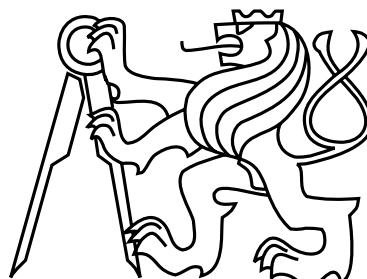


Na tomto místě bude oficiální
zadání vaší práce

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů



Bakalářská práce

**Modul zařízení pro dlouhodobé měření neelektrických veličin
se záznamem na SD kartu**

Radim Horák

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kubalík, Ph.D

Studijní program: Elektrotechnika a informatika, dobíhající, Bakalářský

Obor: Výpočetní technika

23. května 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonu (autorský zákon).

V Mnichově Hradišti dne 23. 5. 2011

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Kubalíkovi PhD. za jeho ochotu okamžitě se mnou řešit problémy, které nastaly během tvorby této práce, jeho bleskovou odezvu při komunikaci a celkovou vstřícnost.

Zvláštní poděkování patří mým rodičům za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Abstract

This paper describes the design and implementation of a module for measurement of non-electrical variables. The measured variables are temperature, relative humidity and atmospheric pressure. The module was developed in order to have small power consumption, and was able to work outdoors. Measured data are sent through the RS-485 bus to control board, which store them on an SD card. The second module, which is developed in this paper is converter USART \leftrightarrow RS-485 for control board.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem a realizací modulu pro měření neelektrických veličin. Měřené veličiny jsou teplota, relativní vlhkost a atmosférický tlak. Modul byl vyvíjen tak, aby měl co nejmenší spotřebu elektrické energie a byl schopen pracovat ve venkovním prostředí. Naměřená data jsou odesílána po sběrnici RS-485 řídicí desce, která je ukládá na SD kartu. Druhým modulem, který je vyvinut v této práci je převodník USART \leftrightarrow RS-485 pro řídicí desku.

Obsah

1	Úvod	1
2	Popis problému, specifikace cíle	3
3	Analýza a návrh řešení	5
3.1	Nabídka trhu	5
3.1.1	Comet T7410	5
3.1.2	Papouch THT2	6
3.2	Návrh modulu s čidly	7
3.2.1	Procesor	7
3.2.2	Čidlo Tlaku	8
3.2.3	Čidlo teploty a vlhkosti	8
3.2.4	Zdroj	9
3.2.5	Převodník USART<->RS-485	9
3.2.6	Spotřeba modulu	9
3.2.7	Náklady na výrobu	10
3.2.7.1	Náklady na výrobu 1 kusu	10
3.2.7.2	Náklady na výrobu 100 kusů	10
3.3	Návrh modulu převodníku USART<->RS-485	11
3.3.1	Spotřeba	11
3.3.2	Náklady na výrobu	12
3.3.2.1	Náklady na výrobu 1 kusu	12
3.3.2.2	Náklady na výrobu 100 kusů	12
4	HW Realizace	13
4.1	Modul s čidly	13
4.1.1	Modul s čidly verze 1 - nedostatky	13
4.1.2	Napájecí zdroj	14
4.1.3	Procesor	15
4.1.4	Teplotní a vlhkostní čidlo	16
4.1.5	Čidlo tlaku	16
4.1.6	Převodník USART<->RS-485	16
4.1.7	Chyby druhé verze	17
4.2	Modul převodníku USART<->RS-485	17
4.2.1	Napájecí zdroj	17

4.2.2	Převodník USART<->RS-485	18
5	SW Realizace	19
5.1	Vývojové prostředí	19
5.2	Komunikační protokol sběrnice RS-485	19
5.2.1	Popis paketu	19
5.2.2	Adresování	21
5.2.3	Kontrolní součet	21
5.3	Measure_modul	22
5.3.1	Obsluha čítače	22
5.3.2	Obsluha sériové linky a řízení sběrnice RS-485	22
5.3.3	Zpracování přijatých dat	22
5.3.4	Zpracování paketu a odeslání dat řídicí desce	23
5.3.5	Obsluha čidla SHT15	23
5.3.5.1	Komunikace s čidlem	23
5.3.5.2	Výpočet teploty	24
5.3.5.3	Výpočet vlhkosti	25
5.3.5.4	Knihovna SHT.h	25
5.3.6	Odměr hodnoty tlaku z čidla MPX4115A	26
5.4	Řídicí deska	26
5.4.1	Obsluha sběrnice RS-485	26
5.4.2	Obsluha RTC obvodu	26
5.4.3	Ovládací konzole	27
5.4.4	Výpočet rosného bodu	28
5.4.5	Komunikace s SD kartou	28
6	Testování	29
6.1	Test ve Skleníku	29
6.2	Test v mrazáku	32
7	Závěr	35
	Literatura	35
8	Seznam použitých zkratk	39
A	Schéma desky	41
B	DPS a rozmístění součástek	45
C	Osazená deska	51
D	Obsah příloženého CD	55

Seznam obrázků

3.1	Comet T7410 [18]	6
3.2	Papouch THT[19]	6
3.3	Blokové schéma modulu s čidly	7
3.4	Mikroprocesor Atmel ATmega8[20]	8
3.5	Čidlo tlaku MPX4115a[21]	8
3.6	SHT15[22]	9
3.7	SN65HVD3082E[23]	9
3.8	Blokové schéma modulu převodníku	11
4.1	Prototyp modulu s čidly	14
4.2	Schéma zdroje Modulu s čidly	14
4.3	Schéma zapojení procesoru	15
4.4	schéma zapojení čidla SHT15	16
4.5	Schéma zapojení čidla tlaku(MPX4115A)	16
4.6	Schéma zapojení převodníku USART<->RS-485	17
4.7	Schéma zapojení napájecího zdroje Modulu_485	18
5.1	Obecná struktura paketu sběrnice RS-485	20
6.1	Výsledný graf měření teploty ve skleníku	30
6.2	Výsledný graf měření vlhkosti ve skleníku	30
6.3	Výsledný graf vypočteného Rosného bodu ve skleníku	31
6.4	Výsledný graf měření tlaku ve skleníku	31
6.5	Výsledný graf měření teploty v mrazáku	32
6.6	Výsledný graf měření vlhkosti v mrazáku	33
6.7	Výsledný graf vypočteného Rosného Bodu	33
6.8	Výsledný graf měření tlaku v mrazáku	34
A.1	Schéma zapojení Measure_modul	42
A.2	Schéma zapojení desky s čidlem STH15	43
A.3	Schéma zapojení Modulu_485	44
B.1	Vrstva TOP Measure_modul	46
B.2	Rozmístění součástek vrstva BOT Measure_modul	46
B.3	Neosazená deska, vrstva BOT, Measure_modul	46
B.4	Vrstva BOT Measure_modul	47

B.5	Rozmístění součástek vrstva TOP Measure_modul	47
B.6	Neosazená deska, vrstva TOP, Measure_modul	47
B.7	Vrstva TOP desky s čidlem SHT15	48
B.8	Vrstva TOP desky s čidlem SHT15, rozmístění součástek.	48
B.9	Vrstva TOP neosazené desky s čidlem SHT15	48
B.10	Vrstva TOP desky Modul_485	49
B.11	Vrstva TOP rozmístění součástek Modul_485	49
B.12	Vrstva TOP neosazené desky Modul_485	49
C.1	Osazený Measure_modul pohled shora.	52
C.2	Osazený Measure_modul s čidlem SHT15 pohled shora.	52
C.3	Osazený Measure_modul pohled zespoda.	53
C.4	Osazená deska s čidlem SHT15	53
C.5	Osazený Modul_485.	53

Seznam tabulek

3.1	Spotřeba - modul čidla	9
3.2	Náklady na výrobu jednoho kusu	10
3.3	Náklady na výrobu 100 kusů	10
3.4	Náklady na výrobu jednoho kusu	12
3.5	Náklady na výrobu jednoho 100 kusů	12
4.1	Využité piny procesoru	15
5.1	Klíčová slova protokolu	20
5.2	Vyhrazené adresy	21
5.3	příkazy pro komunikaci s čidlem	23
5.4	Popis Status registru čidla.	24
5.5	Tabulka konstant pro výpočet teploty.	24
5.6	Tabulka konstant pro výpočet RH_{lin}	25
5.7	Tabulka konstant pro výpočet RH_{true}	25
5.8	Příkazy ovládací konzole	27

Kapitola 1

Úvod

Úkolem této práce je navrhnout a zrealizovat modul pro měření neelektrických veličin, který bude měřit teplotu, relativní vlhkost a atmosférický tlak. Modul musí být navržen tak, aby mohl pracovat ve venkovním prostředí a měl co nejnižší spotřebu.

Měření neelektrických veličin je dnes poměrně hojně rozšířeno. Na mnoha různých místech můžeme vidět malé meteorologické stanice, které měří základní veličiny, mezi něž patří např. veličiny, které bude měřit vyvíjený modul v této práci. Z teploty a relativní vlhkosti pak často vypočítávají rosný bod.

Navrhovaný modul bude naměřená data posílat již navržené řídicí desce, která je bude ukládat na SD kartu. Řídicí desku navrhl ve své diplomové práci Ing. Josef Nouzák[15]. Měření dat bude probíhat na více místech, proto musí být pro komunikaci zvolena vhodná sběrnice(např. průmyslová sběrnice RS-485). Pro komunikaci mezi moduly a řídicí deskou bude navržen vlastní jednoduchý komunikační protokol.

K řídicí desce bude potřeba vytvořit převodník USART<->RS-485, protože nepodporuje komunikaci po sběrnici RS-485. Vytvořením těchto dvou modulů dojde k dalšímu rozšíření řídicí desky a umožní její další využití.

Kapitola 2

Popis problému, specifikace cíle

Hlavním úkolem je vytvořit modul pro měření neelektrických veličin (teplota, relativní vlhkost, atmosférický tlak). Komunikace mezi modulem a řídicí deskou bude probíhat po sběrnici RS-485. Systém může obsluhovat více modulů s čidly.

- Navrhnout a zrealizovat modul s čidly.
- Naprogramovat firmware pro modul s čidly.
- Navrhnout komunikační protokol pro sběrnici RS-485.
- Navrhnout a zrealizovat modul převodníku USART \leftrightarrow RS-485.
- Naprogramovat firmware pro řídicí desku.

Převodník USART \leftrightarrow RS-485 bude navržen jako další modul k řídicí desce.

Kapitola 3

Analýza a návrh řešení

S různými systémy pro měření neelektrických fyzikálních veličin se dnes setkáváme poměrně často. Nejčastěji to jsou různé meteostanice, které zpracovávají naměřená data z čidel. Odměr je prováděn v uživatelem nastavených časových intervalech. Odměřená data mohou být různě zpracována.

Malé domácí meteostanice často používají větší LCD displeje, kde zobrazují i doplňková data, jako např. čas a předpověď počasí. Propojení s displejem bývá často bezdrátové.

Profesionálnější meteostanice mohou ukládat data přímo do databáze v případě, že jsou připojeny do sítě. Některé podporují i protokol SNMP. Různé programy si pak mohou data přečíst a zpracovávat je do přehledných grafů, statistik nebo případně pro předpovědi počasí. Není-li možné data ukládat přímo do databáze umístěné na vzdáleném serveru a pod. bývají vybaveny nějakým typem paměťového média. V dnešní době připadá v úvahu použití paměťových karet vzhledem k jejich přijatelné ceně a dostupnosti čtečky skoro v každém PC.

3.1 Nabídka trhu

Při hledání měřících modulů (zařízení), které jsou podobné tomu, který je tématem této práce jsem objevil dvě podobná zařízení. Comet T7410[7](teplota, relativní vlhkost a atmosférický tlak) a Papouch THT2[6] (teplota, relativní vlhkost). Samozřejmostí je komunikace po sběrnici RS-485.

3.1.1 Comet T7410

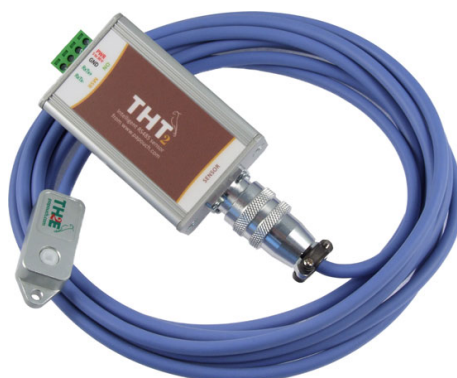
Comet T7410(obr 3.1) podporuje mnohem více komunikačních protokolů , např. ModBUS RTU. Tento protokol vychází ze standardu Advantech-ADAM, ARION. Pro přímou kontrolu je modul osazen displejem pro zobrazení naměřených dat. Rozsah měřené teploty -30 až +80°C, vlhkosti 0-100%, tlaku 600-1100 hPa. Krytí IP67. Cena 9337 Kč.



Obrázek 3.1: Comet T7410 [18]

3.1.2 Papouch THT2

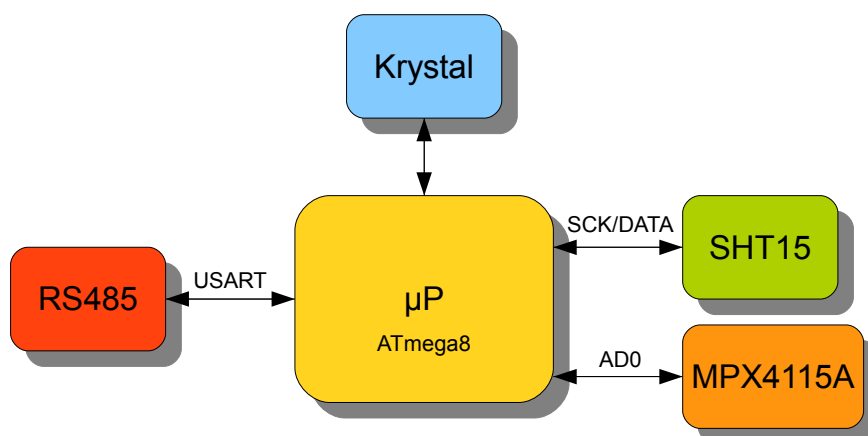
Modul THT2(obr 3.2) od firmy Papouch je osazen čidlem od firmy Sensirion SHTx, výrobce neuvádí přesný použitý typ. Komunikace probíhá po sběrnici RS-485. Podporované komunikační protokoly jsou ModBUS RTU a Spinel. Měřený rozsah teploty je -40 až +123,8°C, vlhkost 0-100%. Prodejce nabízí modul bez čidla, které je nutné dokoupit. Cena modulu (bez čidla) je 1068 Kč. Cena čidla je 1590 Kč (s metrovým kabelem).



Obrázek 3.2: Papouch THT[19]

3.2 Návrh modulu s čidly

Modul přijímá a zpracovává naměřené hodnoty z jednotlivých čidel. Při požadavku od řídicí desky je odešle pomocí sběrnice RS-485. Důraz je kladen na co nejnižší spotřebu z důvodu možného bateriového napájení. Modul bude pracovat na napájecím napětí 5V.



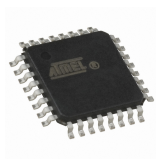
Obrázek 3.3: Blokové schéma modulu s čidly

3.2.1 Procesor

Požadavky na procesor a jeho periférie jsou:

- USART
- AD převodník
- velký rozsah pracovních teplot, alespoň -40°C až 80°C
- nízká spotřeba

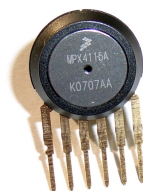
Potřebám plně vyhovuje procesor ATmega8[8](obr 3.4) od firmy Atmel. Rozsah pracovních teplot je -55°C až 155°C . Spotřeba při taktu 8MHz je maximálně 15mA při práci a 7mA v režimu spánku. Dále obsahuje všechny požadované periférie. Z důvodu lepší tepelné stability bude k procesoru připojen externí krystal s pracovní frekvencí 8MHz, jinak by musel být vliv změny okolní teploty prostředí na interní oscilátor procesoru programově kompenzován. V případě neprovedení teplotní kompenzace vnitřního oscilátoru procesoru by docházelo ke změně taktu a tím i změně rychlosti sériové komunikace.



Obrázek 3.4: Mikroprocesor Atmel ATmega8[20]

3.2.2 Čidlo Tlaku

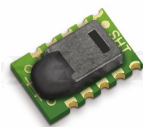
Běžné hodnoty atmosférického tlaku se pohybují kolem hodnoty 1013,25 hPa (dohodou stanovená jako normální hodnota atmosférického tlaku u hladiny moře). Hledáme tedy čidlo, které je schopné měřit v rozsahu ± 100 hPa kolem 1023,5 hPa a dále pak musí být schopné pracovat v námi požadovaném rozsahu pracovních teplot. Našim potřebám vyhovuje čidlo MPX4115A[10] (obr 3.5) od firmy Freescale Semiconductor. Součástí obvodu tlakového čidla je výstupní zesilovač a obvody pro kompenzaci změny teploty okolí čidla. Rozsah měřeného tlaku je 150-1150 hPa. Čidlo měří absolutní tlak, proto se naměřená hodnota bude lišit od hodnoty udávané v předpovědích počasí, kde je hodnota tlaku přepočítávána na hladinu moře. Obecně platí, že do výšky 3000m nad mořem klesne tlak každých 8m o 1hPa. Pro přepočet absolutního tlaku na tlak na hladině moře je třeba k hodnotě absolutního tlaku přičíst za každých 8 m nadmořské výšky 1 hPa. Hodnota tlaku je měřena pomocí AD převodníku, který je součástí mikroprocesoru ATmega8. Výrobce udávaný pracovní rozsah teplot je -40°C až 125°C . Čidlo tlaku odebírá ze zdroje proud 10mA.



Obrázek 3.5: Čidlo tlaku MPX4115a[21]

3.2.3 Čidlo teploty a vlhkosti

Komerčně vyráběných čidel teploty je na trhu velké množství, problém nastává u měření vlhkosti, kde je čidlo potřeba nejprve zkalibrovat. Firma Sensirion nabízí čidlo SHT15[9] (obr3.6), které umí měřit jak teplotu, tak i relativní vlhkost. Odpadá zde problém s kalibrací, která je provedena rovnou při výrobě, což je velmi výhodné. Komunikace je sériová a probíhá po dvou vodičích (DATA,CLK). Teplotní a vlhkostní čidla jsou umístěna v těsné blízkosti, můžeme tak přesně stanovit relativní vlhkost. Pracovní rozsah čidla relativní vlhkosti je 0 až 100% a -40°C až $123,8^{\circ}\text{C}$ pro měření teploty vzduchu. Přesnost měření je typicky $\pm 2\% \text{RH}$ a $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Spotřeba udávaná výrobcem je při měření 1mA a v režimu spánku $1,5 \mu\text{A}$. K čidlu se prodává "čepička"(Filter Cap SF1) s membránou, která kryje komoru čidla před vodou a nečistotami. Poskytuje krytí IP54, nebo IP67 pokud je přilepena epoxidem.



Obrázek 3.6: SHT15[22]

3.2.4 Zdroj

Napájecí zdroj by neměl ovlivňovat svým ztrátovým teplem měření teploty. U první experimentální konstrukce byl použit lineární stabilizátor napětí LM 317[13], to se ukázalo jako velmi špatná volba. Obvod generoval velké množství ztrátového tepla a velmi ovlivňoval měření teploty. Proto byl nakonec použit spínaný zdroj. Z požadavku na rozsah pracovních teplot a maximální proud, který bude odebírán ze zdroje, byl zvolen integrovaný obvod LM2574[12]. Výrobce udává rozsah pracovních teplot je -40°C až 125°C . Maximální odběr proudu 500mA.

3.2.5 Převodník USART<->RS-485

Jelikož zvolený procesor nepodporuje komunikaci po sběrnici RS-485, bude potřeba realizovat externí převodník. Na trhu existují převodníky USART<->RS-485. Zvolen byl obvod SN65HVD3082ED[11](obr 3.7) od firmy Texas Instruments. Pracovní rozsah teplot je -40°C až 85°C . Spotřeba je jen 0,3mA při práci a v režimu spánku pouze 1nA.



Obrázek 3.7: SN65HVD3082E[23]

3.2.6 Spotřeba modulu

obvod	spotřeba
ATmega8	15mA
MPX4115a	10mA
SHT15	1mA
SN65HVD3082ED	0,3mA
celkem	26,3mA

Tabulka 3.1: Spotřeba - modul čidla

3.2.7 Náklady na výrobu

Ceny jsou převzaty z obchodu TME[16], plošné spoje jsou vyrobené firmou Pragoboard s.r.o.[17].

3.2.7.1 Náklady na výrobu 1 kusu

položka	Cena(bez DPH)
ATmega8	46,40
MPX4115a	427,20
SHT15	617,30
Filter Cap SF1	109,40
SN65HVD3082ED	35,00
LM2574M-0.5	36,60
Pasivní součástky	100,00
Celkem za součástky	1355,00Kč
Celkem za PCB(bez filmů pro výrobu)	183,00Kč
CELKOVÁ CENA 1Ks	1538,00Kč

Tabulka 3.2: Náklady na výrobu jednoho kusu

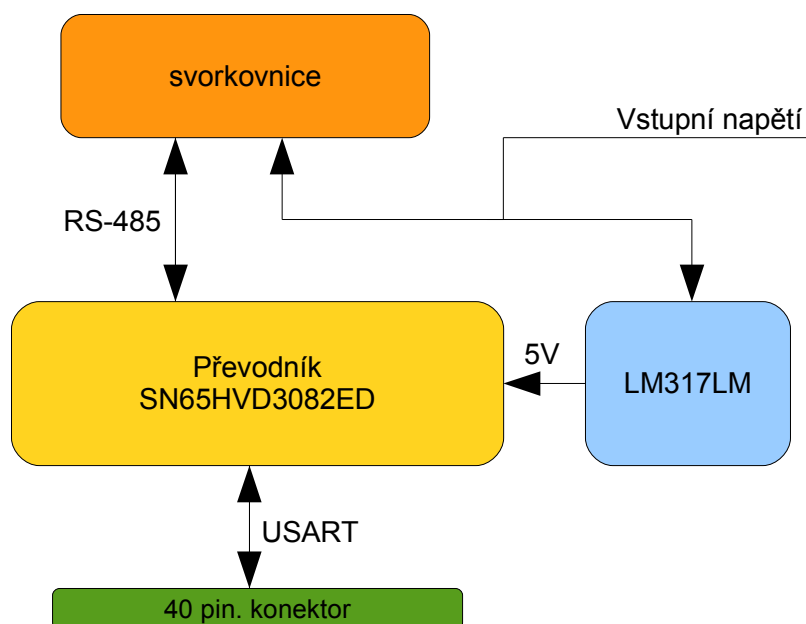
3.2.7.2 Náklady na výrobu 100 kusů

položka	Cena(bez DPH)
ATmega8	34,20
MPX4115a	329,40
SHT15	519,60
Filter Cap SF1	109,40
SN65HVD3082ED	23,10
LM2574M-0.5	27,40
Pasivní součástky	100,00
Celkem za součástky	1143,10Kč
Celkem za PCB(bez filmů pro výrobu)	183,00Kč
CELKOVÁ CENA 1Ks	1326,10Kč

Tabulka 3.3: Náklady na výrobu 100 kusů

3.3 Návrh modulu převodníku USART<->RS-485

Tento modul se bude připojovat k řídicí desce přes 40 pinový konektor. Na řídicí desce není vyvedeno napájení, proto musí mít vlastní zdroj napětí. u zdroje nemusíme brát ohled na tepelné vyzařování. Zvolen byl stabilizátor LM317LM [13], který stabilizuje napětí 5V s proudovým odběrem maximálně 100mA. Převodník USART<->RS-485 bude použit stejný jako u modulu s čidly. Skrze modul převodníku bude možné napájet připojené moduly s čidly, vyvedeno bude vstupní napětí z napájecího adaptéru.



Obrázek 3.8: Blokové schéma modulu převodníku

3.3.1 Spotřeba

Spotřeba modulu je pouhých 0,3mA, protože je zde umístěn pouze převodník USART<->RS-485.

3.3.2 Náklady na výrobu

Ceny jsou převzaty z obchodu TME[16], plošné spoje jsou vyrobené firmou Pragoboard s.r.o.[17].

3.3.2.1 Náklady na výrobu 1 kusu

položka	Cena(bez DPH)
SN65HVD3082ED	35,00
LM317LM	5,00
Pasivní součástky	10,00
Celkem za součástky	50,00Kč
Celkem za PCB(bez filmů pro výrobu)	65,00Kč
CELKOVÁ CENA 1,00Ks	115,00Kč

Tabulka 3.4: Náklady na výrobu jednoho kusu

3.3.2.2 Náklady na výrobu 100 kusů

položka	Cena(bez DPH)
SN65HVD3082ED	23,10
LM317LM	4,00
Pasivní součástky	10,00
Celkem za součástky	37,10Kč
Celkem za PCB(bez filmů pro výrobu)	65,00Kč
CELKOVÁ CENA 1Ks	102,10Kč

Tabulka 3.5: Náklady na výrobu jednoho 100 kusů

Kapitola 4

HW Realizace

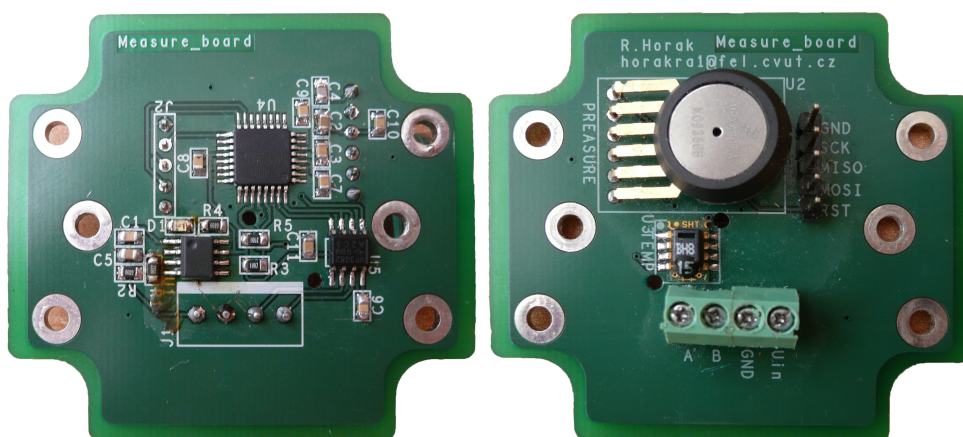
4.1 Modul s čidly

Modul s čidly dále v dokumentaci označován jako Measure_modul. Schéma zapojení je v příloze pod písmenem A (A), vrstva TOP a BOTTOM společně s rozmístěním součástek je v příloze B (B), rozměry jsou v palcích(inch). Fotografie osazené desky je v příloze C (C). Modul je navrhován tak, aby byl co nejmenší a bylo jej možné umístit do zvolené montážní krabice, která bude ještě upravena (osazena průchodkou a vyvrtání děr pro přístup vzduchu). Všechny součástky, kromě čidla tlaku a teplotního čidla(SHT15) jsou umístěny z jedné strany desky. Je to z důvodu potřeby součástky zabezpečit proti vlhkosti(zalítí zalévací hmotou).

4.1.1 Modul s čidly verze 1 - nedostatky

V první verzi modulu(obr 4.1) se objevilo několik nedostatků, které bránily správné funkci modulu. Jeden z největších problémů byl napájecí zdroj. Použitý lineární stabilizátor LM 317 se při provozu zahříval a ovlivňoval tím měření teploty. Ohříval celý modul zhruba na 30°C. Dalším problémem byla absence externího krystalu u procesoru. Když se modul ochladil, měnila se rychlost sériové komunikace. Důvodem byl vnitřní generátor hodin v procesoru. Je teplotně závislý.

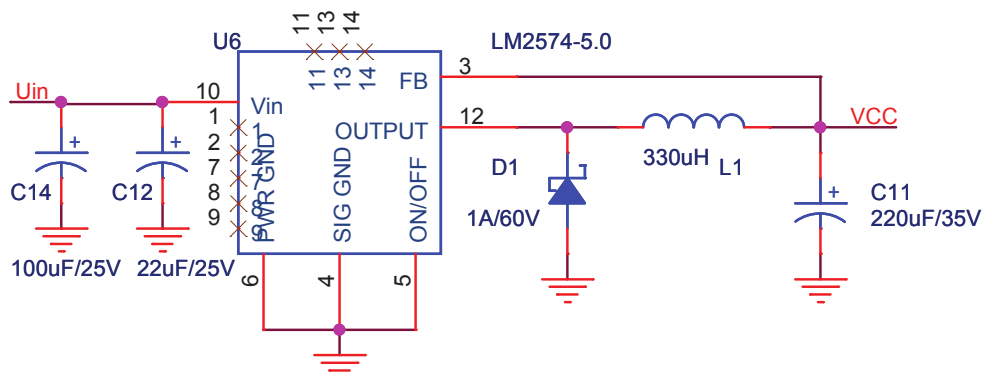
Při tvorbě druhé verze modulu byly tyto nedostatky odstraněny. Jako napájecí zdroj byl zvolen spínaný zdroj. Teplotní čidlo(SHT15) bylo umístěno na zvláštní desku, aby bylo čidlo co nejvíce oddělené od zbylých součástek a tím i co nejméně ovlivňováno. K procesoru byl přidán externí krystal, aby nedocházelo k ovlivňování sériové linky při změně teploty. Použitá svorkovnice v první verzi byla vyměněna za svorkovnici WAGO, která usnadňuje připojování kabelů. Realizace druhé verze je dále popsána níže.



Obrázek 4.1: Prototyp modulu s čidly

4.1.2 Napájecí zdroj

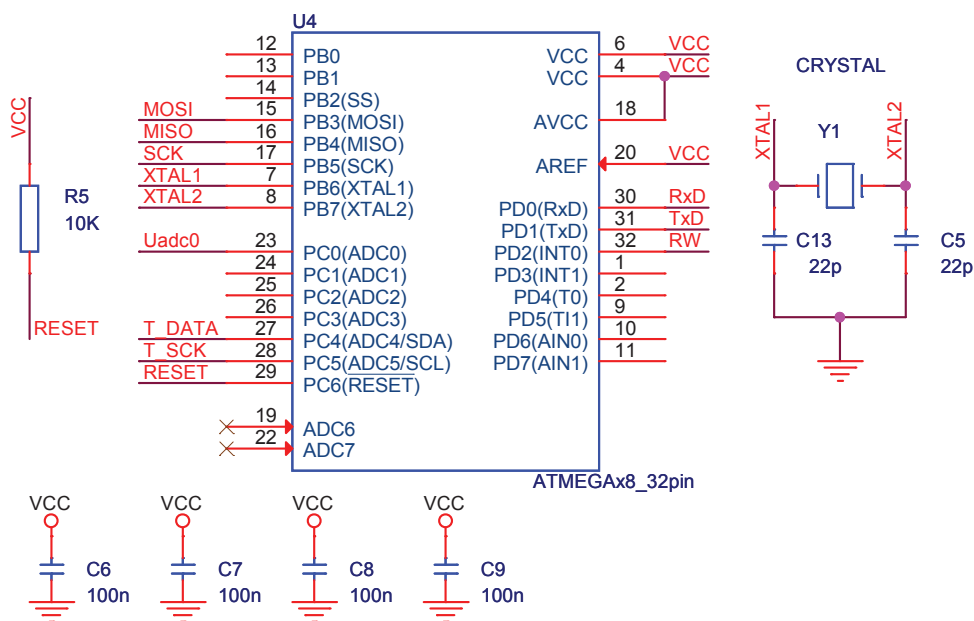
Použitý obvod pro napájecí zdroj LM2574M-0.5 je zapojen dle doporučení výrobce (obr. 4.2). Oproti lineárnímu stabilizátoru LM317, který byl použitý v první verzi modulu má mnohem širší rozsah vstupního napětí a zbytečně nezahřívá desku. Nevýhodou je, že k jeho provozu je potřeba více součástek, které zabírají více místa hlavně na výšku. **Vstupní napětí je maximálně 25V** z důvodu použití rozměrově menších tantalových kondenzátorů na vstupu obvodu. Na vstupu je přidán elektrolytický kondenzátor C14, který slouží jako zásoba energie k vykrytí proudových špiček.



Obrázek 4.2: Schéma zdroje Modulu s čidly

4.1.3 Procesor

Základem Measure_modulu je mikroprocesor ATmega8(obr. 3.4), který je zapojený dle doporučení výrobce(obr. 4.3). K procesoru je připojen externí krystal z důvodu vyloučení teplotní závislosti hodin procesoru. Pro programování procesoru je vyvedena SPI sběrnice včetně napájení a GND. Programování procesoru probíhá pomocí ISP programátoru, zapojení konektoru je dle doporučení výrobce.



Obrázek 4.3: Schéma zapojení procesoru

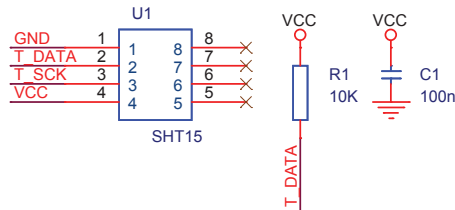
Použité piny procesoru a jejich využití:

Pin	Využití
PC0	Napěťový výstup z čidla tlaku
PC4	Datový vstup/výstup čidla SHT15
PC5	Hodiny pro čidlo SHT15
PD0	USART - RxD
PD1	USART - TxD
PD2	Řízení převodníku USART<->RS-485

Tabulka 4.1: Využití piny procesoru

4.1.4 Teplotní a vlhkostní čidlo

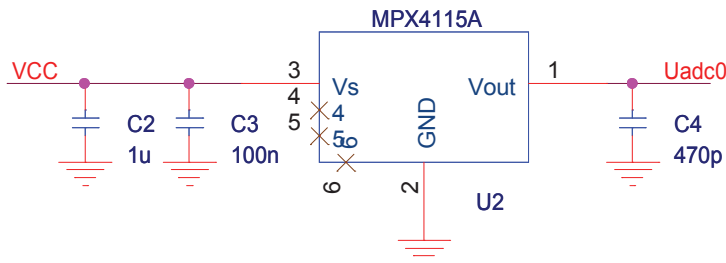
Zapojení senzoru SHT15 je velmi jednoduché(obr. 4.4). Napájecí napětí je zapojeno mezi piny 1 (GND) a 4 (5V). Neměli bychom zapomenout také na blokovací kapacitor 100nF. Odpor R1 (10k Ω) připojený na pin č.2(DATA) plní funkci pull-up rezistoru. Aby bylo čidlo lépe chráněno před vnějšími vlivy, je ochranná "čepička"(Filter Cap SF1) přilepena epoxidem, dosáhneme tím lepšího krytí IP67.



Obrázek 4.4: schéma zapojení čidla SHT15

4.1.5 Čidlo tlaku

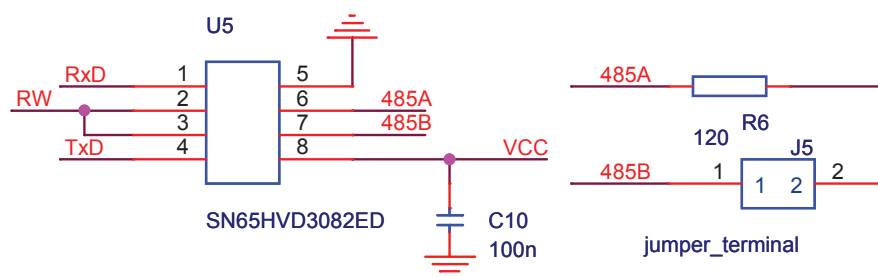
Čidlo Tlaku(MPX4115A) je zapojeno(obr.4.5) dle doporučení výrobce. Napěťový výstup je připojen k AD převodníku procesoru(ADC0).



Obrázek 4.5: Schéma zapojení čidla tlaku(MPX4115A)

4.1.6 Převodník USART<->RS-485

Obvod převodníku je zapojen dle obr.4.6. Na pin č.8 je připojeno napájecí napětí a blokovací kondenzátor C10(100nF). Pin č.1(Rx) a 4(Tx) je připojen k sériovému portu procesoru. Převodník je řízen pomocí vodiče RW, který je připojen na pin PD2 procesoru. Přivedením log. jedničky se přepne převodník do módu vysílání. Rezistor R6(120 Ω) slouží jako zakončovací rezistor pro sběrnici RS-485. Zakončovací rezistor musí být na obou koncích sběrnice. Pokud bude modul umístěn na konci sběrnice uvede se zakončovací rezistor v činnost pomocí propojky J5.



Obrázek 4.6: Schéma zapojení převodníku USART<->RS-485

4.1.7 Chyby druhé verze

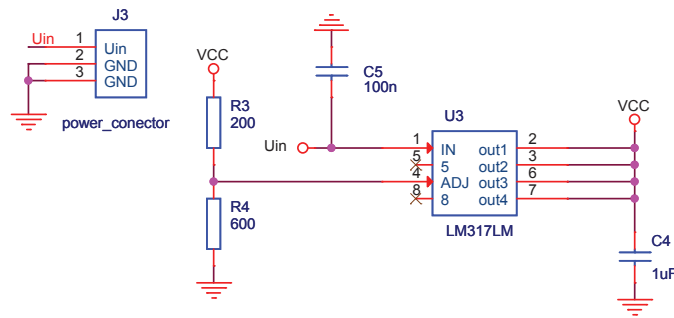
Během ožívování druhé verze Measure_modulu byli zjištěny dvě chyby. Došlo ke špatnému zapojení integrovaného obvodu spínaného zdroje, vstupní napětí bylo omylem připojeno na vedlejší pin (č.11). Naštěstí pin, na který bylo vstupní napájení připojené nebyl zapojen a šlo jej spojit se správným (č.10). Chyba byla díky tomu jednoduše odstraněna. Druhá chyba byla ve špatně navrženém footprintu pro cívku, jednalo se o špatně nastavenou nepájivou masku. Při pájení docházelo k rozlévání cínu až na rozlitou zem a docházelo později při zapnutí ke zkratu, kterému paradoxně ke zkratu napomáhala i sama cívka, protože je zespoda kovová. Chyba nešla opravit jinak než okolní rozlitou zem vybrousit. Na přiloženém CD jsou už všechny tyto chyby opravené.

4.2 Modul převodníku USART<->RS-485

Modul převodníku dále v dokumentaci označován jako Modul.485. Schéma zapojení je v příloze pod písmenem A (A), vrstva TOP a BOTTOM společně s rozmístěním součástek je v příloze B (B), rozměry jsou v palcích(inch). Fotografie osazené desky je v příloze C (C). Modul je navrhován jako další rozšíření funkčnosti řídicí desky. Důraz byl kladen na co nejmenší rozměr, který je limitován nutností použít 40 pinový konektor pro připojení k řídicí desce. Modul.485 bude obsahovat napájecí zdroj pro převodník a samotný převodník. Vstupní napětí je zároveň vyvedeno i na svorkovnici, pomocí které se budou připojovat Measure_moduly. Použita je nasouvací svorkovnice, která se skládá ze dvou dílů. Jeden je napevno připájen do desky, druhý(protikus) se do prvního nasune. Oproti obyčejné svorkovnici je tato lepší při připojování kabelu. Druhým důvodem proč jsem použil tuto svorkovnici je špatné(silově náročnější) odpojování modulu od řídicí desky, protože 40 pinový konektor jde ztuhla odpojit a častější odpojování/připojování by nemusel jeden z konektorů vydržet(hrozí vylovení z desky, nebo její prasknutí).

4.2.1 Napájecí zdroj

Jako napájecí zdroj je použit stabilizátor LM317LM, který je zapojen(obr.4.7) dle doporučení výrobce. Výstupní napětí je nastaveno pomocí děliče(rezistory R3 a R4) na 5V. Na vstupu je zapojen blokovací kondenzátor C5(100nF).



Obrázek 4.7: Schéma zapojení napájecího zdroje Modulu_485

4.2.2 Převodník USART<->RS-485

Převodník má shodné zapojení jako u Measure_modulu. Pro komunikaci je využit sériový port číslo 2 řídicí desky. Řídicí převodníku pin je připojen k pinu PL7. Modul má s řídicí deskou propojenou zem. Využití piny na 40 pinovém konektoru (CONNECTOR2) řídicí desky jsou 18(PL7-RW) 27(Rx2), 28(Tx2) a 30(GND).

Kapitola 5

SW Realizace

5.1 Vývojové prostředí

Obslužný program Measure_modulu a řídicí desky byl napsán ve vývojovém prostředí AVRstudio4 , které zdarma poskytuje výrobce procesorů firma Atmel po jednoduché registraci. Jako překladač do jazyka C byl použit GNU GCC překladač WINAVR, se kterým je AVRstudio kompatibilní. WINAVR můžeme stáhnout ze stránek sourceforge.net.

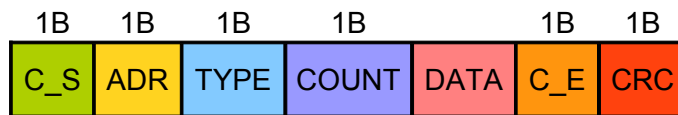
Measure_modul byl programován pomocí programátoru STK500, který využívá rozhraní ISP. Řídicí deska byla programována programátorem JTAGICE MKII, který umožňoval programování přes JTAG. Rozhraní JTAG umožňuje i debugování programu, které přináší velké usnadnění při vývoji obslužného programu.

5.2 Komunikační protokol sběrnice RS-485

Komunikace mezi moduly a řídicí deskou probíhá po sběrnici RS-485. Navrhl byl jednoduchý komunikační protokol, který umožňuje odesílat naměřená data řídicí desce. Data jsou přenášena v paketech. Každý modul má svoji unikátní adresu.

5.2.1 Popis paketu

Každý paket má svůj přesně daný tvar(obr.5.1). Začíná startovním symbolem(C_S) a je zakončen ukončovacím symbolem(C_E), po kterém následuje kontrolní součet. Po startovním symbolu následuje adresa příjemce paketu, která se mění pouze u řídicí desky, protože musí komunikovat se všemi moduly. Measure_modul všechna data odesílá na adresu řídicí desky(0x00).Další byte nese informaci o typu odesílaného paketu(TYPE). COUNT označuje počet bytu odesílaných dat. Poté již následují odesílaná data, první byte odeslaných dat je nejnižší. **Komunikaci zahajuje řídicí deska svým požadavkem.** Jedná se tedy o komunikaci **master-slave**.



Obrázek 5.1: Obecná struktura paketu sběrnice RS-485

Typy paketů a klíčové symboly jsou vypsané v následující tabulce a popsány níže v podobě příkladů.

Typ	Hodnota	popis
C_S	0xF0	Startovní symbol
C_E	0xF1	Ukončovací symbol
C_TIME	0xF2	Nastavení intervalu měření
C_SET	0xF3	Nastavení adresy
C_PING	0xF4	Příkaz ping
C_TEMP	0xF5	Teplota
C_HUMI	0xF6	Vlhkost
C_PRESS	0xF7	Tlak

Tabulka 5.1: Klíčová slova protokolu

C_TIME - Nastavení intervalu měření

Interval měření hodnot lze nastavit v rozsahu 1-60 min.

odesílatel: TYPE: C.TIME, COUNT: 1, Data: nový interval.

Příjemce(odpověď): TYPE: C.TIME, COUNT: 1, Data: nastavený interval.

C_SET - Nastavení adresy

Adresu na modulu jde nastavit v rozsahu 1-254.

odesílatel: TYPE: C.SET, COUNT: 1, Data: nová adresa.

Příjemce(odpověď): TYPE: C.PING, COUNT: 1, Data: nastavená adresa.

C_PING - Příkaz ping

Příkaz ping slouží k ověření, zda je modul funkční, můžeme ho přirovnat ke klasickému příkazu ping používaném v síťových aplikacích. Dále pak slouží ke zjištění adresy modulu pokud ji neznáme (využití Broadcastové adresy), hlavně pak pro přidání nového modulu do seznamu na řídicí desce.

odesílatel: TYPE: C.PING, COUNT: 0, Data: žádná

Příjemce(odpověď): TYPE: C.PING, COUNT: 1, Data: adresa příjemce

Funkce dalších typů paketů jsou zřejmé z jejich názvu, proto je popisován pouze tvar odesílání a příjmu.

C_TEMP - Vyčtení teploty

Modul odešle teplotu vynásobenou 10x, aby byla hodnota odeslána jako celé číslo. Datový typ **int16**.

odesílatel: TYPE: C_TEMP, COUNT: 0, Data: žádná

Příjemce(odpověď): TYPE: C_TEMP, COUNT: 2, Data: hodnota teploty

Příklad odpovědi: F0 00 F5 02 4A 01 F1 BD. Paket je určen řídicí desce (adresa 0x00), typ C_TEMP(0xF5), délka dat je 2(0x02), data jsou 0x4A a 0x01. První byte dat je nejnižší, proto když složíme číslo dohromady dostaneme 0x014A , což je 330 dec. Hodnotu je potřeba vydělit 10. Odesílaná hodnota teploty je 33°C. Obdobný postup je i u dalších typů komunikace.

C_HUMI - Vyčtení vlhkosti

Hodnota má rozsah 1-100% . Datový typ **int**.

odesílatel: TYPE: C_HUMI, COUNT: 0, Data: žádná

Příjemce(odpověď): TYPE: C_HUMI, COUNT: 1, Data: hodnota vlhkosti

C_PRESS - Vyčtení tlaku

Modul odešle tlak vynásobený 100x, aby byla hodnota odeslána jako celé číslo. Datový typ **long int**.

odesílatel: TYPE: C_PRESS, COUNT: 0, Data: žádná

Příjemce(odpověď): TYPE: C_PRESS, COUNT: 3, Data: hodnota tlaku

5.2.2 Adresování

Každý modul včetně řídicí desky má svoji unikátní adresu, která se nastaví pomocí řídicí desky. Adresa má velikost 1B. Pokud vynecháme vyhrazené adresy(viz. tabulka níže), může protokol adresovat až 254 modulů. **Defaultní přednastavená adresa každého modulu je 1.**

Adresa	Využití
0x00	Adresa řídicí desky
0xFF	Broadcast

Tabulka 5.2: Vyhrazené adresy

5.2.3 Kontrolní součet

Kontrolní součet je vypočten pomocí funkce XOR ze všech odeslaných bytů včetně startovního a zakončovacího symbolu. Odeslán je vždy po odeslání každého paketu.

5.3 Measure_modul

Firmware pro obsluhu Measure_modulu primárně čeká na příchozí data. O ostatní záležitosti jako vyčítání hodnot z čidel, příjem a odesílání dat po sběrnici RS-485 obstarává přerušení. Adresa modulu a nastavení intervalu měření jsou uloženy v paměti EEPROM procesoru. Výchozí nastavení adresy je 1, interval měření na 1 minutu.

5.3.1 Obsluha čítače

Interval měření/vyčítání hodnot je řízen pomocí čítače¹. Čítač je nastaven tak, aby došlo k přetečení každou sekundu. Po dosažení hodnoty intervalu je provedeno změření/vyčtení dat.

5.3.2 Obsluha sériové linky a řízení sběrnice RS-485

Sériová linka je obsluhována pomocí přerušení pro příjem znaku a dokončení odeslání znaku. Každý přijatý znak je po vyvolání přerušení uložen do bufferu pro příjem dat. Data, která se budou odesílat jsou nahrána do bufferu pro odesílání dat. Buffer se automaticky odešle po odeslání prvního znaku. Program může tak pokračovat v další práci a nemusí čekat až se data odešlou. Rychlost sériové linky je **19200 baudů**. Při obsluze sériového portu je řízena zároveň i sběrnice RS-485. Přepnutí do režimu vysílání je provedeno vždy před odesláním znaku, po jeho odeslání je opět přepnuto do režimu příjmu, pokud nejsou další data k odeslání. Při odeslání znaku je potřeba zakázat přerušení pro příjem znaku, protože převodník data co přijme na pinu Rx odesílá zároveň i na pin Tx, nebo-li data která by se odeslala by byla opět přijata.

Listing 5.1: Obsluha přerušení od sériové linky

```

1 //preruseni od seriove linky Prijem
2 SIGNAL (SIG_UART_RECV)
3 {
4     bufferWrite_Rx (ReadByteUART());
5 }
6
7 //preruseni od seriove linky Vysilani
8 SIGNAL (SIG_UART_TRANS)
9 {
10    bufferSend_Tx();
11 }

```

5.3.3 Zpracování přijatých dat

Funkce pro příjem dat jsou obsaženy v knihovně RS-485.h, která je součástí příloženého CD. Poté co je v bufferu uložen nějaký znak, začne zpracovávání příjmu paketu včetně kontroly kontrolního součtu. Jakmile je paket v pořádku přijat vyhodnotí se jeho obsah a odešle odpověď řídicí desce.

void receivePaket(void) - funkce zpracovává data uložená v bufferu pro příjem dat a vytvoří z nich paket. Po úspěšném přijetí paketu zavolá funkci zpracujPaket(), která vyhodnotí jeho obsah.

5.3.4 Zpracování paketu a odeslání dat řídicí desce

Funkce pro vyhodnocení přijatého paketu a odeslání dat řídicí desce jsou obsaženy v knihovně RS-485.h.

void zpracujPaket(void) - tato funkce určí podle typu přijatého paketu o jaká data či nastavení žádá řídicí deska. Provede příkaz a vytvoří paket s příslušnými daty, který se odešle zpět řídicí desce.

void createPaket(uint8_t addr, uint8_t len, uint8_t packet_type) - v této funkci se zpracují předaná data do předepsané formy paketu. Data se uloží do bufferu pro odesílání a dojde k jejich odeslání.

5.3.5 Obsluha čidla SHT15

Výrobce na svých webových stránkách nabízí k využití již hotovou knihovnu pro obsluhu čidla. Knihovnu bylo potřeba modifikovat pro procesor ATmega8 a je součástí přiloženého CD pod názvem SHT.h.

5.3.5.1 Komunikace s čidlem

Komunikace s čidlem SHT15 probíhá po dvou vodičové sběrnici a je podobná komunikaci po sběrnici I2C. Po startovní sekvenci následuje adresa (000) a jeden z příkazů. Adresa a příkaz tvoří dohromady 1 byte. Detailněji je komunikace popsána v datasheetu výrobce čidla[9].

Příkaz	kód
Rezervováno	0000x
Měření teploty	00011
Měření vlhkosti	00101
Čtení Status reg.	00111
Zápis do Status reg.	00110
Rezervováno	0101x-1110x
SW reset	11110

Tabulka 5.3: příkazy pro komunikaci s čidlem

Čidlo obsahuje osmibitový Status registr, jehož modifikací můžeme používat další funkce čidla. Struktura Status registru je popsána v následující tabulce.

Bit	Typ	Popis	Výchozí hodnota
7		Rezervován	0
6	R	End of Battery	x
5		Rezervován	x
4		Rezervován	0
3		Nepoužívat	0
2	R/W	Vyhřívání	0
1	R/W	Kalibrace před měřením	0
0	R/W	Rozlišení měření	0

Tabulka 5.4: Popis Status registru čidla.

End of Battery - Pomocí tohoto bitu můžeme detekovat jestli je napájecí napětí čidla větší než 2.47V(log 0), nebo menší (log 1) s přesností 0,05V.

Vyhřívání - Pokud bude nastaven 2 bit na log. 1 zapne čidlo funkci vyhřívání. Zapnutí funkce zvýší měřenou teplotu o 5-10°C a odběr na 8mA. Využita může být např. pro kontrolu funkčnosti čidla, nebo zabránění kondenzace vody při vysoké vzdušné vlhkosti.

Kalibrace před měřením - Pokud bude funkce vypnuta zrychlí se měření o 10ms. Nepřehrávají se kalibrační data z paměti OTP do pracovní paměti.

Rozlišení měření - Ve výchozím nastavení je rozlišení teploty 14b a vlhkosti 12b. Nastavením bitu na log. 1 se nastaví rozlišení teploty na 12b a vlhkosti na 8b.

5.3.5.2 Výpočet teploty

Výpočet teploty je na rozdíl od vlhkosti jednodušší, protože teplota je více lineární. Z čidla lze vyčíst hodnotu teploty jako 14 bitové číslo nebo 12 bitové. Zvolena je 14 bitová hodnota. Teplota se vypočte následujícím vzorcem:

$$T = d_1 + d_2 * SO_t [^{\circ}C] \quad (5.1)$$

SO_t je hodnota teploty přečtená z čidla, konstanty jsou určeny následující tabulkou:

VDD	d_1	d_2
5V	-40,1	0,01

Tabulka 5.5: Tabulka konstant pro výpočet teploty.

5.3.5.3 Výpočet vlhkosti

Hodnotu vlhkosti můžeme přečíst v 8 bitové, nebo 12 bitové délce. Zvolena je 12 bitová hodnota. Výrobce doporučuje pro kompenzaci nelinearit použít vztah pro výpočet relativní vlhkosti:

$$RH_{lin} = c_1 + c_2 * SO_{rh} + c_3 * SO_{rh}^2 [\%] \quad (5.2)$$

SO_{rh} je hodnota vlhkosti přečtená z čidla, konstanty jsou určeny následující tabulkou:

SO_{rh}	C_1	C_2	C_3
12bit	-2,0468	0,0367	$-1,5955E^{-6}$
8bit	-2,0468	0,5872	$-4,0845E^{-4}$

Tabulka 5.6: Tabulka konstant pro výpočet RH_{lin}

Pokud je teplota odlišná od 25°C doporučuje výrobce relativní vlhkost ještě kompenzovat podle vztahu:

$$RH_{true} = (T[^\circ C] - 25) * (t_1 + t_2 * SO_{rh}) + RH_{lin} [\%] \quad (5.3)$$

T je hodnota vypočtené teploty, hodnoty konstant jsou v následující tabulce:

SO_{rh}	t_1	t_2
12bit	0,01	0,00008
8bit	0,01	0,00128

Tabulka 5.7: Tabulka konstant pro výpočet RH_{true}

5.3.5.4 Knihovna SHT.h

`void SHTTransStart(void)` - Funkce odešle startovní sekvenci pro zahájení komunikace s čidlem.

`void SHTConnectionreset(void)` - Funkce provede reset komunikace s čidlem. Resetuje se pouze komunikace s rozhraním, nikoliv Status registr.

`char SHTWriteByte(uint8_t bValue)` - Funkce pro zápis 1B do čidla.

`char SHTReadByte(uint8_t bAck)` - Funkce přečte 1B z čidla.

`char SHTReadStatusReg(uint8_t *p_value, uint8_t *p_checksum)` - Funkce pro přečtení nastavení Status registru.

`char SHTWriteStatusReg(uint8_t *p_value)` Zápis do Status registru.

char SHTSoftReset(void) - Provede reset do továrního nastavení.

char SHTWait4MeasDone(void) - Funkce která zajišťuje čekání na dokončení měření.

float SHTMeasTemp(void) - Funkce změří a provede výpočet teploty.

int SHTHumi(float fTemp) - Funkce změří a provede výpočet vlhkosti včetně kompenzace s pomocí teploty(fTemp).

5.3.6 Odměr hodnoty tlaku z čidla MPX4115A

Pro zjištění hodnoty tlaku je využit AD převodník v procesoru. Pro přesnější měření je odebráno 1000 hodnot a vypočten jejich průměr. Po úvodní inicializaci je obsluhován dvěma funkcemi:

unsigned int read_adc(void) - funkce přečte hodnotu z AD převodníku.

float namerTlak(void) - tato funkce provede samotný odběr 1000 naměřených hodnot, udělá průměr a vypočte hodnotu tlaku podle níže uvedeného vzorce.

5.4 Řídící deska

Firmware pro obsluhu Řídící desky primárně obsluhuje ovládací konzoli, která běží na sériovém portu 3 s rychlostí 19200 baudů. Příchozí data z PC pro konzoli jsou ukládány do bufferu pro příjem dat z PC. Ostatní záležitosti např. komunikace po sběrnici RS-485 se starají přerušeni. Data s informacemi o jednotlivých modulech a nastavení intervalu odběru dat jsou uložena v paměti EEPROM procesoru.

5.4.1 Obsluha sběrnice RS-485

Pro komunikaci po sběrnici RS-485 je určen sériový port číslo 2 s nastavenou rychlostí na 19200 baud. Využita jsou přerušeni pro příjem a odeslání znaku. Přijatá data jsou ukládána do bufferu pro příjem, data k odeslání jsou ukládána do bufferu pro vysílání. Samotné odesílání a příjem dat po sběrnici je řešen stejně jako u Measure_modulu.

5.4.2 Obsluha RTC obvodu

Pro obsluhu RTC obvodu jsou využity již hotové knihovny, které vytvořil autor řídicí desky. RTC obvod je využit při ukládání dat na SD kartu, kdy je ke každému záznamu přidána časová značka.

5.4.3 Ovládací konzole

Řídící deska je ovládána pomocí jednoduché konzole. Pro komunikaci mezi PC a řídicí deskou je určen sériový port číslo 3. Rychlost je nastavena na 19200 baud. Zadaný příkaz se potvrzuje klávesou ENTER. Příkazy pro ovládání jsou vypsány v následující tabulce:

Příkaz	popis
add	přidání modulu
edit	editace modulu
del	smazání modulu
list	výpis modulů
help	nápověda
info	informace o stavu řídicí desky
date	nastavení datumu
time	nastavení času
interval	nastavení intervalu
ping	ping

Tabulka 5.8: Příkazy ovládací konzole

add - příkaz pro přidání modulu do seznamu stanic. Každý modul má své jméno (maximálně 4 znaky), adresu a interval měření. Při přidávání nového modulu je třeba dodržet, aby byl v danou chvíli připojen pouze přidávaný modul! Řídící deska odešle na sběrnici příkaz ping s broadcastovou adresou a čeká na odpověď od modulu. Příkazem si řídicí deska zjistí adresu přidávaného modulu a ověří, že je modul připojen. Dále pak již následuje zadávání parametrů modulu, které se kromě jména nastaví i na modulu

edit - editovat u modulu můžeme všechny tři parametry, které jsou uvedeny u příkazu add. Po editaci jsou aktualizovány údaje i na modulu.

del - příkaz smaže modul ze seznamu modulů. Nastavení modulu zůstane zachováno.

list - příkaz vypíše do konzole seznam modulů, ze kterých probíhá odběr dat.

help - Vypíše na konzoli všechny příkazy a jejich stručný popis.

info - Příkaz info vypíše na konzoli informace o počtu modulů v seznamu, interval odběru dat, datum a čas.

date - příkaz pro nastavení data. Datum se zadává ve formátu dd/mm/yyyy a je nastaveno na obvodu RTC obvodu.

time - příkaz pro nastavení času. Čas se zadává ve formátu hh:mm:ss a je nastaven přímo na RTC obvodu.

interval - příkaz, kterým se nastaví interval odběru dat z modulů. Nastavit lze 10-60 minut

ping - příkazem ping můžeme zkontrolovat zda modul komunikuje.

Listing 5.2: Dekodování příkazu pro konzoli

```

1 int dekodujPrikaz(void)
2 {
3     char cPrikaz[20];
4     char cRead=0;
5     int i =0;
6     while (cRead!=0x0D)
7     {
8         //cekani na 1B
9         while(iStartBUF_RxPC==iEndBUF_RxPC);
10        //nacteni 1B z bufferu
11        cRead = bufferRead_RxPC();
12        if(cRead!=0x0D)
13        {
14            IgnorWhiteSymbol(cRead);
15            cPrikaz[i]=cRead;
16            i++;
17        }
18    }
19    cPrikaz[i]=0x00;
20    //dekodovani prikazu
21    if(!strcmp(cPrikaz,"add")) return 1;
22    if(!strcmp(cPrikaz,"edit")) return 2;
23    if(!strcmp(cPrikaz,"del")) return 3;
24    if(!strcmp(cPrikaz,"list")) return 4;
25    if(!strcmp(cPrikaz,"help")) return 5;
26    if(!strcmp(cPrikaz,"info")) return 6;
27    if(!strcmp(cPrikaz,"date")) return 7;
28    if(!strcmp(cPrikaz,"time")) return 8;
29    if(!strcmp(cPrikaz,"interval")) return 9;
30    if(!strcmp(cPrikaz,"")) return 10;
31    if(!strcmp(cPrikaz,"ping")) return 11;
32    return 0;
33 }

```

5.4.4 Výpočet rosného bodu

Funkce pro výpočet rosného bodu byla již od výrobce implementována v knihovně, která je použita pro komunikaci s čidlem SHT15 na Measure_modulu. Výpočet rosného bodu je náročnější na paměť, proto je vykonána až na řídicí desce.

Listing 5.3: Výpočet rosného bodu

```

1 float SHTDewPoint(int h, float t)
2 {
3     float k, dew_point ;
4     k = (log10(h)-2)/0.4343 + (17.62*t)/(243.12+t);
5     dew_point = 243.12*k/(17.62-k);
6     return dew_point*100;
7 }

```

5.4.5 Komunikace s SD kartou

Pro komunikaci s SD kartou byla použita knihovna vytvořená Rolandem Riegelem([14]). Knihovnu bylo potřeba upravit, aby uměla pracovat s procesorem ATmega2560, který je umístěn na řídicí desce. Úprava nebyla nijak složitá, jednalo se o doplnění definic pro procesor ATmega2560. Knihovna podporuje kompletní práci s paměťovou kartou jako je práce se souborovým systémem FAT, zápis a čtení souboru. Data jsou na SD kartu zapisována do souboru formátu *.csv.

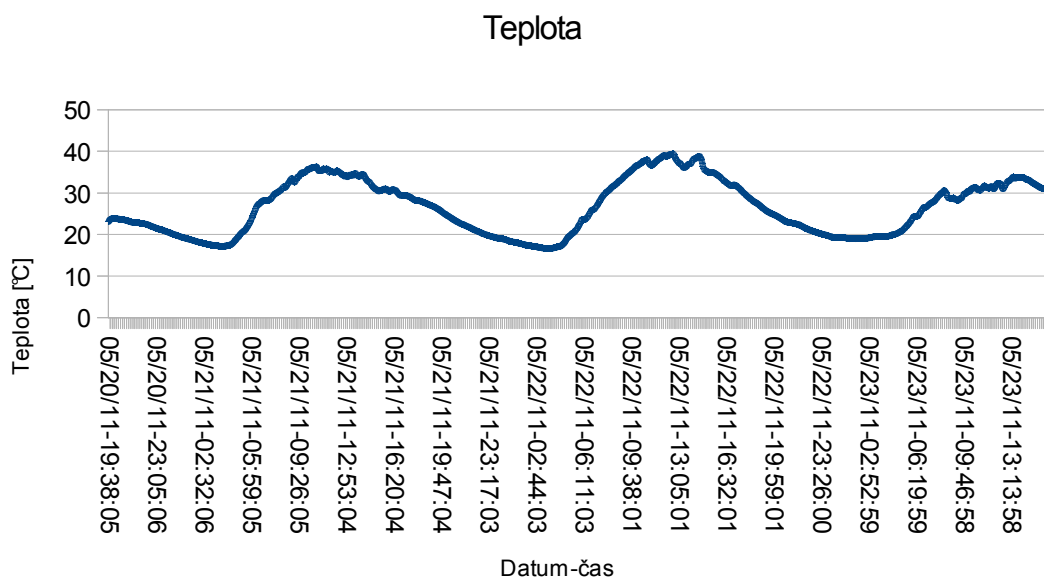
Kapitola 6

Testování

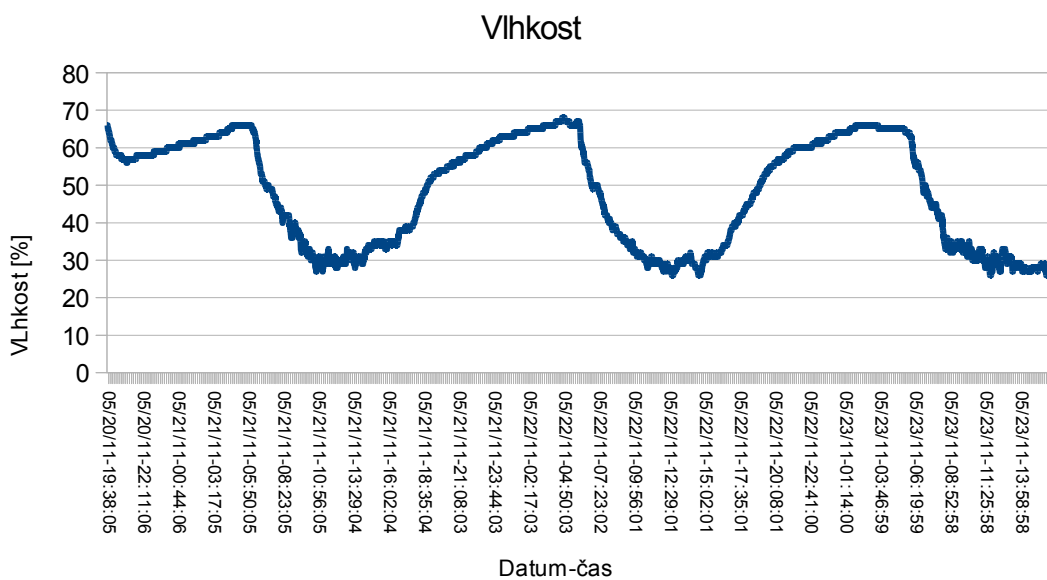
Testování Measure_modulu probíhalo na dvou místech. Prvním místem pro testování byl skleník, kde během dne dochází k velkým změnám teploty a vlhkosti. Teploty pod bodem mrazu byly měřeny v mrazáku.

6.1 Test ve Skleníku

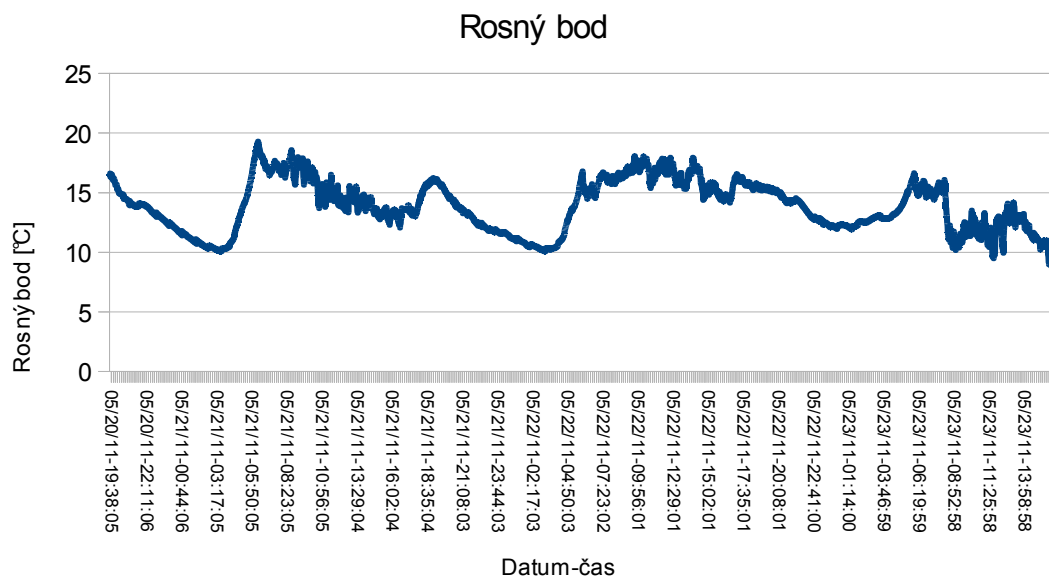
Test ve skleníku probíhal 3 dny. Z grafu naměřeného tlaku je vidět, že došlo k jeho poklesu, což většinou značí příchod deštivého počasí, které opravdu nastalo. Následný nárůst tlaku signalizoval návrat ke slunečnému počasí. Výsledek testu je na grafech uvedených níže.



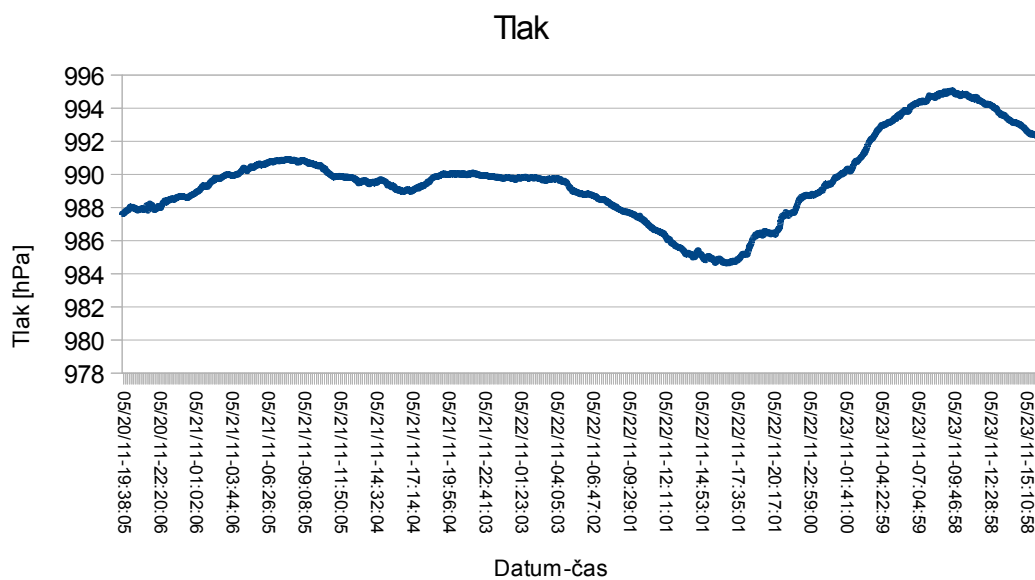
Obrázek 6.1: Výsledný graf měření teploty ve skleníku



Obrázek 6.2: Výsledný graf měření vlhkosti ve skleníku



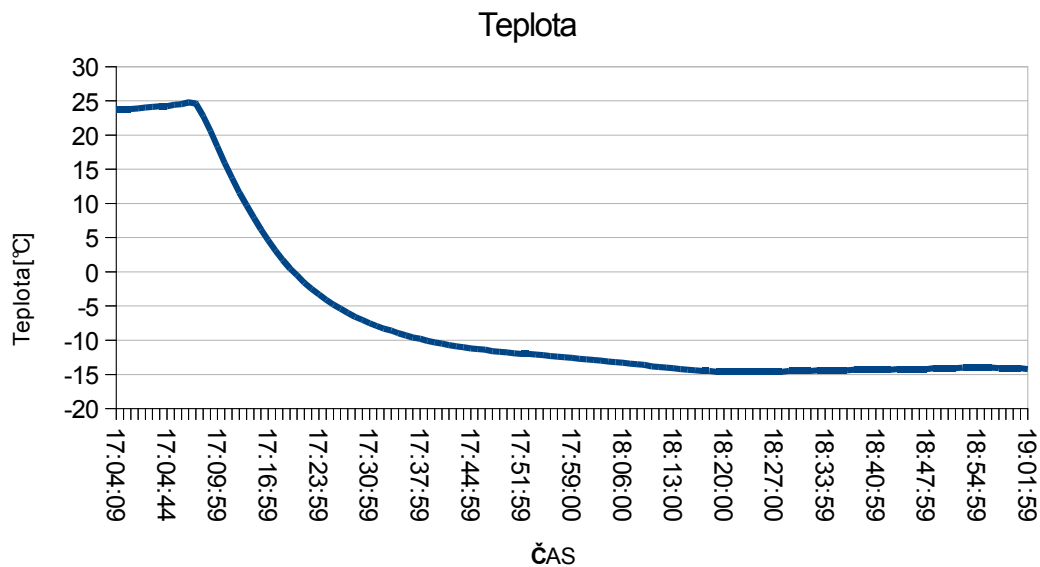
Obrázek 6.3: Výsledný graf vypočteného Rosného bodu ve skleníku



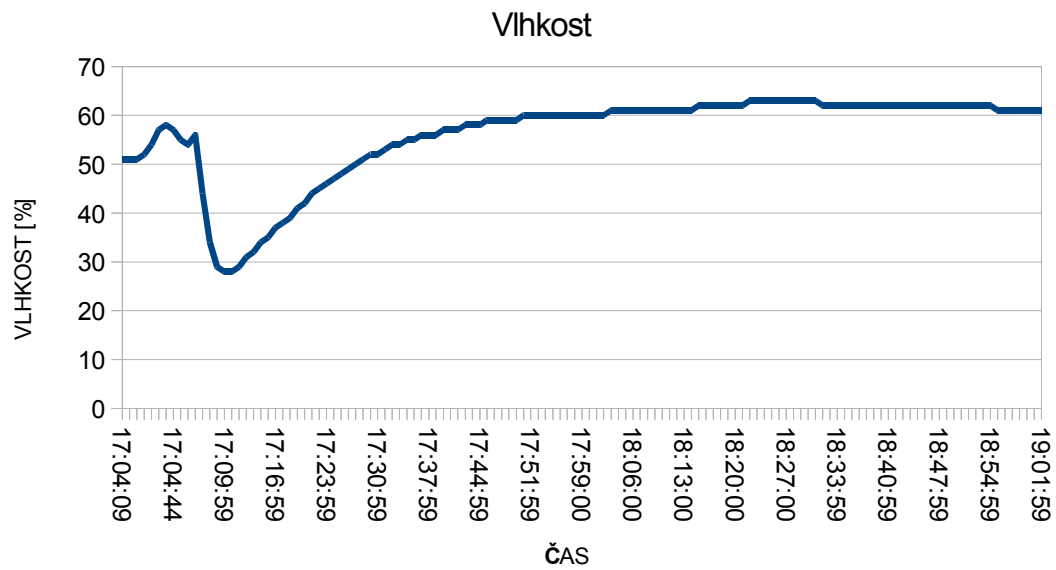
Obrázek 6.4: Výsledný graf měření tlaku ve skleníku

6.2 Test v mrazáku

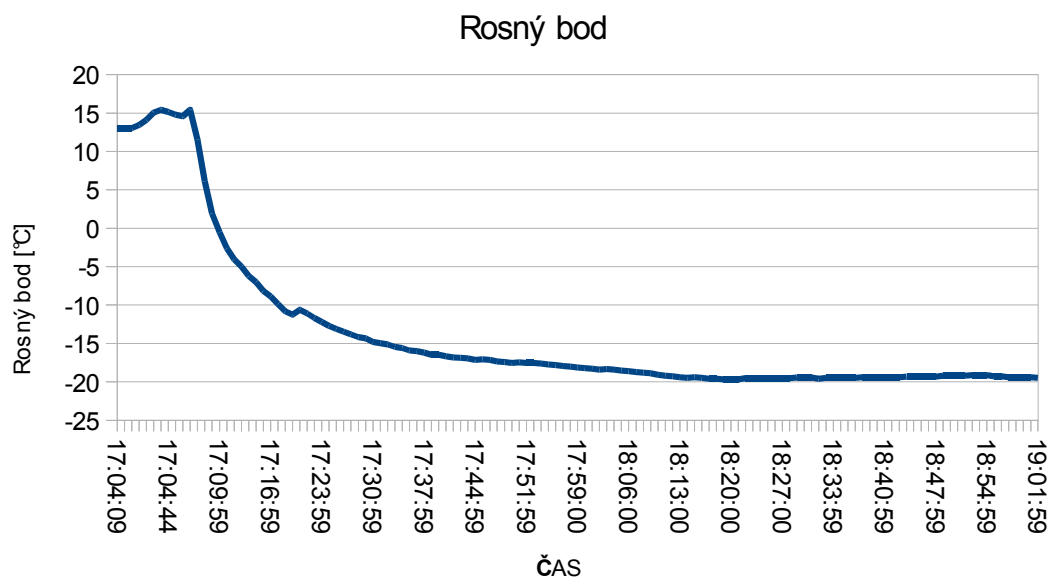
Test v mrazáku neprobíhal stejně dlouho jako test ve skleníku. Byl prováděn hlavně proto, aby se ověřila funkce Measure_modulu v mrazivých podmínkách. U Measure_modulu byl přiložen rtuťový teploměr pro srovnání hodnot teploty. Test dopadl na rozdíl od první verze Measure_modulu dobře. Hodnota teploty klesla až na $-14,6^{\circ}\text{C}$, rtuťový teploměr klesl na hodnotu $-14,5$ až -15°C . Výsledek testu je na grafech uvedených níže.



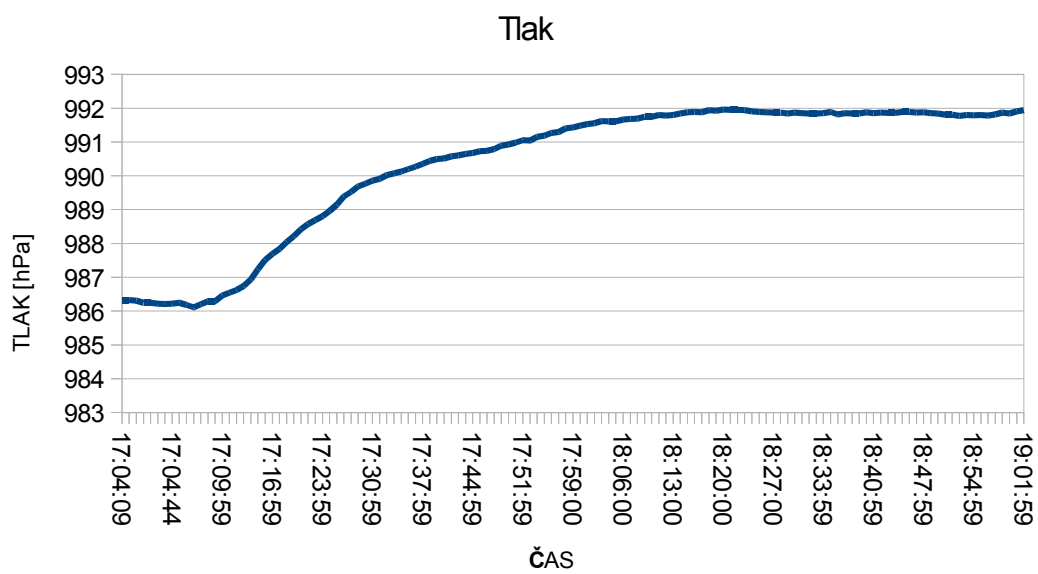
Obrázek 6.5: Výsledný graf měření teploty v mrazáku



Obrázek 6.6: Výsledný graf měření vlhkosti v mrazáku



Obrázek 6.7: Výsledný graf vypočteného Rosného Bodu



Obrázek 6.8: Výsledný graf měření tlaku v mrazáku

Kapitola 7

Závěr

V rámci práce se podařilo navrhnout a realizovat funkční modul (Measure_modul) pro měření teploty, relativní vlhkosti a atmosférického tlaku, jehož spotřeba je 26mA. Druhým realizovaným modulem (Modul_485) je převodník USART<->RS-485 pro řídicí desku. Vytvořením těchto dvou nových modulů došlo k podstatnému rozšíření a uplatnění řídicí desky.

Testy (viz. kap.6) Measure_modulu prokázaly jeho funkčnost ve venkovních podmínkách, jak bylo požadováno. Test modulu v mrazáku ukázal, že je modul schopen pracovat v mrazivých podmínkách. Při testování modulu ve skleníku bylo dále prokázáno, že modul je schopen pracovat i v podmínkách, kde se výrazně mění vlhkost a teplota v průběhu dne. Při měření ve skleníku se podařilo pomocí změny tlaku zachytit příchod deštivého počasí (pokles tlaku) a po dešti opět příchod slunečného počasí (nárůst tlaku).

Pro komunikaci po sběrnici RS-485 byl navržen a implementován jednoduchý komunikační protokol, který se při testování osvědčil. Do budoucna není problém jej rozšířit i o další klíčová slova (typy paketů), tak aby se dal využít i pro komunikaci s jinými typy modulů, které budou mít další rozšiřující funkce.

Literatura

- [1] ZÁHLAVA, V. *OrCAD 10*. Grada Publishing, Praha 2004.
- [2] ZÁHLAVA, V. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2005.
- [3] VOBECKÝ, J. a ZÁHLAVA, V. *Elektronika - součástky a obvody, principy a příklady*. Třetí rozšířené vydání Grada Publishing, Praha 2005.
- [4] *Latexdocweb - online manuál*, 15.5.2011.
<http://cstug.cz>.
- [5] *Info BP -K336 Info — pokyny pro psaní bakalářských prací*, 15.5.2011.
<http://info336.felk.cvut.cz>.
- [6] *Papouch THT2 - Měřicí modul*, 15.5.2011.
<http://papouch.com>.
- [7] *Comet T7410*, 15.5.2011.
<http://cometsystem.cz>.
- [8] *Popis procesoru ATmega8*, 15.5.2011.
<http://atmel.com>.
- [9] *Popis čidla SHT15*, 15.5.2011.
<http://sensirion.com>.
- [10] *Popis čidla MPX4115A*, 15.5.2011.
<http://freescale.com>.
- [11] *Popis převodníku SN65HVD3082ED*, 15.5.2011.
<http://ti.com>.
- [12] *Popis spínaného zdroje LM2574M-0.5*, 15.5.2011.
<http://national.com>.
- [13] *Popis lineárního stabilizátoru LM317LM*, 15.5.2011.
<http://national.com>.
- [14] *SD/MMC knihovny pro AVR*, 15.5.2011.
<http://www.roland-riegel.de/sd-reader/>.

- [15] NOUZÁK, J. *Konfigurovatelný řídicí modulární systém, 15.5.2011.*
<http://dip.felk.cvut.cz>.
- [16] TME, *obchod s elektronickými součástkami, 15.5.2011.*
<http://www.tme.cz>.
- [17] Pragoboard a.s., *výrobce plošných spojů, 15.5.2011.*
<http://www.pragoboard.cz>.
- [18] Comet T7410 - *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.cometsystem.cz>.
- [19] Papouch THT *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.papouch.com>.
- [20] Atmega8 *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.octopart.com>.
- [21] MPX4115A *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.nghobbies.com>.
- [22] SHT15 *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.soselectronic.com>.
- [23] SN65HVD3082E *obrázek, 15.5.2011.*
<http://www.ti.com>.

Kapitola 8

Seznam použitých zkratek

SD Secure Digital

USART Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter

RH Relative Humidity

SNMP Simple Network Management Protocol

PCB Printed Circuit Board

SPI Serial Peripheral Interface

ISP In System Programming

GCC GNU Compiler Collection

JTAG Joint Test Action Group

I2C Inter-IC-bus

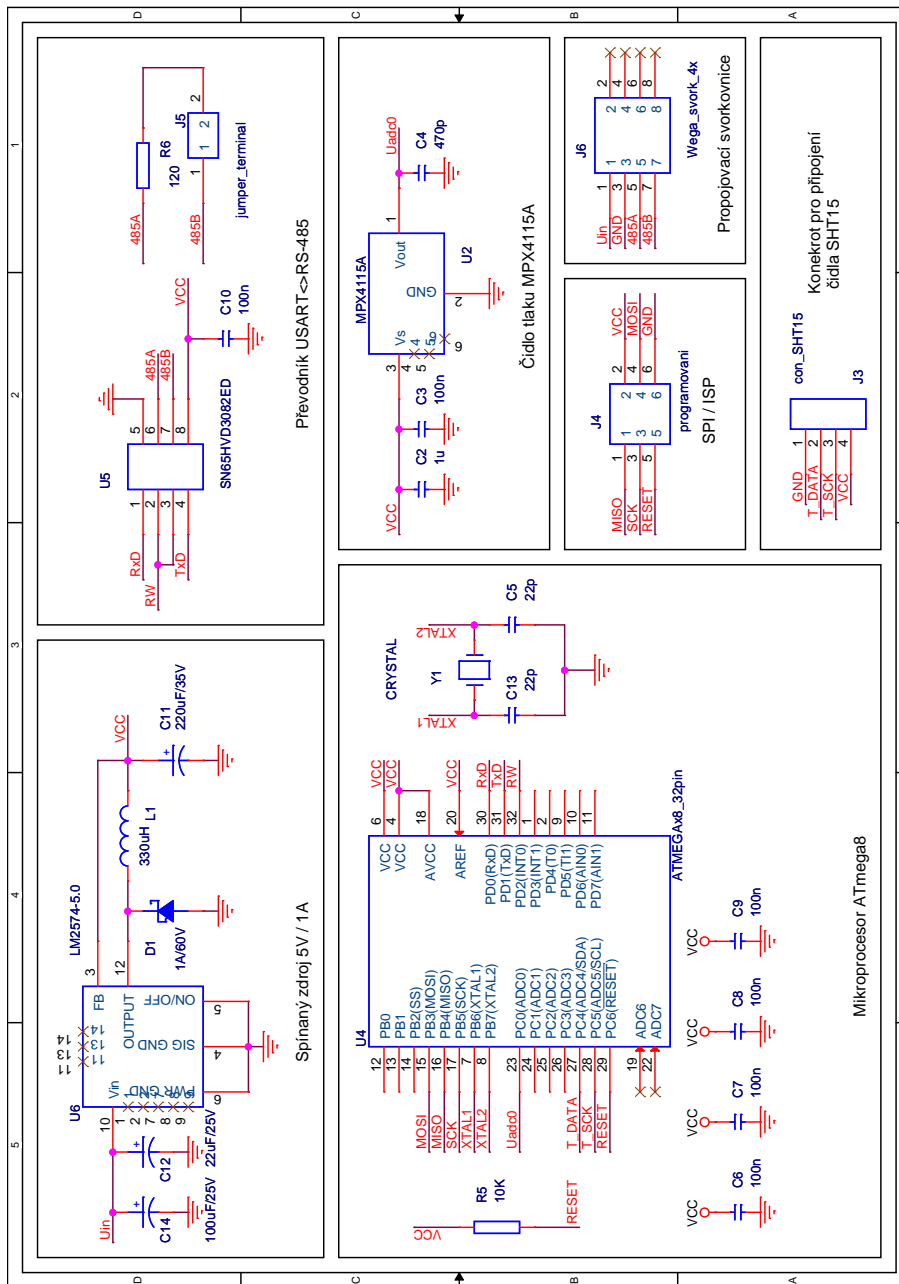
EEPROM Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

RTC Real-Time Clock

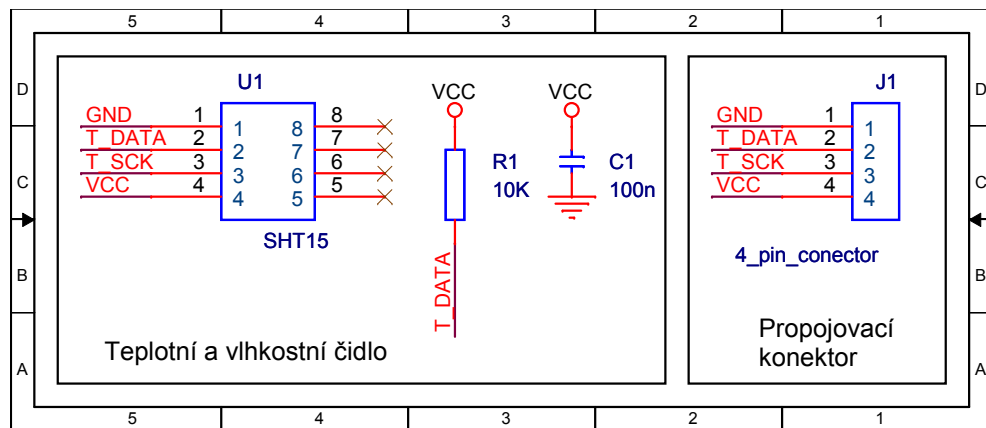
FAT File Allocation Table

Příloha A

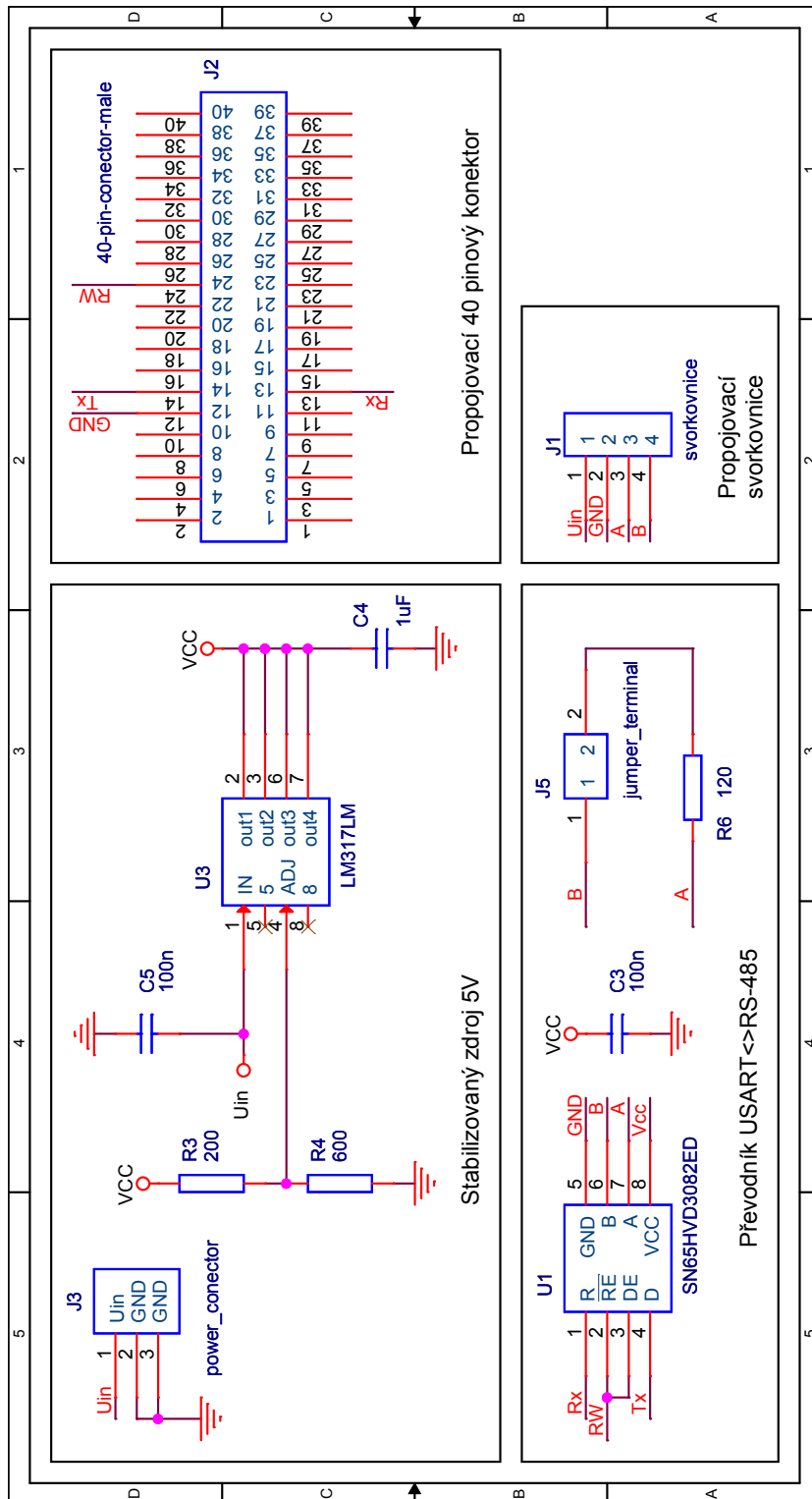
Schéma desky



Obrázek A.1: Schéma zapojení Measure_module



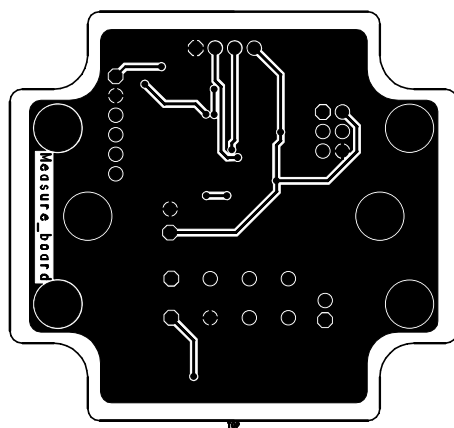
Obrázek A.2: Schéma zapojení desky s čidlem SHT15



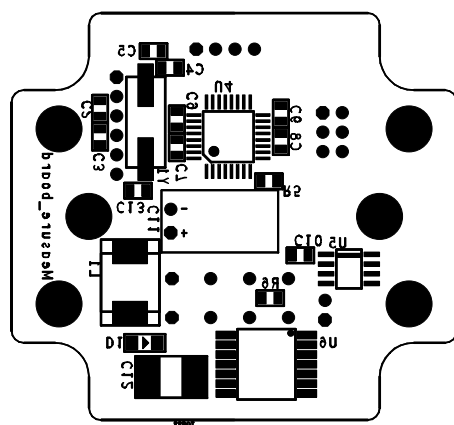
Obrázek A.3: Schéma zapojení Modulu_485

Příloha B

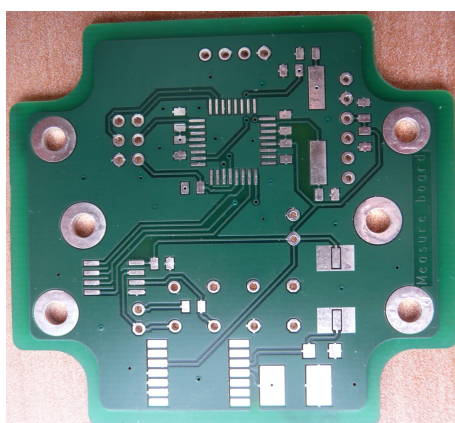
DPS a rozmístění součástí



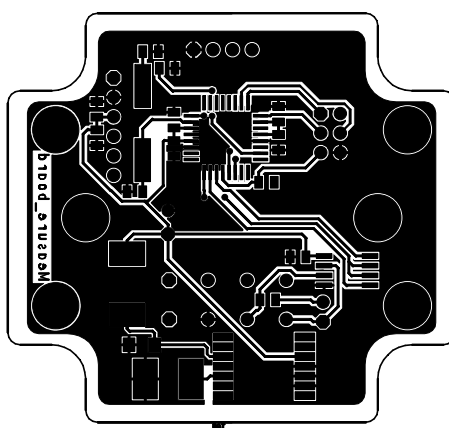
Obrázek B.1: Vrstva TOP Measure_modul



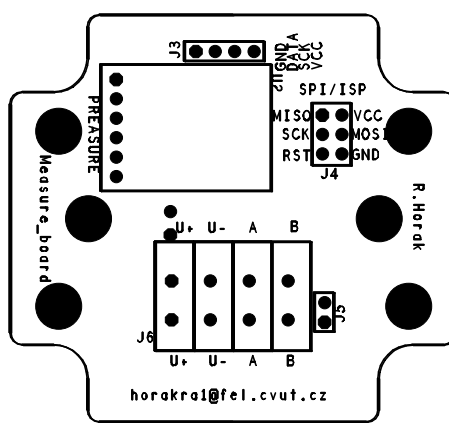
Obrázek B.2: Rozmístění součástek vrstva BOT Measure_modul



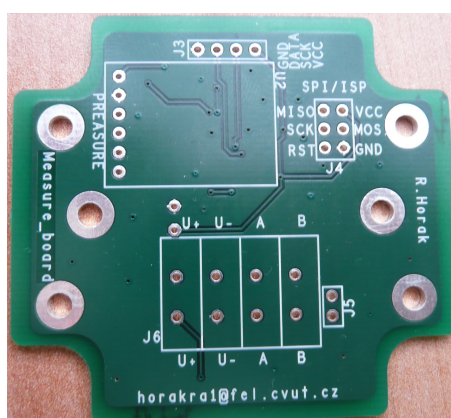
Obrázek B.3: Neosazená deska, vrstva BOT, Measure_modul



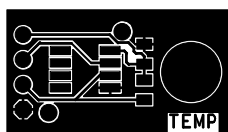
Obrázek B.4: Vrstva BOT Measure_modul



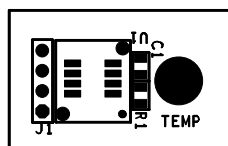
Obrázek B.5: Rozmístění součástek vrstva TOP Measure_modul



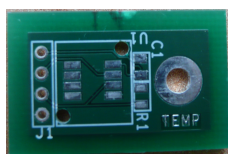
Obrázek B.6: Neosazená deska, vrstva TOP, Measure_modul



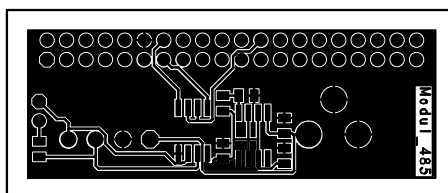
Obrázek B.7: Vrstva TOP desky s čidlem SHT15



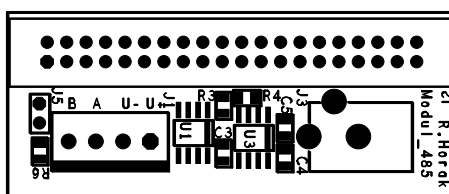
Obrázek B.8: Vrstva TOP desky s čidlem SHT15, rozmístění součástek.



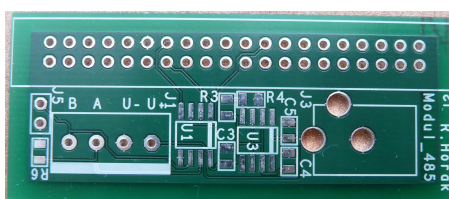
Obrázek B.9: Vrstva TOP neosazené desky s čidlem SHT15



Obrázek B.10: Vrstva TOP desky Modul_485



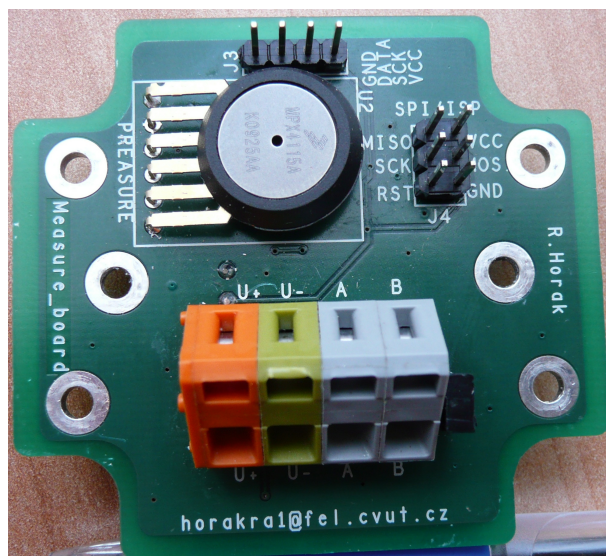
Obrázek B.11: Vrstva TOP rozmístění součástek Modul_485



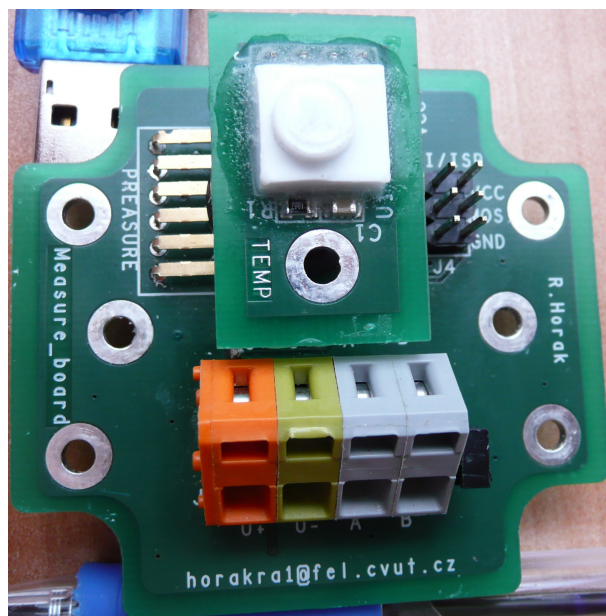
Obrázek B.12: Vrstva TOP neosazené desky Modul_485

Příloha C

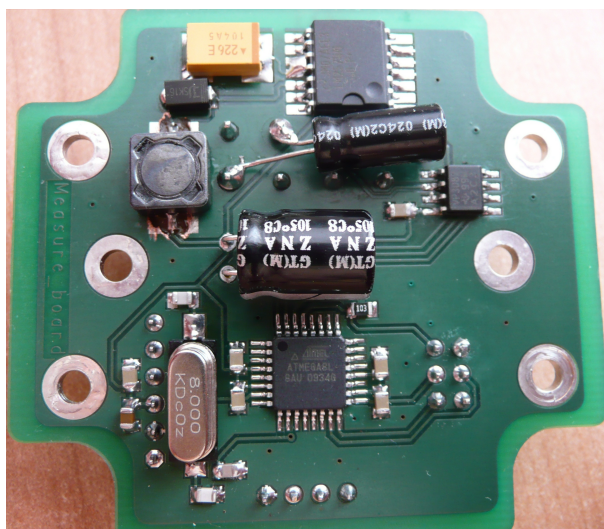
Osazená deska



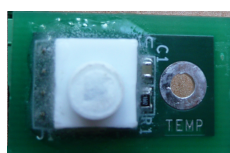
Obrázek C.1: Osazený Measure_modul pohled shora.



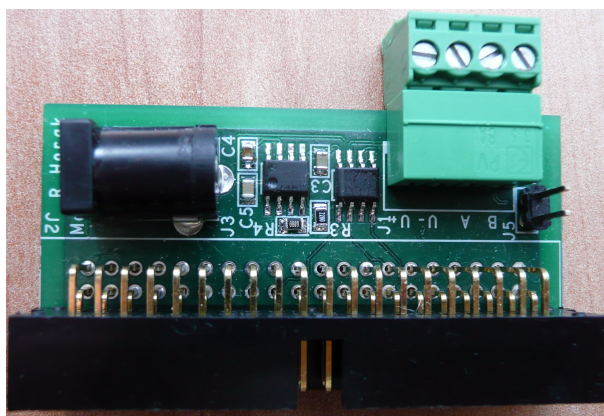
Obrázek C.2: Osazený Measure_modul s čidlem SHT15 pohled shora.



Obrázek C.3: Osazený Measure_modul pohled zespoda.



Obrázek C.4: Osazená deska s čidlem SHT15



Obrázek C.5: Osazený Modul_485.

Příloha D

Obsah přiloženého CD

Na přiloženém Cd jsou přiloženy zdrojové kódy, katalogové listy použitých obvodů a projekty z programu OrCad 16.3.

- Adresář Firmware
 - Measure_modul - složka se zdrojovými kódy pro Measure_modul.
 - Řidici_deska - složka se zdrojovými kódy pro Řídící desku.
- Adresář Datasheet
 - ATmega8.pdf - Katalogový list mikroprocesoru Atmel ATmega8.
 - SHT15.pdf - Katalogový list čidla SHT15.
 - MPX4115A.pdf - Katalogový list tlakového čidla MPX4115A.
 - SN65HVD3082E.pdf - Katalogový list převodníku USART<->RS-485.
 - LM2574.pdf - Katalogový list spínaného zdroje LM2574M-5.0/NPB.
 - LM317LM.pdf - Katalogový list lineárního stabilizátoru LM317LM.
- Adresář PCB

V každém adresáři jsou další dvě složky Schema a PCB. Ve složce Schema je umístěn kompletní projekt se schématem z programu OrCAD-Capture 16.3. Ve složce PCB je umístěn kompletní projekt návrhu PCB desky z programu OrCAD-PCBEditor 16.3.

 - Adresář Measure_modul
 - Adresář Modul_SHT
 - Adresář Modul_485