10V S ROZHRANÍM ETHERNET

Diplomová práce

Studijní obor: Kybernetika, automatizace a měření
Student: Bc. Martin Hlúpík
Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou připojení analogového senzoru s výstupem 0-10V na komunikační síť s rozhraním Ethernet. Vzhledem k rychlému vývoji a nasazování ethernetových sítí v průmyslu jako i v automatizaci budov je možné použít toto řešení pro připojení, vzdálenou diagnostiku a nastavování existujících analogových senzorů bez komunikačních rozhraní na úrovni instrumentace ve fieldbusových sítích. Jako základ převodníku byl vybrán modul Rabbit, do kterého je možné implementovat webserver pro nastavování, kalibraci a záznam dat. Pro všestranné použití převodníku bude výstup měřených dat poskytován přes webové rozhraní, protokolem Modbus TCP a asynchronním sériovým rozhraním RS-232.

První částí práce je zaměřená na popis existujících řešení a seznámení se s principy linearizace a kalibrace A/D převodníků. Popis komunikačního standardu ModbusTCP používaného v průmyslových aplikacích.

Druhá část práce popisuje návrh a realizaci projektu. Je zde popsáno blokové schéma zařízení s detailním popisem schémat jednotlivých bloků a použitých obvodů. V části implementace je popsán firmware zařízení s popisem funkcí programu a ovládáním.

Poslední částí práce je ověření funkce modulu převodníku podpořená řadou měření a testů. Práce je ukončená zhodnocením výsledků, poznatků a zjištění v průběhu zpracování diplomové práce.

Klíčová slova: měření napětí 0-10V, ModBUS TCP, Ethernet, Rabbit, inteligentní převodník, operační zesilovač, A/D převodník, kalibrace, RS232

INTELLIGENT CONVERTER 0-10V WITH ETHERNET INTERFACE

Master's Thesis

Specialisation of study:	Cybernetics, Control and Measurement
Student:	Bc. Martin Hlúpík
Supervisor:	doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Abstract:

This Master's thesis concerns with the problem of connection of analog sensors with voltage output 0-10V to an Ethernet communication network. Due to a quick evolution and an application of Ethernet networks to industry and building technologies it is possible to use this solution for connection of remote diagnostics and setting of existing analog sensors without bus communication interfaces on instrumentation level of field bus networks. The converter is based on Rabbit module, which can be used like a webserver for setting, calibration and data recording. For the purpose of wide converter use the data output will be purveyed on Ethernet interface by Modbus TCP and on asynchronous serial interface RS232.

First part of thesis is aimed on description of existing solutions and introduction with principles of linearization and calibration of A/D converters. Description of communication standard Modbus TCP widely used in industry applications.

Second part of thesis describes design and realization of project. Here is described equipment block diagram with detail description of each block and devices used. In the part of implementation is description of device firmware with program function description and control.

Last part is engaged with module function verification supported with plants of measurements and tests. The thesis is ended with evaluation results, knowledge and detections found out in development of project.

Keywords: voltage measurement 0-10V, Modbus TCP, Ethernet, Rabbit, operation amplifier, intelligent converter, A/D converter, calibration, RS232

Bibliografická citace

HLÚPIK, M. *Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální 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 semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální 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:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 9.5.2010

.....

podpis autora

1. OBSAH

1. OBSAH.....	7
1.1 Seznam obrázků.....	10
1.2 Seznam tabulek.....	11
2. ÚVOD	13
3. LITERÁRNÍ REŠERŠE	14
3.1 Existující řešení	14
4. INTELIGENTNÍ SNÍMAČE.....	16
4.1 Základní principy linearizace	17
4.1.1 Analogová linearizace	17
4.1.2 Linearizace založená na korekční tabulce.....	17
4.1.3 Linearizace založená na úsekové lineární interpolaci a interpolaci polynomem nebo splajnem.....	17
4.2 Základní metody kalibrace	18
4.2.1 Kalibrace využívající úpravu analogového signálu.....	18
4.2.2 Kalibrace využívající vlastností sigma-delta AD převodníku	18
4.2.3 Kalibrace využívající digitálního zpracování signálu	19
4.3 Autokalibrace	19
5. KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ.....	20
5.1 MODBUS® TCP.....	20
5.1.1 Modbus TCP – Specifikace obálky dotazu/odpovědi	24
5.1.2 Modbus TCP – Specifikace dotazu/odpovědi.....	25
5.1.1 Kódy výnimek.....	26
6. POPIS VYBRANÉ KONCEPCE	27
6.1 Blokové schéma.....	27
6.2 Napájecí blok.....	27
6.3 Vstupní analogový blok	29
6.3.1 Napěťový dělič	29
6.3.2 Operační zesilovač.....	30
6.4 A/D převodník	31

6.4.1 Stabilizace referenčního napětí pro A/D převodník	33
6.4.2 Popis PINů převodníku	33
6.4.3 Konfigurační bity převodníku	34
6.4.4 Průběh komunikace s mikroprocesorem.....	34
6.5 Převodník rozhraní RS232	36
6.6 Status LED	36
6.7 Spínače	37
6.8 Mikroprocesor Rabbit – rcm3200 core modul	37
6.8.1 Charakteristika modulu RCM3200.....	38
6.8.2 Vývojové prostředí Dynamic C.....	41
6.8.3 Implementace kooperativního multitasking.....	41
7. IMPLEMENTACE	43
7.1 Úvod.....	43
7.2 Vývojový diagram aplikace	44
7.3 Čtení hodnot A/D převodníku	45
7.4 Funkce filtrování vstupní hodnoty.....	47
7.5 Funkce modbus.....	47
7.6 Funkce dekodek	48
7.7 Funkce dataloger.....	49
7.8 Funkce sériové komunikace	49
7.9 Funkce ethernet read/write	50
8. WEB SERVER.....	51
8.1 Stránka Měřená data	51
8.2 Stránka Data logger	52
8.3 Stránka Nastavení filtru	53
8.4 Stránka Nastavení komunikace	54
8.5 Stránka Nastavení A/D převodníku	56
8.6 Stránka nastavení datumu a času	58
9. MODBUS ROZHRAŇÍ.....	59
9.1 Metoda přístupu.....	59
10. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ	60

10.1	Měření analogové části	60
10.1.1	Schéma zapojení.....	60
10.1.2	Tabulka použitých součástek a výpočet teoretického zesílení	60
10.1.3	Zpracování výsledků.....	61
10.1.4	Seznam použitých přístrojů.....	61
10.1.5	Grafické zhodnocení výsledků měření	62
10.1.6	Závěr a zhodnocení měření.....	63
10.2	Měření stability modulu A/D převodníku	63
10.2.1	Blokové schéma zapojení	63
10.2.2	Zpracování výsledků.....	64
10.2.3	Grafické zhodnocení výsledků měření	65
10.2.4	Zhodnocení měření stability.....	66
10.3	Měření linearity a vstupní impedance	66
10.3.1	Blokové schéma zapojení	66
10.3.2	Tabulka naměřených hodnot.....	66
10.3.3	Grafické zhodnocení výsledků měření	67
10.3.4	Zhodnocení měření linearity a vstupní impedance.....	68
10.4	Ověření Modbus TCP komunikace	68
11.	ZÁVĚR	70
12.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
13.	SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK A SYMBOLŮ	73
14.	SEZNAM PŘÍLOH	74
15.	PŘÍLOHY	75

1.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - AD4ETH - měřicí převodník s Ethernetem [1].....	14
Obrázek 2 - Embedded Ethernet Device Server [2]	15
Obrázek 3 - Rabbit - Model RCM3000, RCM3010 [3].....	15
Obrázek 4 - Analogová linearizace snímače [4]	17
Obrázek 5 - Linearizace pomocí tabulky [4].....	17
Obrázek 6 - Linearizace pomocí lineární interpolace [4]	18
Obrázek 7 - Kalibrace využívající násobící DA převodník [4].....	18
Obrázek 8 - Obvod kalibrace využívající vlastnosti sigma-delta převodníku [4].....	19
Obrázek 9 - Blokové schéma obvodu autokalibrace [4].....	19
Obrázek 10 - Datový rámec MODBUS ASCII [6]	20
Obrázek 11 - Příklad sestavení datagramu v MODBUS TCP [8].....	21
Obrázek 12 - Princip vložení Modbusové zprávy do TCP paketu [5].....	22
Obrázek 13 - MODBUS transakce s bezchybným provedením [9]	23
Obrázek 14 - MODBUS transakce s chybou při provádění [9]	23
Obrázek 15 - Příklad zapojení sítě s ModbusTCP protokolem [10]	24
Obrázek 16 - Sestavení dotazu podle MODBUS ASCII/RTU specifikace ukazuje příklad z publikace [9].	25
Obrázek 17 - Sestavení odpovědi podle MODBUS ASCII/RTU specifikace ukazuje příklad z publikace [9].	26
Obrázek 18 - Bloková schéma převodníku	27
Obrázek 19 - Blok stabilizace napětí $\pm 5V$	28
Obrázek 20 - Blok stabilizace napětí $+3,3V$	29
Obrázek 21 - Napěťový dělič	30
Obrázek 22 - Operační zesilovač v zapojení neinvertujícího zesilovače.....	30
Obrázek 23 - Blok transformace měřeného napětí	31
Obrázek 24 - Stabilizace referenčního napětí $+3,3V$	33
Obrázek 25 - Časový průběh komunikace s převodníkem [14]	34
Obrázek 26 - Výměna dat MCU - A/D převodník [14].....	35

Obrázek 27 - A/D převodník.....	35
Obrázek 28 - Převodník MAX3232.....	36
Obrázek 29 - Status LED.....	36
Obrázek 30 - Spínače.....	37
Obrázek 31 - Rabbit 3000 Specifikace [3].....	39
Obrázek 32 - Použití portů mikroprocesoru v RCM3200 [3].....	39
Obrázek 33 - Rabbit 3000 Blokový diagram [3].....	40
Obrázek 34 - Funkce kooperativního multitaskingu [3].....	42
Obrázek 35 - Vývojový diagram aplikace	44
Obrázek 36 - Ukázka výpisu hodnot měření na rozhraní RS232.....	50
Obrázek 37 - Stránka Měřená Data	52
Obrázek 38 - Stránka Data logger	53
Obrázek 39 - Stránka Nastavení filtru	54
Obrázek 40 - Stránka Nastavení parametrů převodníku.....	57
Obrázek 41 - Stránka Nastavení datumu a času.....	58
Obrázek 42 - Schéma zapojení měření zesílení	60
Obrázek 43 - Blokové schéma měření stability A/D převodníku	64
Obrázek 44 - Blokové schéma zapojení měření linearity a vstupní impedance	66
Obrázek 45 - Konfigurace spojení OPC serveru.....	69
Obrázek 46 - Zobrazení aktuálních hodnot registrů v OPC serveru	69

1.2 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Specifikace Modbus TCP dotazu/odpovědi	24
Tabulka 2 - Specifikace Modbus dotazu.....	25
Tabulka 3 - Specifikace odpovědi Modbus TCP.....	25
Tabulka 4 - Kódy výnimek Modbus.....	26
Tabulka 5 - Výpočet maximálního proudového zatížení zdroje	28
Tabulka 6 - Význam konfiguračních bitů převodníku [14]	34
Tabulka 7 - Struktura exportu dat z paměti Datalogeru	49
Tabulka 8 - Výchozí nastavení TCP/IP komunikace.....	55
Tabulka 9 - Výchozí nastavení Modbus komunikace.....	55

Tabulka 10 - Výchozí nastavení sériové komunikace	56
Tabulka 11 - Výchozí nastavení převodníku	57
Tabulka 12 - Specifikace adres Modbus registrů.	59
Tabulka 13 - Použité součástky a výpočet teoretického zesílení	60
Tabulka 14 - Naměřené hodnoty vstupního a výstupního napětí a výpočet zesílení .	61
Tabulka 15 - Měření stability převodníku Kanál 1	64
Tabulka 16 - Měření stability převodníku Kanál 2	64
Tabulka 17 - Měření linearity převodníku (část měření)	66
Tabulka 18 - Měření vstupní impedance	67

2. ÚVOD

Rozšíření komunikační sítě internet v posledních letech doznalo velkého rozmachu. Ethernetová komunikace proniká do různých odvětví průmyslu a obchodu až do domácností. Internet je každodenní součástí moderního člověka. V průmyslu jsou ethernetové sítě nasazovány na všech úrovních komunikace od serverové komunikace až po úroveň instrumentace. Do této úrovně lze rovněž zařadit řešení této diplomové práce. Inteligentní převodník napětí s výstupem na ethernet s komunikačním protokolem Modbus TCP lze aplikovat v aplikacích kde je nutné chronologicky zaznamenávat průběhy napětí ze snímačů na vzdálených místech. Konfigurace převodníku rovněž poskytuje možnost kalibrace a úpravy parametrů převodníku. Data z převodníku je možné získávat prostřednictvím OPC serveru a poskytovat je tak k dalšímu zpracování aplikacím pracujících s dynamickou výměnou dat DDE.

3. LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ

V současné době se problematikou senzorky analogových veličin a přenos dat po síti ethernet zabývá více firem. Blokově vychází všechna zařízení ze stejné koncepce. Snímaná veličina je zpracována vstupním analogovým obvodem a přizpůsobena pro další zpracování na A/D převodník. Číslcová informace je dále předána na zpracování mikroprocesoru, který zabezpečí přenos informace po komunikačním rozhraní do nadřazeného systému pro další zpracování popřípadě archivaci.

Jedním z tuzemských výrobců je firma Papouch s.r.o. [1], která nabízí 4kanálový měřicí převodník s komunikací po ethernetu s označením AD4ETH. Tento převodník dokáže měřit 4 analogové vstupy a to buď napět'ové 0-10V nebo proudové vstupy 0(4)-20mA. Převodník dokáže komunikovat po ethernetu protokoly SNMP, Modbus TCP, TCP(Spinel), UDP(Spinel), HTTP GET, HTTP POST (SOAP). V převodníku jsou integrovány WEBové stránky a WAPové stránky pro mobilní zařízení. Data jsou ukládána ve formátu XML pro zpracování uživatelskou aplikací. V převodníku je použit multiplexovaný 16 bit sigma-delta A/D převodník. Měřicí rozsah má maximální rozsah 10000 dílků, který je možné upravit.



Obrázek 1 - AD4ETH - měřicí převodník s Ethernetem [1]

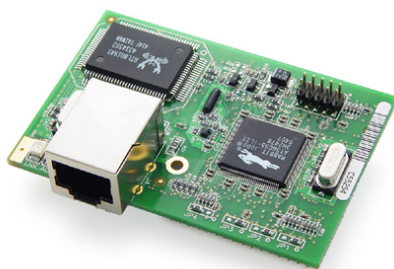
Klíčovou součástí převodníku je ethernetové rozhraní. V řadě výrobců těchto zařízení jsou nejznámější firmy:

Lantronix – produkt XPort. [2]



Obrázek 2 - Embedded Ethernet Device Server [2]

Rabbit Semiconductor – produkt R2000/R3000 [3]



Obrázek 3 - Rabbit - Model RCM3000, RCM3010 [3]

Ve své práci bude dále rozebírána koncepce s produktem Rabbit řady R3000, kterou jsem vybral pro realizaci zadání.

4. INTELIGENTNÍ SNÍMAČE

Intelligentní snímače definoval jako první v roce 1978 Beckenbridge a Husson následujícím způsobem: *Intelligentní snímač obsahuje funkce pro zpracování měřených dat, automatickou korekci měřených dat, dokáže automaticky detekovat a eliminovat abnormální a nesprávné hodnoty. Obsahuje také sadu algoritmů, které umožňují reagovat na změnu vnějších podmínek.* [4]

Mezi požadavky které by měli v současné době splňovat intelligentní snímače patří zejména programovatelné zesílení, linearizace, filtrace a normalizace měřeného signálu, možnost automatické korekce vlivu parazitních veličin, pokročilé metody potlačení šumu a verifikace platnosti naměřených dat, autokalibrace a autodiagnostika, statistické funkce, hlídání mezí a hlavně možnost připojení snímače do distribuovaných systémů pomocí vhodné digitální komunikační sběrnice. [4]

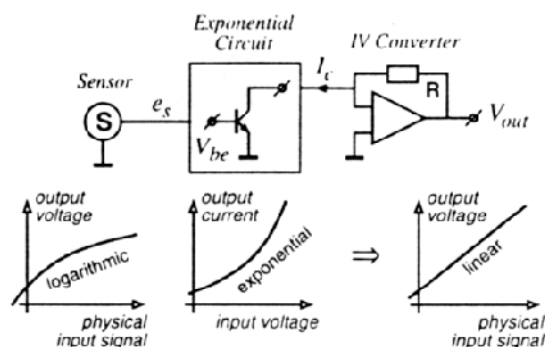
V současné době je mnoho výrobců snímačů elektrických i neelektrických veličin s normovaným výstupem 0-10V, 0-20mA a 4-20mA. Tyto snímače můžou být doplněny „intelligentním zpracováním výstupního signálu“ a tvořit tak celek Intelligentního snímače.

Mezi základní úpravy signálu patří linearizace a kalibrace. Linearizace má za cíl kompenzovat nelinearitu, která vzniká při převodu měřené veličiny na elektrickou. Další zpracování signálu má za úkol signál normalizovat tj. vhodně zesílit a upravit jeho úroveň na požadovanou velikost. U intelligentních snímačů není zapotřebí provádět kalibraci ve výrobním procesu a je možné provádět kalibraci digitálním nastavením převodu v elektronice převodníku. Mezi chyby které se kalibrací dají potlačit patří offset, chyba zesílení, nelinearita, příčná citlivost, hystereze a drift.

4.1 ZÁKLADNÍ PRINCIPY LINEARIZACE

4.1.1 Analogová linearizace

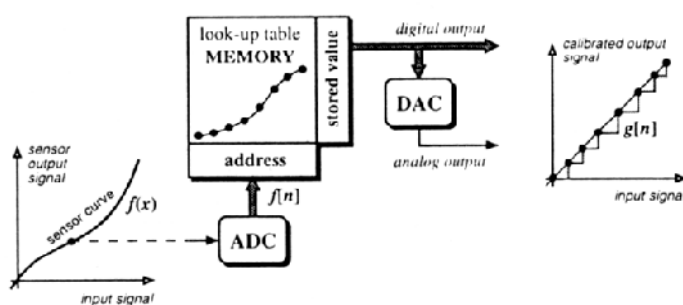
Nelineární vstup je přiveden na vstup jednotky s přesně inverzní charakteristikou.



Obrázek 4 - Analogová linearizace snímače [4]

4.1.2 Linearizace založená na korekční tabulce.

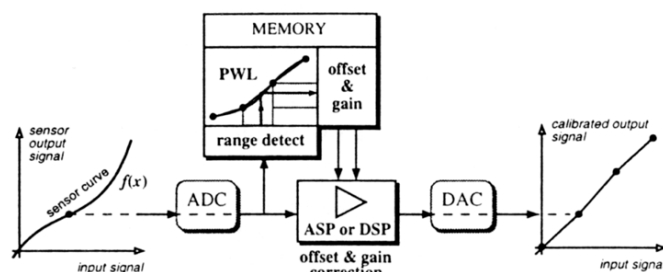
Inverzní charakteristika snímače je uložena v paměti mikroprocesoru. Digitální vstup AD převodníku představuje přímo adresu paměťového místa s korigovanou digitální hodnotou.



Obrázek 5 - Linearizace pomocí tabulky [4]

4.1.3 Linearizace založená na úsekové lineární interpolaci a interpolaci polynomem nebo splajnem

Charakteristika se rozdělí na úseky. Krajní body úseků odpovídají kalibrovaným bodům. Jednotlivé úseky jsou interpolovány přímkou popřípadě polynomem nebo splajnem.

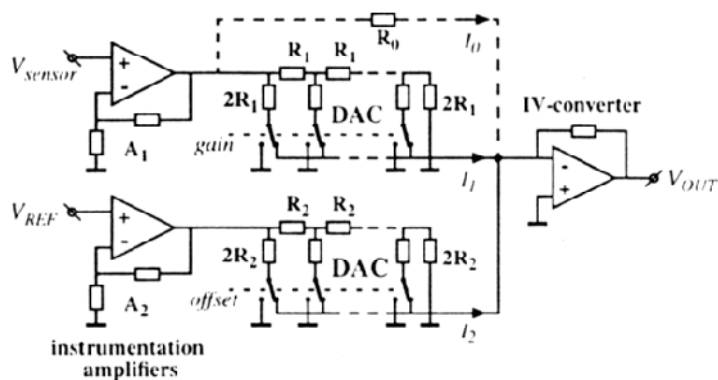


Obrázek 6 - Linearizace pomocí lineární interpolace [4]

4.2 ZÁKLADNÍ METODY KALIBRACE

4.2.1 Kalibrace využívající úpravu analogového signálu

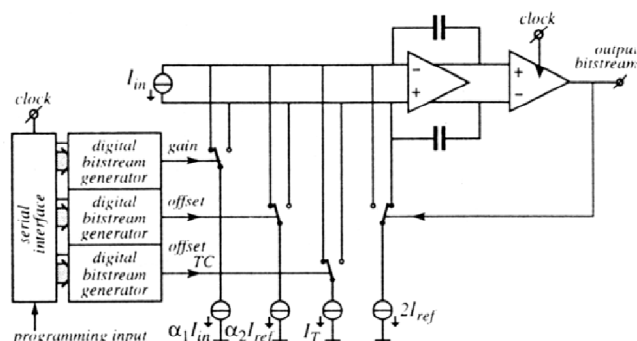
Tato metoda je založená na změně zesílení a offsetu pomocí programovatelných proměnných. V inteligentních snímačích jsou používány zesilovače s programovatelným zesílením a digitálně analogové převodníky pro korekci offsetu, zesílení a jejich teplotních závislostí.



Obrázek 7 - Kalibrace využívající násobící DA převodník [4]

4.2.2 Kalibrace využívající vlastností sigma-delta AD převodníku

K měřenému signálu je přidáván pomocný signál se střední hodnotou rovnou požadované korekci.



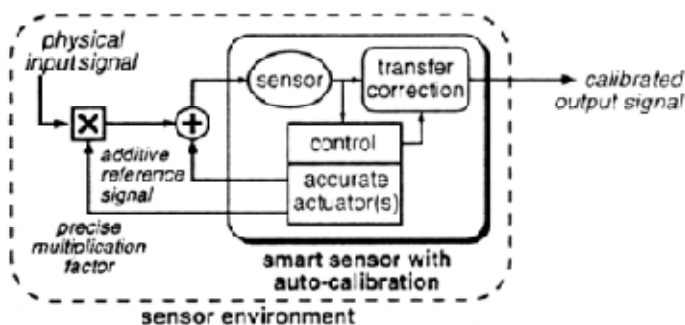
Obrázek 8 - Obvod kalibrace využívající vlastnosti sigma-delta převodníku [4]

4.2.3 Kalibrace využívající digitálního zpracování signálu

Tento způsob kalibrace je založen na kalibraci polynomem s postupně narůstajícím řádem. Výhodou je vysoká univerzálnost a snadná implementace.

4.3 AUTOKALIBRACE

Autokalibrace umožňuje automatickou kalibraci vnitřní elektroniky převodníku bez nutnosti připojení normované známé veličiny na vstup převodníku. Pro autokalibraci je nezbytné, aby použitý akční člen měl minimálně o řád lepší parametry než kalibrovaný snímač.



Obrázek 9 - Blokové schéma obvodu autokalibrace [4]

5. KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ

5.1 MODBUS® TCP

Protokol Modbus® byl původně vyvinut firmou Modicon, dnes je široce používán díky tomu, že byl uvolněn. Definuje strukturu zpráv, která umožňuje navázat spojení typu Master/slave mezi inteligentními zařízeními. Protože Modbus® definuje pouze zprávy, je z principu nezávislý na použité fyzické vrstvě. Tradičně je používán na RS232/422/485. Nejnovější specifikace definuje přenos komunikačních zpráv za použití zpráv za použití prostředků TCP/IP protokolu prostým vložením Modbusové zprávy do TCP paketu. [5]

Varianty zapouzdření MODBUS zprávy se podle typu přenosu rozdělují na:

MODBUS sériový port – ASCII kódování

MODBUS sériový port – RTU(binární) kódování

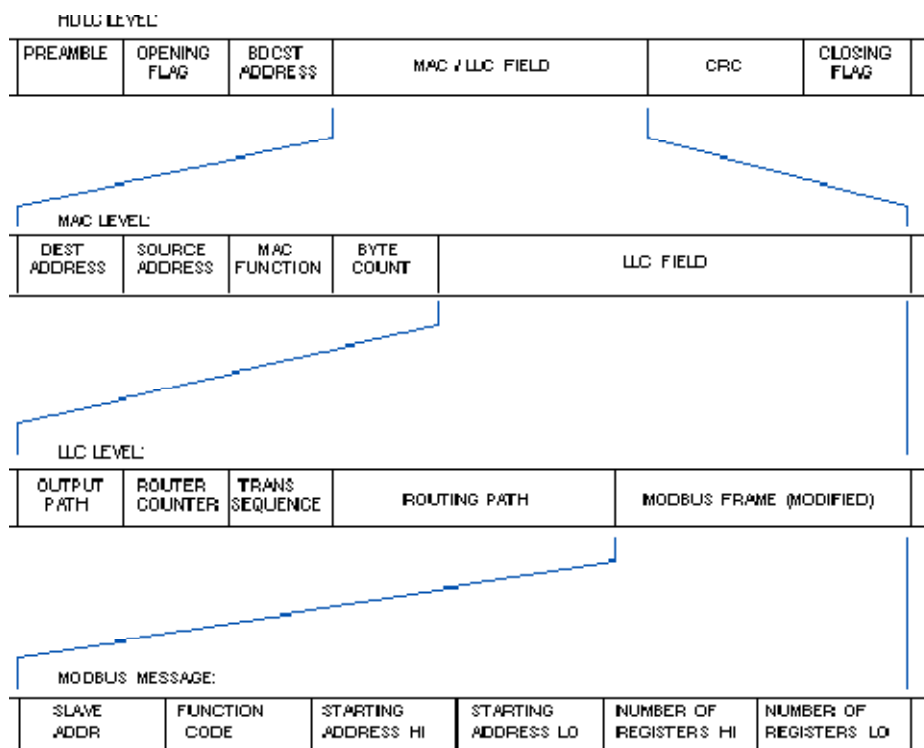
MODBUS PLUS síť – TCP rezervovaný port 502

Start	Address	Function	Data	LRC	End
1 char :	2 chars	2 chars	0 up to 2x252 char(s)	2 chars	2 chars CR,LF

Obrázek 10 - Datový rámec MODBUS ASCII [6]

Při komunikaci Modbus ASCII je rámec opatřen začátečním znakem a na konci kontrolním součtem a ukončovacím znaky viz Obrázek 10. Toto není potřebné při komunikaci na Modbus TCP o zabezpečení přenosu se postará linková vrstva.

Výhodou Modbusu je jeho jednoduchost a otevřenost. Jeho definice je volně přístupná na Internetu [7]. Protože Modbus®TCP vychází ze starší definice, je velmi jednoduché vyrobit bridge mezi Ethernetem a jiným médiem.



Obrázek 11 - Příklad sestavení datagramu v MODBUS TCP [8]

Modbus/TCP Protokol připravila firma Schneider jako rozšíření zastaralého Modbus® protokolu. Modbus/TCP přejímá formát zprávy ze starších variant protokolu. Vynechává se část kontrolního součtu, protože o bezchybné doručení je postaráno prostředky protokolu TCP, navíc je úvodní sekvence šesti bytů. Modbus TCP také s malými výjimkami kompletně přebírá datový model a množinu funkcí definovaných na tomto datovém modelu. Tyto funkce jsou rozděleny do třech tříd.

Třída 0 – jsou univerzální a zaručeně kompatibilní funkce

FC3 – read multiple registers

FC16 – write multiple register

Třída 1 – Doporučené funkce

FC1 – Read coils

FC2 – Read input discretes

FC4 – Read input registers

FC5 – Write coil

FC6 – Write single register

FC7 – read exception status

Třída 2 – obsahuje užitečné a ale ne plně kompatibilní funkce

FC15 – Force multiple coils

FC20 – Read general reference

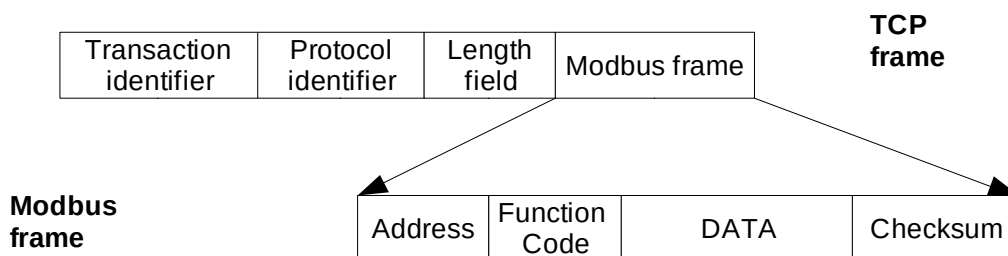
FC21 – Write general reference

FC22 – Mask write register

FC23 – Read/write registers

FC24 – Read FIFO queue

Budoucí rozšíření množiny funkcí není vyloučeno. Vždy bude možno určit, zda dané zařízení podporuje určitou funkci prostým požadavkem na vykonání této funkce a otestováním chybového hlášení. Takto bude zajištěna vždy interoperabilita zařízení. [5]



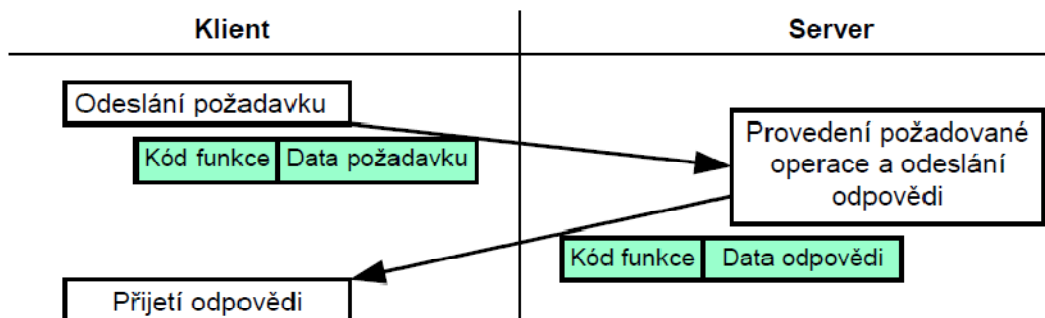
Obrázek 12 - Princip vložení Modbusové zprávy do TCP paketu [5]

Kód funkce (Function Code) udává serveru o jaký druh operace žádá server. Rozsah funkčních kódů je 1 až 255, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení záporné odpovědi (chyby vykonání požadavku). Některé kódy funkcí obsahují i kód podfunkce upřesňující blíže požadovanou operaci.

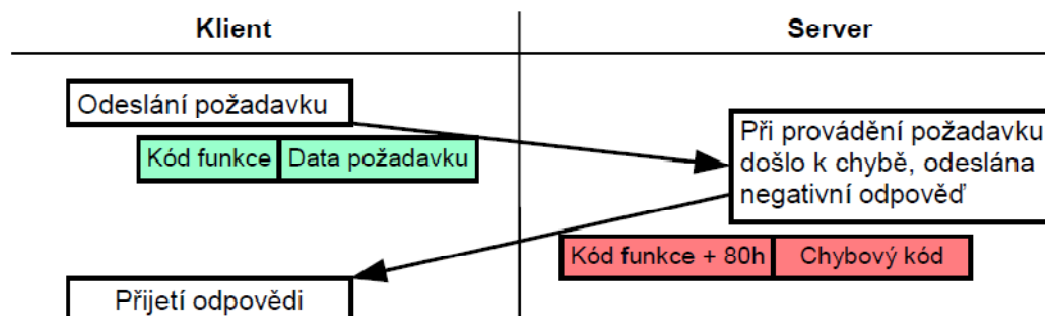
Obsah pole DATA posílané klientem slouží serveru k uskutečnění operace určené kódem funkce. Obsah pole data může být například adresa a počet vstupů, které má server přečíst, start adresa a počet registrů čtení nebo hodnota registru, které má server zapsat. U některých funkcí nejsou pro provedení operace zapotřebí další data a v tom případě může datová část ve zprávě úplně chybět.

Pokud při provádění požadované operace nedojde k chybě, odpoví server zprávou, která v poli Kód funkce obsahuje kód provedené funkce jako indikaci

úspěšného vykonání požadavku. V datové části odpovědi předá server klientovi požadovaná data.



Obrázek 13 - MODBUS transakce s bezchybným provedením [9]



Obrázek 14 - MODBUS transakce s chybou při provádění [9]

Protokol Modbus definuje 3 základní typy zpráv (PDU):

1. Požadavek (Request PDU)

§ 1 byte Kód funkce

§ n bytů Datová část požadavku – adresa, proměnné, počet proměnných...

2a) Odpověď (Response PDU)

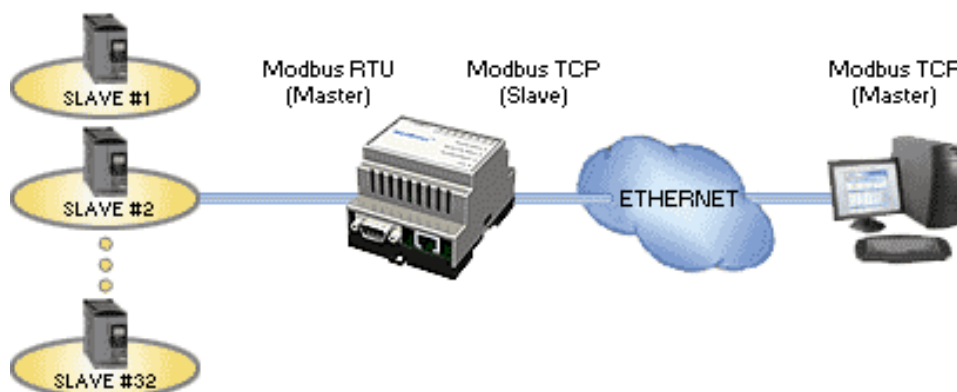
§ 1 byte Kód funkce

§ m bytů Datová část odpovědi – přečtené vstupy, registry, stav zařízení...

2b) Záporná odpověď (Exception response PDU)

§ 1 byte Kód funkce + 80h (indikace neúspěchu)

§ 1 byte Chybový kód



Obrázek 15 - Příklad zapojení sítě s ModbusTCP protokolem [10]

5.1.1 Modbus TCP – Specifikace obálky dotazu/odpovědi

Forma obálky dotazu nebo odpovědi je popsána v Modbus TCP specifikaci [7]. Komunikace probíhá na portu 502. V rámci diplomové práce jsem aplikoval jen potřebné funkce Modbus TCP protokolu, kterých výčet uvádím.

Server vyšle dotaz specifikované stanici v obálce dotazu a očekává odpověď se stejným identifikátorem zprávy ve stejné obálce od Slave stanice.

byte 0	Identifikátor transakce
byte 1	Identifikátor transakce
byte 2	Identifikátor protokolu
byte 3	Identifikátor protokolu
byte 4	Délka byte odpovědi (horní byte) pro zprávy kratší 256 bude rovno 0
byte 5	Délka byte odpovědi (dolní byte) počet následujících bytů
byte 6	Identifikace jednotky – adresa slave jednotky která je oslovena/odpovídá
byte 7	MODBUS funkční kód
byte 8..	Data dotazu/odpovědi

Tabulka 1 - Specifikace Modbus TCP dotazu/odpovědi

5.1.2 Modbus TCP – Specifikace dotazu/odpovědi

Třída 0

Čtení registru slave jednotky - funkce FC03.

byte 0	MODBUS funkční kód - Funkce 03
byte 1	Počáteční adresa registru vyšší byte
byte 2	Počáteční adresa registru nižší byte
byte 3	Počet byte odpovědi vyšší byte
byte 4	Počet byte odpovědi nižší byte

Tabulka 2 - Specifikace Modbus dotazu

QUERY			
Field Name	Example (Hex)	ASCII Characters	RTU 8-Bit Field
Hoador		: (colon)	None
Slave Address	06	0 6	0000 0110
Function	03	0 3	0000 0011
Starting Address Hi	00	0 0	0000 0000
Starting Address Lo	6B	6 B	0110 1011
No. of Registers Hi	00	0 0	0000 0000
No. of Registers Lo	03	0 3	0000 0011
Error Check		LRC (2 chars.)	CRC (16 bits)
Trailer		CR LF	None
Total Bytes:		17	8

Obrázek 16 - Sestavení dotazu podle MODBUS ASCII/RTU specifikace ukazuje příklad z publikace [9].

byte 0	MODBUS funkční kód - Funkce 03
byte 1	Počáteční adresa registru vyšší byte
byte 2	Počáteční adresa registru nižší byte
byte 3	Počet byte odpovědi vyšší byte
byte 4	Počet byte odpovědi nižší byte

Tabulka 3 - Specifikace odpovědi Modbus TCP

RESPONSE			
Field Name	Example (Hex)	ASCII Characters	RTU 8-Bit Field
Header		: (colon)	None
Slave Address	06	0 6	0000 0110
Function	03	0 3	0000 0011
Byte Count	06	0 6	0000 0110
Data Hi	02	0 2	0000 0010
Data Lo	2B	2 B	0010 1011
Data Hi	00	0 0	0000 0000
Data Lo	00	0 0	0000 0000
Data Hi	00	0 0	0000 0000
Data Lo	63	6 3	0110 0011
Error Check		LRC (2 chars.)	CRC (16 bits)
Trailer		CR LF	None
Total Bytes:		23	11

Obrázek 17 - Sestavení odpovědi podle MODBUS ASCII/RTU specifikace ukazuje příklad z publikace [9].

5.1.1 Kódy výnimek

Modbus TCP specifikuje kódy výnimek v odpovědi slave jednotky které jsou zasílány master jednotce v případě dotazu který nemůže být vybaven. Všechny nevybavitelné dotazy jsou doplněny v poli funkčního kódu připočítáním hodnoty 0x80 ke kódu funkce dotazu. Následující bajt obsahuje číslo výnimky. Tabulka obsahuje výčet kódů výnimek použitých v aplikaci.

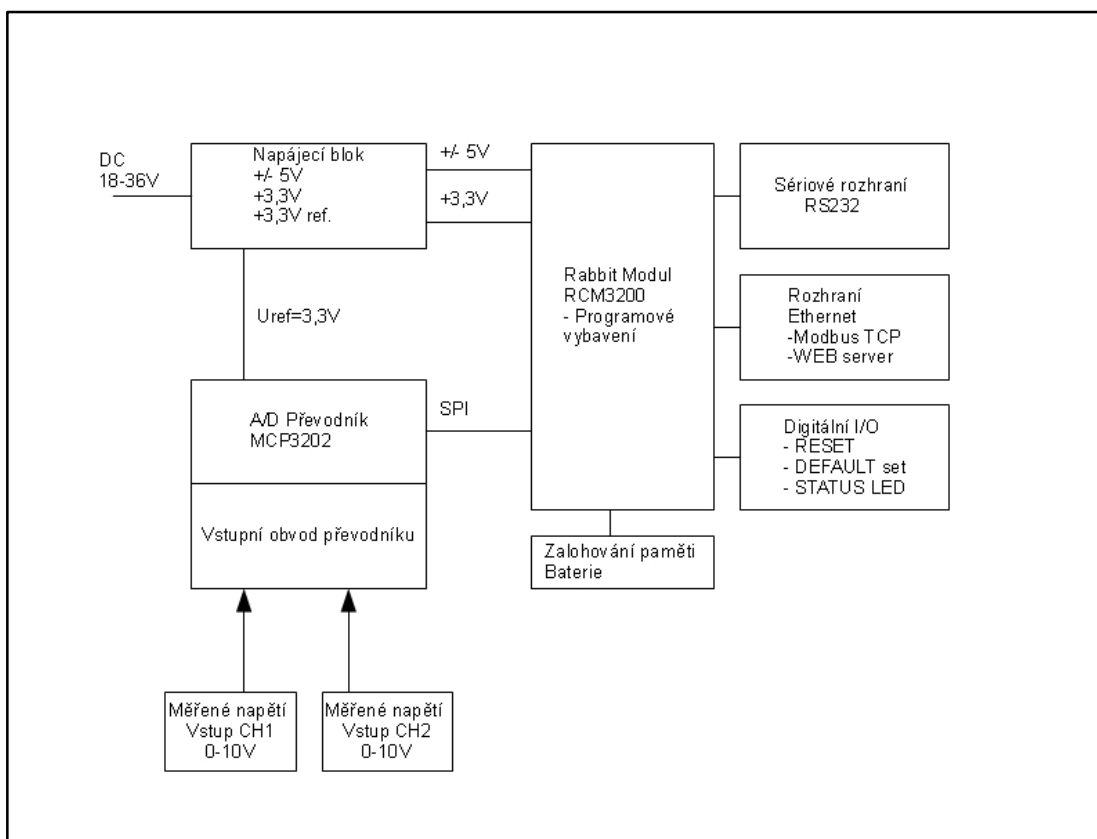
01	Nesprávná funkce
02	Nesprávná data adresa
03	Nesprávná hodnota dat
04	Nesprávná délka odpovědi

Tabulka 4 - Kódy výnimek Modbus

6. POPIS VYBRANÉ KONCEPCE

6.1 BLOKOVÉ SCHÉMA

Blokové schéma popisuje uspořádání funkčních celků v celkové koncepci převodníku.



Obrázek 18 - Blokova schéma převodníku

6.2 NAPÁJECÍ BLOK

Pro zajištění funkčnosti zařízení je nutné vytvořit všechna napájecí napětí pro obvody zpracovávající signál z měřeného vstupu. Obvody v zapojení vyžadují vytvoření napájecího napětí o velikosti $+5V$, $-5V$ a $+3,3V$.

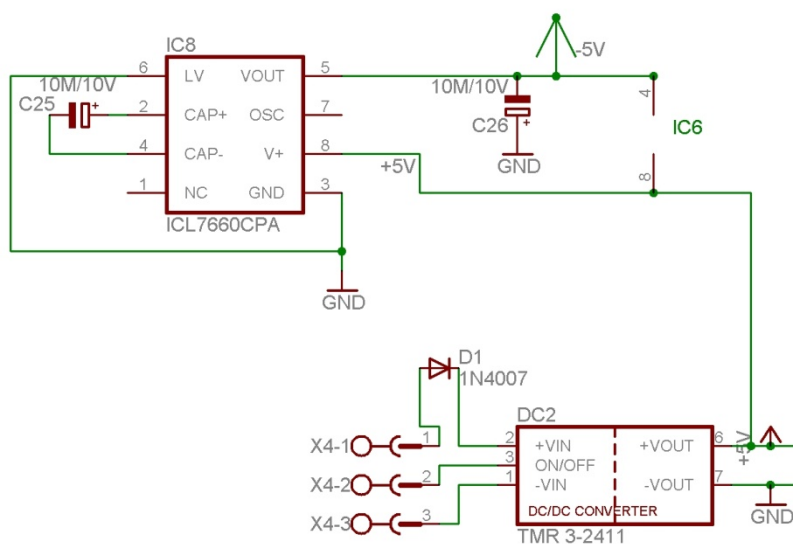
Součet maximálního odběru všech komponent ukazuje Tabulka 5. Z uvedeného výpočtu vychází postačující hodnota proudového odběru 303mA.

Obvod	I _{max} [mA]
LED	14
LM358D	12
MCP3202	0,55
TL431	0,0065
MAX3232	1
LF33CV	12
ICL7660	0,165
RCM3200	255
74LS08	8
I _{sum} [mA]	302,7215

Tabulka 5 - Výpočet maximálního proudového zatížení zdroje

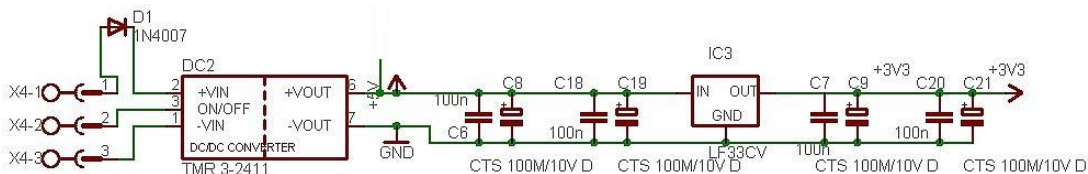
Napájecí napětí 18-36V DC je přivedeno na obvod DC2 procházející diodou D1 která chrání vstup před přepólováním napájecího napětí. Použitý obvod je 3W DC-DC měnič TMR 3-2411 [11], který generuje napětí +5V na svém výstupu přičemž může být zatížen proudem až do 600mA. Hodnota maximálního proudového odběru plně vyhovuje předpokládanému zatížení 303mA a poskytuje rezervu 49%.

Napětí +5V je dále přivedeno na IC8 napěťový měnič ICL7660CPA [12], který konvertuje napětí +5V na -5V za pomoci externího kondenzátoru C25 a vnitřního oscilátoru.



Obrázek 19 - Blok stabilizace napětí ±5V

Napětí +5V je dále přivedeno na stabilizátor napětí IC3. Stabilizátor LF33 [13] stabilizuje a vyhlazuje napětí na +3,3V, které je dále používáno na napájení obvodu převodníku a mikroprocesoru Rabbit. Schéma zapojení na obrázku



Obrázek 20 - Blok stabilizace napětí +3,3V

6.3 VSTUPNÍ ANALOGOVÝ BLOK

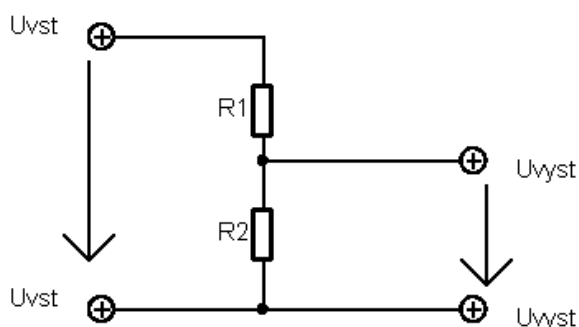
6.3.1 Napěťový dělič

Zařízení zpracovává vstupní napětí v rozsahu 0-10V proto je nutné zajistit vhodný převod na napětí, které bude schopen A/D převodník s napájením +3,3V zpracovat. Dále je nutné zajistit, aby vstupní měřicí obvod nezatěžoval měřený obvod. Těmto požadavkům vyhovuje zapojení s operačním zesilovačem v neinvertujícím zapojení, které se vyznačuje vysokou vstupní impedancí a linearitou od 0V při symetrickém napájení operačního zesilovače.

Paralelně k měřicím svorkám je připojena zenerova dioda D3 a kondenzátor C24. Zenerova dioda zajistí stabilizaci napětí při překročení hranice 10V. Kondenzátor filtruje krátkodobé změny napětí měřeného obvodu, které jsou nežádoucí. Dále je měřené napětí přivedeno na dělič napětí sestávající z odporů R5 (R15) a R6 (R16). Dělič je nastaven na dělicí poměr 0,15. Dělicí poměr 0,15 jsem volil z důvodu návazného zpracování signálu na operačním zesilovači s nastaveným zesílením $A_u=2$ [-] a maximálního vstupního napětí A/D převodníku které je 3,3V. Při uvažovaném maximálním napětí na vstupu 10V bude na výstupu napěťového děliče napětí 1,5V a na výstupu operačního zesilovače 3V.

Pro výpočet poměru napětí na napěťovém děliči platí vztah.

$$k_D = \frac{U_{vyst}}{U_{vst}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{12}{80} = \frac{120k\Omega}{680k\Omega + 120k\Omega} = 0,15 \quad [-] \quad (1)$$

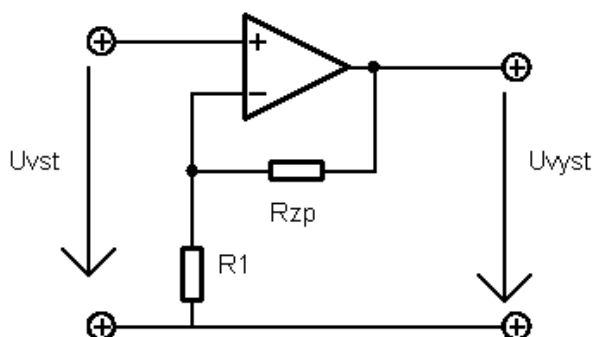


Obrázek 21 - Napěťový dělič

6.3.2 Operační zesilovač

Operační zesilovač IC6-LM358N [13] je napájen symetrickým zdrojem napájecího napětí o velikosti $\pm 5V$. Symetrické napájení jsem volil z důvodu linearity signálu v oblasti blízké 0V. Operační zesilovač je zapojen v zapojení neinvertujícího zesilovače, pro které platí vztah výpočtu zesílení

$$A_U = 1 + \frac{R_{zp}}{R_1} \quad (2)$$

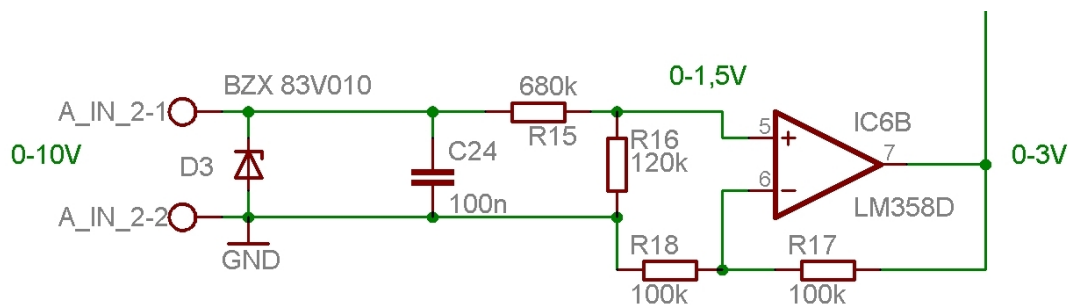


Obrázek 22 - Operační zesilovač v zapojení neinvertujícího zesilovače

Vzhledem k napájecímu napětí operačního zesilovače $\pm 5V$ a maximálnímu vstupnímu napětí A/D převodníku volím zesílení $A_u=2$ [-]. Toto zesílení spolu s dělicím poměrem napětěového děliče zajistí mezi vstupním napětím měřeného napětí a výstupním napětím do převodníku celkový poměr 3:1. Výpočet výstupního napětí na operačním zesilovači udává vztah (3) a výpočet celkového převodového koeficientu udává vztah (4)

$$U_{VYST} = U_{VST} \cdot \left(1 + \frac{R_{zp}}{R_1} \right) \Rightarrow U_{VYST-MAX} = 1,5V \cdot \left(1 + \frac{100k\Omega}{100k\Omega} \right) = 3[V] \quad (3)$$

$$k_p = k_D \cdot A_u \Rightarrow k_p = 0,15 \cdot 2 = 0,3 \quad [-] \quad (4)$$



Obrázek 23 - Blok transformace měřeného napětí

6.4 A/D PŘEVODNÍK

A/D převodník IC7 - MCP3202 [14] je 12bitový dvoukanálový analogovo-datový převodník se sériovou komunikační linkou SPI pracující s napájecím napětím 2,7V – 5V. Převodník pracuje se vzorkovací frekvencí 100kHz. Vstupy převodníku CH0 a CH1 můžou být použity jako dva nezávislé vstupy, nebo v pseudo-

diferenčním módu. Konfigurace se provádí jako část konfiguračního řetězce posílaného při komunikaci po sériové lince.

Při napájení převodníku napětím 3,3V bude rozlišení převodníku dáno vztahem.

$$1bit = \frac{V_{DD}}{4096} = 0,8056 mV \quad (5)$$

Výstupní slovo převodníku je dáno vztahem:

$$\text{Digitální výstupní slovo} = \frac{4096 * V_{IN}}{V_{DD}} \quad (6)$$

kde V_{IN} je analogové vstupní napětí

V_{OUT} je napájecí napětí

Dosazením maximálního vstupního napětí 10V na vstupu, po převodu 3V na výstupu převodníku, do vztahu dostáváme maximální výstupní slovo $E8B[HEX]=3723$ bit odpovídající maximální hodnotě napětí na vstupu.

$$D_{max} = \frac{4096 * 3}{3,3} = E8B[HEX] = 3723 \quad [DEC] \quad (7)$$

Chybu jednoho bitu vypočteme jako podíl maximálního velikosti měřeného napětí na vstupu a maximálního výstupního slova převodníku.

$$1bit = \frac{U_{max}}{D_{max}} = \frac{10}{3723} = 0,0027 \quad [V] = 2,7 \quad [mV] \quad (8)$$

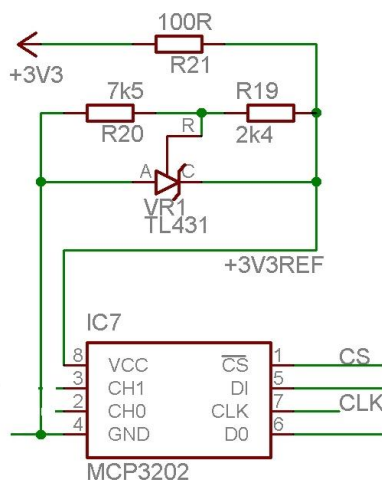
Při uvažování chyby +/- 1bit dostáváme chybu měření převodníku:

$$Err = 2 * 2,7 \quad [mV] = 5,4 \quad [mV]. \quad (9)$$

6.4.1 Stabilizace referenčního napětí pro A/D převodník

Stabilizace napětí pro převodník je provedena zdrojem referenčního napětí +3,3V a realizováno integrovaným obvodem TL431 [15] s nastavenou referencí odporovým děličem R19 a R20. Velikost odporového děliče lze vypočítat podle vztahu (10) udávaného výrobcem.

$$V_{KA} = V_{Ref} \left(1 + \frac{R19}{R20} \right) = 2,5 \cdot \left(1 + \frac{2400}{7500} \right) = 3,3[V] \quad (10)$$



Obrázek 24 - Stabilizace referenčního napětí +3,3V

6.4.2 Popis PINů převodníku

/CS – signál se používá pro zahájení komunikace s obvodem tak že je uveden do stavu L a ukončuje komunikaci uvedením do stavu H a obvod přechází do stavu Stand-By

CLK – signál hodin. Se sestupnou hranou signálu hodin dochází k výměně dat. Signál hodin určuje délku bitu.

D_{IN} – vstup dat. Slouží pro příjem konfiguračních dat převodníkem

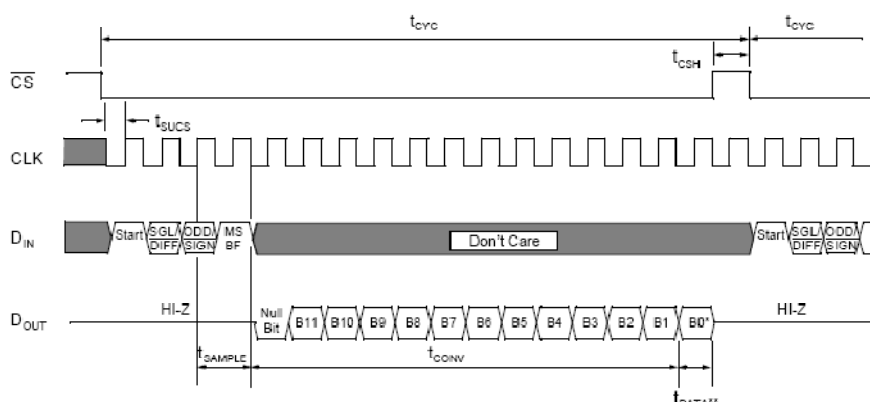
D_{OUT} – výstup dat. Slouží pro výstup dat výsledku A/D převodu

6.4.3 Konfigurační bity převodníku

2 konfigurační bity jsou vyslány při každé výměně dat z nadřazené jednotky do převodníku hned po START bitu.

	CONFIG BITS		CHANNEL SELECTION		GND
	SGL/DIFF	ODD/SIGN	0	1	
SINGLE ENDED MODE	1	0	+		-
	1	1		+	-
PSEUDO-DIFFERENTIAL MODE	0	0	IN+	IN-	
	0	1	IN-	IN+	

Tabulka 6 - Význam konfiguračních bitů převodníku [14]



Obrázek 25 - Časový průběh komunikace s převodníkem [14]

6.4.4 Průběh komunikace s mikroprocesorem

Komunikace s procesorem Rabbit probíhá po SPI sběrnici. Výměnu dat ukazuje Obrázek 26. Před zahájením komunikace procesor uvede CS signál do stavu Low, čím aktivuje obvod převodníku pro komunikaci. Následuje vyslání prvního bytu z MCU do A/D převodníku.

První byte obsahuje pouze Start bit. To je signál pro A/D převodník, že následující byte bude obsahovat konfigurační slovo pro převodník.

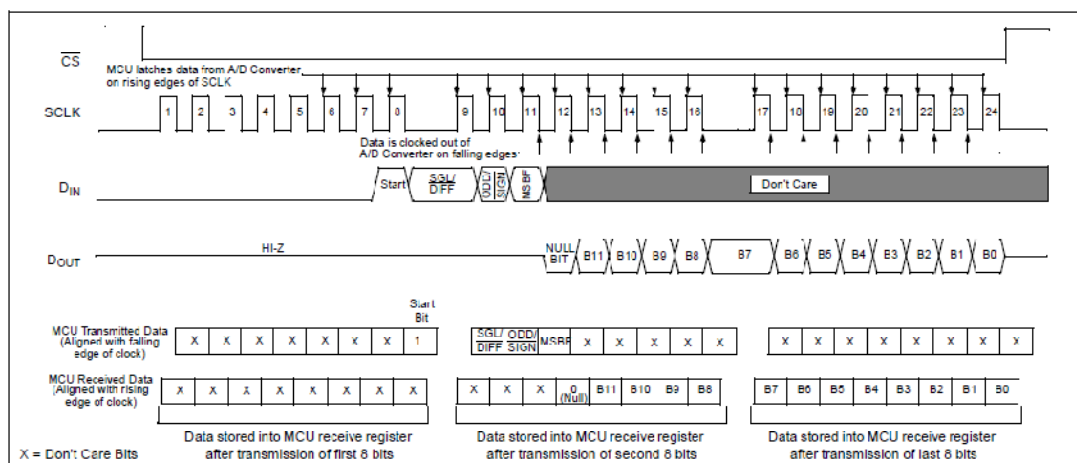
Druhý byte obsahuje horní tři bity, které tvoří konfigurační slovo pro A/D převodník. Význam jednotlivých bitů ukazuje Tabulka 1. V popisované aplikaci je do převodníku vysíláno konfigurační slovo 10100000 (0xA0) pro čtení kanálu 1 a

slovo 11000000 (0xE0) pro čtení kanálu 2. Třetí byt určuje, jestli má být odpověď vyslána v pořadí bitů LSB nebo MSB první.

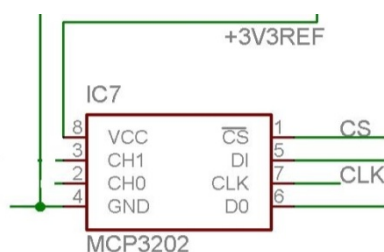
Se sestupnou hranou signálu hodin začíná ihned vysílání dat z A/D převodníku do MCU. Počínaje NULL bitem. Ve stejném bytu jsou odvíšlány 4 horní bity z 12bitového výstupního slova převodníku bity B11-B8.

Třetí byte vyslaný do převodníku nemá funkční význam. Ve stejném komunikačním cyklu ale odpovídá A/D převodník s 8 nižšími bity výstupního slova převodníku bity B7-B0.

Komunikace je ukončena uvedením CS signálu do stavu High po přijetí třetího bytu.



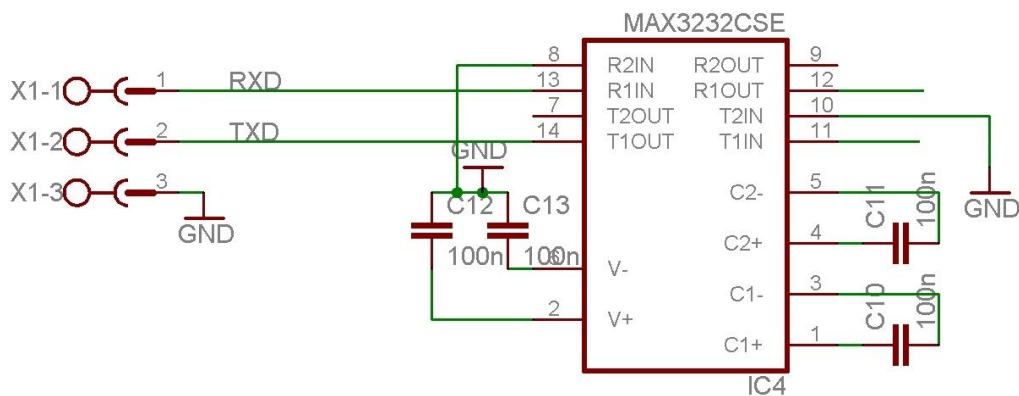
Obrázek 26 - Výměna dat MCU - A/D převodník [14]



Obrázek 27 - A/D převodník

6.5 PŘEVODNÍK ROZHRAŇÍ RS232

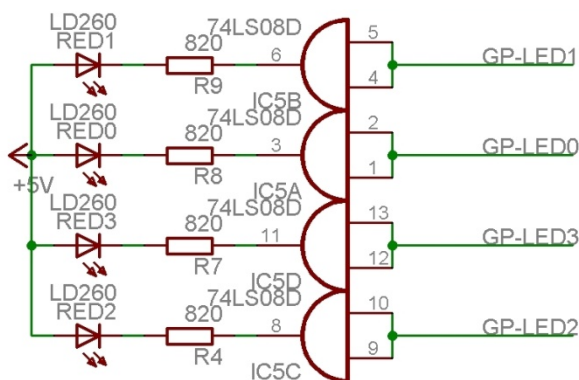
Modul převodníku je osazen převodníkem rozhraní MAX3232, kterého úlohou je přizpůsobit napěťové úrovně RS232 rozhraní na napěťové úrovně mikroprocesoru Rabbit s 3,3 voltovou logikou.



Obrázek 28 - Převodník MAX3232

6.6 STATUS LED

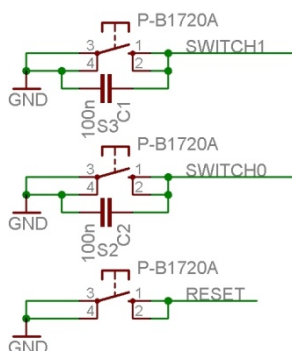
Pro funkci diagnostiky modulu jsou použity LED diody, kterým se dá programově přidělit různý význam. LED diody jsou napojeny na výstupy dvoustavových hradel AND integrovaného obvodu 74LS08. Vložení integrovaného obvodu má za cíl snížit proudový odběr z výstupu mikroprocesoru. A dosáhnout výstupní napětí 5V spínané napětím 3,3V z výstupu mikroprocesoru. Funkce jednotlivých LED diod bude popsána dále.



Obrázek 29 - Status LED

6.7 SPÍNAČE

Modul je osazen 3ks miniaturních spínačů. Switch 1 a Switch2 jsou napojeny na konfigurovatelný vstup mikroprocesoru. Spínače jsou vybaveny odrušovacím kondenzátorem, kterého úlohou je eliminovat zátky napětí při změně stavu. Spínač RESET je napojen na RESET vstup mikroprocesoru.



Obrázek 30 - Spínače

6.8 MIKROPROCESOR RABBIT – RCM3200 CORE MODUL

RCM3200 Rabbit Core modul [3] je výkonný modul obsahující Mikroprocesor Rabbit RM3000 ,integrované rozhraní 10Base-T Ethernet, 512KByte Flash a SRAM paměť. Dále obsahuje vstupy pro obdélníkové signály encoderu se schopností jejich měření,PWM výstupy, 52 digitálních vstupů/výstupů které jsou sdíleny s 6 sériovými portami a alternativně vstupy/výstupy, které mohou být konfigurovány jako 8bitová datová sběrnice s 6bitovou adresovací sběrnici.

Procesor pracuje s napájecím napětím 3,3V k čemu se muselo přizpůsobit i napájení převodníku MCP3202.

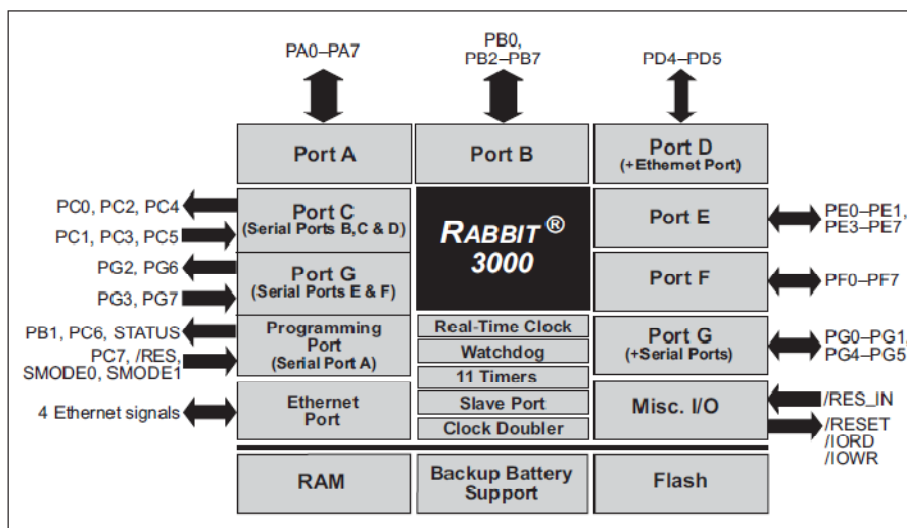
6.8.1 Charakteristika modulu RCM3200

Vybrané základní vlastnosti modulu RCM3200 s procesorem Rabbit 3000

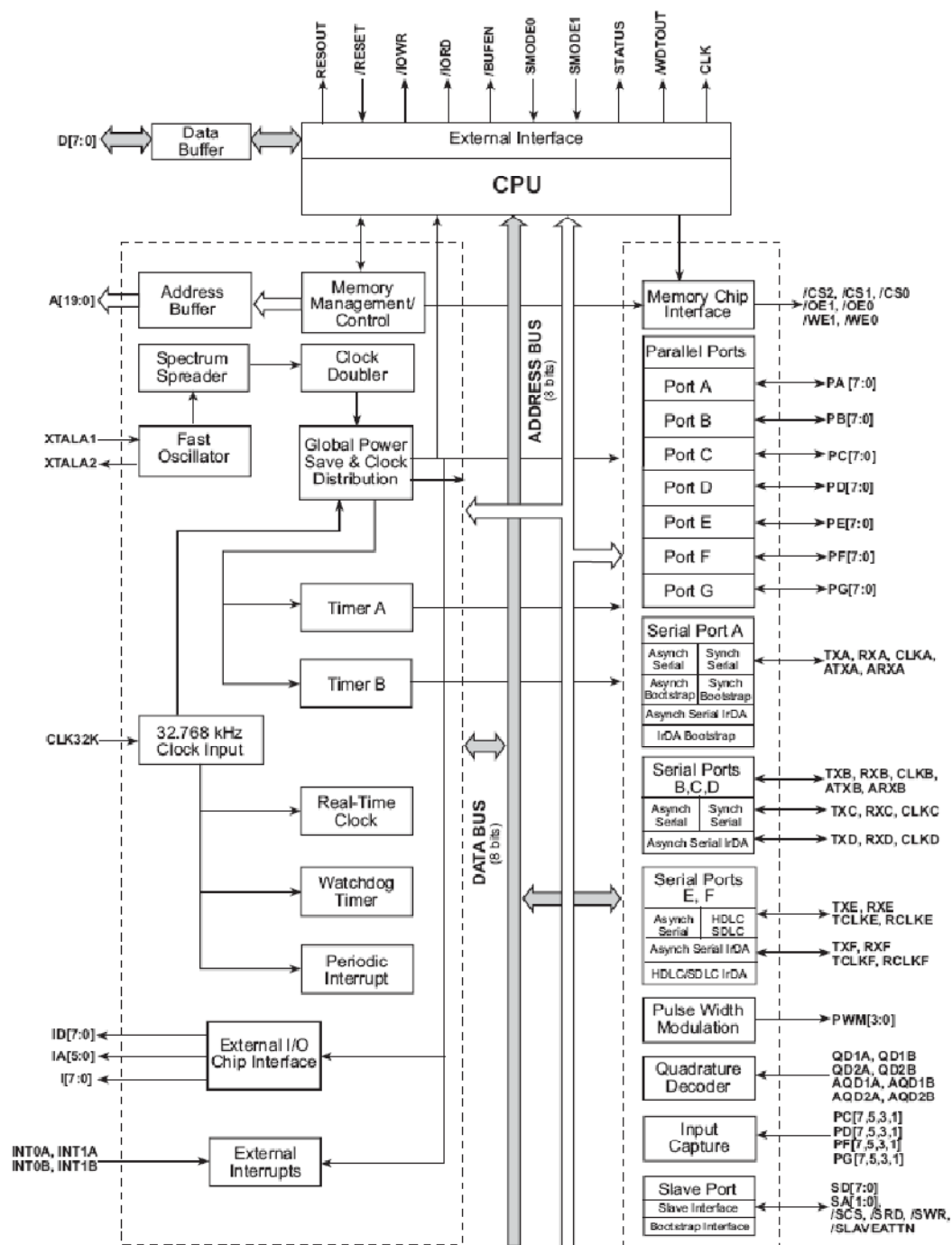
Mikroprocesor	Rabbit3000@44,2MHz
Ethernet Port	10/100 Base-T,RJ-45, 3 LEDs
Flash paměť	512k
Data SRAM	256k
Program execution SRAM	512k
Backup Battery	Připojení pro záložní baterii
Všeobecné použití I/O	52 paralelních digitálních I/O linek: • 44 konfigurovatelných I/O • 4 pevné vstupy • 4 pevné výstupy
Doplňkové vstupy	Start mód (2),Reset vstup
Doplňkové výstupy	Status, Reset výstup
Seriové porty	6 sdílených vysoko rychlostních, CMOS-kompatibilních portů • 6 konfigurovatelných jako asynchronní • 4 synchronní (SPI) • 2 SDLC/HDLC • 1 asynchronní seriový port určený pro programování s podporou MIR/SIR IrDA
Hodiny reálného času RTC	ANO

Package	128-pin LQFP	128-ball TFBGA
Package Size	16 mm × 16 mm × 1.5 mm	10 mm × 10 mm × 1.2 mm
Operating Voltage	1.8–3.6 V DC	
Operating Current	2 mA/MHz @ 3.3 V	
Operating Temp.	-55°C to +85°C	
Maximum Clock Speed	55.5 MHz	
Digital I/O	56+ (arranged in seven 8-bit ports)	
Serial Ports	6 CMOS-compatible	
Baud Rate	Clock speed/8 max. asynchronous	
Address Bus	20-bit	
Data Bus	8-bit	
Timers	Ten 8-bit and one 10-bit with 2 match registers	
Real-Time Clock	Yes, battery backable	
RTC Oscillator Circuitry	External	
Watchdog Timer/Supervisor	Yes	
Clock Modes	1×, 2×, /2, /3, /4, /6, /8	
Power-Down Modes	Sleepy (32 kHz) Ultra-Sleepy (16, 8, 2 kHz)	
External I/O Bus	8 data, 8 address lines	

Obrázek 31 - Rabbit 3000 Specifikace [3]



Obrázek 32 - Použití portů mikroprocesoru v RCM3200 [3]



Obrázek 33 - Rabbit 3000 Blokový diagram [3]

6.8.2 Vývojové prostředí Dynamic C

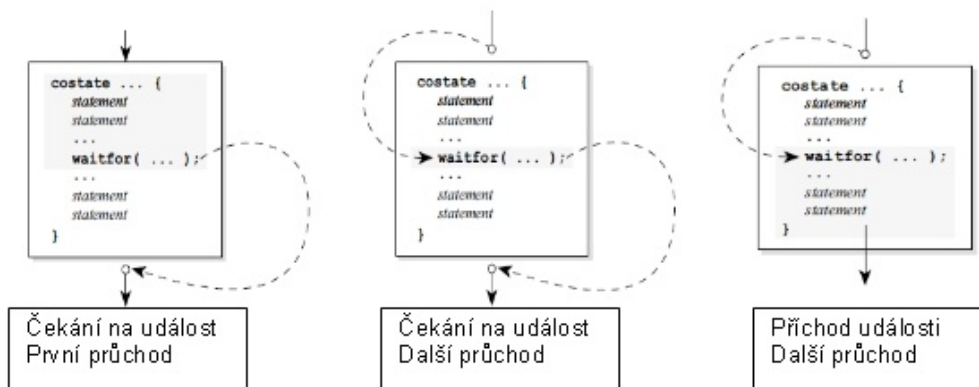
Dynamic C je integrovaný vývojový systém pro vytváření firmwaru s použitím Rabbit mikroprocesorů. Syntaxe jazyku odpovídá programovacímu jazyku C. Ve vývojovém prostředí je možné provádět operace:

- Editace
- Kompilace
- Linkování
- Debugování

Debugování pod Dynamic C umožňuje použít funkce příkazu printf, sledování hodnot proměnných funkcí watt, umístování breakpointů v programu. Použití rozšířených funkcí jazyka C jako shared a protected proměnné, costatement a cofunctions. Dynamic C podporuje kooperativní a preemptivní multitasking. Dynamic C obsahuje množství knihoven pro podporu vývoje a programování aplikací.

6.8.3 Implementace kooperativního multitaskingu

V multitaskingovém prostředí může být zpracovaných více úloh paralelně. V skutečnosti ale nemůže jednojádrový procesor vykonávat víc jako jednu instrukci. Multitasking se proto řeší tak, že v případě právě spuštěné úlohy, která čeká na dokončení nějaké události, začne se v průběhu této doby vykonávat další úloha. Zvýší se tím celkový výkon aplikace a zevně se zdá, že úlohy se zpracovávají paralelně. V Dynamic C pro implementaci kooperativního multitaskingu slouží rozšířené funkce jazyka C. Jsou to funkce *costatement* a *cofunction*. S použitím kooperativního multitaskingu tvoří programový kód hlavní cyklus, který obsahuje jednotlivé úlohy – části kódu, který se má vykonat. Pracuje podobně jako stavový automat. Když je úloha zaneprázdněná čekáním na nějakou událost opustí program úlohu a pokračuje vykonáváním další úlohy v cyklu. Po návratu na předešlou úlohu otestuje, jestli byla dokončena a v případě, že ne dokončí v úloze zbylé instrukce a pokračuje dále v cyklu.



Obrázek 34 - Funkce kooperativního multitaskingu [3]

Příkazy používané při multitaskingu jsou

yield – vykoná nepodmíněné ukončení právě probíhající úlohy.

V následujícím cyklu pokračuje příkazem následujícím za příkazem *yield*.

abort – příkaz ukončí právě probíhající úlohu. Činnost závisí na nastavení stavu *costate* buď je vykonán jenom při prvním průchodu, nebo při každém.

7. IMPLEMENTACE

7.1 ÚVOD

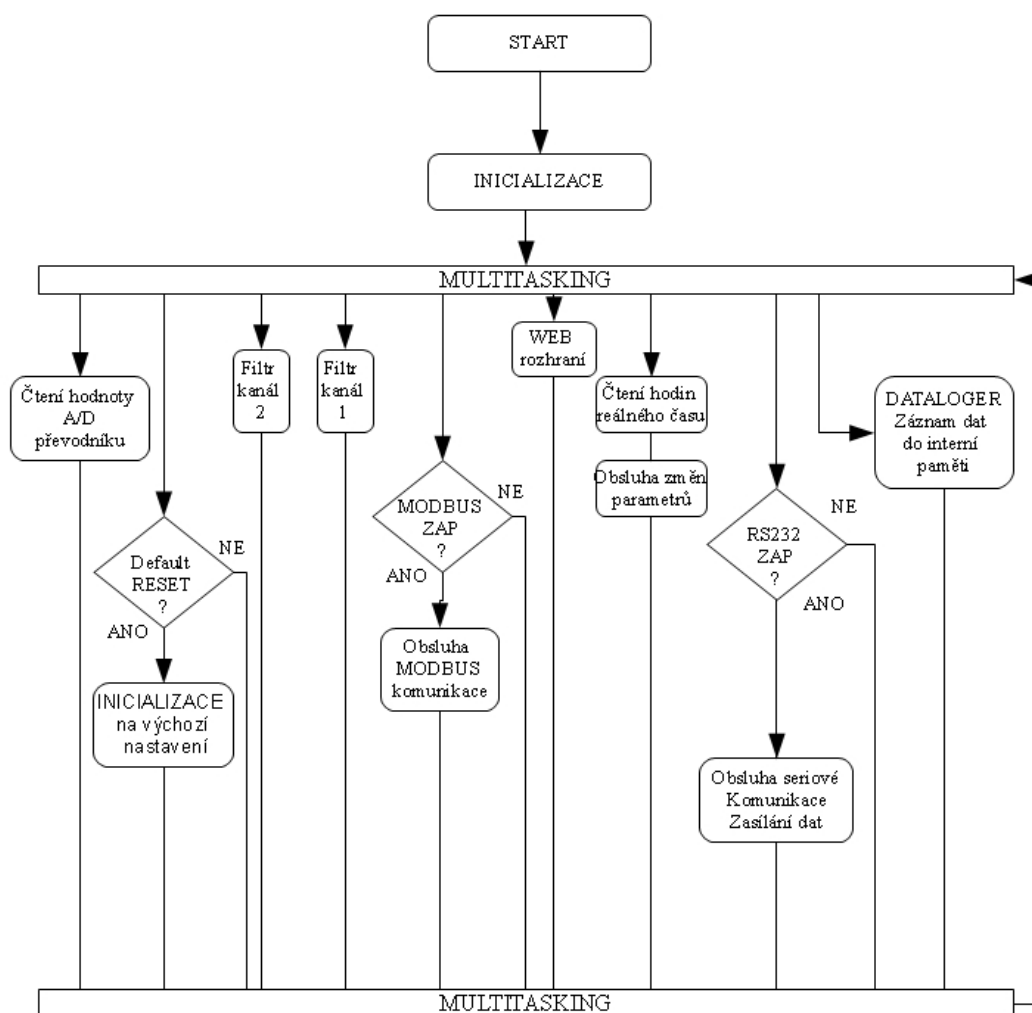
Softwarové vybavení převodníku (firmware) je vytvořeno a odladěno ve vývojovém prostředí Dynamic C 9.62 za použití integrovaných knihoven a funkcí. Program je rozčleněn na jednotlivé bloky. Každý blok vykonává specifickou úlohu ve vykonávání programu. Program je napsán v programovacím jazyce C s využitím rozšíření, které nabízí vývojové prostředí Dynamic C jedná se především o funkce kooperativního multitaskingu a specifické deklarace proměnných, při které se určí zdali mají být data uložena pouze v RAM nebo v chráněné části RAM, která je zálohována baterií. V chráněné části programu jsou uloženy proměnné, které může uživatel konfigurovat jako například datum, čas a kalibrační hodnoty. Do této části paměti jsou rovněž umístěny hodnoty chronologického záznamu dat. Jsou tak chráněna proti výpadkům napájení, ke kterým může v aplikaci docházet. Většina proměnných je deklarována, jako globální jsou tedy přístupné každé funkci v programu bez předávání hodnot při volání funkce.

Hlavní smyčku programu tvoří procedura *main*, která po provedení inicializace proměnných volá v nekonečné smyčce jednotlivé funkce cyklicky nepodmíněně nebo cyklicky s podmínkou. Jako diagnostika provádění jednotlivých bloků programu jsou naprogramovány čtyři diagnostické výstup, které jsou propojeny s LED diodami umístěnými na plošném spoji převodníku. Před voláním funkčního bloku je dioda nastavena do sepnutého stavu (svítí) a po dokončení je opět uvedena do stavu vypnuto (nesvítí). Všechny bloky pracují v režimu kooperativního multitaskingu, takže jakmile dojde ve vykonávání bloku k čekání na událost je předáno vykonávání programu dalšímu bloku. Je tak využíván maximálně výkon procesoru.

7.2 VÝVOJOVÝ DIAGRAM APLIKACE

Vývojový diagram ukazuje strukturu programu a podmíněná a nepodmíněná volání jednotlivých bloků.

Po startu programu je provedena inicializace proměnných. Při inicializaci jsou vynulovány proměnné měření a inicializují se komunikační porty.



Obrázek 35 - Vývojový diagram aplikace

7.3 ČTENÍ HODNOT A/D PŘEVODNÍKU

Při komunikaci s A/D převodníkem MCP3202 je použita funkce MCP3202Read, která využívá funkci implementovanou funkcí *SPIWrRd* z knihovny pro komunikaci po sběrnici SPI. Hodnoty analogového vstupu tvoří návratovou hodnotu funkce:

float MCP3202Read (float RefVoltage, int Channel)

Parametr funkce: *float RefVoltage* – velikost referenčního napětí převodníku.

Parametr funkce: *int Channel* – číslo požadovaného kanálu převodníku který má být přečten.

Návratová hodnota funkce: hodnota napětí na vstupu A/D převodníku daného kanálu.

Výměna dat probíhá podle specifiky popsané v kapitole 6.4. V prvním kroku je aktivován signál /CS uvedením do Log.0. Po uplynutí 10 cyklů sloužících k stabilizaci signálu na vstup MCP3202 v kterých je signál /CS držen v Log.0 je začato vysílání 1.bytu.

1.Byte obsahuje na pozici LSB start bit. Se spádovou hranou signálu CLK probíhá čtení 1.bytu vysílaného A/D převodníkem. Tento byte nenese žádnou informaci a proto je v dalším zpracování zanedbán.

Komunikace CPU -> A/D

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
X	X	X	X	X	X	X	1

Komunikace A/D->CPU

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
X	X	X	X	X	X	X	1

2.Byte obsahuje konfigurační slovo posílané do A/D převodníku. Konfigurační slovo určuje, z kterého vstupu bude probíhat čtení Viz. *Tabulka 6*. Pro kanál 1 je odvíšlán byte s hodnotou 0xA0 (10100000) a pro kanál 2, byte s hodnotou 0xA0 (11100000). Se spádovou hranou signálu CLK probíhá čtení 2.bytu vysílaného A/D převodníkem. Tento byte obsahuje na pozici 4.bitu NULL bit, za kterým následují 4 horní bity z 12-ti bitového slova výstupu A/D převodníku. Přčtená hodnota z A/D převodníku je uložena do pole *adc_reading[1]*.

Komunikace CPU -> A/D

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	0	1	0	0	0	0	0

Komunikace A/D->CPU

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
X	X	X	0	D11	D10	D9	D8

3.Byte vysílaný do A/D převodníku nemá funkční význam a může být nulový. Odpovědí čtenou se spádovou hranou hodinového signálu je spodní 8bitová část 12-bitového slova výstupu A/D převodníku. Přčtená hodnota z A/D převodníku je uložena do pole *adc_reading[2]*.

Komunikace CPU - >A/D

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
0	0	0	0	0	0	0	0

Komunikace A/D->CPU

Bit7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Po ukončení čtení je signál /CS uveden do stavu Log.1. Přijatá hodnota z A/D převodníku *adc_reading[1]* je maskována hodnotou 0x0F, násobena hodnotou 0xFF čímž dojde k posunutí do vyššího bytu výstupního slova int *adc_sample*. Následně je přičtena hodnota *adc_reading[2]*. Tím je dokončen převod 12bitové hodnoty výstupu A/D převodníku na 16 bitové číslo typu int.

$adc_sample=((adc_reading[1]\&0x0f)*0xff)+adc_reading[2]$;

Následuje normalizace hodnoty na odpovídající hodnotu napětí vztahem
 $Volts = (adc_sample*RefVoltage/4095)$; Viz. vztah (6).

7.4 FUNKCE FILTROVÁNÍ VSTUPNÍ HODNOTY

Funkce filtru slouží na filtrování měřené hodnoty, které spočívá v průměrování n změřených hodnot a eliminuje tak nestabilitu vstupního napětí do převodníku. Programově je filtr realizován funkcí:

float filter (int chanel)

Parametr funkce: *int Channel* – číslo požadovaného kanálu převodníku který má být průměrován.

Návratová hodnota funkce: *float filtered[chanel]* filtrovaná hodnota napětí na vstupu A/D převodníku daného kanálu.

Matematický popis filtru:

$$Y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{m=0}^n X_m \quad (11)$$

Kde:

n - řád filtru

X - vstupní hodnota

Y - výstupní filtrovaná hodnota

7.5 FUNKCE MODBUS

Funkce modbus pracuje jako modbus server. Stavy serveru jsou stavy stavového automatu, v kterém se může server nacházet v závislosti na připojení komunikačního klienta. Jednotlivé stavy, které mohou nastat:

- LSTN_STATE – server je ve stavu naslouchání příchozí zprávy
- ESTB_STATE – server navázal komunikaci na příslušném portu

- CLSE_STATE – server uzavřel port
- RECV_STATE – server obdržel data na socketu
- SEND_STATE – server posílá odpověď na dotaz
- CLWT_STATE – server čeká na uzavření socketu
- ABRT_STATE – přerušení spojení ze strany serveru

V případě obdržení dat (RECV_STATE) je spuštěna funkce *void decoder2(void)* pro dekodování požadavku klienta a sestavení odpovědi podle specifikace [7]. Jestliže je požadována adresa registru, která není implementována, odpovídá funkce dle specifikace kódem výnimky.

7.6 FUNKCE DEKODER

Funkce dekodéru spočívá v dekodování požadavku, který je obsažen v příchozí zprávě a dle obsahu požadavku sestavit odpověď. Odpověď je vložena do pole *ansbuffer[]* z kterého je následně odeslána na port ethernet. Strukturu odpovědi odpovídá specifikaci Modbus TCP a má následující strukturu.

Datové pole	Datový typ	Obsah a popis
ansbuffer [0]	[byte]	Identifikátor transakce – horní byte čísla identifikátoru transakce odpovídá přijaté hodnotě identifikátoru zprávy
ansbuffer [1]	[byte]	Identifikátor transakce – dolní byte
ansbuffer [2]	[byte]	Identifikátor protokolu – horní byte = 0 a nemá specifický význam
ansbuffer [3]	[byte]	Identifikátor protokolu – dolní byte = 0 a nemá specifický význam
ansbuffer [4]	[byte]	Počet byte odpovědi Modbus zprávy horní byte
ansbuffer [5]	[byte]	Počet byte odpovědi Modbus zprávy dolní byte
ansbuffer [6]	[byte]	Identifikátor adresy stanice
ansbuffer [7]	[byte]	Identifikátor modbus funkce
ansbuffer [8]	[byte]	Počet byte odpovědi
ansbuffer [9]	[byte]	Data hodnota odpovědi – horní byte
ansbuffer [10]	[byte]	Data hodnota odpovědi – dolní byte

7.7 FUNKCE DATALOGER

Ve firmwaru A/D převodníku je implementována funkce zápisu dat do interní paměti *void dataloger(void)*. Data jsou zapisovány do části paměti, která je zálohována baterií a chrání tak data před ztrátou nebo znehodnocením při výpadku napájení modulu. Maximální počet záznamů v paměti je omezen velikostí paměti. Start, stop a perioda zápisu dat je ovládán z konfiguračních stránek webového rozhraní. Zásobník záznamů pracuje na principu FIFO uchovává tedy v paměti posledních x záznamů a nejstarší jsou nahrazeny novými. Každý záznam obsahuje datumovou a časovou značku pořízení záznamu, za kterou následují data z měření. Data jsou odděleny středníkem pro jejich jednoduchý import do jiných programů ve formátu csv. Hodnoty napětí jsou exportovány v jednotkách Volt s přesností na tři desetinná místa.

DAY.MONTH.YEAR – Datum pořízení záznamu ve formátu den.měsíc.rok

HOURL:MINUTE:SECOND – Čas pořízení záznamu ve formátu hodina.minuta.sekunda

CH1 – Napětí na vstupu 1 v jednotkách Volt

CH2 - Napětí na vstupu 2 v jednotkách Volt

Filtered CH1 – Filtrovaná hodnota napětí na vstupu 1 v jednotkách Volt

Filtered CH2 – Filtrovaná hodnota napětí na vstupu 2 v jednotkách Volt

DAY.MONTH.YEAR	HOURL:MINUTE:SECOND	CH1	CH2	Filtered CH1	Filtered CH2
29.3.2010	22:58:33	9.423	0.003	9.426	0.004

Tabulka 7 - Struktura exportu dat z paměti Datalogeru

7.8 FUNKCE SÉRIOVÉ KOMUNIKACE

Modul A/D převodníku podporuje výpis měřených dat na asynchronní sériové rozhraní RS232. Funkce obsluhující komunikaci je *void ser_com(void)*. Konfigurace parametrů sériového přenosu a periodu zápisu je možné přes webové rozhraní konfigurace A/D převodníku. Každý záznam obsahuje datumovou a časovou značku

pořízení záznamu, za kterou následují data z měření. Data jsou odděleny středníkem pro jejich jednoduchý import do jiných programů ve formátu csv. Hodnoty napětí jsou exportovány v jednotkách milivolt.

```
28.3.2010;11:0:29;9249;2;9249;3  
28.3.2010;11:0:30;9260;3;9249;4  
28.3.2010;11:0:31;9248;5;9249;4  
28.3.2010;11:0:32;9250;4;9249;4
```

Obrázek 36 - Ukázka výpisu hodnot měření na rozhraní RS232.

7.9 FUNKCE ETHERNET READ/WRITE

Funkce `void eth_config_read (void)` a `void eth_config_write (void)` vykonává čtení a zápis konfigurace ethernetového rozhraní. Nastavení ethernetového rozhraní je možné měnit na stránkách webovém rozhraní.

8. WEB SERVER

Modul převodníku má implementován pro účely konfigurace a kalibrace webserver. Web stránky uložené v interní paměti modulu jsou napsány v jazyku zhtml, který je rozšířením klasického html jazyka o práci s dynamickými proměnnými interní paměti mikroprocesoru. K webserveru je možné se připojit prohlížečem html stránek jako například Internet Explorer. Struktura webserveru je rozdělena na dvě přístupové zóny. Pro běžného uživatele nevyžadující si přístupové jméno a heslo a pro administrátora vyžadující přihlašovací jméno a heslo, který může provádět konfiguraci převodníku a kalibraci.

Implicitně nastavené jméno je: **admin** a heslo: **1**

Struktura webserveru:

- § Měřená data – bez omezení přístupu
- § Data logger – bez omezení přístupu
- § Nastavení filtru – omezeno pro administrátora
- § Nastavení komunikace – omezeno pro administrátora
- § Nastavení A/D převodníku – omezeno pro administrátora
- § Nastavení datumu a času – omezeno pro administrátora

8.1 STRÁNKA MĚŘENÁ DATA

Úvodní stránka, která se zobrazí při připojení klienta k web serveru zobrazuje aktuálně měřená napětí na vstupech CH1 a CH2 modulu a napětí filtrované číslicovým filtrem v jednotkách Volt se zobrazením na 3 desetiny. Dále jsou na této stránce zobrazovány údaje o aktuální periodě a frekvenci čtení z A/D převodníku a aktuální datum a čas interních hodin modulu. Ve spodní části okna se nachází menu pro přístup k ostatním stránkám webserveru. Tlačítko RESET slouží pro uvedení modulu do výrobního nastavení. Stejnou funkci má i tlačítko SW1 na obvodové desce A/D převodníku.



Obrázek 37 - Stránka Měřená Data

8.2 STRÁNKA DATA LOGGER

Stránka Data logger umožňuje uživateli zaznamenávat chronologicky měřená data do editačního okna odkud je možné data kopírovat do textového nebo csv souboru pro další zpracování. Data jsou v okně seříděny chronologicky. Každý záznam je opatřen časovou podle aktuálního času kdy byl pořízen značkou ve formátu: *Den.Měsíc.Rok;Hodina.Minuta.Sekunda;*. Záznamy v editačním okně se neaktualizují automaticky. Aktuální obsah paměti je zobrazen po znovu načítání stránky prohlížečem.

Uživatel může nastavit periodu zápisu v editačním poli *Perioda zápisu do log souboru* v rozsahu 0,01s až 32000s. Potvrzení zadaného údaje periody zápisu provede zmáčknutím tlačítka *Uložit*. Tlačítko *Logování START* slouží pro odstartování provádění zápisu. Uživatel je následně informován o stavu zapisování zobrazením informační zprávy *Probíhá zápis do interní paměti*. Informační lišta nad editačním oknem zobrazuje aktuální počet záznamů v paměti a maximální kapacitu

počtu záznamů v paměti. Data jsou ukládány do zálohované oblasti paměti, takže jsou uchovány i při krátkých výpadcích napájecího napětí modulu. V čase výpadku ale nedochází k ukládání dat. Tlačítkem *Logování STOP* může uživatel zastavit zápis do interní paměti. Tlačítko *Log SMAZAT* slouží na vymazání obsahu editačního okna a všech uložených dat v paměti záznamníku.

Data Log

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet

Martin Hloupik

PERIODA ZÁPISU DO LOGU [s]:

Probíhá zápis do interní paměti

Počet záznamů v paměti: 38 záznamů Kapacita paměti: 500 záznamů

DAY.MONTH.YEAR; HOUR:MINUTE:SECOND; CH1; CH2; Filtered CH1; Filtered CH2

07.05.2010;21:49:30;9.200;0.002;9.200;0.003
 07.05.2010;21:49:40;9.200;0.003;9.200;0.003
 07.05.2010;21:49:50;9.203;0.001;9.200;0.004
 07.05.2010;21:50:00;9.194;0.002;9.200;0.003
 07.05.2010;21:50:10;9.227;0.004;9.200;0.004
 07.05.2010;21:50:20;9.201;0.003;9.200;0.003
 07.05.2010;21:50:30;9.199;0.004;9.200;0.004
 07.05.2010;21:50:40;9.198;0.004;9.200;0.003
 07.05.2010;21:50:50;9.204;0.003;9.200;0.004
 07.05.2010;21:51:00;9.200;0.005;9.200;0.003
 07.05.2010;21:51:10;9.191;0.004;9.200;0.003
 07.05.2010;21:51:20;9.202;0.004;9.200;0.003
 07.05.2010;21:51:30;9.200;0.004;9.200;0.003
 07.05.2010;21:51:40;9.202;0.004;9.200;0.004

[Měřená data](#) [Data logger](#) [Nastavení filtru](#) [Nastavení komunikace](#) [Nastavení A/D převodníku](#) [Nastavení Datumu a času](#)

Obrázek 38 - Stránka Data logger

8.3 STRÁNKA NASTAVENÍ FILTRU

Stránka Nastavení filtru slouží uživateli k nastavení řádu filtru. Řád filtru udává počet průměrovaných hodnot měření. Rozsah nastavení řádu filtru je 1 až 9999. Výchozí nastavení řádu filtru je 1. Aktuální nastavení hodnoty řádu filtru je zobrazeno v editačním poli při načítání stránky prohlížečem. Řád filtru je možné

nastavit pro každý měřený kanál samostatně. Potvrzení zadané hodnoty provede uživatel tlačítkem *Uložit*.

Obrázek 39 - Stránka Nastavení filtru

8.4 STRÁNKA NASTAVENÍ KOMUNIKACE

Na stránce Nastavení komunikace uživatel definuje komunikační parametry modulu pro TCP/IP komunikaci, Modbus TCP a asynchronní sériovou komunikaci RS232. Aktuální nastavení parametrů je zobrazeno při načítání stránky prohlížečem.

Nastavení TCP/IP komunikace tvoří samostatný formulář a uživatel může nastavit IP adresu, Masku sítě a Bránu. Při prvním spuštění modulu nebo po vykonání RESET na výchozí nastavení jsou hodnoty komunikace nastaveny na výchozí hodnoty, které udává Tabulka 8 - Výchozí nastavení TCP/IP komunikace. Pro spojení s modulem převodníku je důležité, aby počítač z něhož bude prováděna konfigurace byl ve stejné síti jako modul. Potvrzení zadaných údajů provede uživatel stlačením tlačítka *Uložit*. Nově zadané údaje se následně zobrazí v editačním poli.

Parametr	Hodnota
IP adresa	10.10.6.100
Maska sítě	255.255.255.0
Brána sítě	10.10.6.1

Tabulka 8 - Výchozí nastavení TCP/IP komunikace

Konfigurace parametrů Modbus TCP rozhraní umožňuje uživateli nastavit parametry týkající se Modbus komunikace, kterými jsou adresa stanice, komunikační port a volba zapnutí nebo vypnutí Modbus komunikace. Při prvním spuštění modulu nebo po vykonání RESET na výchozí nastavení jsou hodnoty Modbus komunikace nastaveny na výchozí hodnoty, které udává Tabulka 9 - Výchozí nastavení Modbus komunikace. Rozsah adres, který je možné zadat do pole Adresa Modbus komunikace je 1 až 256. Číslo komunikačního portu je možné volit v rozsahu 1 až 2048. Číslo portu se nedoporučuje měnit, jelikož port 502 je vyhrazen pro Modbus komunikaci. Volba Modbus TCP aktivovat je možné povolit/zakázat poskytování dat na modbus rozhraní.

Parametr	Hodnota	Rozsah
Adresa Modbus stanice	1	1...256
Komunikační port Modbus stanice	502	1...2048
Modbus TCP aktivovat	☒	

Tabulka 9 - Výchozí nastavení Modbus komunikace

Modul převodníku je vybaven asynchronním sériovým rozhraním. Nastavení parametrů pro sériovou komunikaci umožňuje uživateli zvolit rychlost přenosu, aktivovat/deaktivovat posílání dat na sériový port a navolit periodu zasílání dat na sériový port. Při prvním spuštění modulu nebo po vykonání RESET na výchozí nastavení jsou hodnoty RS232 komunikace nastaveny na výchozí hodnoty, které udává Tabulka 10 - Výchozí nastavení sériové komunikace. Rozsah nastavení komunikační rychlosti je dán formou volby z nabízených hodnot a to: 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 56000, 57600, 115200 bit za sekundu.

Perioda zápisu na sériový port může být nastavena v rozsahu 0,01s až 32000s.

Potvrzení zadaných hodnoty provede uživatel tlačítkem *Uložit*.

Parametr	Hodnota	Rozsah
Komunikace RS232		
- Rychlost	115200	4800..115200
- Datové bity	8	-
- Parita	None	-
- Počet stop-bitů	1	-
Sériový port aktivovat	☒	
Perioda zápisu na sériový port	1	0,01..32000

Tabulka 10 - Výchozí nastavení sériové komunikace

8.5 STRÁNKA NASTAVENÍ A/D PŘEVODNÍKU

Konfiguraci a kalibraci A/D převodníku může uživatel editovat na stránce Nastavení A/D převodníku. Při načítání stránky do prohlížeče jsou v editačních polích zobrazeny aktuální hodnoty nastavení. Uživatel může měnit parametry, které mají vliv na výstupní hodnotu převodu napětí ručně nebo autokalibraci. Hodnota Vstupní převod kanál 1 a Vstupní převod kanál 2 je obrácenou hodnotou koeficientu převodu vypočteného vztahem (4). Odchylka od teoreticky vypočtené hodnoty 3,3 [-] je způsobena výrobní tolerancí odporů použitých ve vstupním obvodu A/D převodníku. Hodnota Referenční napětí udává velikost referenčního napětí pro převodník MCP3202. Tato hodnota je použita při výpočtu výstupního napětí A/D převodníku a ovlivňuje vypočtenou hodnotu napětí pro oba kanály. Hodnota referenčního napětí byla ověřena měřením a není doporučeno tuto hodnotu měnit. Při prvním spuštění modulu nebo po vykonání RESET na výchozí nastavení jsou hodnoty nastavení převodníku nastaveny na výchozí hodnoty, které udává Tabulka 11 - Výchozí nastavení převodníku.

Na stránce nastavení A/D převodníku je možné provádět Autokalibraci . Formulář v dolní části okna zobrazuje aktuálně naměřenou hodnotu napětí pro kanál1 a kanál2 při načítání stránky prohlížečem. Uživatel může provést kalibraci

jednotlivých měřicích kanálu připojením kalibračního napětí na měřicí svorky. Následně zapíše hodnotu kalibračního napětí pro vybraný měřicí kanál do příslušného editačního pole. Stlačení tlačítka *Kalibrovat* se automaticky přepočte hodnota vstupní převod pro příslušný měřicí kanál a tato hodnota se uloží do zálohované paměti. Operací kalibrovat se změní hodnota datumu poslední kalibrace na aktuální datum.

Parametr	Hodnota	Rozsah
Vstupní převod kanál 1	3,424	0...10
Vstupní převod kanál 2	3,324	0...10
Referenční napětí	3,246	0...10

Tabulka 11 - Výchozí nastavení převodníku

Nastavení parametrů



Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet

Martin Hlupík

Nastavení parametrů převodníku

VSTUPNÍ PŘEVOD KANÁL 1:	3.424	
VSTUPNÍ PŘEVOD KANÁL 2:	3.324	
REFERENČNÍ NAPĚTÍ:	3.246	

Autokalibrace

Připojte na svorky kanálu kalibrační napětí, do příslušného pole запиšte hodnotu kalibračního napětí a proveďte kalibraci

Datum poslední kalibrace:
7.5.2010

Měřené Napětí Kanál 1:	9.200 [V]	
KALIBRAČNÍ NAPĚTÍ KANÁL 1:		Kalibrovat
Měřené Napětí Kanál 2:	0.006 [V]	
KALIBRAČNÍ NAPĚTÍ KANÁL 2:		Kalibrovat

[Měřená data](#)
[Data logger](#)
[Nastavení filtru](#)
[Nastavení komunikace](#)
[Nastavení A/D převodníku](#)
[Nastavení Datumu a času](#)

Obrázek 40 - Stránka Nastavení parametrů převodníku.

8.6 STRÁNKA NASTAVENÍ DATUMU A ČASU

Na této stránce může uživatel měnit nastavení vnitřních hodin reálného času. Při načítání stránky do prohlížeče jsou v editačních polích zobrazeny aktuální hodnoty nastavení. Změna nastavení uživatel provede zapsáním požadované hodnoty do příslušného pole a stlačením tlačítka *Uložit* se hodnoty uloží do paměti modulu. Hodiny reálného času jsou uloženy v zálohované paměti. V případě krátkodobého výpadku napájení zůstává nastavení uchováno. Při prvním spuštění modulu je nutné nastavit datum a čas na aktuální hodnoty.



Nastavení času

DIPLOMOVÁ PRÁCE
 Inteligentní převodník 0-10V s rozhraním Ethernet
 Martin Hlúpik

Nastavení datumu a času

Nastavení datumu
 Den: Měsíc: Rok:

Nastavení hodin
 Hodin: Minut: Sekund:

[Měřená data](#) [Data logger](#) [Nastavení filtru](#) [Nastavení komunikace](#) [Nastavení A/D převodníku](#) [Nastavení Datumu a času](#)

Obrázek 41 - Stránka Nastavení datumu a času.

9. MODBUS ROZHRAVNÍ

9.1 METODA PŘÍSTUPU

Implementované ModbusTCP rozhraní pracuje v režimu server klient a poskytuje odpověď na dotaz klienta. Modul převodníku obsahuje 8 uchovávacích registrů velikosti word, ke kterým může klient přistupovat standardní funkcí fc3 specifikovanou v Modbus specifikaci [16]. Adresy a význam jednotlivých registrů ukazuje Tabulka 12 - Specifikace adres Modbus registrů.

Adresa uchovávacího registru	Délka registru	Obsah registru
3001	word	Napětí měřicího kanálu 1 v jednotkách [mV]
3002	word	Napětí měřicího kanálu 2 v jednotkách [mV]
3003	word	Filtrované napětí měřicího kanálu 1 v jednotkách [mV]
3004	word	Filtrované napětí měřicího kanálu 2 v jednotkách [mV]
3005	word	Sériové číslo modulu
3006	word	Měsíc poslední kalibrace
3007	word	Rok poslední kalibrace
3008	word	Den poslední kalibrace

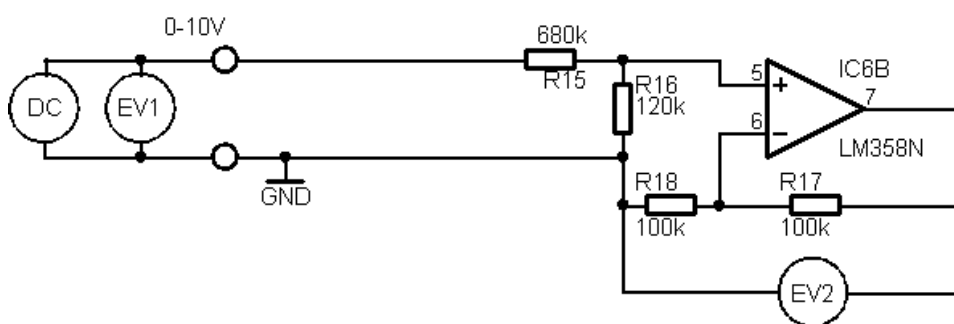
Tabulka 12 - Specifikace adres Modbus registrů.

10. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ

10.1 MĚŘENÍ ANALOGOVÉ ČÁSTI

Pro ověření funkčnosti analogového bloku jsem provedl měření přechodové charakteristiky napětí zapojení s operačním zesilovačem.

10.1.1 Schéma zapojení



Obrázek 42 - Schéma zapojení měření zesílení

10.1.2 Tabulka použitých součástek a výpočet teoretického zesílení

Při měření jsou použity odpory dle níže uvedené tabulky.

Součástka	Naměřená hodnota	Výrobce uvedená hodnota	Výrobce uvedená tolerance
R15 [Ω]	686000	680000	1%
R16 [Ω]	118700	120000	1%
R17 [Ω]	99800	100000	1%
R18 [Ω]	99600	100000	1%
Zesílení [-]	0,1996	0,2000	

Tabulka 13- Použité součástky a výpočet teoretického zesílení

$$A_U = \left(\frac{R_{16}}{R_{15} + R_{16}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_{17}}{R_{18}} \right) \quad (12)$$

Teoretické zesílení obvodu

$$A_U = \left(\frac{118700}{686000 + 118700} \right) \cdot \left(1 + \frac{99800}{99600} \right) = 0,2953[-] \quad (13)$$

10.1.3 Zpracování výsledků

EV1[V]	EV2[V]	Zesílení Au[-]
0,1061	0,0331	0,3120
0,2247	0,0683	0,3040
0,3068	0,0926	0,3018
0,3935	0,1184	0,3009
0,506	0,1518	0,3000
0,664	0,1988	0,2994
0,742	0,222	0,2992
0,912	0,2725	0,2988
1,02	0,3043	0,2983
2	0,596	0,2980
3,01	0,896	0,2977
4,07	1,212	0,2978
5,02	1,494	0,2976
6,05	1,8	0,2975
7,01	2,086	0,2976
8,08	2,402	0,2973
9,04	2,687	0,2972
10	2,972	0,2972
10,32	3,068	0,2973
11,06	3,288	0,2973
12,09	3,594	0,2973
13,06	3,869	0,2962

Tabulka 14 - Naměřené hodnoty vstupního a výstupního napětí a výpočet zesílení

Výpočet zesílení ze změřených hodnot

$$A_U = \frac{EV2[V]}{EV1[V]}$$

Vzorový výpočet

$$A_U = \frac{2,086}{7,01} = 0,2976 \quad [-]$$

10.1.4 Seznam použitých přístrojů

EV2 - Multimetr ESCORT 97

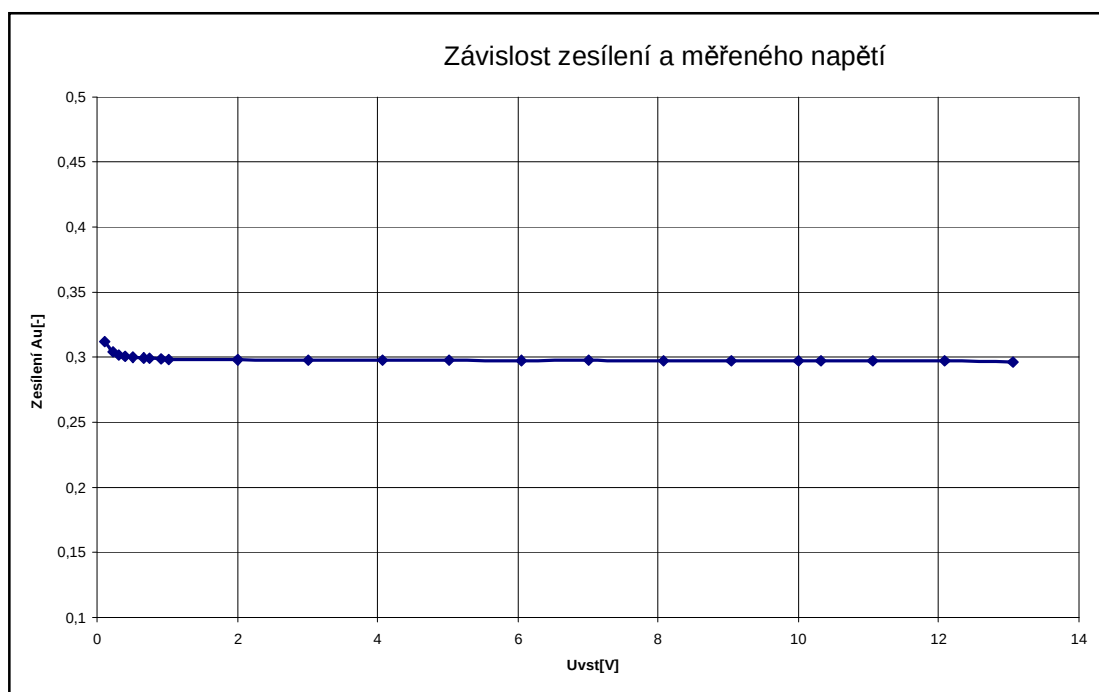
EV1 - Mutimetr METEX Typ:M-3860D výrobní číslo BJ011965

DC - Laboratorní stabilizovaný zdroj ISO-TECH IPS2303D

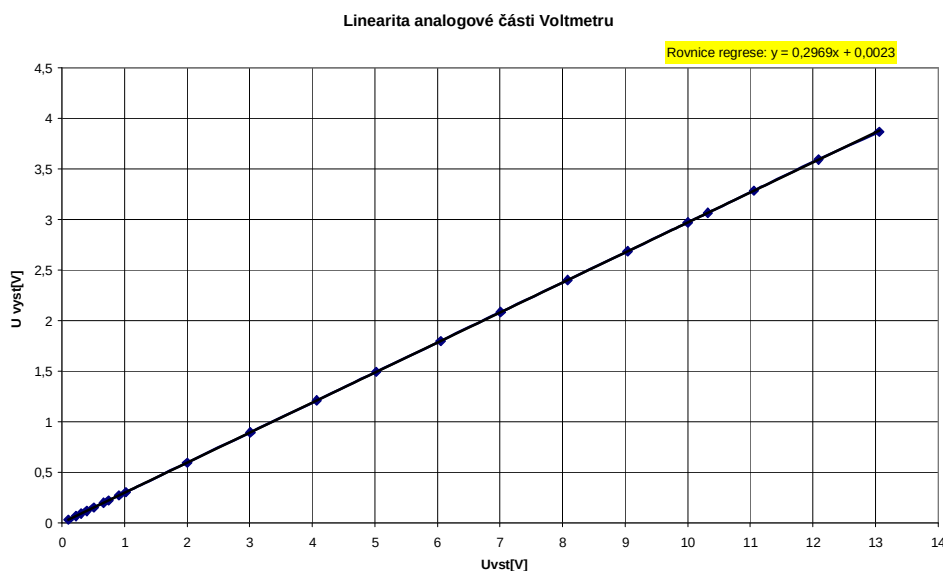
Nepájivé kontaktní pole AW Board Model:GBS-243

Osciloskop Tektronix TDS2014

10.1.5 Grafické zhodnocení výsledků měření



Graf 1 - Závislost zesílení a vstupního napětí



Graf 2 - Přechodová charakteristika analogového bloku

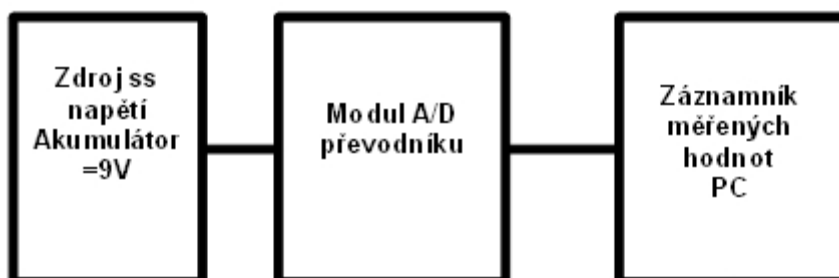
10.1.6 Závěr a zhodnocení měření

Při měření jsem si ověřil teoretické předpoklady zapojení. Na základě použitých součástek vychází teoretické zesílení 0,2976. Měřením jsem ověřil zesílení 0,2991. U použitého operačního zesilovače se projevila nelinearita v oblasti napětí 0-0,3V. Nelinearita mohla být způsobena chybou měřicí metody, rozkmitem stabilizovaného napětí ze zdroje DC, kterého rozptyl byl ověřen měřením na osciloskopu a dosahoval až 36mV.

10.2 MĚŘENÍ STABILITY MODULU A/D PŘEVODNÍKU

Stabilitu měření napětí modulem A/D převodníku jsem ověřil zapojením podle Obrázek 43 - Blokové schéma měření stability A/D převodníku. Jako vstup stabilizovaného napětí jsem zvolil akumulátor 9V typu 6LF22. Před zahájením měření jsem provedl kalibraci popsanou v kapitole 8.5. Jako referenční měřidlo jsem volil multimetr ESCORT 97 viz kapitola 10.1.4. Měření bylo prováděno v intervalu 500 milisekundy po dobu 4 minuty a 10 sekund.

10.2.1 Blokové schéma zapojení



Obrázek 43 - Blokové schéma měření stability A/D převodníku

10.2.2 Zpracování výsledků

Uvedeným měřením jsem získal 500 hodnot napětí. Hodnoty jsem analyzoval a výsledky zaznamenal do tabulky.

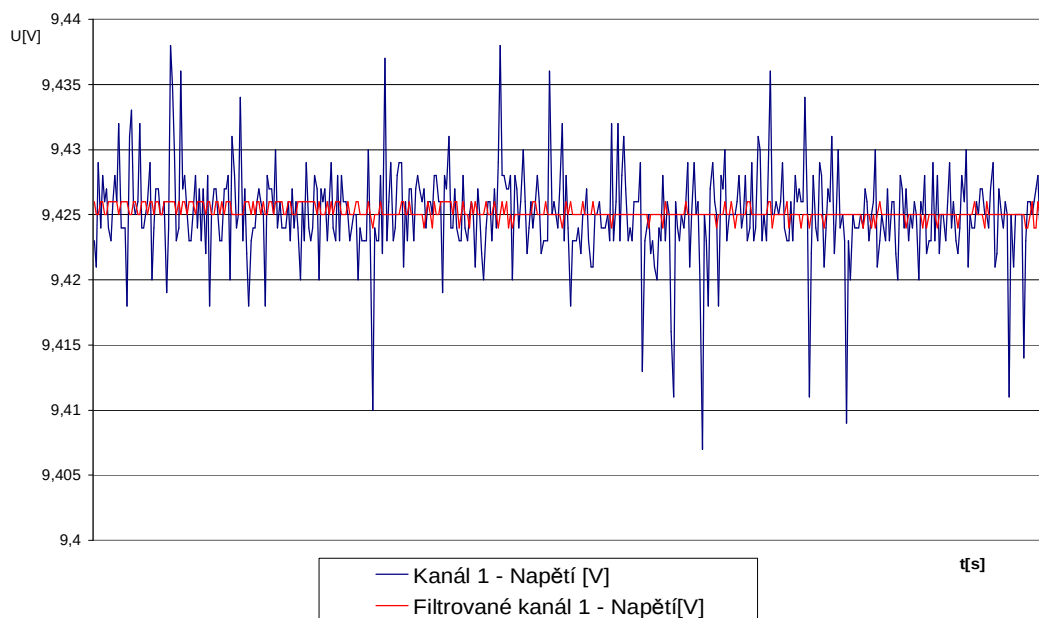
$U_{VST} = 9,425 \text{ V}$	Napětí Kanál 1 [V]	Napětí Filtrované kanál 1 [V]
Minimum	9,407	9,424
Maximum	9,438	9,426
Průměr	9,425	9,425
Rozptyl	0,031	0,002
Směrodatná odchylka	0,0035	0,0006

Tabulka 15 - Měření stability převodníku Kanál 1

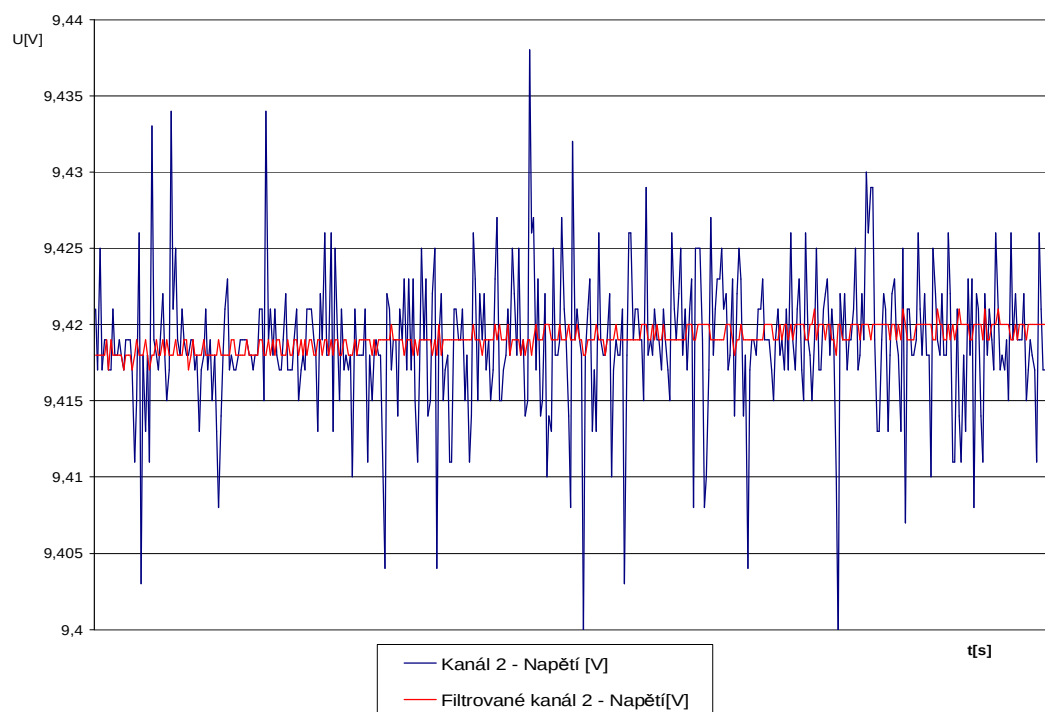
$U_{VST} = 9,422 \text{ V}$	Napětí Kanál 2 [V]	Napětí Filtrované kanál 2 [V]
Minimum	9,399	9,417
Maximum	9,438	9,421
Průměr	9,419	9,419
Rozptyl	0,039	0,004
Směrodatná odchylka	0,0046	0,0008

Tabulka 16 - Měření stability převodníku Kanál 2

10.2.3 Grafické zhodnocení výsledků měření



Graf 3 - Měření stability kanál 1



Graf 4 – Měření stability kanál 2

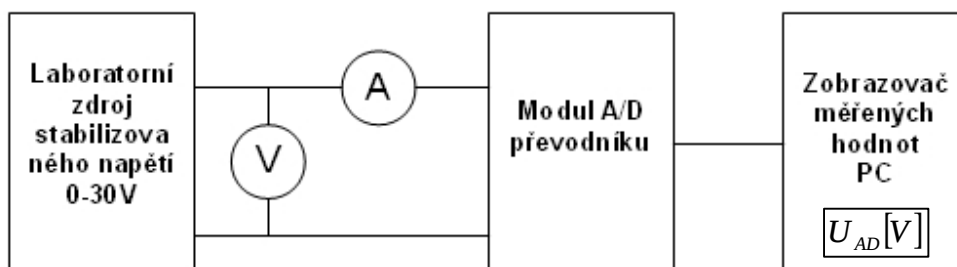
10.2.4 Zhodnocení měření stability

Měřením stability bylo zjištěno kolísání vstupní hodnoty na obou kanálech převodníku. Rozptyl vstupních hodnot byl větší než bylo teoreticky odvozeno v kapitole 6.4. Použitím metody filtrace vstupních hodnot bylo docíleno požadované stability měření a rozptyl měření byl menší než kvantizační chyba převodníku. Směrodatná odchylka u obou kanálu byla menší než kvantizační chyba převodníku. Kolísání vstupní hodnoty může způsobovat nedostatečná stabilizace referenčního napětí.

10.3 MĚŘENÍ LINEARITY A VSTUPNÍ IMPEDANCE

Pro ověření linearity a měření vstupní impedance převodníku jsem provedl měření se stabilizovaným zdrojem napětí. Postupným zvyšováním vstupního napětí v rozsahu 0 až 11,5V. Pro každou hodnotu napětí jsem odečítal hodnotu proudu na ampérmetru odpovídajícího napětí vyhodnocené převodníkem.

10.3.1 Blokové schéma zapojení



Obrázek 44 - Blokové schéma zapojení měření linearity a vstupní impedance

10.3.2 Tabulka naměřených hodnot

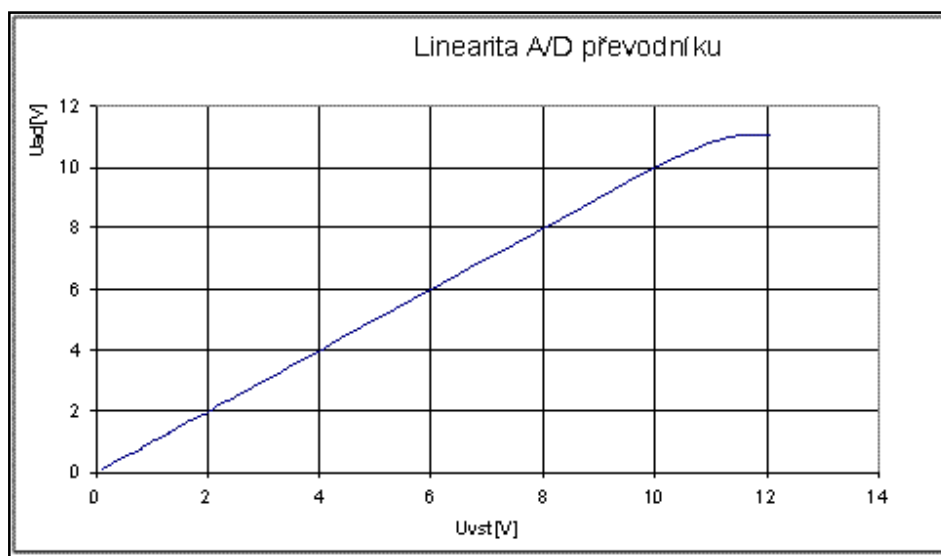
U _{vst} [V]	0,115	0,214	0,377	0,541	0,539	0,657	0,79	0,888	0,986	1,105
U _{ad} [V]	0,114	0,214	0,377	0,543	0,543	0,66	0,79	0,888	0,985	1,102

Tabulka 17 - Měření linearity převodníku (část měření)

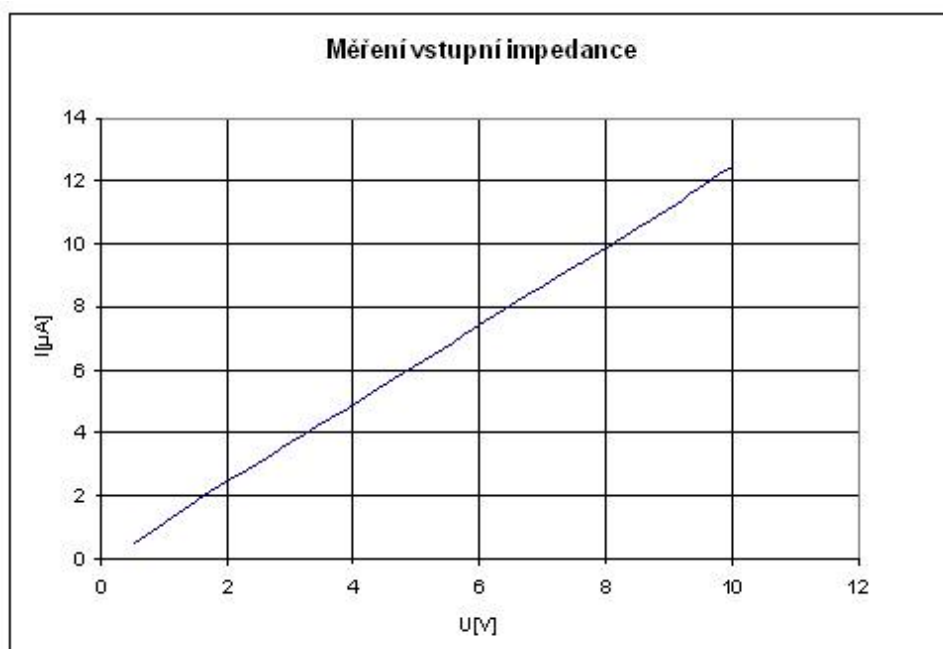
U[V]	1,481	2,05	2,565	3,012	3,606	4,003	4,525	5,021
I[μ A]	1,8	2,5	3,1	3,7	4,4	4,9	5,6	6,2
Zvst[Ω]	822777,8	820000	827419,4	814054,1	819545,5	816938,8	808035,7	809838,7

Tabulka 18 - Měření vstupní impedance

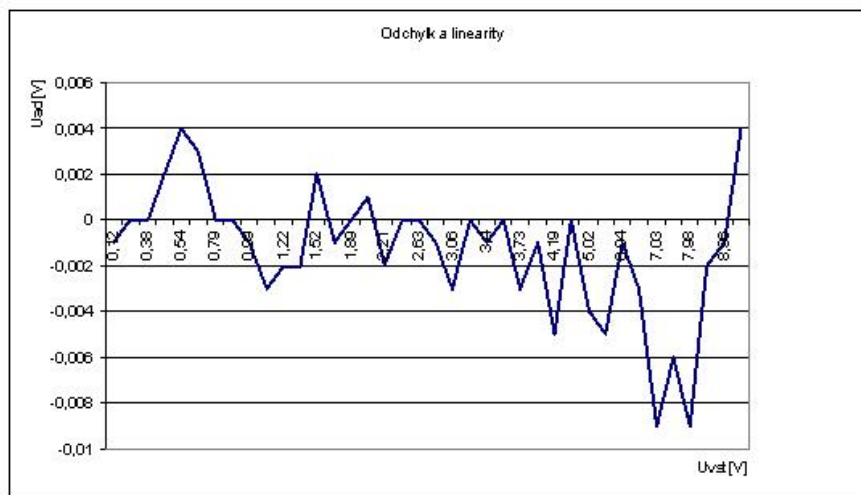
10.3.3 Grafické zhodnocení výsledků měření



Graf 5 - Měření linearity



Graf 6 - Měření vstupní impedance



Graf 7 - Odchylka linearity

10.3.4 Zhodnocení měření linearity a vstupní impedance

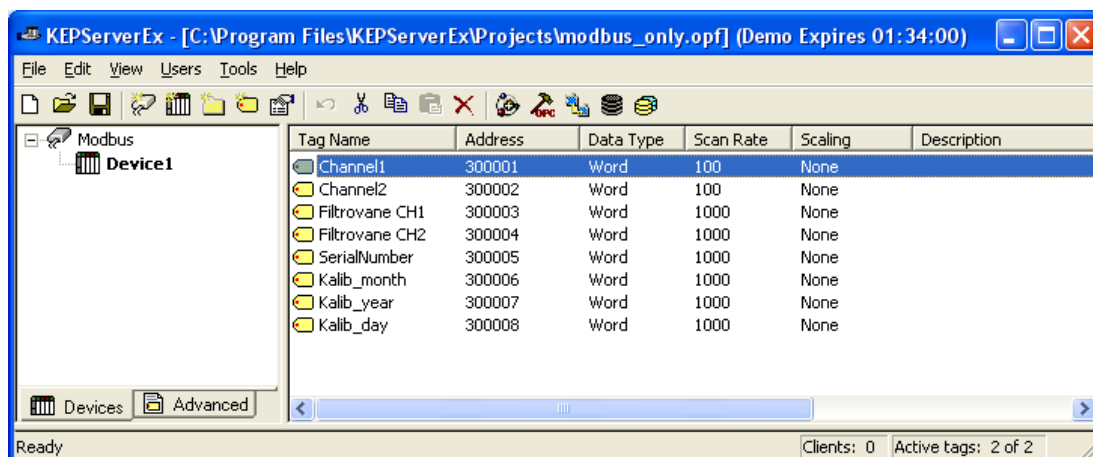
Měřením jsem ověřil linearitu převodníku v celém požadovaném rozsahu měření. Při měření byly zjištěny odchylky od správné hodnoty v maximální velikosti 9mV. Tato chyba mohla být způsobena kvantizační chybou převodu. Při měření byla ověřena funkce zenerovy diody na vstupu A/D převodníku, která začala omezovat vstupní napětí nad úrovní 10,1V. Vstupní impedance byla naměřena $Z > 800\text{k}\Omega$, dle teoretického předpokladu. Impedance vstupu A/D převodníku se neprojevila. Impedance změřená představovala velikost odporu vstupního děliče.

10.4 OVĚŘENÍ MODBUS TCP KOMUNIKACE

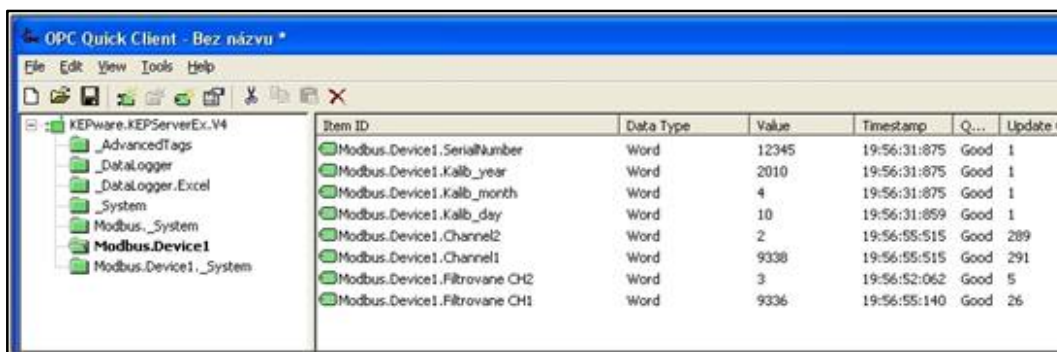
Ověření komunikace rozhraním ModbusTCP jsem prováděl s komerčním softwarem KepServerEx verze 4.5, který je produktem firmy Kepware Technologies. Na stránkách firmy Kepware je možné stáhnout demo verzi tohoto produktu, která je plně funkční 2 hodiny. <http://www.kepware.com/Products/products OPCServers.asp>

Po nainstalování OPC serveru bylo nutné provést konfiguraci připojení a registrů čtení viz Tabulka 12 - Specifikace adres Modbus registrů. Ukázka nakonfigurovaného spojení ukazuje Obrázek 45 - Konfigurace spojení OPC serveru. Test spojení a zobrazení aktuálních hodnot registrů je možné funkcí Quick Client. Po spuštění OPC Quick Clienta se zobrazovali aktuální hodnoty registrů v okně aplikace viz Obrázek 46 - Zobrazení aktuálních hodnot registrů v OPC serveru. K OPC

serveru se dá přistupovat z aplikace Microsoft Excel prostřednictvím dynamické výměny dat DDE. V programu excel je možné přistupovat k hodnotě OPC serveru direktivou =kepdde|cesta k registru.



Obrázek 45 - Konfigurace spojení OPC serveru



Obrázek 46 - Zobrazení aktuálních hodnot registrů v OPC serveru

11. ZÁVĚR

Při vypracování diplomové práce jsem pracoval s datovými listy a specifikacemi elektronických součástek od různých výrobců. Při teoretické přípravě byly nastudovány komunikační standardy ModbusTCP a SPI. Dále byly nastudovány principy analogové číslicového převodu a principy úpravy číslicové posloupnosti získané převodem. Na základě požadovaných vlastností a funkcí převodníku bylo zhotoveno zapojení, kterého funkce odpovídá zadání. Seznámil jsem se s programovacím prostředím Dynamic C a vytvořil v tomto prostředí firmware s požadovanými vlastnostmi s využitím implementovaných knihoven a funkcí. Na vyhotoveném modulu byly provedeny měření linearity a stability. Výsledek měření potvrdil teoretické předpoklady a požadavky na modul dané zadáním. Měřením se projevila mírná nestabilita $\pm 15\text{mV}$, kterou je ale možné odstranit implementovaným filtrem a dosáhnout maximální přesnosti měřeného napětí $\pm 2\text{mV}$. Maximální frekvence vzorkování s implantovaným firmwarem byla 125Hz tedy perioda vzorkování odpovídá 8ms . Uvedené řešení je tedy vhodnější pro aplikace, kde není kritická rychlost a požadovaná perioda vzorkování je vyšší jako 10ms . Obvod byl rozšířen nad požadavky zadání o možnost výstupu dat na asynchronní sériové rozhraní RS232 a dále byl využit druhý kanál A/D převodníku.

Modul by se dal vylepšit o externí paměť dat a tím docílit větší kapacity paměti datalogeru hodnot. Použitím externí paměti typu flash EEPROM by rovněž umožnilo nepoužít zálohované napájení modulu Rabbit. Další možné rozšíření funkcí modulu by bylo použitím modulu Rabbit vyšší řady např. RCM3300 a využit funkce FAT a přenosných paměťových karet pro ukládání dat. V případě potřeby by se dala zvýšit vstupní impedance záměnou vstupních odporů děliče a dosáhnout tak vstupní impedanci vyšší $10\text{M}\Omega$.

12. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Papouch, AD4ETH [Online] Dostupné z:
<http://www.papouch.com/shop/scripts/detail.asp?kacislo=0295>
- [2] Lantronix DeviceLinx, XPort. [Online] [Citace: 14. 04 2009.]. Dostupné z:
<http://www.lantronix.com/device-networking/embedded-device-servers/xport.html>
- [3] Rabbit, *Dynamic C - Integrated C Development System For Rabbit 2000 and 3000 Microprocessors*. [Online] [cit.2009]. Dostupné z:
<http://www.rabbit.com/support/downloads/>
- [4] BENEŠ, P. *INTELIGENTNÍ SNÍMAČE*. Kolejní 4, 612 00 Brno : Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav automatizace a měřicí techniky.
- [5] ZEŽULKA, F. *Prostředky průmyslové automatizace*. 1.vyd. Brno : Nakladatelství VUTIUM, 2004. 176 s. ISBN 80-214-2610-1.
- [6] MODBUS-IDA. *Modbus over serial line specification and implementation guide*. [online], rev. V1.02 12/2006. Dostupné z:
http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf
- [7] SWALES, A; Schneider Electric. *Open Modbus/ TCPIP Specification*. [online], Release 1.0. 29.3.1999. Dostupné z:
http://www.rtaautomation.com/modbustcp/files/Open_ModbusTCP_Standard.pdf
- [8] *Modicon*. [Online] Modicon. www.modicon.com.
- [9] RONEŠOVÁ, A. *Přehled protokolu MODBUS*. [Online] květen 2005. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [10] Intellicom Innovation AB. [Online] [Citace: 14. 02 2010.]. Dostupné z:
http://www.intellicom.se/solutions_ModbusTCP_overview.cfm.
- [11] TRACO POWER. Datasheet TMR2411 [Online] Dostupné z:
<http://www.tracopower.com/>.
- [12] Intersil. Datasheet ICL7660 CMOS Voltage converters [Online] Dostupné z:
<http://www.intersil.com/cda/deviceinfo/0,1477,ICL7660,0.html>

- [13] STMicroelectronics. Datasheet LM358N [Online] Dostupné z:
<http://www.st.com/stonline/stappl/productcatalog/app?path=/pages/stcom/PcStComPartNumberSearch.searchPartNumber&search=LM358N>
- [14] Micochip. Datasheet MCP3202. *Microchip*. [Online] [rev.1.2.2008] Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21034e.pdf>
- [15] STMicroelectronics. Datasheet TL431. [Online] [rev.1998]. Dostupné z:
<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/4467/tl431.pdf>
- [16] Modicon Inc. *Modicon Modbus Protocol Reference Guide*. . [Online] [June 1996]. PI-MBUS-300 Rev. J. Dostupné z:
http://www.modbustools.com/PI_MBUS_300.pdf
- [17] MALINA, V. *Poznáváme Elektroniku III*. Dotisk prvního vydání.vyd. České Budějovice : Kopp, 1998. 240 s. ISBN 80-85828-87-1.
- [18] Rabbit, Rabbit Technical Notes TN262. [Online]
<http://www.rabbit.com/documentation/docs/refs/TN262/TN262.pdf>
- [19] Modbus-IDA, Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b [Online] [rev.October 24,2006]
http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf

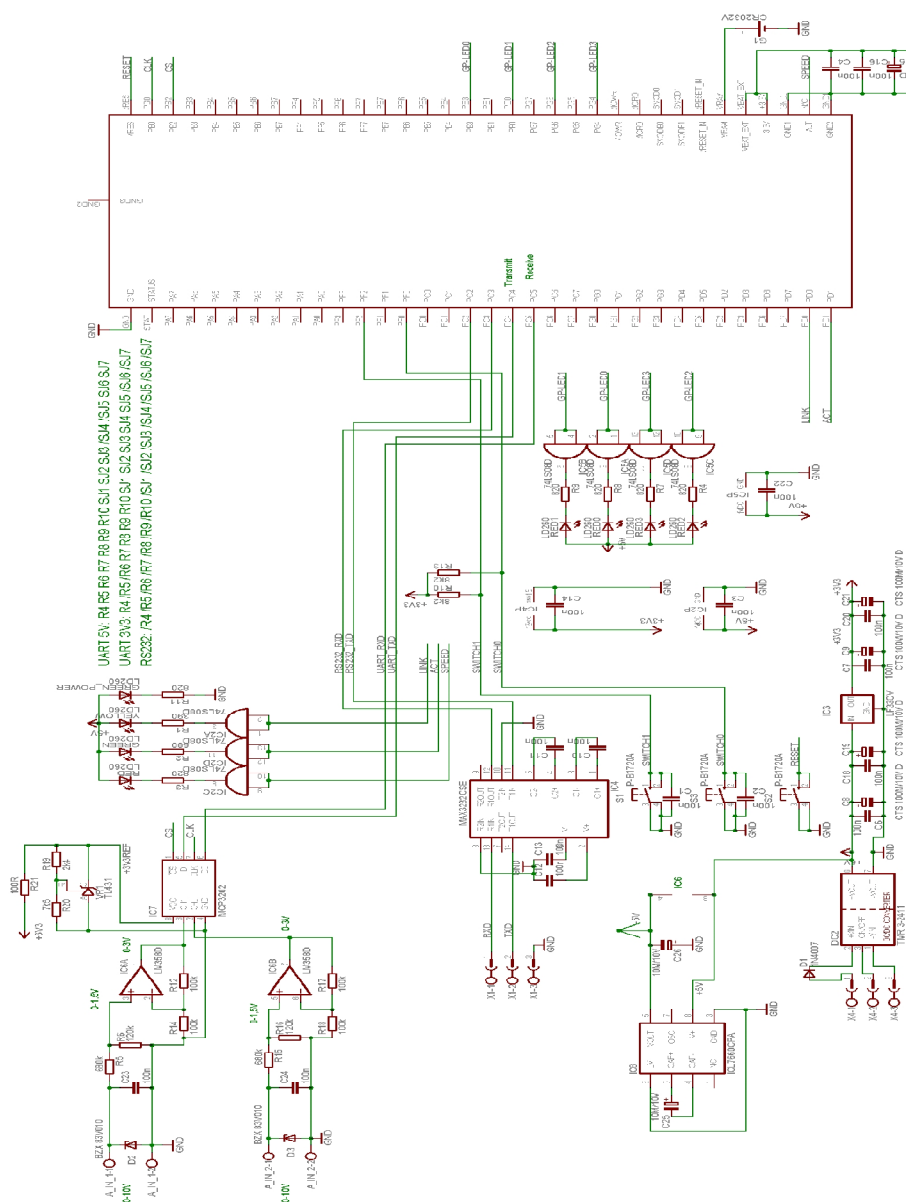
13. SEZNAM POUŽITÝCH SKRATEK A SYMBOLŮ

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
A/D	Analog to Digital
LSB	Least significant byte
MSB	Most significant byte
FIFO	First in first out
CSV	Comma separated value
HTML	Hyper Text Markup Language
CH1	Channel 1
CH2	Channel 2
k_D	Koeficient (dělicí poměr) děliče napětí
k_P	Koeficient (dělicí poměr) převodníku napětí
OPC	Open Connectivity

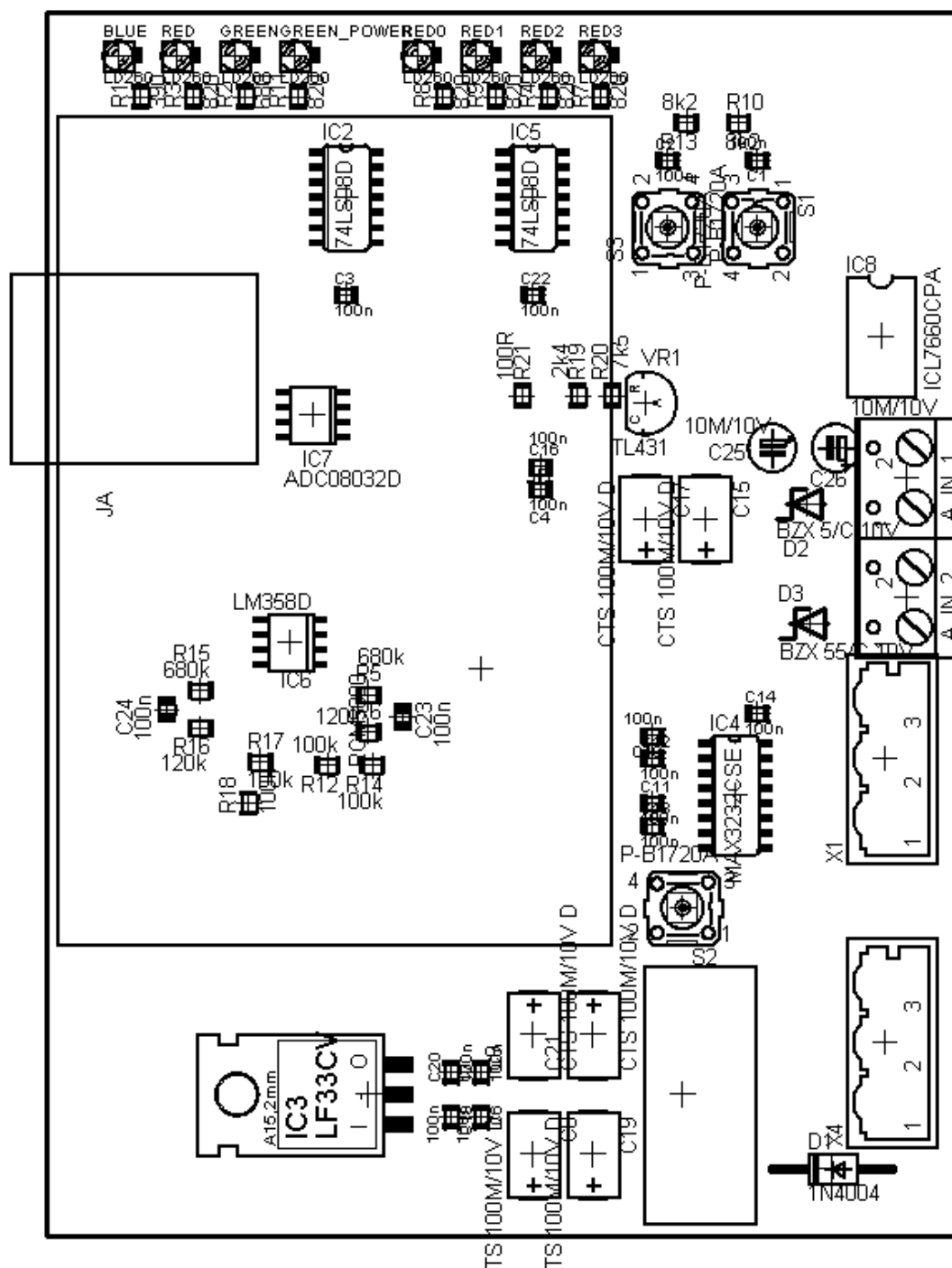
14. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Schéma zapojení.....	75
Příloha 2 - Návrh DPS a rozmístnění součástek	76
Příloha 3 - Návrh DPS pohled ze strany součástek	77
Příloha 4 - Návrh DPS pohled ze strany spojů.....	78
Příloha 5 - Seznam použitých součástek.....	80
Příloha 6 - Realizace modulu A/D převodníku	81
Příloha 7 - Realizace modulu A/D převodníku	81
Příloha 8 - Realizace modulu A/D převodníku	82

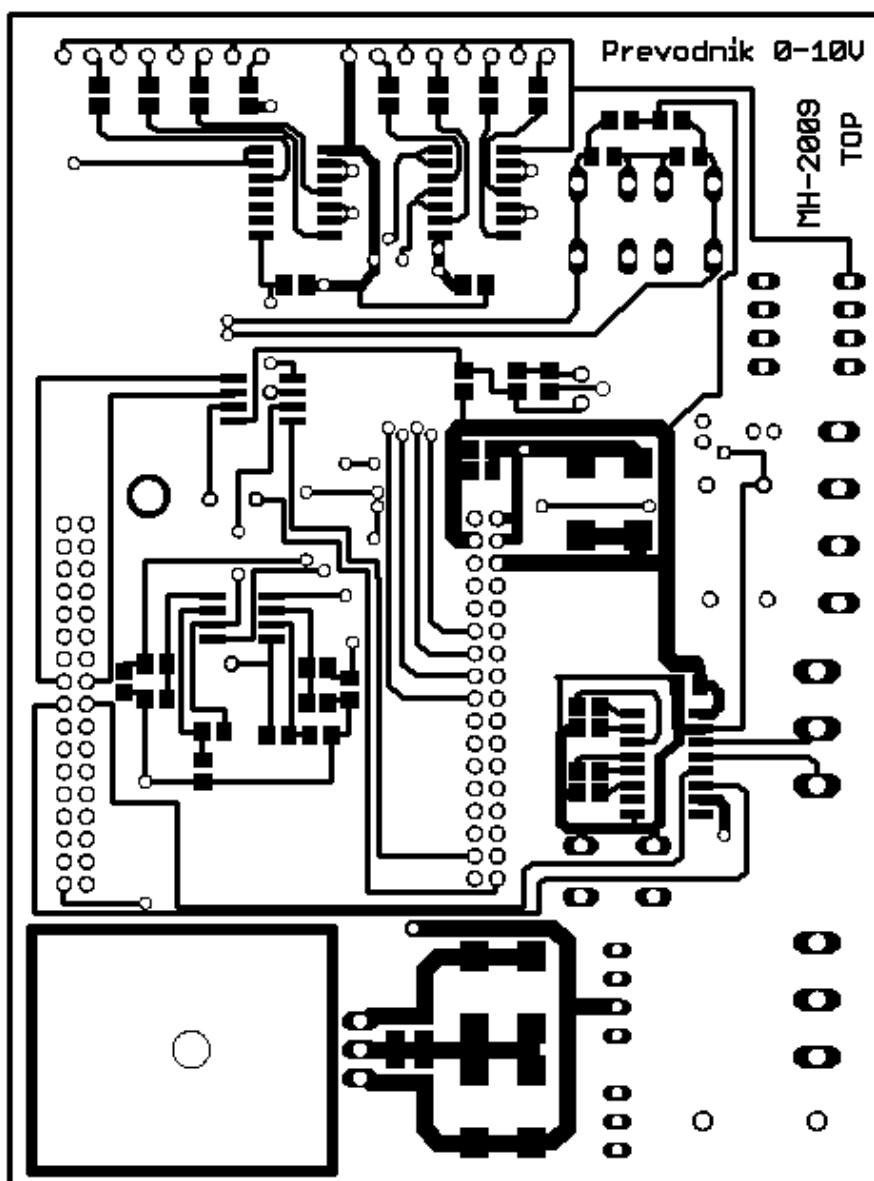
15. PŘÍLOHY



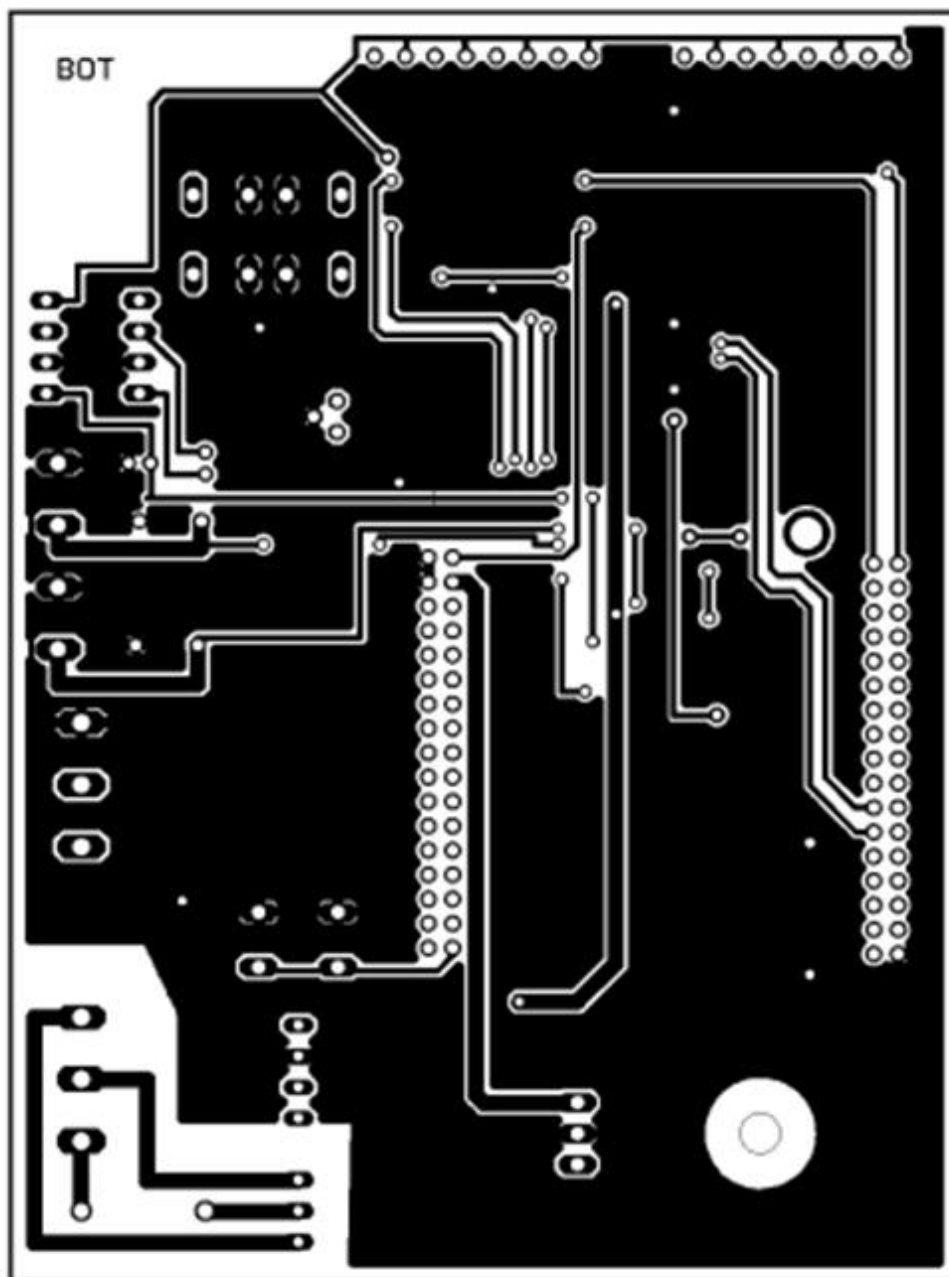
Příloha 1 - Schéma zapojení



Příloha 2 - Návrh DPS a rozmístění součástek



Příloha 3 - Návrh DPS pohled ze strany součástek



Příloha 4 - Návrh DPS pohled ze strany spojů

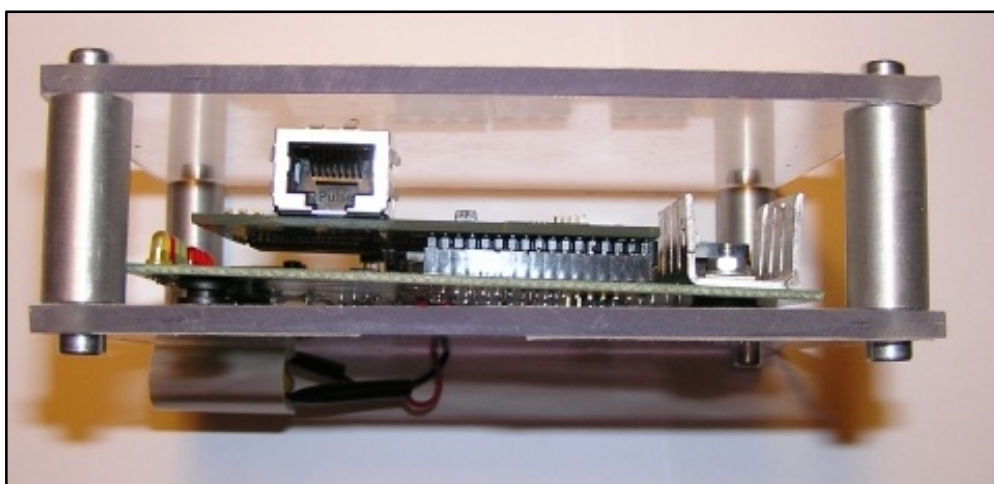
Označení na Schématu	Hodnota	Typ	Pouzdro
A_IN_1		W237-02P	W237-132
A_IN_2		W237-02P	W237-132
YELLOW	LED 3MM 2MA/G	LD260	LD260
C1	100n	C-EUC0805K	C0805K
C2	100n	C-EUC0805K	C0805K
C3	100n	C-EUC0805K	C0805K
C4	100n	C-EUC0805K	C0805K
C5	100n	C-EUC0805K	C0805K
C6	100n	C-EUC0805K	C0805K
C7	100n	C-EUC0805K	C0805K
C8	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C9	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C10	100n	C-EUC0805K	C0805K
C11	100n	C-EUC0805K	C0805K
C12	100n	C-EUC0805K	C0805K
C13	100n	C-EUC0805K	C0805K
C14	100n	C-EUC0805K	C0805K
C15	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C16	100n	C-EUC0805K	C0805K
C17	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C18	100n	C-EUC0805K	C0805K
C19	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C20	100n	C-EUC0805K	C0805K
C21	CTS 100M/10V D	CPOL-EUCT7343	CT7343
C22	100n	C-EUC0805K	C0805K
C23	100n	C-EUC0805	C0805
C24	100n	C-EUC0805	C0805
C25	10M/10V	CPOL-EUE1.8-4	E1,8-4
C26	10M/10V	CPOL-EUE1.8-4	E1,8-4
D1	1N4004	1N4004	DO41-10
D2	BZX 5/C 10V	ZENER- DIODEZD-5	ZDIO-5
D3	BZX 55/C 10V	ZENER- DIODEZD-5	ZDIO-5
DC2	TMR 3-2411	TMR	TRACO_SIP-8
GREEN	LED 3MM 2MA/G	LD260	LD260
GREEN_POWER	LED 3MM 2MA/G	LD260	LD260
IC1	MAX3486 3V3	MAX481CSA	SO08
IC2	74LS08D	74LS08D	SO14
IC3	LF33CV	78XXL	78XXL
IC4	MAX3232CSE	MAX232ACSE	SO16
IC5	74LS08D	74LS08D	SO14

Označení na schématu	Hodnota	Typ	Pouzdro
IC6	LM358D	LM358D	SO08
IC7	MCP3202	MCP3202	SO08
IC8	ICL7660CPA	ICL7660CPA	DIL08
R1	390	R-EU_M0805	M0805
R2	680	R-EU_M0805	M0805
R3	820	R-EU_M0805	M0805
R4	820	R-EU_M0805	M0805
R5	680k	R-EU_M0805	M0805
R6	120k	R-EU_M0805	M0805
R7	820	R-EU_M0805	M0805
R8	820	R-EU_M0805	M0805
R9	820	R-EU_M0805	M0805
R10	8k2	R-EU_M0805	M0805
R11	820	R-EU_M0805	M0805
R12	100k	R-EU_M0805	M0805
R13	8k2	R-EU_M0805	M0805
R14	100k	R-EU_M0805	M0805
R15	680k	R-EU_M0805	M0805
R16	120k	R-EU_M0805	M0805
R17	100k	R-EU_M0805	M0805
R18	100k	R-EU_M0805	M0805
R19	2k4	R-EU_M0805	M0805
R20	7k5	R-EU_M0805	M0805
R21	100R	R-EU_M0805	M0805
RED	LED 3MM 2MA/R	LD260	LD260
RED0	LED 3MM 2MA/R	LD260	LD260
RED1	LED 3MM 2MA/R	LD260	LD260
RED2	LED 3MM 2MA/R	LD260	LD260
RED3	LED 3MM 2MA/R	LD260	LD260
S1	P-B1720A	10-XX	B3F-10XX
S2	P-B1720A	10-XX	B3F-10XX
S3	P-B1720A	10-XX	B3F-10XX
U\$1	RCM3000	RCM3000	RCM3000SMALLFOOTPRINT
VR1	TL431	TL431CLP	TO92-CLP
X1		W232-3	W232-3
X4		W232-3	W232-3

Příloha 5 - Seznam použitých součástek



Příloha 6 - Realizace modulu A/D převodníku



Příloha 7 - Realizace modulu A/D převodníku



Příloha 8 - Realizace modulu A/D převodníku