



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce jednoduché meteorologické stanice

Autor práce: Marek Neřold

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Freisleben

Plzeň 2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek NEŘOLD**
Osobní číslo: **E09B0306P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Konstrukce jednoduché meteorologické stanice**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

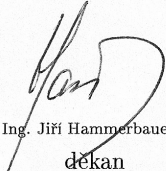
1. Prostudujte principy současných senzorů pro měření teploty, vlhkosti a tlaku.
2. Porovnejte sensorové vlastnosti a vyberte nejvhodnější druhy senzorů pro následnou realizaci.
3. Navrhněte a realizujte modul pro detekci teploty, vlhkosti a tlaku.
4. Vytvořené technické a programové prostředky podrobně popište.

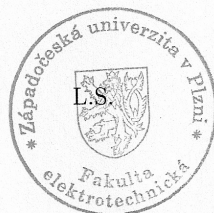
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

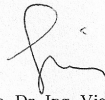
1. **Ďaďo, S.; Krejdl, M.: Senzory a měřicí obvody**
2. **Burkhard, M.: C pro mikrokontroléry**
3. **Firemní literatura a katalogy výrobců zvolených součástek a obvodů**
4. **Elektronické informační zdroje**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Freisleben**
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Práce se zabývá shrnutím nejpoužívanějších principů pro měření teploty, vlhkosti a tlaku.

Poté je prozkoumán trh a vybrány nejvhodnější z nabízených senzorů.

Dále je navržena a zkonstruována jednoduchá meteorologická stanice pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Ze změřené vlhkosti a teploty se vypočítává rosný bod. Uvedené veličiny jsou zobrazovány na alfanumerickém displeji. K řízení je použit mikrokontrolér ATmega8A s jádrem AVR od firmy Atmel.

Klíčová slova

meteorologická stanice, měření vlhkosti, měření teploty, měření tlaku, výpočet rosného bodu

Abstract

Neřold, Marek. *Construction of a simple weather station* [*Konstrukce jednoduché meteorologické stanice*]. Pilsen, 2012. Bachelor thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Jaroslav Freisleben

This bachelor thesis deals with principles of measuring temperature, humidity and pressure.

Then the most proper sensors, for measuring the temperature, the humidity and the pressure, are chosen.

After that a simple weather station is constructed by using chosen sensors.

Finally a dew point is calculated from the measured temperature and humidity. These values are displayed on an alphanumeric display. A microcontroller ATmega8A with a AVR core is used for controlling the whole application.

Keywords

weather station, measuring of temperature, measuring of humidity, measuring of pressure, calculating of dew point

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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 § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7. června 2012

Marek Neřold

.....

Podpis

Obsah

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Seznam symbolů a zkratek	ix
1 Úvod	1
2 Druhy a fyzikální principy senzorů	2
2.1 Sensory pro měření teploty	2
2.1.1 Kovové odporové senzory teploty	2
2.1.2 Polovodičové odporové senzory teploty	3
2.1.3 Termoelektrické senzory teploty - termočlánky	4
2.1.4 PN senzory teploty	5
2.2 Sensory pro měření vlhkosti	6
2.2.1 Odporové a kapacitní senzory vlhkosti	6
2.2.2 Absorpční LiCl elektrolytické senzory	7
2.2.3 Psychrometry	7
2.2.4 Vlhkoměry na principu rosného bodu	8
2.3 Sensory pro měření tlaku	9
2.3.1 Deformační senzory tlaku	9
2.3.2 Kapacitní senzory tlaku	10
2.3.3 Piezoelektrické senzory tlaku	10
2.3.4 Optoelektronické senzory tlaku	10
2.4 Inteligentní senzory	11
3 Výběr nejvhodnějších senzorů	12
3.1 Výběr teplotního a vlhkostního senzoru	12
3.2 Výběr tlakového senzoru	14
4 Podrobný popis konstrukce meteostanice	16
4.1 Napájení	16
4.1.1 DC/DC měnič	17

4.2	Mikrokontrolér	17
4.3	Alfanumerický displej	19
4.3.1	Komunikace s alfanumerickým displejem	20
4.4	Práce se senzorem SHT71	21
4.4.1	Komunikace se senzorem	21
4.4.2	Status registr	23
4.4.3	Převod výstupního signálu ze senzoru na reálné hodnoty	23
4.4.4	Výpočet rosného bodu	24
4.5	Práce s tlakovým senzorem MP3H6115A	25
4.5.1	Použití A/D převodníku	25
4.5.2	Převod napětí na atmosférický tlak	26
4.6	Závěrečné osazení DPS	27
5	Závěr	28
	Reference, použitá literatura	29
	Přílohy	31
A	Příkazy pro řadič HD44780	31
B	Výsledný návrh	32
B.1	Schéma	32
B.2	DPS	32
B.3	Seznam použitých součástek	32

Seznam obrázků

2.1	Závislost poměru odporů R_t/R_0 na teplotě T ve $[\text{°C}]$ u teplotních senzorů (Pt – platinový odporový senzor; Ni – niklový odporový senzor; NTC – termistory se záporným teplotním součinitelem odporu)	4
2.2	Základní zapojení termočlánku ze dvou vodičů zhotovených z různých materiálů s rozdílnými hodnotami termoelektrického součinitele (M – měřicí spoj, S – srovnávací spoj, E_{MS} – termoelektrické napětí ve $[\text{V}]$, je závislé na rozdílu teplot $T_M - T_S$, T_M – teplota měřicího spoje v $[\text{K}]$, T_S – teplota srovnávacího spoje v $[\text{K}]$)	5
2.3	Princip PN senzoru teploty (U_D – napětí na PN přechodu v propustném směru, I_D – proud na PN přechodu v propustném směru, T – teplota PN přechodu ve $[\text{°C}]$)	5
2.4	Odporový senzor vlhkosti (R_0 – základní svodový odpor mezi elektrodami, C_0 – základní svodová kapacita mezi elektrodami, R_2 – odpor mezi dny pórů a Al elektrodou, C_2 – kapacita mezi dny pórů a Al elektrodou, R_1 – odpor stěny pórů mezi Au elektrodou a dnem pórů) Převzato z [1] 	6
2.5	Uspořádání LiCl vlhkostního senzoru (1 – platinový senzor, 2 – tkanina, 3 – navinuté drátky) Převzato z [1] 	7
2.6	Psychrometrický senzor (M – motorek větráčku V, T_m – mokrý senzor teploty, T_s – suchý senzor teploty, P – vlhčená punčoška) Převzato z [1] 	8
3.1	Kombinovaný senzor teploty a vlhkosti SHT71 Převzato z [15] 	14
3.2	Tlakový senzor MP3H6115A Převzato z [16] 	15
4.1	Schéma zapojení DC/DC měniče TPS61222DCK (V_{in} – vstupní napětí; Fb – zpětná vazba; GND – uzemnění; V_{out} – výstupní napětí; L – připojení pro tlumivku; E_n – potvrzení vstupního napětí [1 – povoleno, 0 – zakázáno])	18
4.2	Zjednodušené schéma zapojení senzoru SHT71 (SCK – výstup hodinových impulsů; VDD – napájení; GND – uzemnění; DATA – datový vodič) Převzato z [15] 	21
4.3	Graf sekvence začátku přenosu. Převzato z [15] 	22

4.4	Přehled provedení měřicí sekvence (TS – začátek přenosu, MSB – nejvýznamnější byte, LSB – nejméně významný byte, LSb – nejméně významný bit) Převzato z [15] 	22
4.5	Jednotlivé bity status registru a jejich funkce (VDD – napájecí napětí; R – pouze pro čtení; R/W – pro čtení i zápis)	24
4.6	Schéma zapojení tlakového senzoru MP3H6115A podle doporučení výrobce (AVcc – napájení; Vout – napěťový výstup z čidla; GND – uzemnění čidla)	25
A.1	Shrnutí všech příkazů pro řadič HD44780 u použitého alfanumerického displeje.	31
B.1	Schéma meteorologické stanice.	33
B.2	Deska plošných spojů meteorologické stanice (měřítko 1:1,5)	34
B.3	Osazovací plán meteorologické stanice (měřítko 1:1,5)	34

Seznam tabulek

3.1	Porovnání parametrů vybraných senzorů teploty. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5. 5. 2012.	13
3.2	Porovnání parametrů vybraných senzorů vlhkosti. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5.5.2012.	13
3.3	Porovnání parametrů vybraných senzorů tlaku. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5.5.2012.	14
4.1	Shrnutí základních parametrů DC/DC měniče TPS61222DCK. ⁽¹⁾ Cena k 18.5.2012.	17
4.2	Shrnutí základních parametrů použitého mikrokontroléru. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu. ⁽²⁾ Cena k 21.5.2012.	18
4.3	Význam a pořadí jednotlivých vývodů použitého alfanumerického displeje.	20
4.4	Dostupné příkazy senzoru SHT71	23
4.5	Koeficienty pro linearizaci vlhkosti	24
4.6	Koeficienty pro teplotní kompenzaci	24
4.7	Konstanty pro vypočítání rosného bodu.	25
B.1	Seznam použitých součástek v meteorologické stanici	35

Seznam symbolů a zkratek

NTC	Negative Temperature Coefficient. Záporný teplotní koeficient
PTC	Positive Temperature Coefficient. Kladný teplotní koeficient
A/D	Analog to Digital. Analogově číslicový
PWM	Pulse Width Modulation. Pulsně šířková modulace
RH	Relative Humidity. Relativní vlhkost
LED	Light Emitting Diode. Dioda emitující světlo
psi	pound per square inch. libra na palec čtvereční
I/O	Input or Output. Vstupně výstupní
SPI	Serial Peripheral Interface. Sériová periferní sběrnice
I ² C	Inter-integrated circuit. Vnitřně-integrovaný obvod
SSOP	Super Small Outline Packages. Pouzdra velmi malých rozměrů
GND	Ground. Uzemnění
R/W	Read or Write. Čtení nebo zápis
DC/DC	Direct Current to Direct Current. Stejnoseměrný proud na stejnoseměrný proud
RAM	Random Access Memory. Paměť s přímým přístupem
THT	Through Hole Technology. Vývodová technologie
SMD	Surface Mount Technology. Technologie pro povrchovou montáž
ANSI	American National Standards Institute. Americký národní institut pro standardizaci
ACK	Acknowledge. Potvrzení
MSB	Most Significant Byte. Nejvýznamnější byte
LSB	Last Significant Byte. Nejméně významný byte
LSb	Last Significant Bit. Nejméně významný bit
OTP	One Time Programmable. Nepřepisovatelná paměť
DPS	Deska plošných spojů

1

Úvod

Tématem práce je seznámení se s principy senzorů pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Z nabízených senzorů jsou vybrány ty nejvhodnější a následně zkonstruován modul pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Výsledné technické a programové prostředky jsou poté podrobně popsány. Při návrhu zařízení byl kladen důraz na jeho mobilitu a přesnost měření za udržení rozumných cenových nákladů.

Přístroj může většinu času fungovat jako klasická meteostanice. Chceme-li však změřit dané veličiny v jiné místnosti, nebo objektu, lze modul jednoduše přenést. Potřebujeme-li například ve sklepě udržovat konstantně teplotu 10 °C a vlhkost 30 %, můžeme tyto parametry jednou za čas zkontrolovat.

Přesnost naměřených hodnot značně zkvalitňuje výsledné zařízení.

Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na jednoduchém dvouřádkovém displeji.

2

Druhy a fyzikální principy senzorů

2.1 Senzory pro měření teploty

Teplota je definována jako charakteristika tepelného stavu hmoty. Je základní fyzikální veličinou soustavy SI s jednotkou kelvin [K] a vedlejší jednotkou stupeň Celsia [°C] definovaný vztahem

$$\vartheta = T - T_0 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.1)$$

kde ϑ – výsledná teplota ve [°C], T – teplota v [K], $T_0 = 273.15$ K.

Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly, ke které se lze přiblížit, ale nelze ji dosáhnout. Tato teplota odpovídá 0 K. Teplota se dá měřit mnoha způsoby. Dále jsou uvedeny nejpoužívanější druhy senzorů s elektrickým výstupem.

2.1.1 Kovové odporové senzory teploty

Odporové senzory teploty patří mezi dotykové senzory. To znamená, že je senzor v přímém dotyku s měřeným prostředím - médiem. Atomy kovu s rostoucí teplotou zvyšují amplitudy svých kmitů a kladou tak větší odpor procházejícím elektronům. S rostoucí teplotou se tedy odpor zvyšuje. Pro rozsah teplot od 0 °C do 100 °C lze závislost vyjádřit přibližným vztahem

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad [\Omega] \quad (2.2)$$

kde R_t – odpor v [Ω] při t ve [°C], R_0 – odpor v [Ω] při $t = 0$ °C, α – teplotní součinitel odporu v [1/K].

Mezi nejběžnější odporové senzory patří platinový s odporem 100 Ω označovaný jako PT 100. Platinové snímače se vyznačují dobrou linearitou, chemickou netečností, dlouhodobou fyzikální i chemickou stálostí a vysokým teplotním rozsahem (−200 °C až 850 °C). Dále se používá také nikl, který má oproti platině přibližně o polovinu větší α a z toho vyplývající přesnost, ale také podstatně větší nelinearitu, nižší teplotní rozsah (−60 °C až 180 °C) a menší dlouhodobou stálost.

Senzory mohou být zhotoveny ze stočeného drátku zataveného do keramického pouzdra, nebo navinutého na keramické, či slíkové tělísko. Mohou mít také formu kovové vrstvy napařené na korundové destičce.

2.1.2 Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové senzory teploty podobně jako kovové využívají závislosti odporu na teplotě. Narozdíl od kovů je ale princip vodivosti u polovodičů odlišný, a proto jsou jiné i vlastnosti těchto sensorů. Při zvyšování teploty se elektrony snadněji dostávají přes zakázaný pás do pásu vodivostního, ve vodiči se tak zvyšuje koncentrace volných elektronů, které se účastní vedení proudu. Zvyšuje se tedy vodivost materiálu. U klasických polovodičových součástek se snažíme tento jev minimalizovat, jelikož je nežádoucí. U termistorů se ho naopak snažíme vhodnou technologií a složením polovodiče zvýraznit. Výhodou těchto sensorů je velká změna odporu vlivem teploty a malé rozměry, naopak velkou nevýhodou je vysoká nelinearita a časová nestálost vlastností, které se snižují tzv. umělým vystárnutím čidel.

Mezi nejčastější patří amorfnní a polykrystalické polovodičové senzory, které se označují zkratkou termistor. Ve většině případů jde o NTC termistor, který má zápornou hodnotu teplotního součinitele odporu. To znamená, že se u něj vlivem zvyšující se teploty odpor snižuje. Závislost odporu termistoru na teplotě je silně nelineární a lze ji vyjádřit přibližným vztahem

$$R = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})} \quad [\Omega] \quad (2.3)$$

kde R_0 – odpor v $[\Omega]$ při teplotě T_0 v $[K]$, R – odpor termistoru v $[\Omega]$ při teplotě T v $[K]$, B – konstanta, jejíž hodnota se pohybuje v rozsahu od $\langle 1500, 7000 \rangle$ $[K]$, kterou lze určit z katalogu, nebo ze vztahu

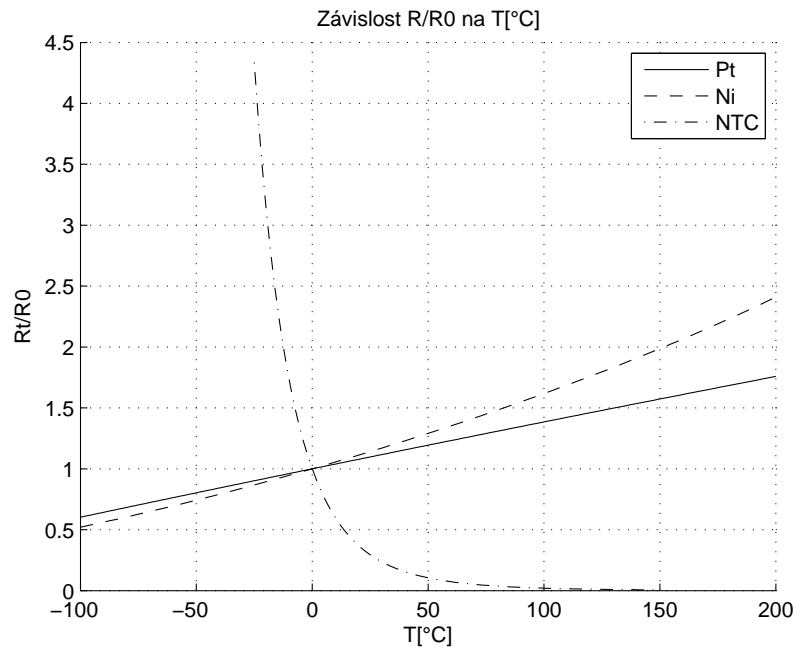
$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad [K] \quad (2.4)$$

kde R_1 – odpor termistoru v $[\Omega]$ při teplotě T_1 v $[K]$, R_2 – odpor termistoru v $[\Omega]$ při teplotě T_2 v $[K]$.

Průběh měřicí charakteristiky NTC termistoru ve srovnání s kovovými odporovými senzory je znázorněn na obr. 2.1.

Existují také PTC termistory, nazývané pozistory, u kterých odpor se zvyšováním teploty mírně klesá, ale po překročení tzv. Curieovy teploty náhle prudce naroste až o několik řádů. Jsou využívány spíše k signalizaci překročení určité teploty a příliš se nehodí ke spojitému měření. Používají se například v elektromotorech k signalizaci překročení dovolené teploty, kde jsou zabudované přímo do vinutí.

Kromě polykrystalických a amorfnních sensorů existují i senzory monokrystalické, které lze vyrobit z křemíku, germania nebo india, v praxi se však setkáváme jen se senzory křemíkovými. Pro výrobu křemíkových sensorů se využívá nevlastního polovodiče typu N,



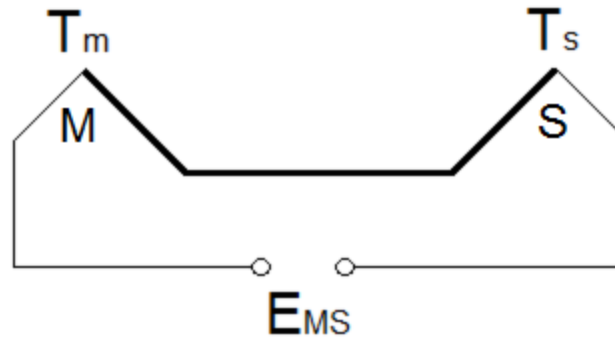
Obr. 2.1: Závislost poměru odporů R_t/R_0 na teplotě T ve $^\circ\text{C}$ u teplotních senzorů (Pt – platinový odporový senzor; Ni – niklový odporový senzor; NTC – termistory se záporným teplotním součinitelem odporu)

tedy s převažující elektronovou vodivostí. S rostoucí teplotou se nosiče náboje rozptýlí na krystalové mřížce polovodiče a dochází k zmenšování pohyblivosti těchto nosičů a vodivost polovodiče se snižuje. Tyto senzory mají kladný součinitel teploty podobně jako PTC termistory, mají však lepší linearitu, a proto se také často používají jako náhrada dražších platinových senzorů. Rozsah použití je obvykle pro teploty od $-50\text{ }^\circ\text{C}$ do $150\text{ }^\circ\text{C}$.

2.1.3 Termoelektrické senzory teploty - termočlánky

Jsou založeny na termoelektrickém jevu. Je to vznik napětí, který nastává při teplotních rozdílech mezi dvěma rozdílnými kovy nebo polovodiči. Je tedy přímou přeměnou rozdílu teplot na elektrické napětí, které je v řádech $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Míru tohoto jevu udává Seebeckův součinitel, který nabývá kladné, nebo záporné hodnoty. Jestliže oba konce uzavřeme a vytvoříme smyčku, bude termočlánkem procházet proud. Jeho energetická účinnost a výkon budou ale velmi malé. Pro úzký teplotní rozdíl lze zanedbat poměrně velkou nelinearitu výstupní charakteristiky.

Termočlánek se používá pro měření teplotních rozdílů, protože je ve své podstatě diferenčním měřidlem. Ze srovnávacího spoje se tak stane také spoj měřící. Výsledné napětí termočlánku závisí na rozdílu teplot obou spojů. Tímto způsobem se eliminuje chyba, která je u jiných metod způsobena odečítáním blízkých hodnot. Pro zvýšení citlivosti se používá sériové zapojení několika termočlánků. Čím více termočlánků je v sérii, tolikrát větší napětí se získá a měření je tak přesnější. Takový termočlánek se nazývá sériový nebo

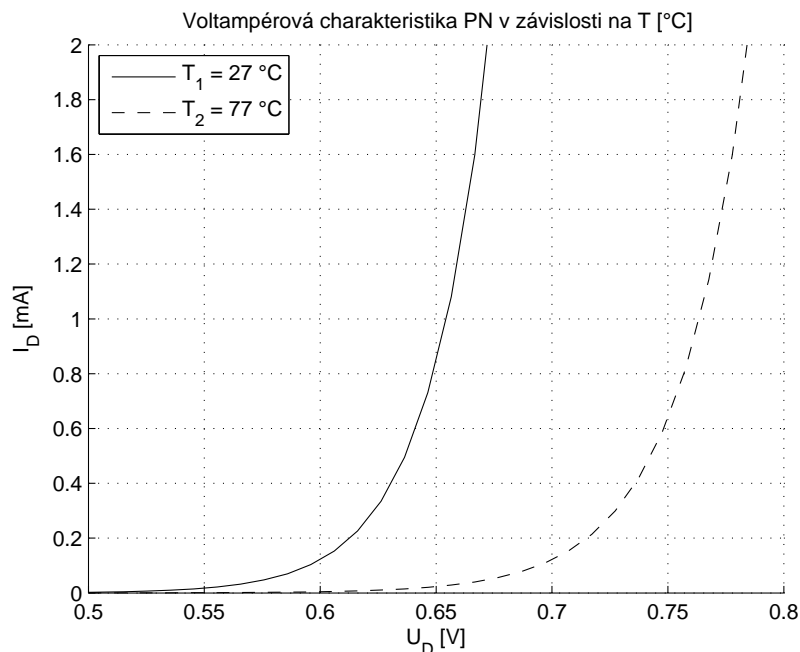


Obr. 2.2: Základní zapojení termočlánku ze dvou vodičů zhotovených z různých materiálů s rozdílnými hodnotami termoelektrického součinitele (M – měřící spoj, S – srovnávací spoj, E_{MS} – termoelektrické napětí ve [V], je závislé na rozdílu teplot $T_M - T_S$, T_M – teplota měřícího spoje v [K], T_S – teplota srovnávacího spoje v [K])

násobný. Základní schéma termočlánku je na obr. 2.2

2.1.4 PN senzory teploty

Principem PN senzorů teploty je závislost napětí, vytvořeném na PN přechodu v propustném směru, na teplotě. Používají se diody nebo tranzistory, u kterých se využívá přechodu báze - emitor. Princip PN senzoru je uveden na obr. 2.3, který znázorňuje odlišný úbytek napětí na PN přechodu vlivem teploty.



Obr. 2.3: Princip PN senzoru teploty (U_D – napětí na PN přechodu v propustném směru, I_D – proud na PN přechodu v propustném směru, T – teplota PN přechodu ve $^\circ\text{C}$)

2.2 Senzory pro měření vlhkosti

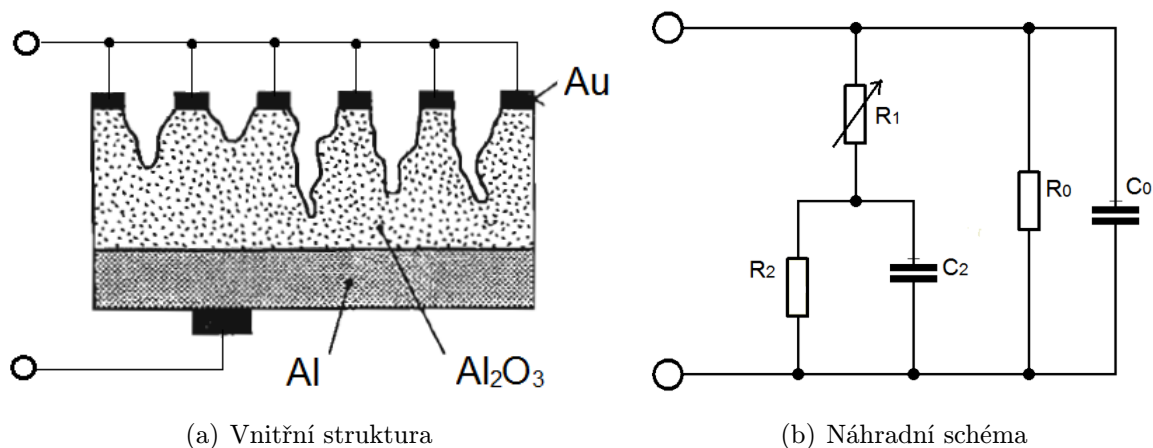
Vzdušná vlhkost je jednoduše směs suchého vzduchu a vodních par. Tato směs může být homogenní nebo heterogenní. Jako heterogenní směs označujeme vlhký vzduch v případě, kdy je voda obsažena ve vzduchu ve zkondenzované podobě - vodních kapičkách nebo krystalcích ledu. Některé měřicí metody jsou založeny na této separaci vody a vzduchu. Pro měření se nejdříve navodí takové podmínky, aby voda začala separovat. Poté se změní množství vody a vzduchu zvlášť. Existují však i metody pro měření homogenní směsi bez nutnosti separace, které bývají rychlejší a méně náročné. Dále jsou uvedeny základní typy senzorů pro měření vlhkosti.

Z teploty a relativní vlhkosti vzduchu se dá vypočítat rosný bod. Rosný bod je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100 %). Jestliže teplota vzduchu klesne pod tento bod, začne vzdušná vlhkost kondenzovat. Se zvyšující se relativní vlhkostí stoupá i teplota rosného bodu.

2.2.1 Odporové a kapacitní senzory vlhkosti

Odporové a kapacitní senzory vlhkosti jsou založeny na změně impedance materiálu vlivem vzdušné vlhkosti. Podle toho, která složka impedance materiálu převládá, dělíme tyto senzory na odporové a kapacitní.

Mezi odporové patří například senzor Al_2O_3 na obr. 2.4. Na hliníkové elektrodě je několik μm tenká vrstva oxidu Al_2O_3 . Tato vrstva je překryta ultra tenkou vrstvičkou zlata, která propouští vzdušnou vlhkost a vytváří druhou elektrodu. Impedance senzoru závisí na proměnné hodnotě R_1 na obr. 2.4 b. Čím více vody se nahromadí v porézním materiálu, tím odpor mezi dvěma elektrodami klesá.



Obr. 2.4: Odporový senzor vlhkosti (R_0 – základní svodový odpor mezi elektrodami, C_0 – základní svodová kapacita mezi elektrodami, R_2 – odpor mezi dny pórů a Al elektrodou, C_2 – kapacita mezi dny pórů a Al elektrodou, R_1 – odpor stěny pórů mezi Au elektrodou a dnem pórů) [Převzato z [1]]

Kapacitní senzory jsou obvykle založeny na změně kapacity kondenzátoru, u kterého

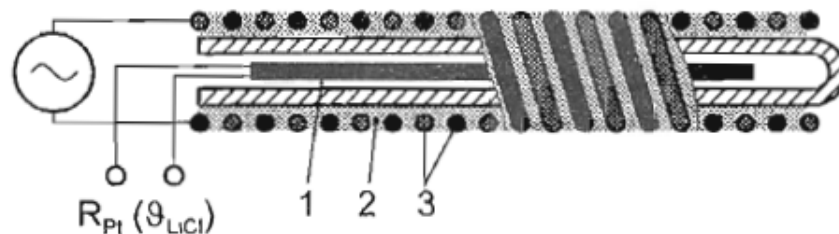
je použito dielektrikum z hydroskopického materiálu, obvykle polymeru. Kondenzátor je vyroben tak, aby bylo umožněno bezproblémové pronikání vlhkosti z okolního vzduchu do polymeru. Se změnou vlhkosti se mění elektrické vlastnosti polymeru, který je na změnu vlhkosti velmi citlivý. To má vliv na kapacitu kondenzátoru, která je funkcí vzdušné vlhkosti.

2.2.2 Absorpční LiCl elektrolytické senzory

Princip LiCl senzoru je založen na termodynamickém jevu. Ten říká, že parciální tlak vodní páry nad vodním roztokem solí je vždy menší než nad čistou vodou při stejné teplotě.

Senzor se skládá z nevodivé keramické trubičky, na které je nasazena tkanina. Tkani-
nou prochází dvojice drátků navinutých rovnoběžně na trubičku a je napuštěna solným
roztokem LiCl. Drátky jsou připojeny ke střídavému proudu, který svým průchodem za-
hřívá elektrolyt napuštěný ve tkanině. Důsledkem zvýšené teploty se z elektrolytu odpařuje
voda, zvyšuje se tím jeho koncentrace a zmenšuje se jeho elektrická vodivost. Začne klesat
proud a tím i teplota elektrolytu. S klesající teplotou začne tkanina naopak vzdušnou vlh-
kost absorbovat, tím se opět vodivost začne zvyšovat. Roste tedy proud a s ním i teplota.
Rovnovážný stav vody obsažené v elektrolytu závisí na teplotě elektrolytu, která je pak
funkcí parciálního tlaku vodních par obsažených v okolním vzduchu. Uspořádání senzoru
je vidět na obr. 2.5.

Teplota elektrolytu se měří platinovým senzorem zasunutým do trubičky.



Obr. 2.5: Uspořádání LiCl vlhkostního senzoru (1 – platinový senzor, 2 – tkanina, 3 – navinuté drátky) |Převzato z [1]|

2.2.3 Psychrometry

K výpočtu vlhkosti vzduchu se u psychrometru využívá měření parciálního tlaku vodní páry. Parciální tlak se stanovuje ze dvou senzorů teploty stejné konstrukce. Jeden ze senzorů (tzv. suchý senzor) nemá žádnou úpravu a měří skutečnou teplotu vzduchu t . Druhý senzor (tzv. mokrý senzor) je obalený textilií nazývanou punčoška, která je neustále zvlhčována vzlínající vodou z pomocné nádoby. Odpařováním vody z mokrého senzoru se odebírá výparné teplo z jeho okolí, což způsobuje pokles teploty mokrého senzoru na

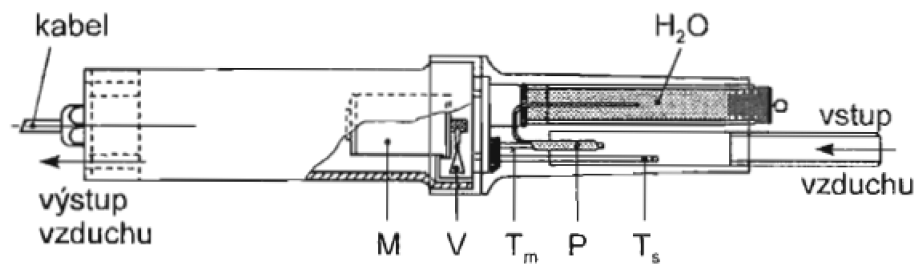
hodnotu t_m . Čím menší je relativní vlhkost vzduchu, tím rychleji se voda z mokrého senzoru odpařuje a zvyšuje se tzv. psychrometrický rozdíl teplot ($t - t_m$). Platí vztah

$$e(t) = e_w(t_m) - A \cdot p(t - t_m) \quad [Pa] \quad (2.5)$$

kde $e(t)$ – parciální tlak vodní páry v [Pa] při teplotě t ve [°C], $e_w(t_m)$ – tlak syté vodní páry v [Pa] při teplotě t_m ve [°C], A – psychrometrický součinitel v [K⁻¹], $(t - t_m)$ – psychrometrický rozdíl teplot ve [°C].

Psychrometrický součinitel je pro rychlost proudění vzduchu kolem mokrého senzoru větší než 2,5 ms⁻¹ konstantní – roven hodnotě 6, 56 · 10⁻⁴ [K⁻¹]. Při nižších rychlostech se však výrazně mění. K udržení konstantní rychlosti se používá větráček s elektromotorkem, umožňujícím regulaci otáček. Princip je znázorněn na obr. 2.6.

Přepočítání na relativní vlhkost se u laboratorních psychrometrů provádí pomocí tabulek. U číslicových psychrometrů se k převodu používá zabudovaný mikroprocesor, využívající psychrometrické tabulky zapsané v paměti. Při snížené náročnosti na přesnost se dá k převodu použít empirických vztahů.



Obr. 2.6: Psychrometrický senzor (M – motorek větráčku V, T_m – mokrá senzor teploty, T_s – suchý senzor teploty, P – vlhčená punčoška) [Převzato z [1]]

2.2.4 Vlhkoměry na principu rosného bodu

Senzory využívají snížené odrazivosti světelného paprsku od kovového zrcátka při jeho orosení. Zrcátko odráží paprsek vyzařovaný z LED diody směrem do optického snímače. Při orosení zrcátka se sníží množství odraženého světla. Elektrický obvod tuto změnu vyhodnotí a pomocí regulátoru proudu řídí ochlazování zrcátka Peltierovým chladicím článkem tak, aby se teplota ustálila na hranici orosování, tj. na teplotě rosného bodu. Tato teplota se měří miniaturním odporovým nebo polovodičovým čidlem umístěným těsně pod středem zrcátka. Zrcátko musí být dokonale čisté, aby vlivem nečistot nedocházelo k chybám měření. Čištění zrcátka probíhá automaticky pomocí vzduchových filtrů. Jednou za čas se však musí zrcátko vyčistit ručně. Indikace hraničního znečištění je prováděna pomocí senzorů.

2.3 Senzory pro měření tlaku

Tlak prostředí je definován jako poměr elementu síly působící na element plochy ve směru normály, tj.

$$p = \frac{dF}{dS} \quad [Pa] \quad (2.6)$$

kde dF – element síly v [N], dS – element plochy v [m²].

Další používanou jednotkou je 1 bar = 10⁵ Pa. V zemích, kde se používá angloamerická měrná soustava, tedy například ve Velké Británii a Severní Americe, se často můžeme setkat s jednotkou 1 psi = 6.895 Pa.

Nulový tlak lze naměřit jen v prostoru bez hmoty - absolutním vakuu. Absolutní tlak je tlak měřený od nuly. Atmosférický (barometrický) tlak je pak absolutní statický tlak zemského ovzduší (atmosféry) měřený u zemského povrchu. Jako přetlak a podtlak se označují rozdíly mezi měřeným a atmosférickým tlakem.

Jelikož je vždy možné vystavit působení tlaku známou plochu, lze měření tlaku převést na měření síly. Principy senzorů tlaku a síly jsou si proto velmi podobné. Oba typy senzorů se však mohou zásadně odlišovat svým konstrukčním provedením.

2.3.1 Deformační senzory tlaku

Deformační senzory tlaku jsou v běžné praxi nejrozšířenější. Jejich základem je deformační prvek - tlakoměrný pružný materiál v podobě trubice, membrány, krabice nebo vlnovce. Výchylka deformačního prvku je přímo úměrná působícímu tlaku. Vhodnou volbou tvaru, rozměru a dalších parametrů lze dosáhnout funkční lineární závislosti. Podle použitého deformačního členu lze senzory rozdělit do čtyř základních skupin.

Trubicové deformační senzory tlaku obsahují trubici nekruhového, většinou oválného průřezu, stočenou do kruhového oblouku, nebo do spirály o několika závitěch. Vlivem přetlaku se trubice snaží změnit svůj oválný průřez na průřez kruhový a přitom se napřimuje kruhový oblouk. Výchylka konce trubice je převedena na elektrický signál. Nejčastější použití těchto senzorů je v rozsahu od 10³ do 10¹⁰ Pa.

Membránové deformační senzory tlaku používají jako deformační prvky kruhové membrány, které mohou mít různou velikost a tuhost. Membrány převádějí tlak na průhyb svých středů. Mohou být s vlastní tuhostí (např. kovové) a s nevlastní tuhostí (např. pryžové). U membrán s nevlastní tuhostí je charakteristika definována vnější silou dodanou např. stlačenou pružinou, která se opírá o vyztužený střed membrány. Membrány s vlastní tuhostí vyrovnávají účinek tlaku svou pružností. Nejčastěji bývají opatřeny soustřednými vlisy, které zmenšují nelinearitu a odstraňují tzv. lupání membrány při průchodu nulovou polohou. Výhodami membránových tlakoměrů je jejich snadné použití pro měření všech druhů tlaku a spolehlivý převod výchylky středu membrány na elektrický signál. Používají se nejčastěji pro měření tlaku od 10² do 10⁸ Pa.

Krabicové deformační senzory tlaku jsou vytvořeny spojením dvou membrán. Tím se ve srovnání s jednoduchou membránou zdvojnásobí průhyb středů dna krabice. Měřený tlak se přivádí dovnitř krabice. Krabicové tlakoměry jsou vhodné pro měření velmi malých podtlaků blížícím se nule, zejména pak při sériovém řazení několika krabic v tzv. krabicový měch.

Vlnovcové deformační senzory tlaku mají jako hlavní tlakoměrný prvek tenkostěnný kovový měch - vlnovec. Výhodou těchto přístrojů je velká linearita měřící charakteristiky. Deformace vlnovce se přenáší táhlem na ukazatel, nebo se převádí na elektrický signál. Tuhost vlnovce lze snadno zvětšit vložením pružiny. Zvětší se tak měřící rozsah a dojde k posměnění měřící charakteristiky. Díky těmto vlastnostem se vlnovcové tlakoměry často používají v regulační technice.

2.3.2 Kapacitní senzory tlaku

Senzory jsou tvořeny dvěma elektrodami, z nichž jedna je vyrobena z pružné kovové membrány. V důsledku působení měřeného tlaku se membrána vychyluje a mění se šířka vzduchové mezery, tedy i kapacita kondenzátoru tvořeného těmito elektrodami. Výsledná měřící charakteristika má tvar hyperboly, tudíž je značně nelineární. Proto se tento princip používá převážně pro měření tlakové difference u diferenčních kapacitních senzorů.

2.3.3 Piezoelektrické senzory tlaku

Senzory využívají piezoelektrického jevu, tedy že při působení tlaku na materiál s piezoelektrickými vlastnostmi je generován náboj úměrný působícímu tlaku. Membrána na dně senzoru převádí tlakové účinky na deformaci několika v sérii řazených a mechanicky předpjatých piezoelektrických disků. Mechanické předpjetí je podmínka pro lineární měřící charakteristiku senzoru. K výrobě disků se používá především piezokeramika a křemen. Senzory jsou často vybaveny kompenzačním prvkem parazitního působení vibrací.

Piezoelektrický senzor tlaku se vyznačuje malými rozměry. Může pracovat při vysokých teplotách. Některá provedení obsahují vzduchové nebo kapalinové chlazení. V pouzdru je také zabudován impedační převodník, takže lze vést výstupní signál běžným koaxiálním kabelem bez rušivých účinků případné změny jeho kapacity. Piezoelektrické senzory tlaku jsou vhodné zejména pro dynamická měření tlaků např. ve spalovacích motorech.

2.3.4 Optoelektronické senzory tlaku

Tyto senzory využívají pro svou funkci vlastností světla. Využívá se odrazu světelného toku od membrány. Jako zdroj světla se používá světelná emisní dioda připojená na optické vlákno. Druhý konec optického vlákna je umístěn v definované vzdálenosti tak, aby se světelný tok odrazil od membrány zpět do optického vlákna. S různým průhybem membrány se mění množství odraženého světla zpět do optického vlákna, které je na

druhém konci převáděno fotodiodou na elektrický signál. Senzory se vyznačují extrémně malými rozměry a mohou pracovat i v prostředích s velkým rušením elektromagnetickým polem. Dají se zkonstruovat ve vysoké citlivosti pro měření zvukových a ultrazvukových signálů.

2.4 Inteligentní senzory

Inteligentní senzory se obecně skládají z několika bloků integrovaných do jednoho pouzdra, které zajišťují zpracování, analýzu a unifikaci signálu. Obvykle obsahují analogové čidlo, měřicí obvod a zesilovač, obvody pro zpracování signálu, A/D převodník, mikrořadič, kalibrační paměť a jeden, či více registrů.

Senzor změří teplotu pomocí analogového čidla jedním z dříve uvedených způsobů. Změřený signál zesílí a zpracuje, převede změřenou hodnotu pomocí A/D převodníku do digitální podoby a uloží jí do registru. V registru je naměřená hodnota dočasně uchována, dokud není přečtena např. pomocí mikrokontroléru. Ke komunikaci s inteligentním senzorem se většinou používá jedno ze standardně užívaných rozhraní, nebo rozhraní upravená výrobcem k obrazu svému. Někdy výrobce navrhne své vlastní zcela jedinečné, speciálně navržené rozhraní. Kalibrační paměť bývá nepřepisovatelná a jsou v ní uloženy kalibrační koeficienty sloužící k autokalibraci senzoru. Tím uživateli odpadá pracný, mnohdy na technické vybavení a podmínky náročný, proces kalibrace senzoru. Do některých inteligentních senzorů výrobci integrují i několik užitečných funkcí, jako je například vyhřívání čidla, režim snížené spotřeby, změna rozlišení měření atd.

3

Výběr nejvhodnějších senzorů

Při výběru nejvhodnějších senzorů byl kladen důraz hlavně na přesnost měření a cenu. Jelikož je měřicí modul realizovaný jako bateriově napájený, byla při výběru důležitá také spotřeba senzoru a (za předpokladu použití dvou sériově řazených alkalických článků) rozsah napájecího napětí ideálně 3 V a méně. Vybíráno bylo převážně mezi moderními inteligentními senzory, které jsou sice poněkud dražší, ale cenu bohatě vykompenzují svými vlastnostmi a funkcemi. S jejich výstupy se také snáze pracuje při použití mikrokontroléru, který je použit k řízení výrobku.

3.1 Výběr teplotního a vlhkostního senzoru

Měření teploty ovzduší patří mezi základní vlastnosti meteostanice. Snahou je dosáhnout jejího co nejpřesnějšího měření, čímž se zvýší výsledná kvalita meteostanice. Na českém trhu s elektronickými součástkami je nabízena celá řada teplotních senzorů. Při výběru byly uvažovány jen senzory s minimální přesností ± 1 °C. Teplotní rozsah senzoru musel minimálně odpovídat přirozeně dosažitelným vzdušným teplotám v našem podnebném pásmu (-30 až 50 °C). Nebylo účelem konstruovat meteorologickou stanici pro měření extrémních teplot. Tento požadavek splňovala většina inteligentních teplotních senzorů. Pro porovnání byly vybrány čtyři senzory a jejich parametry uvedeny v tab. 3.1.

Dalším důležitým prvkem je sensor relativní vlhkosti vzduchu. Těchto senzorů se na českém trhu objevuje o poznání méně než senzorů teploty. Jejich cena je také značně vyšší. Při výběru byl požadován rozsah měření co nejvíce se blížící rozsahu maximálnímu, tedy $0 - 100$ % RH. Nepřesnost měření pak maximálně ± 5 % RH. Po zavrnutí snímačů, které nevyhovovaly požadavkům, se výběr zúžil na čtyři vhodné senzory. Jejich parametry jsou porovnány v tab. 3.2.

Pro měření teploty a vlhkosti byl po porovnání všech uvedených parametrů vybrán inteligentní sensor SHT7x od firmy Sensirion. Tento sensor je k dispozici jak v THT (SHT71), tak v SMD verzi (SHT11). Vybrána byla vývodová verze, kvůli snazšímu osazení na výslednou desku plošných spojů (viz obr. 3.1).

SHT71 je kombinovaný sensor teploty a relativní vlhkosti, využívající technologii

Označení	DS18B20	SMT160-30-92	LM35CZ	SHT71
Výrobce	Maxim	Smartec	National Semi.	Sensirion
Napájení	3 – 5,5 V	4,75 – 7 V	4 – 30 V	2,4 – 5,5 V
Spotřeba ⁽¹⁾	1,5 mA ($1\mu A$)	$200\mu A(-)$	$60\mu A$	1 mA ($1,5\mu A$)
Měř. rozsah	-55 až +125 °C	-45 až +130 °C	-55 až +150 °C	-40 až +124 °C
Přesnost	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,7$ °C	$\pm 0,5$ °C	$\pm 0,4$ °C
Výstup	1 – Wire [®]	PWM	napěťový	digitální
Cena ⁽²⁾	54,8 Kč	91 Kč	159 Kč	540 Kč

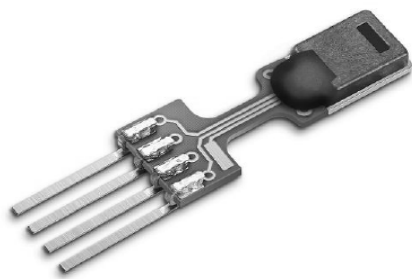
Tab. 3.1: Porovnání parametrů vybraných senzorů teploty. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5. 5. 2012.

Označení	HIH-4000-004	808H5V5	SHT7x	2381 691
Výrobce	Honeywell	Sencera	Sensirion	Vishay
Napájení	4 – 5,8 V	5 V	2,4 – 5,5 V	max. 15 V
Spotřeba ⁽¹⁾	0,5 mA (-)	0,5 mA (-)	1 mA ($1,5\mu A$)	–
Měř. rozsah	0 – 100 %	0 – 100 %	0 – 100 %	10 – 90 %
Přesnost	$\pm 3,5$ % RH	± 4 % RH	± 3 % RH	–
Výstup	napěťový	napěťový	digitální	kapacitní
Cena ⁽²⁾	453 Kč	560 Kč	540 Kč	411 Kč

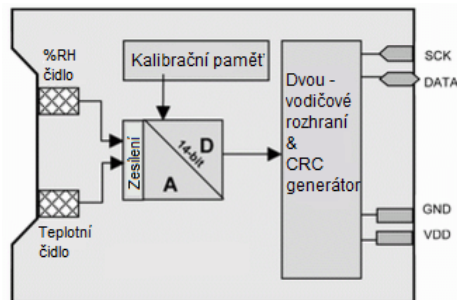
Tab. 3.2: Porovnání parametrů vybraných senzorů vlhkosti. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5.5.2012.

CMOSens[®]. Každý senzor je kalibrován výrobcem ve vlhkostní komoře a kalibrační koeficienty jsou uloženy do kalibrační OTP paměti, která je součástí senzoru. Tyto koeficienty jsou použity interně při každém měření pro přepočítávání údajů ze senzorů. Teplotní senzor je poměrně lehké nakalibrovat, jelikož přesný teploměr lze sehnat poměrně snadno. Poněkud složitější kalibrace je u čidla atmosférického tlaku. Zde je však možné využít pravidelných měření českého hydrometeorologického ústavu. Kalibrace senzoru vlhkosti je ale velmi složitá a v amatérských podmínkách prakticky nemožná. Proto je tato přesná kalibrace senzoru výrobcem obrovskou výhodou a podstatně usnadňuje práci s čidlem.

Senzor dále obsahuje analogový zesilovač sloužící k zesílení signálů od senzorů a 14bitový A/D převodník. Pro komunikaci s čidlem je použita dvou vodičová sběrnice, která je podobná komunikaci po sběrnici I²C. Aplikace senzoru je možná kompletně bez použití externích součástí. Potřebné blokové kondenzátory jsou integrovány přímo v senzoru. Jestliže použitý mikroprocesor obsahuje tzv. pull-up rezistory, připojují se definované vývody senzoru přímo na I/O piny. Senzor disponuje režimem snížené spotřeby, do kterého se uvádí automaticky po měření. Spotřeba se pak sníží až tisíckrát (na $1\mu A$). Dále je do senzoru integrováno několik dalších užitečných funkcí, které jsou podrobně popsány v kap. 4.4.



(a) Použitá vývodová varianta senzoru



(b) Blokové schéma senzoru

Obr. 3.1: Kombinovaný senzor teploty a vlhkosti SHT71 |Převzato z [15]|

Dalšími nespornými výhodami čidla jsou jeho malé rozměry a dlouhodobá teplotní stabilita.

3.2 Výběr tlakového senzoru

Stejně jako vlhkostních senzorů, se tlakových senzorů na českém trhu neobjevuje mnoho. V naprosté většině jde pak o čidla inteligentní, obvykle s napěťovým výstupem.

Při výběru byl brán ohled na měřicí rozsah senzoru, který musel být alespoň od 15 do 103 kPa. Senzor musel také garantovat minimální přesnost alespoň $\pm 3\%$. Teplotní rozsah čidla musel samozřejmě také odpovídat reálně naměřitelným teplotám v našich podnebních podmínkách.

Tlakový senzor je poměrně finančně nákladný a spolu s vlhkostním senzorem představuje největší investici v meteorologické stanici. Parametry porovnávaných senzorů jsou uvedeny v tab. 3.3.

Označení	HSCSAND015PGAAP	MPXH6115A	MPX4250
Výrobce	Honeywell	Freescale	Freescale
Napájení	3 – 3,3 V	2,7 – 3,3 V	4,85 – 5,35 V
Spotřeba ⁽¹⁾	2 mA (-)	8 mA (-)	10 mA (-)
Měř. rozsah	0 – 103 kPa	15 – 115 kPa	0 – 250 kPa
Přesnost	$\pm 1\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 1,4\%$
Výstup	I ² C nebo SPI	napěťový	napěťový
Cena ⁽²⁾	886 Kč	475 Kč	278 Kč

Tab. 3.3: Porovnání parametrů vybraných senzorů tlaku. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu – (režimu snížené spotřeby). ⁽²⁾ Ceny k 5.5.2012.

Po pečlivém zvážení byl vybrán senzor z řady MPXH6115A od firmy Freescale, konkrétně typ MP3H6115A. Jedná se o teplotně kompenzované, kalibrované čidlo v pouzdře SSOP pro měření absolutního tlaku. Senzor obsahuje odporovou síť vytvořenou na po-

4

Podrobný popis konstrukce meteostanice

Meteorologická stanice byla navržena jako jednoduchý bateriově napájený přenosný modul. Díky poměrně malému množství použitých součástek mohl být návrh realizován na jednostranné desce plošných spojů.

Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na dvouřádkovém alfanumerickém displeji, který je umístěn pomocí distančních sloupků a lámací lišty do vyšší úrovně a překrývá tak realizovaný elektrický obvod na desce plošných spojů. Rozměr displeje tedy představuje nejmenší možný rozměr výsledného zařízení a znemožňuje zmenšení návrhu.

V důsledku velké spotřeby alfanumerického displeje v případě použití podsvícení není modul navržen na nepřetržitý provoz. Proud odebíraný z baterií lze jednoduše přerušit pomocí tlačítka s aretací a vypnout tak celý modul.

Dále jsou podrobně popsány vytvořené technické a programové prostředky.

4.1 Napájení

Jak již bylo řečeno, je celý výrobek řešen jako bateriově napájený přenosný modul. Použity jsou dva sériově řazené AA články, o celkovém napětí 3,2 V. K filtrování nelinearit z tohoto zdroje napájení složí dva paralelně řazené kondenzátory. Jeden SMD o kapacitě 100 nF, ale s lepšími vlastnostmi. Druhý je elektrolytický THT s kapacitou 10 μ F, s vlastnostmi podstatně horšími. Jelikož jsou tyto kondenzátory připojeny paralelně, jejich vlastnosti se vzájemně vykompenzují. Dostáváme tedy filtrační kondenzátor s relativně vysokou kapacitou a dobrými vlastnostmi.

Výsledný odběr meteostanice bez použití podsvícení displeje je 13 mA. To odpovídá součtu všech dílčích odběrů použitých součástek. Jestliže uvažujeme kapacitu AA článku 2600 mAh, bude výdrž baterie v průměru 200 hodin (8,3 dne). Účelem není provozovat meteostanici nepřetržitě, ale zapínat ji jen v případě potřeby. Tím se celková výdrž baterie podstatně zvýší.

Nevyužitá plocha na plošném spoji pokrytá mědí byla použita jako společný potenciál uzemnění.

4.1.1 DC/DC měnič

Zvolené napájení je dostačující pro všechny součástky, kromě displeje. Ten potřebuje napájet minimálně 4,5 V. Speciálně pro tuto součástku muselo být tedy napětí zvětšeno pomocí integrovaného DC/DC step-up měniče. Zvolen byl typ TPS61222DCK od firmy Texas Instruments s konstantním výstupním napětím 5 V. Existují i verze, které mají laditelný výstup pomocí napěťového děliče, to je však pro moje řešení nepotřebné. Základní parametry měniče jsou uvedeny v tab. 4.1.

Označení	TPS61222DCK
Výrobce	Texas Instruments
Vstup. napětí	0,7 – 5 V
Výstup. napětí	4,82 – 5,13 V
Min. výstupní proud	200 – 400 mA
Účinnost	až 97 %
Pouzdro	SC-70
Cena⁽¹⁾	56 Kč

Tab. 4.1: Shrnutí základních parametrů DC/DC měniče TPS61222DCK. ⁽¹⁾ Cena k 18.5.2012.

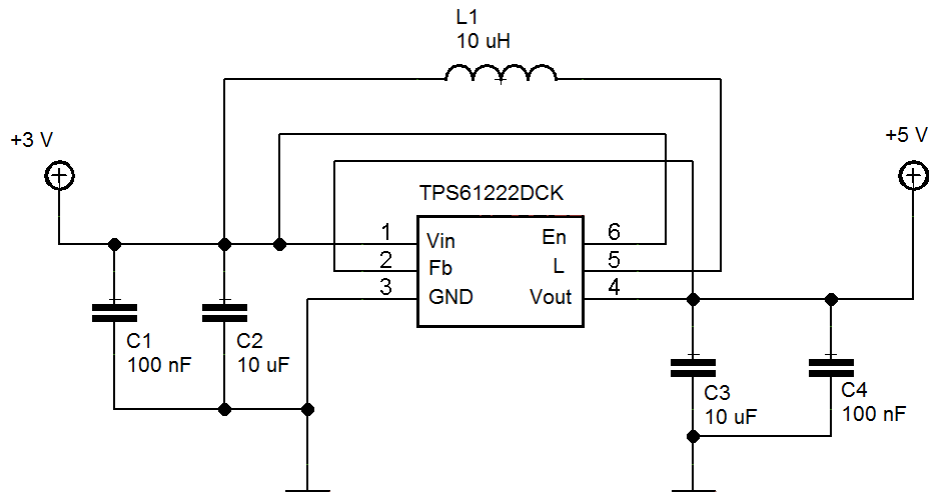
Zvýšení napětí funguje na principu akumulace energie v tlumivce s feromagnetickým jádrem. Doporučeno je použít tlumivku s velikostí 4,7 μ H určenou pro stejnosměrný proud minimálně 200 mA. Použita byla SMD tlumivka v pouzdru 1210 o velikosti 10 μ H určena na proud do 300 mA, jelikož byla vhodná tlumivka o velikosti 4,7 μ H hůře k sehnání.

Dále jsou na vstup a výstup připojeny paralelně k zemi keramické SMD kondenzátory s doporučenou velikostí 10 μ F. Kapacita každého kondenzátoru musí být alespoň poloviční, než je velikost použité tlumivky, což je v mém případě splněno. Schéma zapojení je na obr. 4.1.

4.2 Mikrokontrolér

Řízení celé meteostanice je prováděno pomocí mikrokontroléru. Z velkého množství dostupných mikrokontrolérů byl vybrán typ ATmega8A s jádrem AVR od firmy Atmel, konkrétně jeho vývodová verze v pouzdru PDIP.

ATmega8A je jeden z nejzákladnějších zástupců této řady, jeho parametry (shrnuté v tab. 4.2) však pro řízení meteostanice bohatě dostačují. Tento model je poněkud dražší než základní ATmega8, jelikož se jedná o verzi se sníženou spotřebou, které navíc stačí napájení jen 2.7 V a může být taktován hodinovým signálem o frekvenci 0 – 16 MHz.



Obr. 4.1: Schéma zapojení DC/DC měniče TPS61222DCK (V_{in} – vstupní napětí; Fb – zpětná vazba; GND – uzemnění; V_{out} – výstupní napětí; L – připojení pro tlumivku; En – potvrzení vstupního napětí [1 – povoleno, 0 – zakázáno])

Pro taktování byl nakonec vybrán vnitřní oscilátor obsažený v mikrokontroléru o frekvenci 8 MHz, jehož přesnost je pro dané řešení dostačující. Tato frekvence byla vybrána pomocí tzv. fuse bitů, standardně je totiž oscilátor nastaven na 1 MHz.

Označení	ATmega8A
Výrobce	Atmel
Napájení	2,7 – 5,5 V
Spotřeba ⁽¹⁾	3,6 mA
FLASH paměť	8 kB
EEPROM paměť	512 B
RAM	1024 B
A/D převodníky	6 x 10-bit
Čítače/časovače	1 x 16-bit, 2 x 8-bit
Počet I/O pinů	23
Pouzdro	PDIP
Cena ⁽²⁾	37 Kč

Tab. 4.2: Shrnutí základních parametrů použitého mikrokontroléru. ⁽¹⁾ Spotřeba v aktivním režimu. ⁽²⁾ Cena k 21.5.2012.

V souladu s návrhovými pravidly byly paralelně k zemi a co nejblíže k napájecím pinům mikrokontroléru připojeny SMD blokovací kondenzátory o velikosti 100 nF. Tyto kondenzátory poskytují okamžitý zdroj energie při přechodně zvýšené spotřebě mikrokontroléru.

Napájení analogové části mikrokontroléru je extrémně náchylné na rušení. Proto musí

být toto napájení dodatečně filtrováno jednoduchým reaktančním filtrem. Ve filtru byl použit THT elektrolytický kondenzátor o velikosti $10\ \mu\text{F}$ a SMD tlumivka s velikostí $10\ \mu\text{H}$. Nebylo použito žádné referenční napětí pro analogovou část a pin AREF byl připojen přes kondenzátor na zem.

Na resetovací pin (\overline{RESET}) je připojena konstantně vysoká úroveň napětí. Jen při stisknutí resetovacího tlačítka je proud sveden přes rezistor na zem, na pinu se objeví nízká úroveň a celý mikrokontrolér je tak zresetován.

Mikrokontrolér je na plošném spoji vložen do patice, kvůli snadnému vyjmutí při jeho poškození (například při jeho nechtěném zablokování při programování fuse bitů).

K naprogramování mikrokontroléru byl použit standard ANSI C. Pro tvorbu programu a vygenerování výsledného .hex souboru bylo použito vývojové prostředí AVR Studio 5.0, které spolupracuje s Visual Studiem od firmy Microsoft. AVR Studio je poskytované firmou Atmel po zaregistrování zdarma. Toto prostředí umožňuje provádět simulace chování programu podle použitého mikrokontroléru, kontroluje možné programátorské chyby (například přílišnou velikost programu) a obecně poskytuje užitečnou asistenci při programování. Obsahuje také některé knihovny, které při programování značně usnadňují práci (např. `avr/io.h`, `util/delay.h`, `math.h` atd.).

4.3 Alfanaumerický displej

Pro zobrazení naměřených hodnot byl zvolen dvouřádkový alfanaumerický displej DEM 16217SYH-LY, který obsahuje standardní řadič HD44780.

Displej má celkem 16 vývodů, z toho 5 je určeno k napájení a zbylých 11 ke komunikaci s displejem.

Samotná logika tohoto displeje potřebuje napájení v rozmezí od 2,7 V do 5,5 V. K napájení kontrastu displeje je však potřeba napětí minimálně 4,5 V. Tato hodnota je získána pomocí DC/DC step-up měniče, který byl podrobně popsán v kap. 4.1.1.

Podsvícení displeje je realizováno výrobcem pomocí osmi LED diod. K napájení těchto diod slouží dva samostatné vývody, označené jako LED+ a LED-. Minimální potřebné napájení je 4,2 V. Zatímco proudový odběr samotného displeje bez podsvícení je 0,35 až 0,6 mA, odběr podsvícení je 150 mA. Z toho vyplývá, že je výhodné používat displej jen s nejnütnější intenzitou podsvícení, zaručující čitelnost zobrazovaných hodnot, nebo v prostorech s vlastním zdrojem světla nepoužívat podsvícení vůbec. Tím se životnost baterií podstatně zvýší. K plynulému ladění podsvícení a kontrastu slouží dva potenciometry připojené na odpovídající vývody displeje. Přehled všech vývodů displeje a jejich funkcí je uveden v tab. 4.3.

Řadič obsahuje základní znakovou sadu jejíž kódování odpovídá ASCII tabulce. Jestliže potřebujeme zobrazit znak, který v znakové sadě chybí, můžeme si ho sami nadefinovat. Vlastních znaků však může být maximálně osm. Potřebujeme-li takových znaků více, můžeme je vykreslovat přímo při výpisu, to je ale časově náročné.

K uchování zapsaných dat jsou určeny dvě RAM paměti DDRAM a CGRAM. Do paměti DDRAM je ukládán obsah displeje, zatímco CGRAM slouží k uložení vlastně nedefinovaných znaků.

Displej může pracovat v teplotním rozmezí od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, což splňuje požadované nároky.

Vývod	Označení	Funkce
1	V _{ss}	GND
2	V _{cc}	napájení logiky
3	V ₀	napájení kontrastu
4	RS	instrukce – 0, data – 1
5	R/W	zápis – 0, čtení – 1
6	E	hodinový vstup
7	DB0	data 0
8	DB1	data 1
9	DB2	data 2
10	DB3	data 3
11	DB4	data 4
12	DB5	data 5
13	DB6	data 6
14	DB7	data 7
15	LED+	anoda podsvětlení
16	LED–	katoda podsvětlení

Tab. 4.3: Význam a pořadí jednotlivých vývodů použitého alfanumerického displeje.

4.3.1 Komunikace s alfanumerickým displejem

Komunikovat mezi displejem a mikrokontrolérem lze paralelně 4-bitově (při použití čtyř datových vodičů DB4 – DB7), nebo 8-bitově (při použití osmi datových vodičů DB0 – DB7). V mém případě byla zvolena paralelní 4-bitová komunikace. Použití této možnosti ušetří oproti komunikaci 8-bitové čtyři I/O piny mikrokontroléru. Data nebo instrukce ale musíme rozložit na dvě části a poslat nadvakrát, což je dvojnásobně časově náročné. Nejprve se vyšle horní polovina bytu, potvrdí se kladným pulsem na E a poté dolní polovina, znovu potvrzena druhým pulsem na E.

Jelikož se na displej hodnoty jen zapisují a není potřeba z displeje číst, je vývod R/W trvale uzemněn a displej tak permanentně nastaven do režimu zápisu. Stejně tak jsou uzemněny i nepotřebné datové vývody.

K zahájení komunikace je potřeba displej nejprve zinicilizovat. To se provede postupným nastavováním parametrů displeje pomocí k tomu určených příkazů, které se zapíší v přesně určeném pořadí. Seznam všech příkazů je k nalezení v příloze práce.

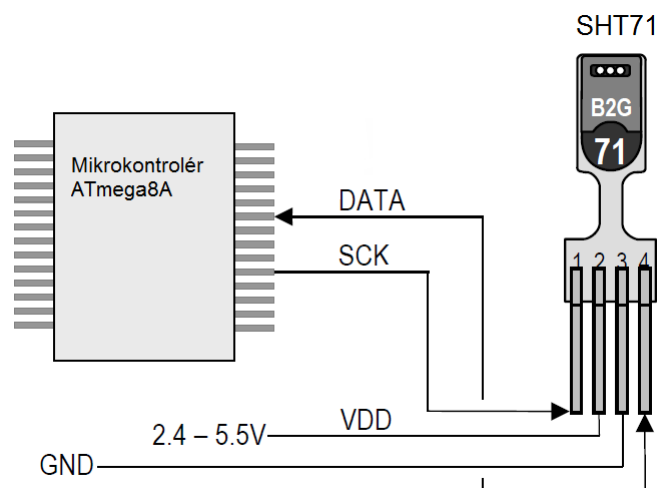
Každý příkaz potřebuje stanovený čas na své správné provedení a ten se liší podle náročnosti příkazu. Nejprve je po zapnutí potřeba počkat minimálně 30 ms na náběh napájení. Poté nastavíme rozlišení displeje a jestli bude displej pracovat v jednořádkovém nebo dvouřádkovém módu. Dále povolíme, nebo zakážeme viditelnost kurzoru a jeho blikání, či pouze statické zobrazení. Následuje příkaz pro vymazání displeje, který je časově náročnější a potřebuje pro své provedení minimálně 1.53 ms. Inicializaci dokončíme nastavením směru posuvu a zda se bude posouvat jen kurzor, nebo zároveň i celý text. Takto zinicializovaný displej je již připraven na práci a můžeme na něj začít zobrazovat požadované znaky.

4.4 Práce se senzorem SHT71

4.4.1 Komunikace se senzorem

Komunikace s čidlem probíhá pomocí datového a hodinového vodiče.

Datový vodič je připojen na pin PD0, na kterém musíme při režimu vstupu (tedy když je odpovídající pin v DDRD registru shozen do nuly pomocí $\text{DDRD} \&= 0xFE$) zapnout pull-up rezistor (nastavením odpovídajícího pinu v PORTD na jedničku – $\text{PORTD} |= 0x01$). Jinak nepotřebuje senzor ke své funkci žádné externí součástky. Zapojení je znázorněno na obr. 4.2

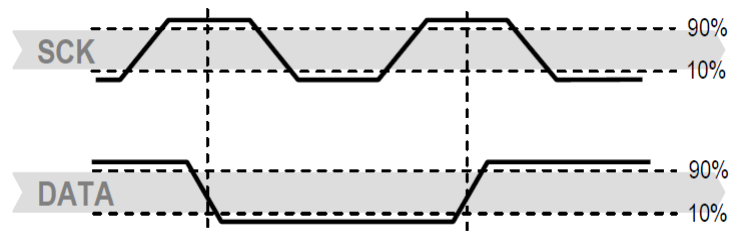


Obr. 4.2: Zjednodušené schéma zapojení senzoru SHT71 (SCK – výstup hodinových impulsů; VDD – napájení; GND – uzemnění; DATA – datový vodič) |Převzato z [15]

Použité rozhraní je podobné sběrnici I²C, má ale pár odlišností, proto musela být komunikace s čidlem nově naprogramována. Výrobce čidla nabízí na svých stránkách již hotové vzorové rutiny ke stažení. Tyto vzorové kódy byly s úpravami použity pro mé řešení.

Komunikaci zahájíme vytvořením tzv. sekvence začátku přenosu. Skládá se ze shoení datového vodiče (dále už jen DATA) do nuly zatímco je hodinový vodič (dále už jen SCK)

v jedničce. Následuje nízký puls na SCK a poté nastavení DATA zpět do jedničky, zatímco je SCK stále v jedničce. Graf sekvence je uveden na obr. 4.3.



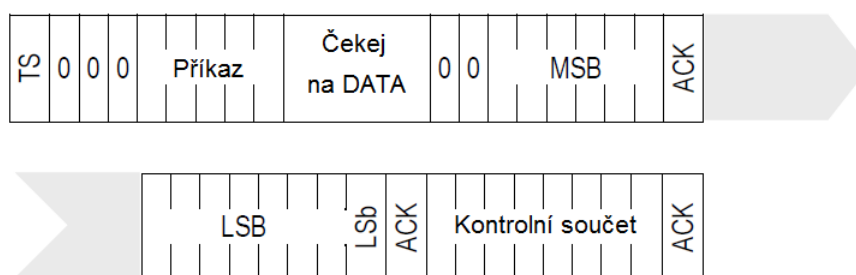
Obr. 4.3: Graf sekvence začátku přenosu. |Převzato z [15]|

Po startovní sekvenci již můžeme zapisovat jeden z příkazů. Příkaz začíná třemi adresními bity (je podporováno jen '000') a poté pěti příkazovými bity. Sensor potvrdí přijetí příkazu shoením DATA do nuly (tzv. ACK bit). Poté začne samotné měření, které trvá v průměru 20/80/320 ms pro 8/12/14-bitové rozlišení měření.

Jakmile je měření hotovo, shodí sensor znovu DATA do nuly. Mikrokontrolér musí počkat na tento signál, jinak nemůže data číst. Naměřená data jsou v senzoru uchována, dokud nejsou přečtena.

Čtou se dva byty (ve směru od MSB k LSB) obsahující naměřená data a poté jeden byte obsahující 8-bitový kontrolní součet. Ten slouží ke kontrole přijatých dat a jejich případné opravě. Každý byte je potvrzen mikrokontrolérem pomocí shoení DATA do nuly (ACK).

Jestliže nechceme používat kontrolní součet a urychlit tak přenos, můžeme ho vynechat přeskočením druhého ACK. Tím je přenos ukončen a čidlo se automaticky uvede do režimu snížené spotřeby, kdy se jeho spotřeba sníží z 1 mA na 1 μ A. Probuzení senzoru provedeme spuštěním sekvence začátku přenosu. Přehled provádění měřicí sekvence je uveden na obr. 4.4



Obr. 4.4: Přehled provedení měřicí sekvence (TS – začátek přenosu, MSB – nejvýznamnější byte, LSB – nejméně významný byte, Lsb – nejméně významný bit) |Převzato z [15]|

Jestliže dojde při komunikaci s čidlem k chybě, je přerušena a nelze ji znovu navázat, je nutné připojení restartovat pomocí k tomu určené sekvence. Restartovací sekvence se provádí následovně. Nastavíme DATA do jedničky a provedeme minimálně devět pulsů

na SCK. Poté musí následovat vložení sekvence začátku přenosu. Tento reset ovlivní jen komunikaci s čidlem, která začne znovu od začátku.

SHT71 nabízí kromě příkazů pro měření teploty a vlhkosti ještě další příkazy. Všechny jsou shrnuty v tab. 4.4.

Senzor se při velmi častém měření začne sám zahřívat. To neblaze ovlivňuje přesnost měření. K udržení hodnoty ohřevu pod 0,1 °C, doporučuje výrobce měřit maximálně po dobu 10 % z celkového času. Z toho vyplývá, že bychom při 12bit rozlišení neměli měřit častěji než jednou za 0,8 s.

Příkaz	Binární kód
Vyhrazený	0000x
Měření teploty	00011
Měření vlhkosti	00101
Čtení ze status registru	00111
Zápis do status registru	00110
Vyhrazený	0101x – 1110x
Měkký reset	11110

Tab. 4.4: Dostupné příkazy senzoru SHT71

4.4.2 Status registr

Do senzoru je integrováno hned několik užitečných funkcí. Funkce se aktivují zapsáním daného osmibitového kódu do status registru. Ze status registru můžeme i číst. To se používá převážně u funkce detekce poklesu napětí na baterii. Na daném bitu se objeví logická '1' když $V_{DD} < 2.47 \text{ V}$. V takovém případě je baterie na hranici vybití a je potřeba ji vyměnit, nebo dobít.

Dále můžeme měnit rozlišení měření. Jsou-li kladeny extrémně velké nároky na rychlost měření, můžeme snížit rozlišení na 8bit pro vlhkost a 12bit pro teplotu. Lze také vypnout přehrávání kalibračních koeficientů z OTP paměti před každým měřením a ušetřit tak cenné milisekundy.

Funkce vyhřívání slouží k účelnému ohřátí čidla o 5 – 10 °C. Můžeme tak zabránit kondenzaci vodní páry na čidle při vysoké vlhkosti prostředí, nebo si ověřit správnou funkci čidla (zapnutím vyhřívání se zvýší teplota a sníží vlhkost, rosný bod zůstane stejný). Použitím se zvýší odběr až na 8 mA. Všechny funkce jsou shrnuty na obr. 4.5.

4.4.3 Převod výstupního signálu ze senzoru na reálné hodnoty

Pro kompenzaci nelineárního výstupu ze senzoru a tedy pro zpřesnění naměřených hodnot, je vhodné použít následující rovnice. Pro zlinearizování výstupu z vlhkostního čidla použijeme rov. 4.1.

Bit	Typ	Popis	Defaultně
7		Rezervován	0
6	R	Příznak vybití baterie "0" pro VDD > 2,47 V "1" pro VDD < 2,47 V	X - žádná defaultní hodnota, bit aktualizován po každém měření
5		Rezervován	0
4		Rezervován	0
3		Pro testování, nepoužívat	0
2	R/W	Vyhřívání	0 - vypnuté
1	R/W	Nahrávání hodnot z OTP	0 - zapnuté
0	R/W	"1" - 8bit vlhkost/ 12bit teplota "0" - 12bit vlhkost/ 14bit teplota	0

Obr. 4.5: Jednotlivé bity status registru a jejich funkce (VDD – napájecí napětí; R – pouze pro čtení; R/W – pro čtení i zápis)

$$RH_{linear} = c1 + c2 \times SO_{RH} + c3 \times SO_{RH}^2 \quad [\%RH] \quad (4.1)$$

kde $c1$ a $c2$ – koeficienty uvedené v tab. 4.5, SO_{RH} – výstup z vlhkostního čidla.

SO_{RH}	$c1$	$c2$	$c3$
12bit	-2,0468	0,0367	$-1,5955E^{-6}$
8bit	-2,0468	0,5872	$-4,0845E^{-4}$

Tab. 4.5: Koeficienty pro linearizaci vlhkosti

Pro teploty které se významněji liší od 25 °C, potřebuje naměřená vlhkosti ještě teplotně kompenzovat. K tomu slouží rov. 4.2.

$$RH_{real} = (T - 25)(t1 + t2 \times SO_{RH}) + RH_{linear} \quad [\%RH] \quad (4.2)$$

kde T – naměřená teplota ve [°C], $t1$ a $t2$ – konstanty uvedené v tab. 4.6, SO_{RH} – výstup z vlhkostního čidla, RH_{linear} – lineárně kompenzovaný výstup z vlhkostního čidla v [%].

SO_{RH}	$t1$	$t2$
12bit	0,01	0,00008
8bit	0,01	0,00128

Tab. 4.6: Koeficienty pro teplotní kompenzaci

4.4.4 Výpočet rosného bodu

Teplota rosného bodu není měřena senzorem přímo, ale je vypočítána z naměřené teploty a vlhkosti pomocí vzorce 4.3.

$$T_d(RH, T) = T_n \frac{\ln(\frac{RH}{100}) + \frac{mT}{T_n+T}}{m - \ln(\frac{RH}{100}) - \frac{mT}{T_n+T}} \quad [^{\circ}C] \quad (4.3)$$

kde RH – naměřená relativní vlhkost v [%], T – naměřená teplota ve [$^{\circ}C$], T_n a m – konstanty uvedené v tab. 4.7.

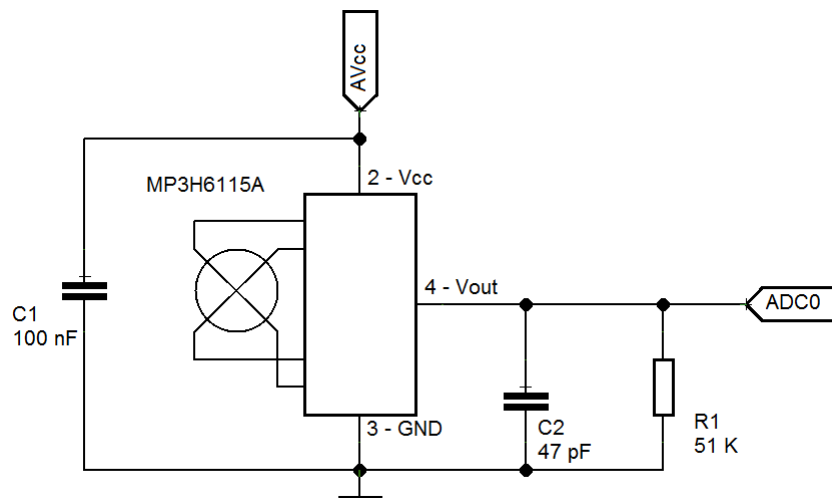
Teplotní rozsah	T_n	m
0 – 50 $^{\circ}C$	243,12	17,62
-40 – 0 $^{\circ}C$	272,62	22,46

Tab. 4.7: Konstanty pro vypočítání rosného bodu.

4.5 Práce s tlakovým senzorem MP3H6115A

Tlakový senzor udává informaci o naměřeném tlaku pomocí velikosti výstupního napětí. To se mění od 0,12 (15 kPa) do 2,8 V (115 kPa). Kvůli tomu musí být senzor napájen poměrně přesným napětím, které se může měnit jen v rozsahu od 2,7 do 3,3 V. Napětí odlišné od ideálních 3 V se podílí na chybě měření. Spotřeba senzoru (od 4 do 8 mA) se výrazně podílí na celkové spotřebě meteostanice.

Schéma zapojení doporučené v katalogu výrobce je na obr. 4.6.



Obr. 4.6: Schéma zapojení tlakového senzoru MP3H6115A podle doporučení výrobce (AVcc – napájení; Vout – napěťový výstup z čidla; GND – uzemnění čidla)

Napěťový výstup ze senzoru je zpracováván pomocí A/D převodníku, který je integrován v použitém mikrokontroléru.

4.5.1 Použití A/D převodníku

Použitý A/D převodník má rozlišení 10 bitů. K nastavení převodníku slouží registry ADMUX a ADCSRA.

V registru ADMUX bylo 7. a 6. bitem zvoleno AVcc, tedy napětí které napájí analogovou část mikrokontroléru, jako referenční napětí. Pomocí 5. bitu bylo zvoleno zarovnání výstupních bitů doprava. 4. bit se nevyužívá a poslední tři bity slouží k výběru převodníku. V mém případě byl vybrán převodník ADC0.

V registru ADCSRA byla 7. bitem povolena práce A/D převodníku. Nastavením 6. bitu se zahajuje přenos. Pomocí 5. bitu byl zakázán tzv. Free Running mód, A/D převodník tak nebude měřit pořád dokola, ale jen když mu k tomu dámě pokyn pomocí zápisu do již zmíněného 6. bitu. Ukončení převodu je signalizováno mikrokontrolérem nastavením logické jedničky do 4. bitu. Nastavením 3. bitu se povoluje přerušování, to však není v mém případě využíváno. Nakonec byl posledními třemi bity zvolen dělič kmitočtu na 1:64, jelikož A/D převodník potřebuje ke své práci ideálně kmitočet v rozmezí 50 – 200 kHz a byl použit interní oscilátor o frekvenci 8 MHz. Výsledný kmitočet určený pro převodník tak bude 125 kHz ($\frac{8000}{64} = 125$).

Délka trvání převodu se pohybuje v rozmezí 15 – 260 us. Výsledek je uložen do registru ADCW, který slučuje registry ADCH a ADCL. 10-bitová výsledná hodnota je následně přepočtená na reálné napětí pomocí vztahu 4.4.

$$V_{IN} = \frac{ADC \times V_{REF}}{1024} \quad [V] \quad (4.4)$$

kde V_{REF} – hodnota použitého referenčního napětí ve [V], ADC – hodnota přečtená z registru ADCW.

Z tohoto vztahu logicky vyplývá, že pomocí A/D převodníku nemůžeme převádět napětí vyšší, než je velikost napětí referenčního.

4.5.2 Převod napětí na atmosférický tlak

Výstupní napětí z tlakového senzoru má tvar lineární funkce. Můžeme ho proto jednoduše převést na absolutní tlak pomocí vztahu 4.5.

$$p_{absolut} = \frac{V_{OUT} \pm Chyba}{0,009V_s} + \frac{0,095}{0,009} \quad [kPa] \quad (4.5)$$

kde V_{OUT} – výstupní napětí ze senzoru ve [V], V_s – napájecí napětí ve [V], $Chyba$ – chyba měření v rozmezí od -1,5 do 1.5 kPa.

Atmosférický tlak je tlak absolutní vztahovaný k nadmořské výšce. Pro přepočtení použijeme následující vztah 4.6.

$$p_{atmosferic} = p_{absolut} \left(\frac{T}{T + 0,0065h} \right)^{-5,255} \quad [kPa] \quad (4.6)$$

kde $p_{absolut}$ – absolutní tlak v [Pa], T – teplota vzduchu v [K], h – nadmořská výška měřeného místa v [m].

Výsledný tlak už jen převedeme na jednotku hPa, která je v meteorologii standardní jednotkou pro měření tlaku.

4.6 Závěrečné osazení DPS

Pro osazení DPS byla použita mikropájka s tenkým hrotem. U THT součástek bylo obtížnější osazení senzoru SHT71, který má rozteč vývodů pouhých 1,27 mm. Zbytek THT součástek šel osadit bez problémů.

Všechny SMD kondenzátory a odpory byly použity v pouzdru 0805. Tlumivky pak v pouzdru 1210. Osazení těchto pouzder není složité a lze dosáhnout jejich precizního osazení i v amatérských podmínkách.

Jediným problémem bylo osazení DC/DC měniče v pouzdru SC-70. Vývody této součástky se již nedaly pájet jednotlivě. Proto byl zvolen následující postup. Nejprve byly na desku zapájeny všechny vývody jako celek, slity dohromady větším množstvím cínu a tedy zkratovány. Následně bylo použito odsávací lanko, které je složeno z množství tenkých měděných drátků. Zahřátím lanka a jeho přiložením k vývodům byl odsán cín na nežádoucích místech, tzn. mezi vývody. Tento postup se osvědčil a měnič funguje bez problémů.

5

Závěr

Cílem této práce bylo sestavit jednoduchou meteorologickou stanicí pro měření teploty, vlhkosti a tlaku. Po sestavení funguje meteostanice bez problémů a naměřené hodnoty odpovídají v daných tolerancích hodnotám skutečným.

Jelikož se jednalo o mojí první praktickou konstrukci výrobku, neobešla se realizace bez drobných návrhářských chyb. Například kombinované teplotní a vlhkostní čidlo bylo umístěno bezprostředně vedle mikrokontroléru. To je samo o sobě podle návrhářských pravidel v pořádku. Mikrokontrolér se však po nějaké době začne nevyhnutelně zahřívat a to nepatrně ovlivňuje měření čidla. Proto muselo být čidlo ohnuto a neprakticky přesahuje ven z krabičky. Umístění mělo být zvoleno na místě, kde nebude čidlo ovlivňováno žádnou ze součástí.

Dále by bylo vhodné, aby si uživatel zapínal podsvícení displeje sám a ten tak nesvítil zbytečně. To by šlo realizovat například pomocí mikrotlačítka, které by zapívalo podsvícení na nezbytně nutnou dobu potřebnou k přečtení hodnot (třeba po dobu 5 sekund). Tím by se podstatně zvýšila životnost baterií.

Meteostanice by šla doplnit o spoustu dalších užitečných funkcí. Například ukládat naměřené hodnoty do paměti mikrokontroléru a poté je pomocí převodníku USB-to-Serial nahrát do osobního počítače, kde by mohly být použitím vhodného programu zpracovávány.

Také by šlo rozdělit meteostanici na dva nezávislé moduly.

Jeden z nich by byl modul zobrazovací a sloužil by čistě ke zpracování hodnot. Napájen by byl pomocí adaptéru ze sítě. To by umožnilo použít velký grafický displej s vytvořeným uživatelským menu, na kterém by byly naměřené hodnoty uživatelem přehledně zpracovávány, popřípadě vykreslovány do grafů.

Druhý modul by byl určený jen pro měření veličin. Komunikace se zobrazovacím modulem by probíhala pomocí radiového signálu. Tento modul by byl napájen bateriově a mohl by tak být libovolně umístěn (např. venku na zahradě).

Literatura

- [1] Ďaďo, S., Kreidl, M. *Senzory a měřící obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [2] Hrabovský, M., Juránek, A. *EAGLE pro začátečníky*. Praha: Nakladatelství BEN, 2005. ISBN 80-7300-177-2.
- [3] Plíva, Z. *EAGLE prakticky* Praha: Nakladatelství BEN, 2010. ISBN 978-80-7300-252-7
- [4] Záhlava, V. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů* Praha: Nakladatelství BEN, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4
- [5] Holain, M. Dálkově řízená meteostanice. *Praktická elektronika* 2010, **2**, 10-15. ISSN 1211-328X
- [6] Václavík, R. Vlhkoměr a teploměr bez kalibrace. *Praktická elektronika* 2003, **2**, 8-12. ISSN 1211-328X
- [7] Mareš, L. Teplota a její měření. in: *tzb-info.cz* [online]. 6.3.2006 [cit. 10.4.2012]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3115-teplota-a-jeji-mereni>
- [8] Špringl, V. Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. in: *hw.cz* [online]. 20.5.2004 [cit. 12.4.2012]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [9] Špringl, V. Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty. in: *hw.cz* [online]. 19.8.2004 [cit. 15.4.2012]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [10] Mareš, L. Vlhkost vzduchu a její měření. in: *tzb-info.cz* [online]. 13.3.2006 [cit. 17.4.2012]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [11] Vdoleček, F. Snímače tlaku. *Automa* [online]. 2010, [cit. 20.4.2012]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27665
- [12] Maslan, S. Ovládání znakových LCD s řadičem HD44780. in: *elektronika.kvalitne.cz* [online]. 11.3.2007 [cit. 15.5.2012]. Dostupné z: <http://elektronika.kvalitne.cz/ATMEL/necoteorie/LCDmatice.html>

- [13] Termoelektrický jev. in: *cs.wikipedia.org* [online]. 10.2.2012 [5.3.2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrick%C3%BDjev>
- [14] Rosný bod. in: *cs.wikipedia.org* [online]. 4.3.2012 [22.5.2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rosn%C3%BDbod>
- [15] Katalogový list výrobce Sensirion. in: *sensirion.com* [online]. květen 2010 [cit. 21.4.2012]. Dostupné z: [http://www.sensirion.com/en/pdf/product information/Datasheet-humidity-sensor-SHT7x.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product%20information/Datasheet-humidity-sensor-SHT7x.pdf)
- [16] Katalogový list výrobce Freescale Semiconductor. in: *freescale.com* [online]. srpen 2011 [cit. 21.4.2012]. Dostupné z: [http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data sheet/MP3H6115A.pdf?fsrch=1&sr=1](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data%20sheet/MP3H6115A.pdf?fsrch=1&sr=1)
- [17] Katalogový list výrobce Display Elektronik GmbH. in: *display-elektronik.de* [online]. 6.5.2010 [cit. 18.5.2012]. Dostupné z: <http://www.display-elektronik.de/DEM16217SYH-LY.PDF>
- [18] Katalogový list výrobce Texas Instruments. in: *ti.com* [online]. 30.1.2009 [cit. 20.5.2012]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61220.pdf>
- [19] Firstová, Zdeňka. *Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Plzeň: Univerzitní knihovna ZČU v Plzni, 2011. [cit. 2.1.2012]. Dostupné z: <http://www.iso690.zcu.cz>

Příloha A

Příkazy pro řadič HD44780

Příkaz	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Délka
Vymazání displeje a nastavení kurzoru na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,52 ms
Nastavení kurzoru na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x	1,52 ms
I/D - směr posuvu kurzoru (0 = vlevo, 1 = vpravo), S - posuv textu (0 = ne, 1 = ano)	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	37 μs
D - zapne displej, C - zapne kurzor, B - zapne blikání kurzoru	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	37 μs
1 x posune (S/L = 0 kurzor, S/L = 1 text) směrem (R/L = 0 vlevo, R/L = 1 vpravo)	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	x	x	37 μs
DL - nastavení komunikace (0 = 4-bit, 1 = 8-bit), N - počet řádků (0 = jeden, 1 = dva), F - velikost fontu (0 = 5x8, 1 = 5x10)	0	0	0	0	1	DL	N	F	x	x	37 μs
Prepnutí na zápis do CGRAM	0	0	0	1	adresa v CGRAM						37 μs
Prepnutí na zápis do DDRAM	0	0	1	adresa v DDRAM						37 μs	
BF - příznakový bit pro čtení (0 = příjem povolen, 1 = řadič zaneprázdněn), čtení adresy v DDRAM	0	1	BF	adresa v DDRAM						0 μs	
Zápis dat do CGRAM nebo DDRAM	1	0	data								37 μs
Čtení dat z CGRAM nebo DDRAM	1	1	data								37 μs

Obr. A.1: Shrnutí všech příkazů pro řadič HD44780 u použitého alfanumerického displeje.

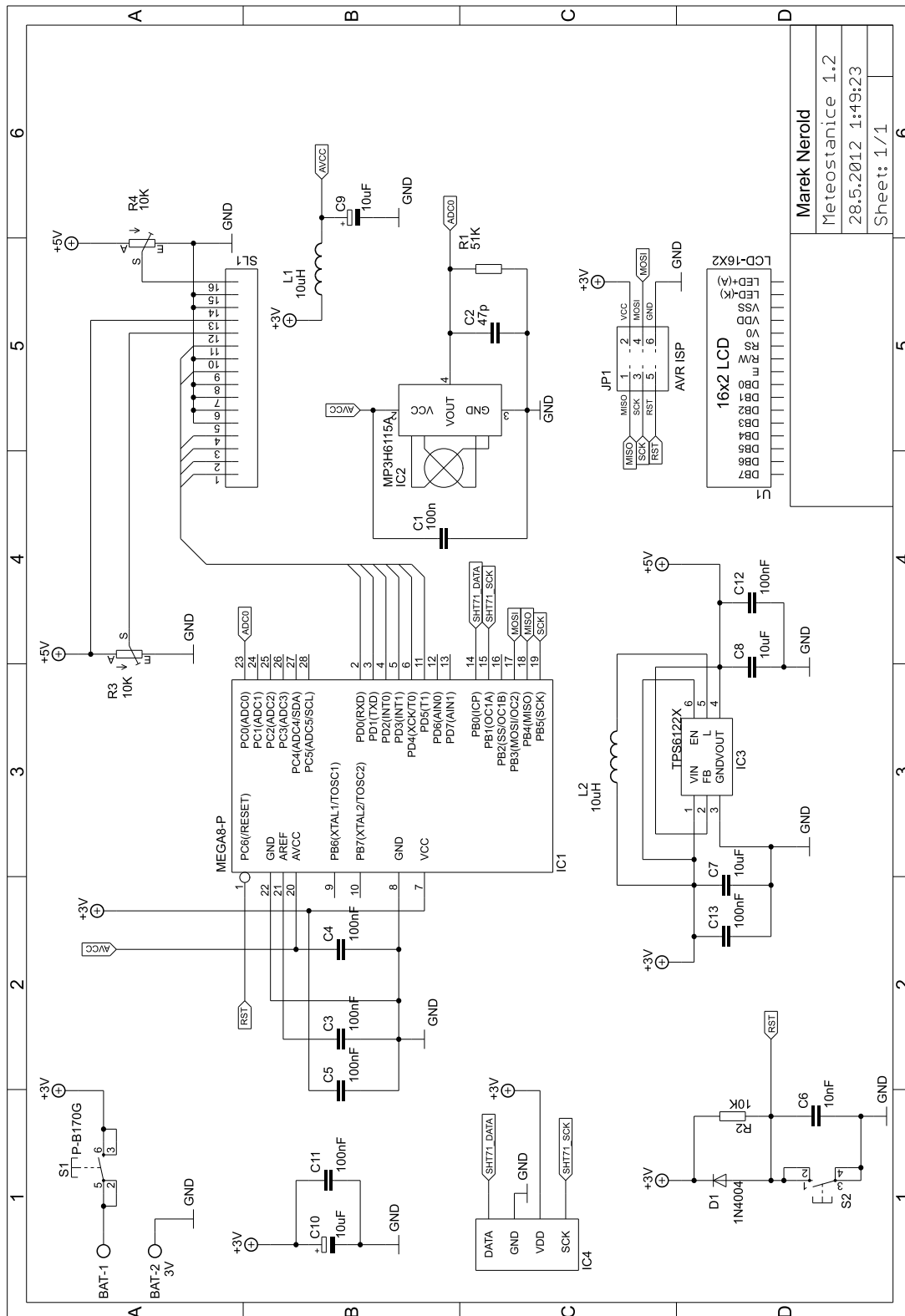
Příloha B

Výsledný návrh

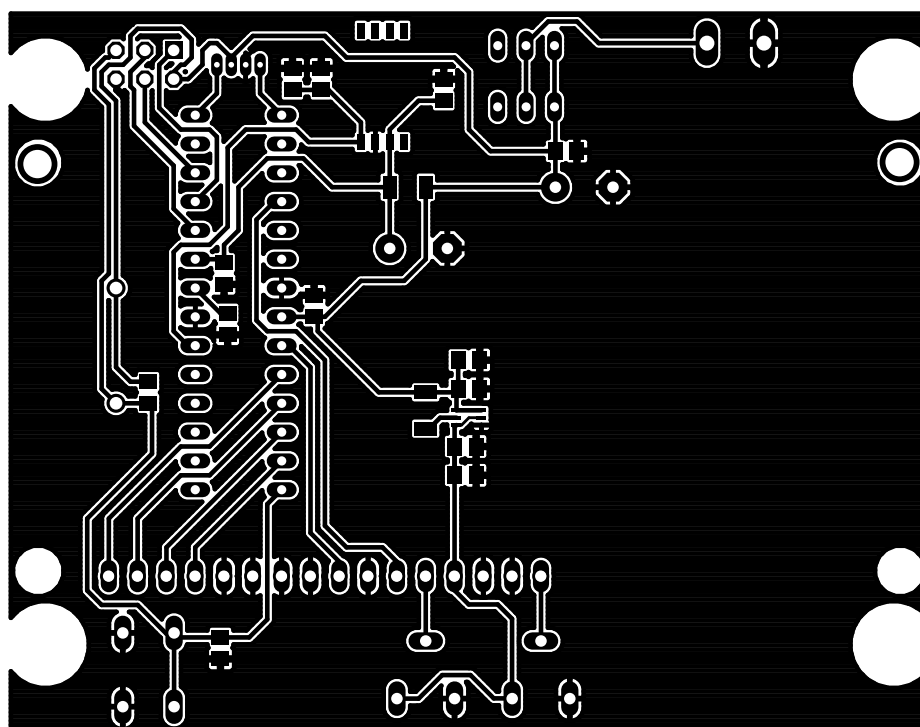
B.1 Schéma

B.2 DPS

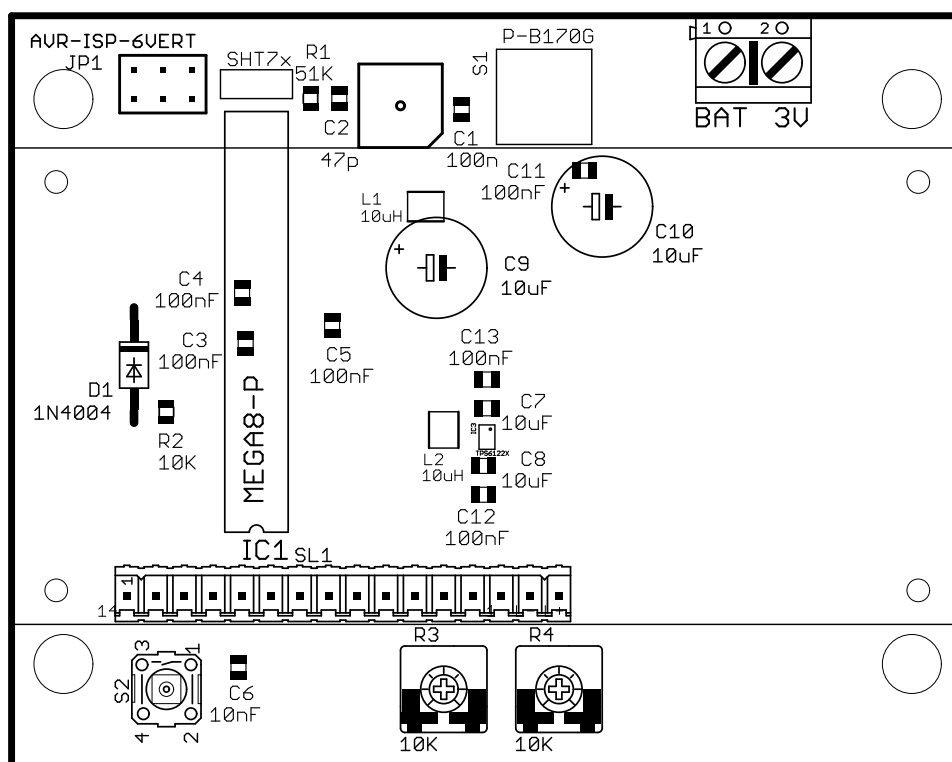
B.3 Seznam použitých součástí



Obr. B.1: Schéma meteorologické stanice.



Obr. B.2: Deska plošných spojů meteorologické stanice (měřítko 1:1,5)



Obr. B.3: Osazovací plán meteorologické stanice (měřítko 1:1,5)

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C2	47 pF	C0805	keramický kondenzátor
C3	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C4	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C5	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C6	10 nF	C0805	keramický kondenzátor
C7	10 μ F	C0805	keramický kondenzátor
C8	10 μ F	C0805	keramický kondenzátor
C9	10 μ F	E5 – 8,5	elektrolytický kondenzátor
C10	10 μ F	E5 – 8,5	elektrolytický kondenzátor
C11	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C12	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
C13	100 nF	C0805	keramický kondenzátor
R1	51 k Ω	R0805	rezistor
R2	10 k Ω	R0805	rezistor
R3	10 k Ω	CA6V	potenciometr
R4	10 k Ω	CA6V	potenciometr
L1	10 μ H	L1210	tlumivka
L2	10 μ H	L1210	tlumivka
IC1	ATmega8A	DIL28	mikrokontrolér
U1	LCD-16217SYH – LY	LCD – 16217	alfanumerický displej
IC2	MP3H6115A	SSOP8	tlakový senzor
IC3	TPS61222	SC70	DC/DC měnič
IC4	SHT71	SHT7X	senzor teploty a vlhkosti
S1	P-B170G	P – B170G	tlačítko s aretací
S2	10-XX	B3F – 10XX	mikrotlačítko
D1	1N4004	DO41	dioda
JP1	AVR-ISP-6VERT	AVR-ISP-6	programovací konektor
SL1	M16	16P	lámací lišta
BAT1,2	AK500/2	AK500/2	svorkovnice

Tab. B.1: Seznam použitých součástek v meteorologické stanici