

# **Měření vlhkosti vzduchu pomocí mikropočítače**

Measurement of humidity of air using microcomputer

Petr Francálek



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr FRANCÁLEK

Osobní číslo: A08215

Studijní program: B 3902 Inženýrská informatika

Studijní obor: Informační a řídicí technologie

Téma práce: Měření vlhkosti vzduchu pomocí mikropočítače

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte stručný přehled dostupných snímačů pro měření vlhkosti vzduchu vhodných pro připojení k mikropočítači.
2. Zvolte vhodný snímač a další komponenty pro realizaci jednoduchého měřiče vlhkosti vzduchu s možností buď přímého zobrazení údajů, nebo archivace a následného přenosu údajů do počítače.
3. Navrhněte zapojení obvodu a realizujte funkční prototyp zařízení.
4. Pro zařízení vytvořte programové vybavení a ověřte jeho funkci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a Mikropočítače. Praha : BEN ? technická literatura, 2004. 220 s. ISBN 80-7300-110-1.
2. MANN, Burkhard. C pro mikrokontroléry. Praha : BEN – technická literatura, 2004. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
3. CATSOULIS, John. Designing Embedded Hardware. OReilly Media, 2005. 400 s. ISBN 978-0-596-00755-3.
4. 8-bit Microcontrollers [online]. Freescale Semiconductor, 2004 [cit. 2011-01-25]. Dostupný z WWW:  
<http://www.freescale.com/webapp/sps/site/homepage.jsp?code=8BITMCU>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Dolinay, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

7. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit jednoduché zařízení měřící vlhkost vzduchu s využitím mikropočítače. Toto zařízení si bude ukládat naměřené hodnoty pro pozdější přenos do počítače. Teoretická část práce se zabývá zejména metodami měření vlhkosti vzduchu a dále také obecně mikropočítači. Praktická část popisuje návrh a konstrukci zařízení, použité součástky a programové vybavení.

Klíčová slova: vlhkost vzduchu, senzor vlhkosti, mikropočítač, HCS08

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to create a simple device measuring humidity of air using microcomputer. This device will store measured values for later transfer to the computer. The theoretical part deals especially with methods of measuring humidity of air and microcomputers in general. The practical part describes the design and construction of the equipment, components and software.

Keywords: humidity of air, humidity sensor, microcontroller, HCS08

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Dolinayovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a celkově skvělé vedení práce. Dále děkuji také rodině za podporu v průběhu studia.

Motto:

*„Non scholae, sed vitae discimus“*

*(Neučíme se pro školu, ale pro život)*

Seneca

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>I    TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1    VLHKOST VZDUCHU .....</b>	<b>11</b>
1.1    VYJÁDRĚNÍ VLHKOSTI VZDUCHU .....	11
1.1.1    Absolutní vlhkost vzduchu.....	11
1.1.2    Měrná vlhkost vzduchu .....	12
1.1.3    Relativní vlhkost vzduchu.....	12
1.2    MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU .....	13
1.2.1    Dilatační vlhkoměry .....	13
1.2.2    Psychrometry .....	14
1.2.3    Vlhkoměry na principu rosného bodu .....	15
1.2.4    Gravimetrie.....	15
1.2.5    Vlhkoměry na principu absorpce záření.....	15
1.2.6    Odporové senzory vlhkosti.....	16
1.2.7    Kapacitní senzory vlhkosti .....	17
1.2.8    Vlhkoměry s vyhřívanými termistory.....	19
<b>2    MIKROPOČÍTAČE.....</b>	<b>20</b>
2.1    MIKROPROCESOR .....	20
2.2    OPERAČNÍ PAMĚŤ .....	21
2.3    VSTUPNÍ, VÝSTUPNÍ OBVODY A PERIFERIE .....	21
2.3.1    Sériová linka.....	21
<b>II   PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>23</b>
<b>3    POUŽITÉ SOUČÁSTKY .....</b>	<b>24</b>
3.1    MIKROKONTROLÉR MC9S08QE16 .....	24
3.2    SENZOR SHT11 .....	25
3.2.1    Zapojení do obvodu.....	26
3.2.2    Komunikace s mikropočítačem .....	26
3.2.3    Úprava výstupu senzoru pro relativní vlhkost.....	28
3.2.4    Úprava výstupu senzoru pro teplotu.....	29
3.2.5    Teplotní kompenzace relativní vlhkosti vzduchu .....	29
3.3    MAX3232CD .....	30
3.4    DALŠÍ SOUČÁSTKY .....	30
<b>4    NÁVRH SCHÉMATU A VÝROBA PLOŠNÉHO SPOJE .....</b>	<b>31</b>
4.1    NÁVRHOVÝ SYSTÉM EAGLE .....	31
4.1.1    Vytvoření projektu .....	31
4.1.2    Editor schémat.....	32
4.1.3    Editor plošných spojů.....	33

4.2	SCHÉMA ZAŘÍZENÍ .....	34
4.3	VÝROBA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ FOTOCESTOU .....	35
<b>5</b>	<b>PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....</b>	<b>37</b>
5.1	KOMUNIKACE PO SÉRIOVÉ LENCE .....	37
5.2	OBSLUHA SENZORU SHT11 .....	38
5.3	HLAVNÍ PROGRAM.....	39
5.3.1	Výpočet teploty rosného bodu .....	43
<b>ZÁVĚR .....</b>		<b>44</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>		<b>45</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>46</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>		<b>48</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>		<b>49</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>50</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>		<b>51</b>

## ÚVOD

Voda je nejrozšířenější látkou na zemském povrchu a je stálou součástí atmosféry. Běžně se vyskytuje ve třech svých skupenstvích a může poměrně snadno přecházet z jednoho do druhého. S přeměnou skupenství vody je spojena celá řada meteorologických jevů jako tvorba rosy, oblačnosti, srážek atd.

Vlhkost vzduchu je jednou z jeho základních vlastností. Udává, jaké množství vody v plynném stavu obsahuje dané množství vzduchu. Zásadní význam má v meteorologii. Vlhkost vzduchu totiž patří k faktorům ovlivňujícím počasí. Častá je také potřeba jejího měření a regulace v průmyslovém prostředí či v obytných prostorách.

K účelům měření vlhkosti vzduchu slouží vlhkoměry. Ty využívají k měření mnoho různých principů v závislosti na požadavcích konkrétní aplikace. Mezi tyto požadavky může patřit např. přesnost, rychlost odezvy, odolnost vůči kapalně vodě, chemická odolnost a také rozměry samotného čidla a zařízení jako celku. Vývoj postupem času dospěl od mechanických vlhkoměrů až k dnešním moderním elektronickým senzorům s analogovým nebo i číslicovým výstupem.

Moderní mikropočítače dnes elegantně nahrazují složité elektronické obvody. Tyto součástky přímo vybízejí k použití společně s dnešními inteligentními čidly, aby spolu vytvořily efektivní celek.

Práce je rozdělena do dvou částí - teoretické a praktické. V teoretické části popisují zejména obecné principy měření vlhkosti vzduchu a stručně zmiňují i základní vlastnosti mikropočítačů. V části praktické popisují návrh a funkci výsledného zařízení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VLHKOST VZDUCHU

Vlhkostí vzduchu rozumíme obsah vodní páry ve vzduchu. V užším pojetí lze za vlhkost vzduchu považovat schopnost vzduchu přijímat další vodní páru. Vodní pára je stálou součástí vzduchu, ale její obsah je proměnlivý. Schopnost vzduchu přijímat další vodní páru roste s jeho teplotou (roste také intenzita výparu). Vzduch s rostoucím obsahem vodní páry mění většinu ze svých fyzikálních vlastností (vlhký vzduch např. mimo jiné lépe přenáší zvuk nebo více absorbuje dlouhovlnné záření). Hlavním zdrojem vodní páry v atmosféře Země je oceán. Nad pevninu se dostává prouděním vzduchu. K menšímu výparu dochází také z povrchu pevniny. Z uvedeného tedy vyplývá, že obsah vodní páry v ovzduší směrem do vnitrozemí klesá. Množství vodní páry rychle ubývá také s rostoucí nadmořskou výškou. Vlhkost vzduchu v přírodě prodělává pravidelné změny během dne či roku a ovlivňuje celou řadu meteorologických jevů jako např. tvorbu srážek. [4]

### 1.1 Vyjádření vlhkosti vzduchu

Ke kvantitativnímu popisu vlhkosti vzduchu můžeme užít více různých veličin. Rozlišujeme vlhkost absolutní, měrnou a relativní.

#### 1.1.1 Absolutní vlhkost vzduchu

Absolutní vlhkost vzduchu představuje hmotnost vodní páry v jednotkovém objemu. Vyjadřuje tedy hustotu vodní páry. V meteorologii se nejčastěji vyjadřuje v gramech vodní páry obsažené v 1 m<sup>3</sup> vzduchu. Z uvedeného vyplývá vztah:

$$\Phi = \frac{m_{H_2O}}{V} \quad [g \cdot m^{-3}], \quad (1)$$

kde  $m_{H_2O}$  značí hmotnost vodní páry v daném objemu vzduchu  $V$ . V meteorologii se absolutní vlhkost vzduchu může značit symbolem  $a$ . [4,5]

### 1.1.2 Měrná vlhkost vzduchu

V technické praxi je měrná vlhkost často používanou charakteristikou. Vyjadřuje hmotnost vodní páry připadající na jednotkovou hmotnost vlhkého vzduchu (často v gramech vodní páry připadající na 1kg vzduchu). Je definována vztahem:

$$x = \frac{m_{H_2O}}{m_v} \left[ \frac{g}{kg} \right], \quad (2)$$

kde  $m_{H_2O}$  značí hmotnost vodní páry a  $m_v$  hmotnost suchého vzduchu. [4,5]

### 1.1.3 Relativní vlhkost vzduchu

Někdy nazývaná i poměrná. Jde o nejznámější a nejčastěji používanou vlhkostní charakteristiku a to jak ve výzkumu a technické praxi, tak i v běžném životě. Vyjadřuje stupeň nasycenosti vzduchu vodní párou a tak zároveň charakterizuje schopnost vzduchu přijímat další vodní páru. Obsah vodní páry ve vzduchu je omezený. Vzduch se vodní párou nasytí a již nepřijme další vlhkost. Konkrétní hodnota vlhkosti závisí především na teplotě a s rostoucí teplotou roste (Tab. 1). Mezi největší nevýhody patří skutečnost, že relativní vlhkost sama o sobě přímo nevypovídá o skutečném obsahu vodní páry ve vzduchu. Nelze tedy jen podle ní posuzovat vlhkostní stav vzduchu. Toto úskalí se projevuje zejména při regulaci větrání prostorů s nižší vnitřní teplotou jako sklady a sklepy. Podobně problematická je také biometeorologická interpretace relativní vlhkosti vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu je definována vztahem:

$$\varphi = \frac{p'}{p''} \cdot 100 \quad [\%], \quad (3)$$

kde  $p'$  značí parciální tlak par ve vzduchu a  $p''$  parciální tlak nasycených par při dané teplotě vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu se často označuje RH (z anglického relative humidity). [4,5,7]

Tab. 1. Absolutní vlhkost vzduchu při nasycení vodní párou v závislosti na teplotě

Teplota [°C]	-20	0	10	20	25	30	40	60	80
Absolutní vlhkost [g·m <sup>-3</sup> ]	0,888	4,87	9,44	17,4	23,1	30,5	51,3	130	292

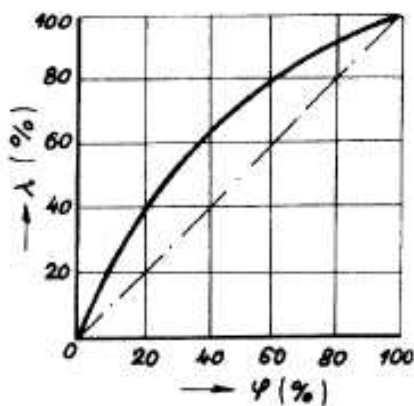
## 1.2 Měření vlhkosti vzduchu

Měřením vlhkosti vzduchu se zabývá hygrometrie. Vlhkost vzduchu se měří vlhkoměry. V praxi se lze setkat i s měřením vlhkosti jiných plynů nebo sypkých či pórovitých materiálů. Většina měřidel vlhkosti vyžaduje kalibraci. Lze tak učinit změřením téhož vzorku plynu zároveň kalibrovaným a referenčním měřidlem, nebo připravit vzduch definované vlhkosti. [4,7]

### 1.2.1 Dilatační vlhkoměry

Tyto mechanické vlhkoměry využívají různé organické látky, které mění své rozměry se změnou vlhkosti okolního vzduchu. Jsou schopny absorbovat určité množství vody v závislosti na relativní vlhkosti okolí, což je doprovázeno změnou rozměru. Jedná se o levná zařízení, která se využívají spíše pro orientační měření. Nevýhodou těchto vlhkoměrů je nestálost vlastností vlhkoměrné látky. Tuto nestálost lze eliminovat regenerací - umístěním vlhkoměru do prostředí nasyceného vodními parami (relativní vlhkost 100%). Tyto čidla není možné používat pod bodem mrazu. [6]

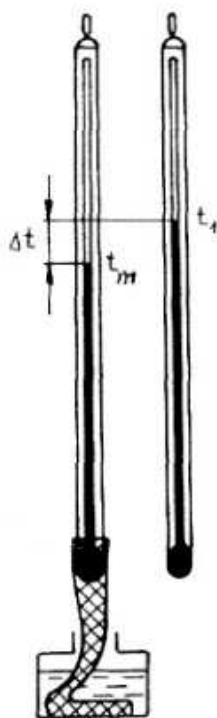
Často používaným funkčním členem je odmaštěný lidský vlas. Svazek těchto vlasů se při změně relativní vlhkosti okolního vzduchu o 100% prodlouží o 2,5% své délky. Závislost relativního prodloužení vlasu na vlhkosti není lineární (Obr. 1). To lze kompenzovat konstrukčním uspořádáním. Pro správnou funkci vlasového hygrometru, zvláště při měření nízkých vlhkostí, je nutno zajistit pravidelnou regeneraci. Tato čidla patří k nejstarším. Hlavní oblastí využití vlasových hygrometrů byla meteorologie. [5]



Obr. 1. Statická charakteristika vlasu

### 1.2.2 Psychrometry

Základem psychrometrické metody (z řeckého *psychrós* - *chladný*) je adiabatické sycení plynu. Zařízení se skládá ze dvou teploměrů - suchý a mokrý. Suchý teploměr udává teplotu  $t_1$  měřeného vlhkého vzduchu. Mokrý teploměr je vlhčený vodou, která vzlíná tkaninou, do které je teploměrové čidlo obaleno. Z mokrého teploměru se odebírá teplo odpařováním vody. Teplota mokrého teploměru klesá, až se ustálí na hodnotě  $t_m$ . Intenzita odpařování (tedy i rozdíl teplot  $t_1 - t_m$ ) závisí na relativní vlhkosti vzduchu. K určení relativní vlhkosti vzduchu se obvykle používají převodní tabulky. Psychrometry jsou vhodné k měření relativní vlhkosti vzduchu při teplotách nad  $0^\circ\text{C}$  a k měření nižších vlhkostí (do 90%). Velkou nevýhodou je nasycování měřeného prostoru vlhkostí z mokrého teploměru, což se projeví zejména v malých uzavřených prostorech.



Obr. 2. Psychrometr

Můžeme se setkat i s elektronickými psychrometry, které mohou mít různé uspořádání, ale pracují na stejném principu. Teploty se měří termočláanky či termistory a relativní vlhkost se vyhodnocuje přímo elektronicky. [5,6]

### 1.2.3 Vlhkoměry na principu rosného bodu

Teplota rosného bodu (rosný bod) je teplota, při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu 100 %). Nižší teplota než teplota rosného bodu vede ke zkapalnění vodní páry v něm obsažené. Tak vzniká rosa nebo jinovatka. Určení teploty rosného bodu je důležité zvláště v případě mikroklimatu uzavřených prostor, kde úzce souvisí s navlháním zdí. [4]

Vlhkoměry na principu rosného bodu (kondenzační) určují vlhkost vzduchu, podobně jako psychrometry, na základě měření dvou teplot - teploty vzduchu v prostoru a teploty rosného bodu. Teplota rosného bodu se měří ochlazováním lesklé plošky, kdy se zjišťuje, při jaké teplotě se orosí. V praxi sestává takové zařízení z termoelektricky chlazeného kovového zrcátka, jehož odrazivost se snímá opticky. Orosení způsobuje výraznou změnu odrazivosti a zpětná vazba zmenšuje či zvětšuje intenzitu chlazení, aby se zrcátko udržovalo mírně orosené. Teplota zrcátka se pak měří platinovým odporovým teploměrem. Přesnost měření relativní vlhkosti je podobná jako u psychrometrů, ale realizace je složitější. Výhodou je dlouhodobá stabilita, odolnost proti chemikáliím a velká přesnost. [6,7]

### 1.2.4 Gravimetrie

Gravimetrický vlhkoměr představuje z metrologického hlediska absolutní standard. Princip je jednoduchý – vhodné sušidlo absorbuje vodní páru ze známého objemu vzduchu a zjišťuje se přírůstek jeho hmotnosti. Měření je zdlouhavé, zejména při malé vlhkosti, přístroj značně nákladný a použitelný pouze v laboratorních podmínkách. Slouží především k ověřování a kalibraci. [7]

### 1.2.5 Vlhkoměry na principu absorpce záření

Pro speciální účely se používají vlhkoměry sledující absorpci ultrafialového nebo infračerveného záření vodní parou. Pracují na vlnových délkách 121nm nebo 123nm v ultrafialové části spektra a 6,25μm v infračervené oblasti. Výstupní signál je úměrný absolutní vlhkosti a předností je velmi krátká doba odezvy. Zdrojem ultrafialového záření jsou výbojky plněné vodíkem nebo kryptonem a v infračervené oblasti se používají žhavené zdroje. [7]

### 1.2.6 Odporové senzory vlhkosti

Odporový senzor využívá změnu vodivosti, která u některých hygroskopických (vodu pohlcujících) materiálů doprovází absorpci vody. Dunmoreovo provedení používá polyvinylalkohol s přídavkem chloridu nebo bromidu lithného. Přívodní elektrody jsou platinové, provedené jako dvojité spirála z drátu na válci z izolantu nebo jako dva hřebínky napařené na keramickém podkladu. Aby se předešlo polarizaci elektrod, je nutné měřit střídavým napětím. Ačkoliv změna vodivosti pokrývá jenom třetinu až pětinu celkového rozsahu relativních vlhkostí 0 až 100 %, různé koncentrace lithné soli umožňují měřit v různých pásmech. Senzor je citlivý na orosení (kondenzaci) a nelze ho použít při vyšších teplotách, přesto si udržuje své postavení zejména díky velké přesnosti (desetiny % relativní vlhkosti) a poměrně dobré stabilitě. [7]



*Obr. 3. Odporové senzory vlhkosti*

**H25K5A** - příklad dostupného odporového senzoru vlhkosti vzduchu od společnosti Sencera. Závislost odporu není lineární a navíc závisí na aktuální teplotě vzduchu. Je proto nutné zapojit čidlo do vyhodnocovacího obvodu s termistorem. Napěťový výstup tohoto obvodu lze potom přivést na A/D převodník mikropočítače. Mikropočítač poté provede příslušné vyhodnocení. Výhodou senzoru je nízká cena. Toto čidlo je vhodné pro zařízení měřící vlhkost vzduchu v obytných prostorech, kde se přepokládají teploty nad bodem mrazu. [13]



*Obr. 4. H25K5A*

Tab. 2. Vlastnosti čidla H25K5A

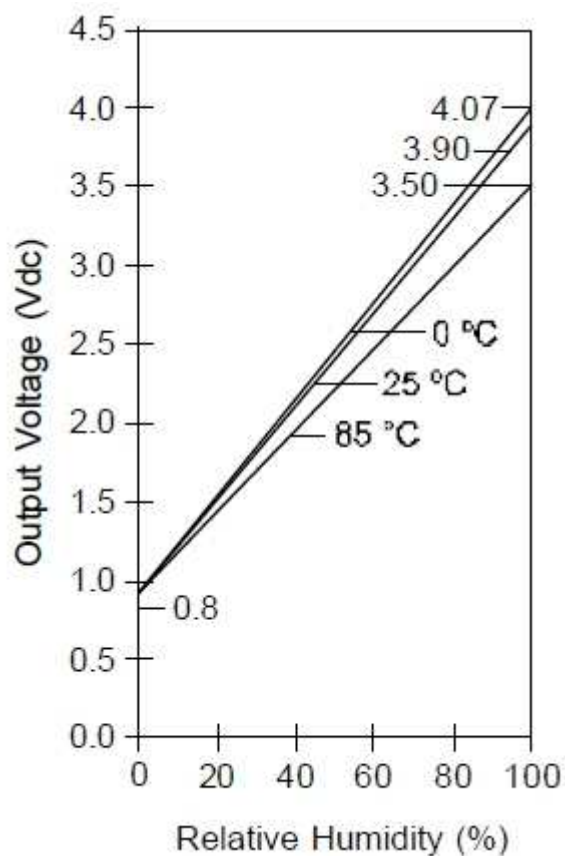
<b>Pracovní napětí</b>	1 ~ 10V (DC)
<b>Rozsah pracovní teploty</b>	0°C ~ 60°C
<b>Rozsah vlhkosti vzduchu</b>	20%RH ~ 90%RH
<b>Standardní odpor</b>	31kΩ (při 25°C, 60%RH)
<b>Maximální doba odezvy</b>	60s
<b>Přesnost</b>	±5%RH (při 25°C, 60%RH)
<b>Hystereze</b>	3%RH (při změně ze 40%RH na 80%RH)

### 1.2.7 Kapacitní senzory vlhkosti

Tyto senzory využívají stejného principu jako senzory odporové. Sledovanou veličinou je u nich ovšem změna kapacity kondenzátoru, v němž je dielektrikem hygroskopický polymer. Jedna z elektrod je děrovaná, umožňující okolnímu vzduchu kontakt s polymerním dielektrikem. Přestože je množství absorbované vody poměrně malé, díky její velké dielektrické konstantě jsou změny kapacity měřitelné: řádově činí 0,1 % z celkové kapacity na každé % relativní vlhkosti vzduchu. Tyto senzory se vyrábějí také s integrovaným zpracováním signálu, kdy výstupem je místo kapacity elektrické napětí. Některé nabízejí dokonce digitální výstup. Kapacitní senzory se vyznačují malou závislostí na teplotě, odolností vůči kondenzaci, poměrně dobrou odolností proti chemikáliím či vyšším teplotám a malými rozměry. Jejich přesnost je v jednotkách % relativní vlhkosti. [7]

Příklady kapacitních senzorů:

**HHH-3610** - čidlo od společnosti Honeywell. Jeho předností je lineární výstup (Obr. 5). Opět ovšem nesmíme zanedbat teplotu. Je nutno ji měřit a výsledek na jejím základě kompenzovat (příslušné vzorce jsou k dispozici v datasheetu výrobce). Konstrukce čidla poskytuje výbornou odolnost proti vlivům prostředí jako prach nebo chemikálie. [14]



Obr. 5. Výstupní napětí v závislosti na RH a teplotě

Tab. 3. Vlastnosti čidla HIH-3610

<b>Pracovní napětí</b>	4V ~ 5,8V (DC)
<b>Rozsah pracovní teploty</b>	-40°C ~ 85°C
<b>Rozsah vlhkosti vzduchu</b>	0%RH ~ 100%RH
<b>Výstupní napětí</b>	0,8V ~ 3,9V (při 25°C)
<b>Maximální doba odezvy</b>	15s (při 25°C)
<b>Přesnost</b>	±2%RH (při 25°C a 5V)
<b>Hystereze</b>	±1,2%RH

**SHT11** - tento integrovaný obvod od společnosti Sensirion v sobě elegantně kombinuje čidlo vlhkosti vzduchu a čidlo teploty. Navíc nabízí digitální výstup. Senzor plně vyhovuje plánované aplikaci. Menší nevýhodou je nelineární výstup. Na měření teploty však již nepotřebujeme další čidlo. SHT11 popisují podrobněji v praktické části této práce. [9]

*Tab. 4. Vlastnosti čidla SHT11*

<b>Pracovní napětí</b>	2,4V ~ 5,5V (DC)
<b>Rozsah pracovní teploty (zároveň rozsah měřené teploty)</b>	-40°C ~ 123°C
<b>Rozsah vlhkosti vzduchu</b>	0%RH ~ 100%RH
<b>Výstup</b>	digitální
<b>Maximální doba odezvy</b>	8s (při 25°C)
<b>Přesnost</b>	±3%RH (při 25°C a 3,3V)
<b>Hystereze</b>	±1,2%RH

### 1.2.8 Vlhkoměry s vyhřívanými termistory

Tato metoda využívá závislost tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti. Senzor obsahuje dva stejné termistory, z nichž jeden je hermeticky uzavřen v suchém dusíku a druhý je přístupný okolnímu vzduchu. Termistory jsou zapojeny do série a tvoří jednu větev můstku. Druhá větev obsahuje pevné rezistory a trimr k nulování. Průchodem proudu se termistory zahřívají a dosažená teplota závisí na stupni jejich ochlazování, tj. na tepelné vodivosti okolního plynu. Senzor poskytuje signál úměrný absolutní vlhkosti. Jeho přednostmi jsou schopnost pracovat při vysokých teplotách (až 200 °C) a chemická odolnost. [7]

## 2 MIKROPOČÍTAČE

Jednočipový mikropočítač (mikrokontrolér) je programovatelný logický obvod se širokým polem využití všude tam, kde je třeba zjednodušit složité elektronické systémy. Obrovskou výhodou je také snadná změna či zdokonalení činnosti celého systému pouhou změnou programu bez zásahu do konstrukce zařízení. Velkou výhodou je v neposlední řadě i příznivá cena.

Hlavní části mikropočítače jsou mikroprocesor, operační paměť, vstupní a výstupní obvody. Aby mohl mikropočítač komunikovat s okolím, vybavuje se periferními zařízeními.

Mikropočítač řeší úlohu tak, že v časovém sledu provádí jednotlivé kroky programu (instrukce). Každá instrukce popisuje jednu relativně jednoduchou operaci. Posloupnost těchto instrukcí tvoří algoritmus.

### 2.1 Mikroprocesor

Mikroprocesor je jádro mikropočítače. Představuje jeho mozek; nejkomplikovanější část mikropočítače. Generuje řídicí signály potřebné pro současnou činnost a spolupráci všech použitých funkčních bloků mikropočítače. Data s operační pamětí si mikroprocesor vyměňuje prostřednictvím svých vstupů a výstupů (adresové a datové vodiče). Z paměti získává data a instrukce, které interpretuje a provádí. Představuje jakési rozhraní mezi programovým a technickým vybavením. Díky němu se z programů stávají v počítači reálné úkony.

Mikroprocesor se skládá z řadiče a aritmeticko-logické jednotky (ALU). Řadič je aktivní částí procesoru, která zahajuje činnosti a předává příkazy ALU, která vykonává příslušné operace. Všechny instrukce jsou vyjádřeny binárními čísly. ALU má k dispozici speciální registr - střadač, ve kterém může dočasně uchovat data. Při provádění operace se načte první operand do střadače. Poté se načte druhý z operační paměti a výsledek operace se uloží opět do střadače. Odtud může být přenesen do operační paměti nebo použit v dalších výpočtech.

## 2.2 Operační paměť

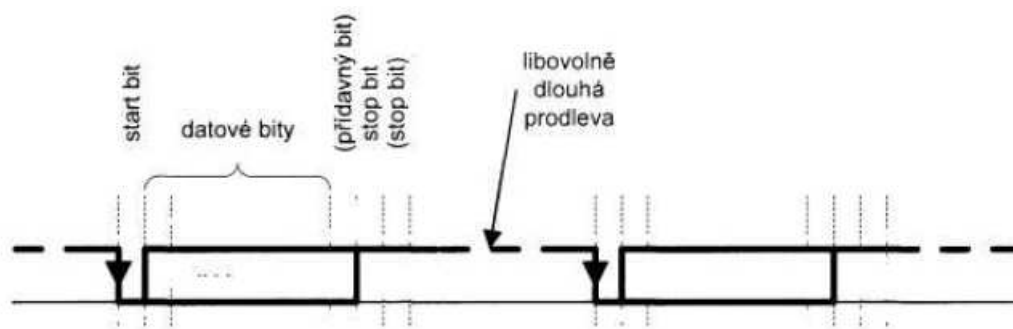
Program a data, která mají být zpracována, se ukládají do operační paměti. Tam se zapisují též mezivýsledky, které vznikají při výpočtech v mikroprocesoru. Paměť je organizována po slovech nebo po slabikách. V 8 bitovém mikropočítači obsahuje jedna paměťová buňka 8 bitů. V každé paměťové buňce může být zapsána jedna instrukce, část instrukce, dvojkové číslo nebo kód alfanumerického znaku. Obsah operační paměti není trvalý.

## 2.3 Vstupní, výstupní obvody a periferie

Jako periferie označujeme zařízení, která slouží mikropočítači ke komunikaci s okolím. Jsou to např. zobrazovací jednotky, klávesnice nebo vnější paměti. Mikroprocesor s periferními zařízeními spojují vstupní a výstupní obvody. Tyto obvody se skládají z registrů, jejichž prostřednictvím se provádí přenos informace. [12]

### 2.3.1 Sériová linka

Sériová periferie UART se vyskytuje prakticky v každém počítači. Využívá asynchronní přenos jednotlivých znaků o délce 7 nebo 8 bitů (volitelné). Synchronizace je znaková, jednotlivé znaky po sobě mohou následovat s libovolně dlouhou mezerou. V klidovém stavu vydává vysílač stav 1, start bit má hodnotu 0. Za datovými bity následuje jeden či dva (volitelné) takty při stavu 1 - tzv. „stop bit“ (Obr. 6). Ten umožňuje bezprostřední následování dalšího znaku - zaručena změna z 1 do 0 na začátku start bitu.



Obr. 6. Průběh signálu z asynchronního vysílače

Periferie UART je většinou používána v rámci normy RS-232C. Tato norma byla vyvinuta pro spojení prostřednictvím modemů v šedesátých letech. Umožňuje spojení dvou zařízení kabelem na vzdálenost až 25m. Kromě sériových dat Tx a Rx je definována ještě řada

dalších řídicích a stavových signálů pro modem. Kromě významů jednotlivých signálů jsou definovány i jejich elektrické parametry, konektory a jejich zapojení. Napětíové úrovně definovaných signálů jsou odlišné od úrovně logiky CMOS a tak jsou nutné vazební členy. Není možno paralelně spojovat několik vysílačů.

Implementace rozhraní do systému je poměrně snadná a drtivá většina mikropočítačů ji podporuje. Napětíové úrovně RS-232C (typicky -12V pro logickou 1 a +12V pro logickou 0) ovšem nejsou slučitelné s úrovněmi TTL nebo CMOS logiky. To vyřeší externí integrovaný obvod sloužící jako převodník úrovní. Nejznámějšími takovými obvody jsou integrované obvody MAX. Tyto součástky jsou schopné práce již od napětí 3V.

Kvůli potřebě přenosu velkých objemů dat vysokou rychlostí byla RS-232C nahrazena standardem Ethernet. V oblasti osobních počítačů je sériové rozhraní nahrazováno USB. I přesto je sériové rozhraní stále používáno v oblasti automatizace a embedded systémů.  
[1,2]

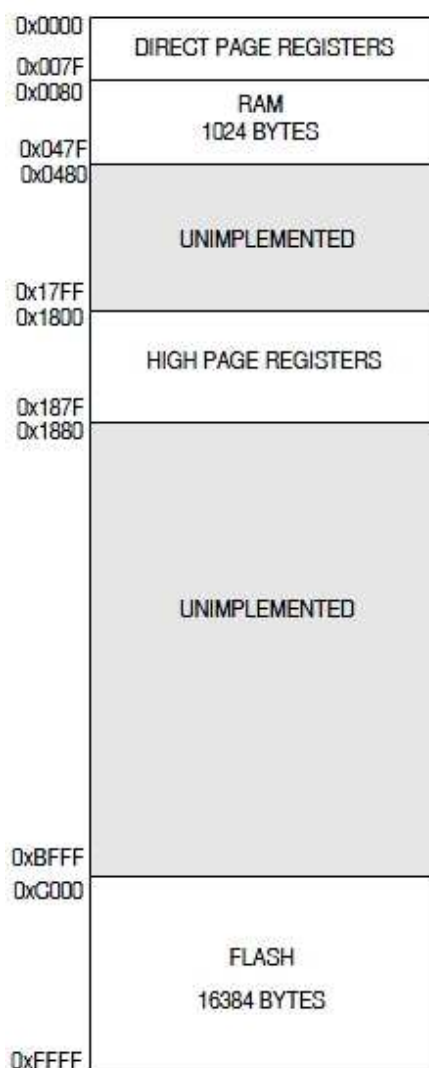
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 POUŽITÉ SOUČÁSTKY

Použité součástky jsou SMD - pájí se přímo na stranu plošného spoje. Výhodou jsou menší rozměry obvodu a méně vrtání. Nevýhodou pro ruční pájení jsou jejich malé rozměry, o čemž jsem se sám přesvědčil.

#### 3.1 Mikrokontrolér MC9S08QE16

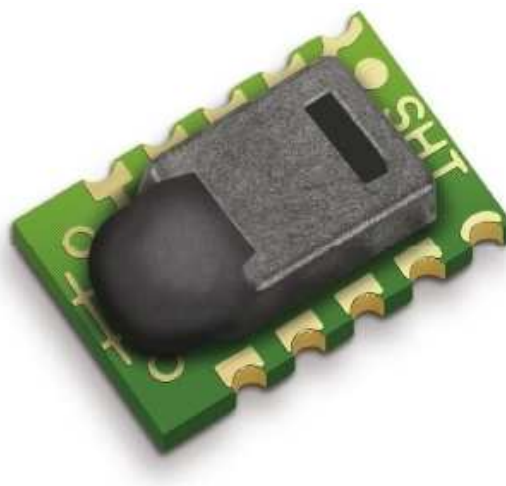
MC9S08QE16 je 8 bitový mikrokontrolér vybavený procesorem s jádrem HCS08 od firmy Freescale Semiconductor. Při napájení 3V může procesor pracovat na frekvenci 50MHz v teplotním rozmezí -30°C až 85°C. Použitý mikrokontrolér je v pouzdru SOIC 28. Celkem tedy má 28 pinů, z toho je 22 vstupně výstupních. K dispozici má 16 kB flash paměti a 1 kB paměti RAM. [8]



Obr. 7. Mapa paměti MC9S08QE16

### 3.2 Senzor SHT11

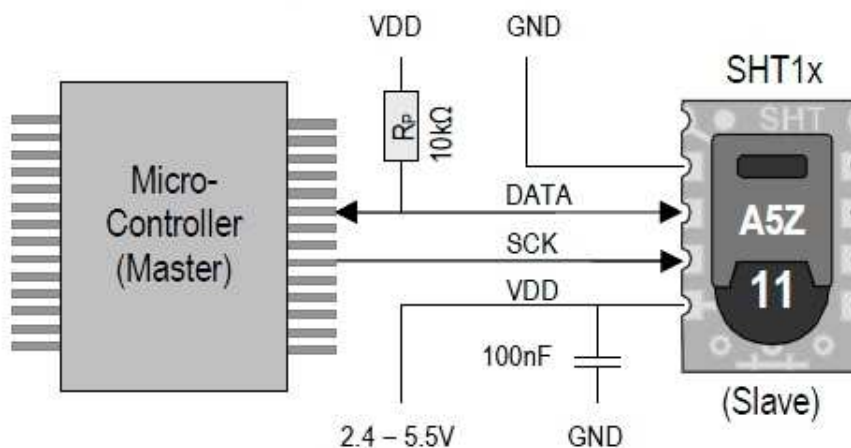
SHT11 v sobě kombinuje kapacitní senzor vlhkosti vzduchu (v rozsahu 0% - 100%) a senzor teploty (v rozsahu -40°C - 123°C). To je velmi výhodné, protože tyto dvě veličiny spolu úzce souvisí. Mimoto SHT11 integruje i zpracování signálu (A/D převodník), takže poskytuje již přímo digitální výstup, což ho činí ideálním pro připojení k mikropočítači. Základní vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 4. Rozsah výstupu A/D převodníku je standardně 12 bitů pro vlhkost vzduchu a 14 bitů pro teplotu. Úpravou status registru čidla je možné tyto rozsahy snížit na 8 a 12 bitů, což urychlí měření. Mé zařízení využívá standardní nastavení.



*Obr. 8. SHT11*

### 3.2.1 Zapojení do obvodu

Zapojení senzoru SHT11 do obvodu a jeho spojení s mikropočítačem se řídí schématem (Obr. 9). Napájecí napětí musí být v rozsahu od 2,4V do 5,5V (ideální hodnota 3,3V).

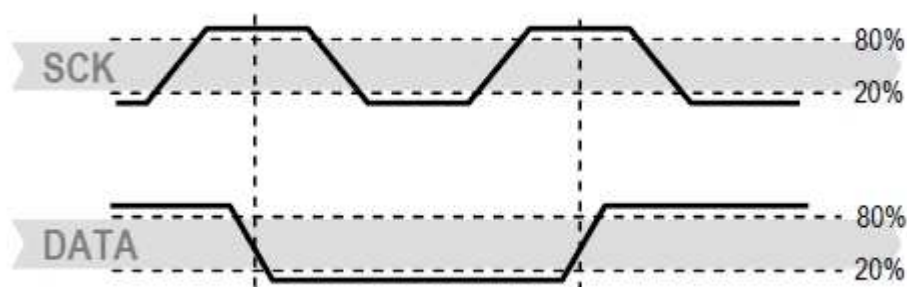


Obr. 9. Schéma zapojení SHT11

S mikropočítačem je senzor spojen dvěma vodiči. Jeden vodič je obousměrný datový. Přenášejí se po něm příkazy z mikropočítače pro senzor a hodnoty změřených veličin ze senzoru do mikropočítače. Druhý vodič (SCK - serial clock) přenáší řídicí signál, který synchronizuje komunikaci mezi mikropočítačem a senzorem. SHT11 může být připojen k I<sup>2</sup>C sběrnici, ale nemůže být adresován přes I<sup>2</sup>C protokol.

### 3.2.2 Komunikace s mikropočítačem

Komunikace s mikropočítačem je založena na zasílání příkazů z mikropočítače čidlu po obousměrném datovém vodiči (dále označovaný DATA). Po přivedení napájecího napětí je potřeba počkat 11ms před odesláním prvního příkazu. K zahájení komunikace je třeba nejprve vyslat startovní sekvenci (Obr. 10) - SCK je v úrovni 1 a DATA se přepne do úrovně 0, následuje pulz SCK a DATA se přepne do úrovně 1, když je SCK opět v úrovni jedna. Logickou úroveň 1 představuje hodnota napětí vyšší jak 80% napájecího napětí, logickou 0 pak hodnota napětí nižší jak 20% napájecího napětí.



Obr. 10. Startovní sekvence

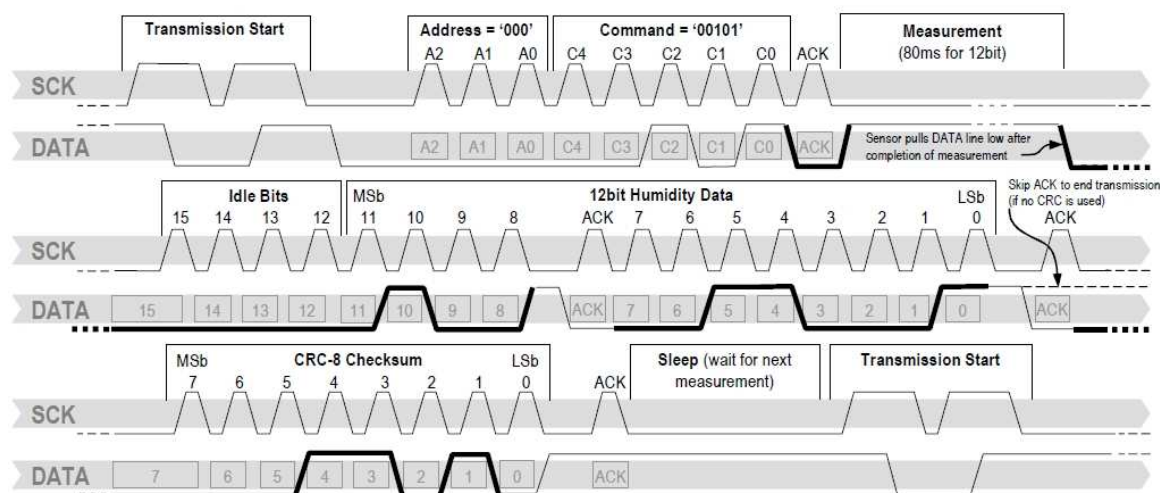
Nyní může následovat odeslání příslušného příkazu. Příkaz má délku 8 bitů. Tři nejvyšší bity představují adresu (ta je vždy 000) a zbytek určí konkrétní příkaz.

- Měření relativní vlhkosti vzduchu: 00000101
- Měření teploty: 00000011

Po odeslání příkazu trvá měření maximálně 320ms. Mikropočítač však nemusí čekat, než čidlo zpracuje měřené hodnoty. V okamžiku, kdy je naměřený údaj k dispozici, přepne SHT11 vodič DATA do stavu logické 0 a tyto údaje uchovává, dokud nepřijde požadavek mikropočítače na jejich odeslání (při požadavku na další měření jsou tyto uložené údaje přepsány). Data, která mají být odeslána se skládají ze 3 bajtů - první dva představují naměřená data (první se odesílá vyšší bajt) a třetí je kontrolní součet (volitelný).

Odeslání probíhá bit po bitu řízeno SCK signálem. Po přijetí celého bajtu musí mikropočítač jako potvrzení nastavit vodič DATA do úrovně 0. Komunikace končí po přijetí kontrolního součtu. Pokud kontrolní součet nechceme využít, můžeme komunikaci ukončit po přijetí naměřené hodnoty (vyšší a nižší bajt) tak, že mikropočítač udržuje DATA na úrovni 1. Celý tento proces pro změření relativní vlhkosti vzduchu je na Obr. 11.

Pokud je komunikace s SHT11 z nějakého důvodu ztracena, lze ji obnovit pomocí odeslání resetovací sekvence (resetování komunikačního rozhraní) - DATA jsou v úrovni 1 a SCK se přepne alespoň devětkrát z úrovně 1 do úrovně 0. Poté následuje startovní sekvence a je možné odeslat příkaz.



Obr. 11. Průběh komunikace mikropočítače se senzorem SHT11

### 3.2.3 Úprava výstupu senzoru pro relativní vlhkost

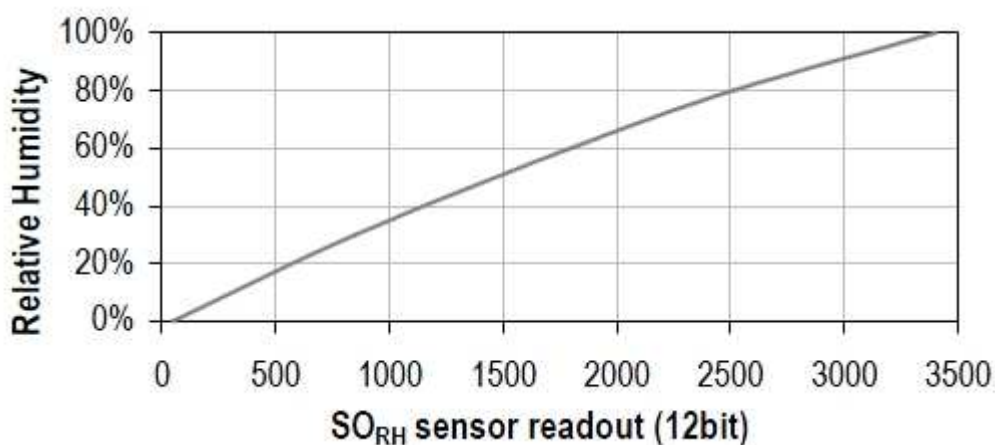
Digitální výstup senzoru není lineární (Obr. 12), a je nutný jeho přepočít podle vzorce:

$$RH = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad [\%], \quad (4)$$

kde  $SO_{RH}$  představuje hodnotu výstupu z čidla relativní vlhkosti vzduchu a hodnoty konstant  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  se liší podle použitého rozsahu převodníku (Tab. 5). Hodnoty vyšší jak 100%RH znamenají skutečnou hodnotu 100%RH.

Tab. 5. Převodní konstanty

$SO_{RH}$	$c_1$	$c_2$	$c_3$
12 bit	-2,0468	0,0367	$-1,5955 \cdot 10^{-6}$
8 bit	-2,0468	0,5872	$-4,0845 \cdot 10^{-4}$



Obr. 12. Závislost hodnoty relativní vlhkosti vzduchu na výstupu čidla

### 3.2.4 Úprava výstupu senzoru pro teplotu

Digitální výstup při měření teploty je lineární. Skutečnou hodnotu teploty ve °C získáme ze vzorce:

$$T = -39,6 + d \cdot SO_T \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (5)$$

kde  $SO_T$  představuje hodnotu výstupu z čidla teploty a konstanta  $d$  se liší podle použitého rozsahu převodníku (0,01 pro 14 bitový a 0,04 pro 12 bitový). [9]

### 3.2.5 Teplotní kompenzace relativní vlhkosti vzduchu

Ke zvýšení přesnosti naměřené relativní vlhkosti vzduchu je možné aplikovat kompenzaci dle vzorce:

$$RH = (T - 25)(t_1 + t_2 SO_{RH}) + RH_n \quad [\%], \quad (6)$$

kde  $T$  je naměřená teplota,  $SO_{RH}$  představuje hodnotu výstupu z čidla relativní vlhkosti vzduchu,  $RH_n$  je hodnota před kompenzací a hodnoty konstant  $t_1$  a  $t_2$  se liší podle použitého rozsahu převodníku (Tab. 6). [9]

Tab. 6. Kompenzační konstanty

SO <sub>RH</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>
12 bit	0,01	0,00008
8 bit	0,01	0,00128

### 3.3 MAX3232CD

Integrovaný obvod MAX3232 je převodník RS232, který pracuje již při napětí 3V a je tedy ideální do bateriemi napájeného zařízení. Použit je konkrétně typ MAX3232CD v pouzdře SO16 (16 pinů). Výrobce je firma Texas Instruments. Nabízí maximální rychlost přenosu dat 250kbit/s. [10]

### 3.4 Další součástky

- Keramický SMD kondenzátor 100nF, velikost 1206 (6x)
- SMD rezistor 10k $\Omega$ , velikost 1206 (1x)
- Konektor D-SUB 90° samice (1x)
- Lišta 2x3 piny 90° (1x)
- Pouzdro na AA baterii (2x)

## 4 NÁVRH SCHÉMATU A VÝROBA PLOŠNÉHO SPOJE

Pro návrh plošného spoje jsem použil návrhový systém Eagle ve verzi 5.11.0 Light. Desku plošných spojů jsem vytvořil metodou fotocesty. Výsledné schéma a vzor desky plošných spojů je obsažen v přílohách.

### 4.1 Návrhový systém Eagle

Eagle je u nás jeden z nejrozšířenějších systémů pro návrh plošných spojů. Je vyvíjen německou firmou CadSoft Computer GmbH. Patří do střední třídy CAD programů pro elektroniku. Jeho oblíbenost pramení z relativně snadné pochopitelnosti a dostupnosti (Light verze) systému. Při troše pečlivosti lze vytvářet desky plošných spojů na profesionální úrovni. Další předností jsou dostupné rozsáhlé knihovny součástek.

Návrhový systém Eagle obsahuje tyto moduly:

- Editor schémat
- Editor plošných spojů
- Autorouter
- CAM procesor - generuje technologická data
- Editor knihoven

#### 4.1.1 Vytvoření projektu

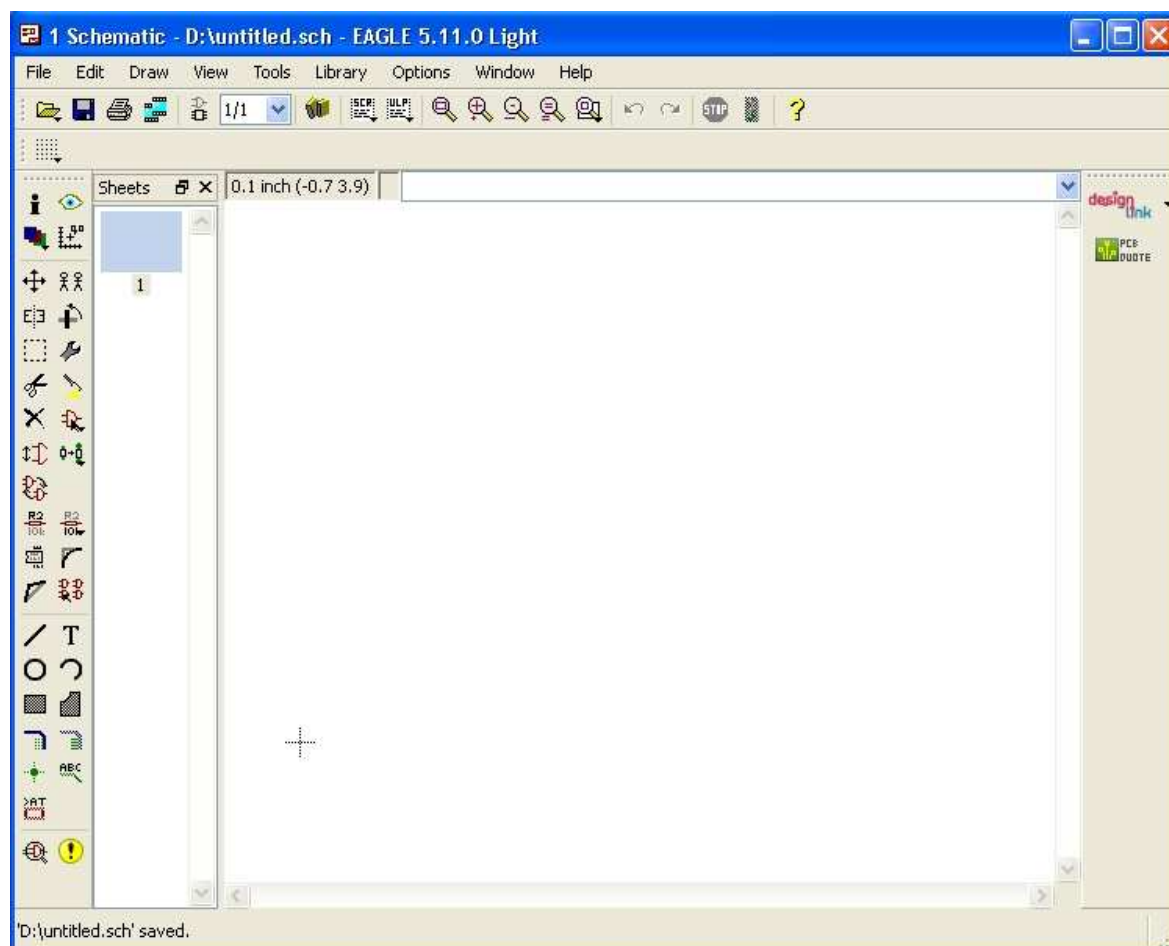
Po spuštění programu se ocitneme v základním ovládacím panelu (Obr. 13). Přes něj se dostaneme k jednotlivým modulům, můžeme v něm také zakládat nové projekty, upravovat prostředí atd. Nový projekt založíme přes menu *File - New - Project*.



Obr. 13. Základní ovládací panel

### 4.1.2 Editor schémat

Nové schéma v aktuálním projektu založíme podobně jako projekt přes menu *File - New - Schematic*. Otevře se nám pracovní prostředí editoru schémat (Obr. 14).



Obr. 14. Editor schémat

Práce v tomto editoru je celkem jednoduchá. Příkazy můžeme zadávat pohodlně výběrem ze dvou sloupců ikoněk na levé straně editoru nebo výběrem z hlavního menu editoru. Příkaz je možno i zadat přímo z klávesnice. Součástku do schématu přidáme přes příkaz *Add*. Tak se nám otevře okno, ve kterém si můžeme vybrat požadovanou součástku z dostupných knihoven součástek. Důležité je volit součástky ve správných pouzdrech - podle toho bude následně generována deska plošných spojů. Další ikonky nám umožní manipulaci s přidanou součástkou (posun, rotace, odstranění...).

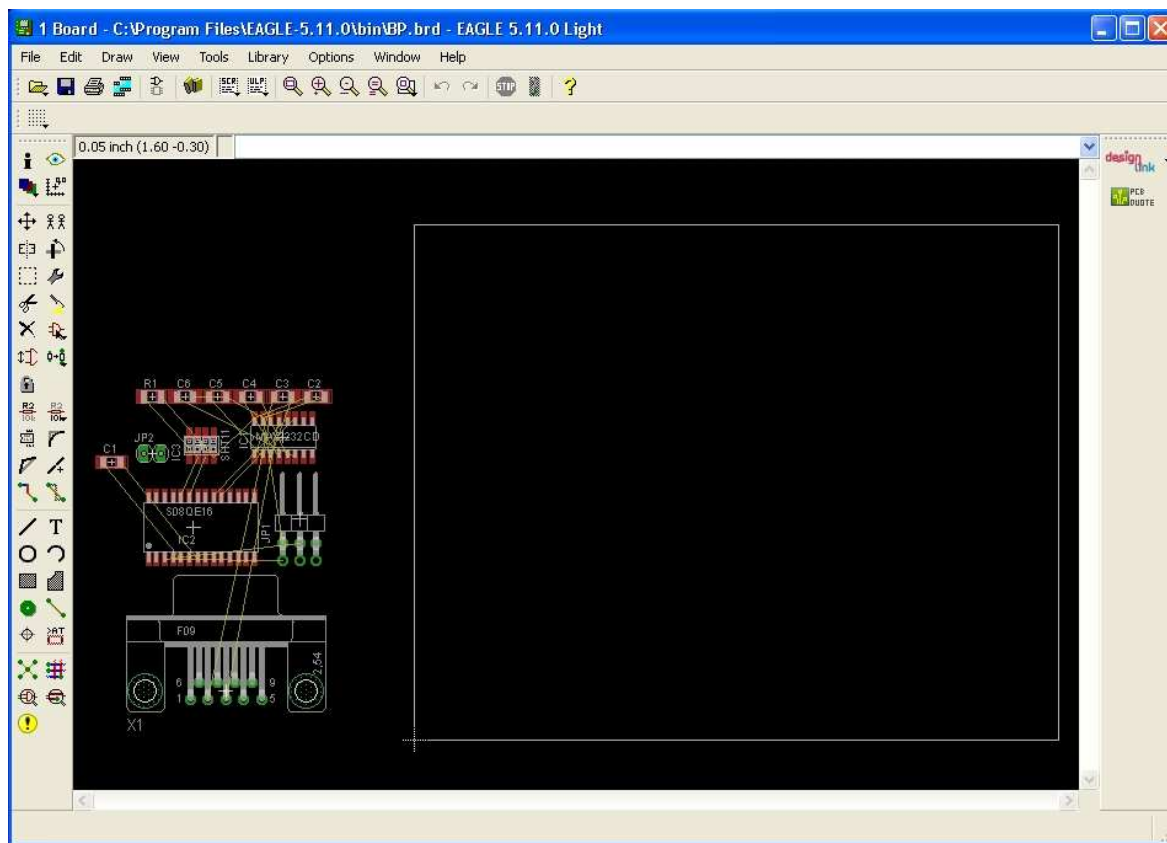
Po umístění požadovaných součástek přichází na řadu jejich propojení. K tomu slouží příkaz *Net*. V tomto režimu stačí kliknout na pin u jedné součástky a poté na příslušný pin, se kterým se má spojit, a vygeneruje se spoj. Před dokončením můžeme provést optickou

a elektrickou kontrolu schématu. Optická kontrola (příkaz *Show*) nám po kliknutí na příslušný spoj „prosvítí“ vše co je tímto spojeno a to včetně pinů součástek. Elektrická kontrola (příkaz *Erc*) zkontroluje zapojení z hlediska zásad správného elektrického návrhu.

#### 4.1.3 Editor plošných spojů

Pokud jsme s návrhem schématu hotovi, můžeme snadno přejít k editoru plošných spojů (příkaz *Board*), který nám vygeneruje součástky a virtuálně je spojí dle schématu. Navíc vygeneruje obrys desky (velikost lze měnit).

Editor plošných spojů má téměř shodné rozmístění ovládacích prvků a stejné ovládání jako editor schémat. Příkazem *Display* můžeme zobrazit nebo skrýt jednotlivé kreslicí vrstvy. Významné jsou *Top* (spoje na straně součástek) a *Bottom* (spoje na straně pájení).

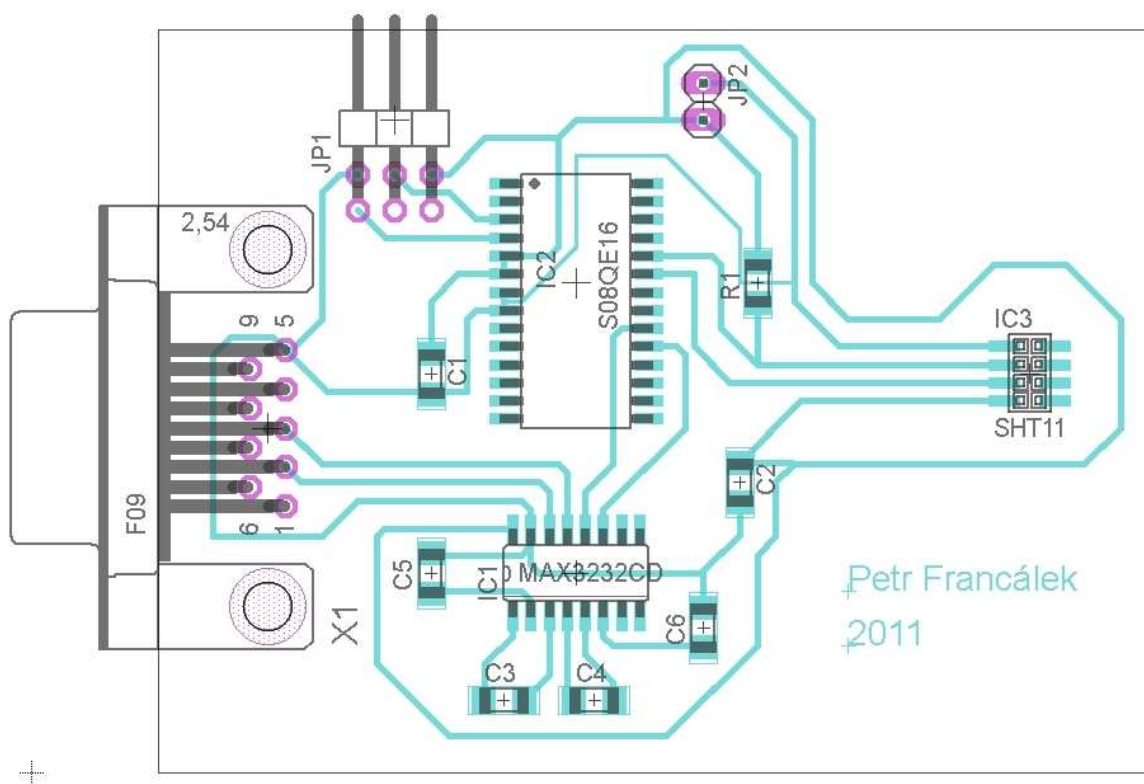


Obr. 15. Editor plošných spojů

Funguje zpětná anotace - změny provedené na desce se zpětně promítají do schématu. Lze měnit např. hodnoty a názvy součástek. Pokud však chceme provést změnu zapojení, musíme se vrátit do schématu. Program hlídá integritu mezi schématem a deskou.

Součástky vhodně umístíme do prostoru desky. Virtuální spoje můžeme optimalizovat příkazem *Ratsnest*. Fáze rozmístění součástek je zásadní část návrhu plošného spoje. Následně spoje spojíme fyzickými spoji ve vrstvě *Top* či *Bottom* manuálně pomocí příkazu *Route* nebo s využitím autorouteru. Automaticky vygenerované spoje potřebují často ještě manuální opravy.

Editor nám umožňuje výsledné schéma vytisknout nebo uložit v různých formátech dle potřeb následné výroby plošného spoje (zrcadlové otočení vzoru atd.). [11]

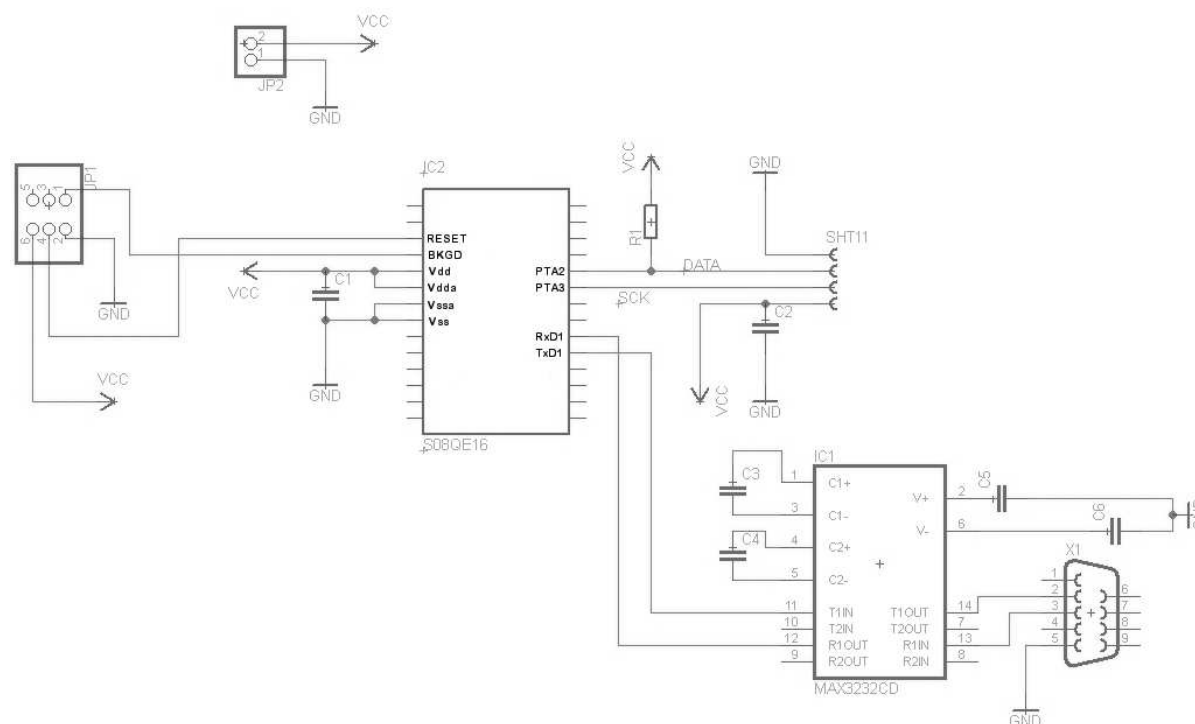


Obr. 16. Výsledný návrh v prostředí Eagle

## 4.2 Schéma zařízení

Výsledné schéma je na Obr. 17. Zařízení je napájeno dvěma tužkovými bateriemi 1,5V zapojenými v sérii (ve schématu JP2). Centrem celého zařízení je mikropočítač MC9S08QE16. Senzor SHT11 je připojen na jeho piny PTA2 (datový vodič) a PTA3 (vodič SCK). Dále je mikropočítač spojen se vstupem pro programátor (JP1) a obvodem MAX3232CD, který má vývody napojeny na 9 pinový D-SUB konektor (X1), pomocí něhož se zařízení připojí k sériovému portu PC. Zapojení senzoru SHT11 se drží výrobcem

doporučeného schématu (Obr. 9). Datový vodič je opatřen pull-up rezistorem  $10\text{k}\Omega$  (R1). Všechny použité kondenzátory (C1 - C6) mají kapacitu  $100\text{nF}$ .



Obr. 17. Schéma zařízení

### 4.3 Výroba desky plošných spojů fotocestou

Existuje celá řada postupů jak vytvořit desku plošných spojů. Metodou fotocesty získáme desku ve slušné kvalitě i v domácích podmínkách. Metoda je vhodná také pro desky s jemnými spoji.

Potřeby:

- Leptací roztok (použil jsem roztok chloridu železitého  $\text{FeCl}_3$ )
- Vývojka (hydroxid sodný  $\text{NaOH}$ )
- Aceton
- Průhledná fólie s natištěnou předlohou
- Fotocitlivý cuprexit
- Zdroj UV záření (horské slunce)

Na průhlednou fólii natiskneme laserovou tiskárnou předlohu desky plošných spojů. Tuto fólii poté přiložíme na fotocitlivý cuprexit a necháme na ni rovnoměrně svítit zdroj UV záření. Fólie musí dokonale přiléhat, nekřít se. Vzorem nezakryté plochy budou ozářeny a stanou se neodolné leptání. Toto trvá cca 5 minut. Poté musíme vyvolat nanesený obrazec v roztoku hydroxidu sodného s vodou. Tento roztok reaguje s osvětlenými místy. Desku poté opláchneme vodou, necháme uschnout a můžeme přistoupit k leptání.

Deska se umístí do roztoku chloridu železitého obrazcem dolů. Chlorid železitý odleptá přebytečnou měděnou plochu. Je třeba chránit se před přímým kontaktem s leptacím roztokem. Leptání trvá cca 10 minut. Nakonec po vyleptání desku očistíme acetonem. Tato deska je již připravena k dalším úpravám (vrtání otvorů atd.) a hlavně k připájení součástek.

## 5 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Program pro mikrokontrolér MC9S08QE16 je napsán v jazyce C. Bylo použito vývojové prostředí CodeWarrior ve verzi 5.9.0. Celý zdrojový kód programu je přiložen v příloze. Následuje popis vybraných částí kódu.

### 5.1 Komunikace po sériové lince

Práce se sériovou linkou spočívá v její inicializaci - funkce *AS1\_Init()* a zajištění samotného přenosu (bez využití přerušovacího systému). Základní funkcí výstupu ze zařízení je potom funkce pro odeslání jednoho znaku:

```
void AS1_PosliChar (char znak) {
    if (SCI1S1_TDRE) {          /* je vysílač prázdný? */
        SCI1D = (byte)znak;     /* znak k odeslání */
    }
    cekej(50);
    return;
}
```

Tuto funkci používá praktičtější funkce, která odešle celý řetězec:

```
void AS1_PosliRetezec(char* s)
{
    int i;
    for(i=0;i<strlen(s);i++){
        AS1_SendChar(s[i]); /*odesila postupne znak po znaku*/
    }
    return;
}
```

Vstup znaku do zařízení z PC pak zajišťuje jednoduchá analogická funkce *AS1\_PrijmiChar()*, která vrací vstupující znak.

Hlavičky všech funkcí pro komunikaci po sériové lince obsahuje soubor *AS1.h*, který je součástí příloh.

## 5.2 Obsluha senzoru SHT11

Kompletní seznam funkcí pro obsluhu SHT11:

- *void SHT11\_start(void);* - startovní sekvence.
- *void SHT11\_reset(void);* - resetovací sekvence.
- *int SHT11\_NacistData(void);* - načtení naměřených hodnot (vlhkost nebo teplota) ze senzoru (bez kontrolního součtu), tyto hodnoty odesílá SHT11 jako 2 po sobě jdoucí bajty, funkce je zachytí a vrátí již výsledné číslo datového typu integer.
- *int SHT11\_MereniRH(void);* - odešle příkaz pro měření RH a vyčká, až senzor vrátí výsledek (pomocí funkce *SHT11\_NacistData()*).
- *int SHT11\_MereniT(void);* - odešle příkaz pro měření teploty a vyčká, až senzor vrátí výsledek (pomocí funkce *SHT11\_NacistData()*).
- *float SHT11\_PrevodRH(int H, char r);* - převod dle vzorce (4), viz výše.
- *float SHT11\_PrevodT(int T, char r);* - převod dle vzorce (5), viz výše.
- *float SHT11\_Kompenzace(int SO, float H, float T, char r);* - tepelná kompenzace RH, vzorec (6), viz výše.

Hlavičky těchto funkcí obsahuje soubor SHT11.h, který je součástí příloh.

Celá komunikace se senzorem je řešena v režii programátora. Jako příklad uvedu odeslání startovní sekvence z Obr. 10.

```
void SHT11_start(void){
    DATA_DIRECTION=1; /*DATA jako output*/
    SCK_DIRECTION=1;   /*SCK jako output*/
    DATA=1;
    SCK=0;              /*vychozi stav*/
    cekej(1);
    SCK=1;
    cekej (1);
    DATA=0;
    cekej (1);
    SCK=0;
    cekej (2);
    SCK=1;
```

```

    cekej (1);
    DATA=1;
    cekej (1);
    SCK=0;
}

```

Na tomto principu funguje veškeré odesílání příkazů (vlhkost vzduchu: 00000101 a teplota: 00000011).

Port PTA3 (SCK) je pouze výstupní (z mikropočítače), ale port PTA2 (DATA) je jak vstupní (načtení naměřené hodnoty), tak výstupní (odeslání příkazu). To je třeba programově řídit. Řízení probíhá přes bit PTADD\_PTADD2 (0 - vstup, 1 - výstup). V programu je definován jako DATA\_DIRECTION.

Ukázka cyklu načtení vyššího bajtu (součást funkce *SHT11\_NacistData()*):

```

DATA_DIRECTION=0; /*DATA jako input*/
for (i=128;i>0;i/=2){ /*8 bitu*/
    SCK=1;
    if (DATA==1)/*prijat bit*/
        msb+=i; /*ulozit bit na vhodnou pozici*/
    SCK=0;
}
DATA_DIRECTION=1; /*DATA jako output*/

```

### 5.3 Hlavní program

Hlavní program v souboru main.c se stará o celou funkčnost zařízení a komunikaci s uživatelem. K tomu využívá výše popsané funkce.

Deklarace použitých proměnných a datových struktur:

```

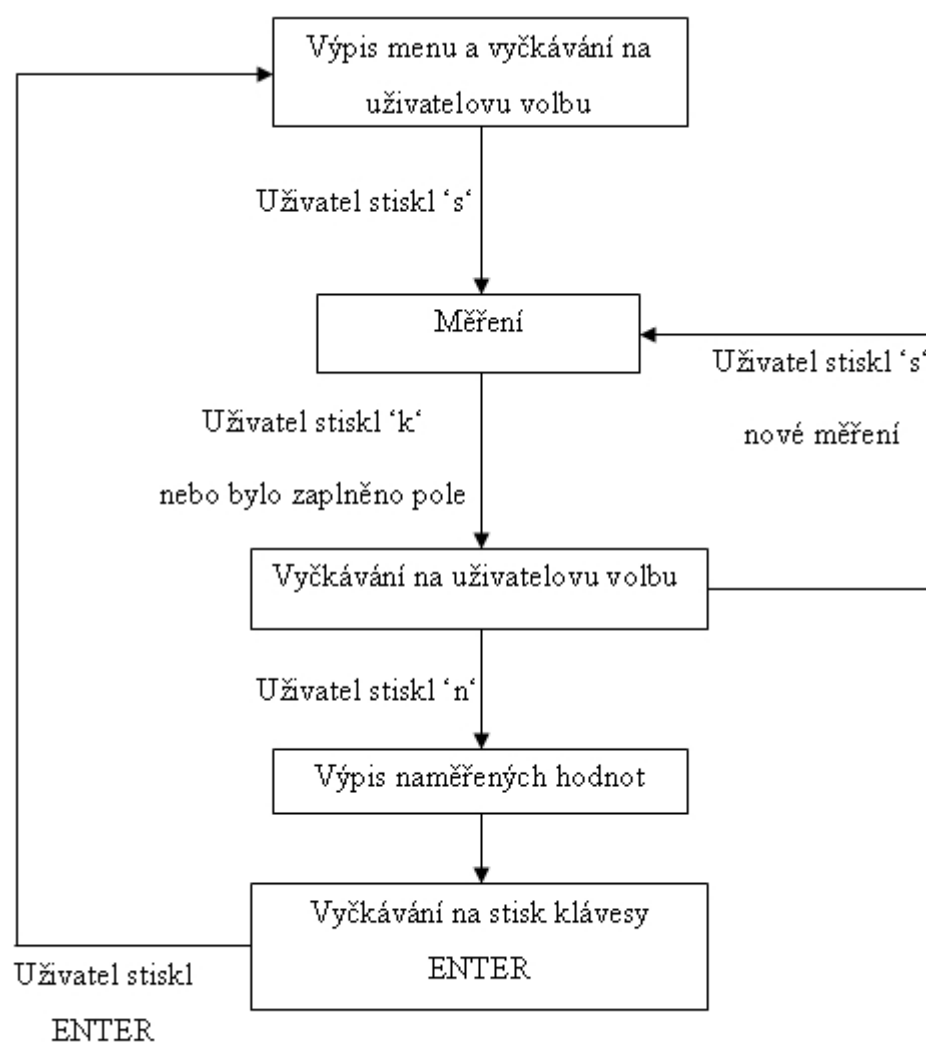
char retezec [30];
char retezec2 [8];
char volba = 'k';
char PocetZaznamu = 0;
char i = 0;
int Ivlhkost,Iteplota;
float prumerRH,prumerT;
typedef struct {
    float vlhkost;
    float teplota;
}hodnoty;

```

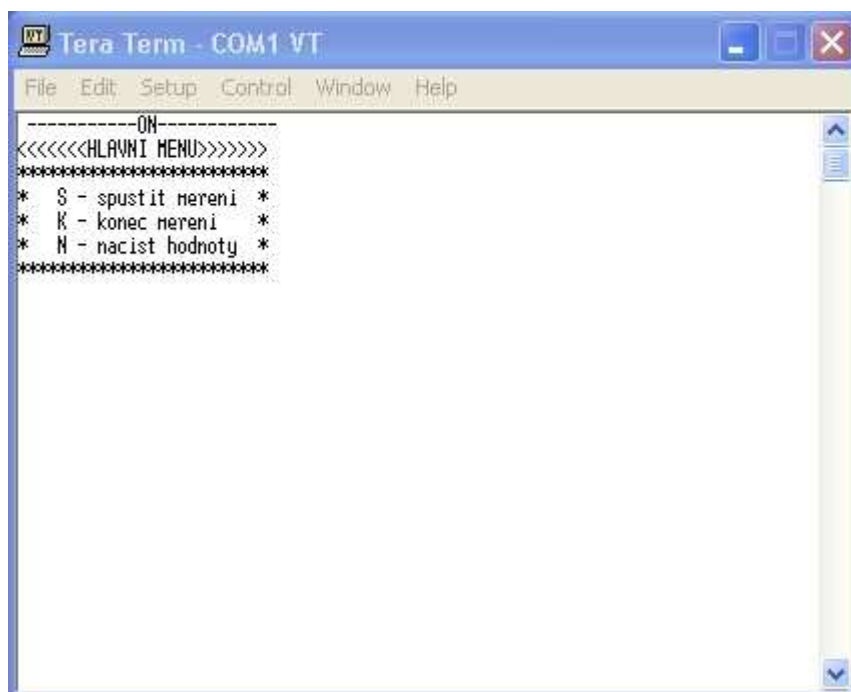
```
hodnoty PoleHodnot[50]; /*pole struktur*/
```

Výsledná teplota a relativní vlhkost vzduchu se po změření uloží do struktury *hodnoty* na příslušný index v poli. Použitá struktura je homogenní (obě položky typu float). Stejnému účelu by posloužilo i pole o dvou prvcích typu float, které by následně mohlo být použito jako prvek celkového pole naměřených hodnot. Použití mnou užitě struktury nám ovšem nabízí příjemnější přístup k naměřeným hodnotám (hodnotu vlhkosti vzduchu z prvního měření získáme takto: *PoleHodnot[0].vlhkost;*). Dalším důvodem pro tuto implementaci je možnost pozdější snadné úpravy kódu. Celá použitá struktura je totiž paměťově poměrně náročná. Pole má 50 prvků a každý tento prvek obsahuje 2 proměnné datového typu float, každá velikosti 4 bajty. Hodnoty měřených veličin (nebo třeba jen jedné z nich) by bylo možno implementovat jako proměnné typu integer apod. To by ušetřilo paměťové místo. Já jsem zvolil typ float, abych docílil větší přesnosti naměřených dat (hodnoty mají při výpisu 1 desetinné místo). Ještě větší přesnost není s přihlédnutím k povaze měřených veličin nutná.

Hlavní program probíhá dle blokového schématu (Obr. 18.). Po spuštění celého zařízení se odešle do PC jednoduché menu po sériové lince (pro všechny výstupy do PC se užívá funkce *ASI\_PosliRetezec()*). K zobrazení tohoto výstupu na PC používám freeware program Tera Term, který slouží jako emulátor terminálu (Obr. 19). Program po zobrazení tohoto menu vyčkává na uživatelskou volbu. Pokud uživatel stiskne klávesu *n* (nerozlišují se velká a malá písmena) začne cyklus měření. Tento cyklus naměří 50 hodnot RH a teploty a uloží je do pole (prvky na indexu 0 až 49). Toto měření může uživatel kdykoliv přerušit stiskem klávesy *k*. Poté má uživatel na výběr, jestli chce data zobrazit nebo začít nové měření (data budou ztracena). Tvar výpisu naměřených hodnot je na Obr. 20. Mimo hodnoty RH a teploty se pro každé měření spočítá i rosný bod (popsáno dále) a nakonec je ještě nalezena průměrná hodnota RH a teploty a k nim opět spočten rosný bod. Od tohoto okamžiku vyčkává na stisk klávesy *ENTER*. Poté opět vypíše menu a celý proces se opakuje.



Obr. 18. Blokové schéma hlavního programu



Obr. 19. Program Tera Term

```

STISKNETE ENTER
<<<<<<HLAVNI MENU>>>>>>
*****
* S - spustit mereni *
* K - konec mereni   *
* N - nacist hodnoty *
*****

.....
MERENI UKONCENO
Vlhkost vzduchu | Teplota | Rosny bod
50.1%           | 27.5C  | 16.2C
50.4%           | 27.5C  | 16.3C
49.4%           | 27.7C  | 16.1C
49.1%           | 27.8C  | 16.2C
49.1%           | 27.9C  | 16.3C
-----
Prumer:
Vlhkost vzduchu | Teplota | Rosny bod
49.6%           | 27.7C  | 16.2C

STISKNETE ENTER

```

Obr. 20. Výstup naměřených dat

### 5.3.1 Výpočet teploty rosného bodu

Zařízení pro každou naměřenou hodnotu teploty  $T$  a relativní vlhkosti vzduch  $\varphi$  spočítá teplotu rosného bodu  $T_r$  (definice rosného bodu byla uvedena v teoretické části). Pro výpočet se využívá vzorec:

$$T_r = T_n \frac{\ln\left(\frac{\varphi}{100}\right) + \frac{mT}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{\varphi}{100}\right) - \frac{mT}{T_n + T}} \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (7)$$

kde volíme konstanty  $T_n$  a  $m$  dle hodnoty teploty  $T$  takto:

- $T_n = 243,12$   $m = 17,62$ , pro teplotu  $T$  v rozsahu  $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$
- $T_n = 272,62$   $m = 22,46$ , pro teplotu  $T$  v rozsahu  $-40^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$

Vzorec (7) pro výpočet teploty rosného bodu doporučuje výrobce čidla SHT11. Výhodou tohoto vzorce je, že nevyžaduje znalost hodnot dalších veličin, jako např. tlaku vodních par. Předpokládám činnost zařízení v *běžných* rozsazích teplot mírného pásma. Proto jsem pro potřeby výpočtu upravil výše uvedené rozsahy teplot na vyšší než  $0^{\circ}\text{C}$  (včetně) a nižší než  $0^{\circ}\text{C}$ . Následuje zdrojový kód funkce, která vrátí teplotu rosného bodu jako číslo typu float.

```
float RosnyBod(float RH, float T) {
    float Tn,m;
    if(T>=0){
        Tn=243.12;
        m=17.62;
    }
    else {
        Tn=272.62;
        m=22.46;
    }
    return Tn*((log(RH/100)+((m*T)/(Tn+T)))/(m-log(RH/100)-
    ((m*T)/(Tn+T))));
}
```

Použitá funkce  $\log(n)$  vrátí hodnotu přirozeného logaritmu čísla  $n$ . Tato funkce se nachází ve standardní knihovně math.h.

## ZÁVĚR

Jako výstup práce bylo vytvořeno jednoduché zařízení, které zaznamenává hodnoty relativní vlhkosti vzduchu a teplotu. Pro tyto hodnoty také vypočítá rosný bod a určí průměr naměřených hodnot. Prakticky by toto zařízení mohlo být využito k měření a archivaci dat v obytných prostorách nebo s vhodnou ochranou úpravou i pro venkovní provoz.

Tvorbě zařízení předcházelo seznámení se s celou problematikou a prostudování příslušné literatury. Následovala volba vhodných součástek a navržení obvodu. Na základě tohoto obvodu bylo následně vytvořeno samotné zařízení. Jeho programování probíhalo v programovacím jazyku C. Výsledný program byl úspěšně otestován, a tím byl splněn cíl bakalářské práce. Celý proces výrazně usnadnily vývojové nástroje Eagle a CodeWarrior.

Během této práce jsem se naučil mnoho nového. Mimo jiné navrhnout vlastní embedded zařízení nebo pájet SMD součástky, což bylo poměrně obtížné a náročné na přesnost. Jelikož jsem se mnoho dovedností teprve učil, není výsledné zařízení dokonalé a našel bych spoustu věcí k vylepšení. Jednou z nevýhod zařízení je nutnost jeho ovládání z PC. Jako klad naopak vidím jeho minimalistický design. Vhodné by bylo také rozšíření o další čidla (např. čidlo atmosférického tlaku) a vytvoření komplexní meteostanice.

Tato práce byla prezentována na studentské soutěži FTA 2010-2011, kterou pořádá firma Freescale Semiconductor.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The output of this work is a simple device that records the value of relative humidity of air and temperature. For these values also calculates dew point and average. This device could be used for measurement and data storage in residential areas or outdoor with appropriate protection.

It was necessary to familiarize yourself with problem and study the relevant literature before construction of device. Next step was selection of appropriate components and design of the circuit. Based on this circuit device was created. Programming the device was done in programming language C. Resulting program was successfully tested and thus fulfill objectives of thesis. The whole process has become much more simple cause of development tools Eagle and CodeWarrior.

During this work I learned a lot. For example designing my own embedded device or soldering SMD components, which was quite difficult for me and it needs accuracy. Because I just learned many skills during work, the resulting device isn't perfect and I could found many things to improve. One of disadvantages of the device is the need of PC to control it. Advantage of the device is its minimalist design. It would also be appropriate to added other sensors (sensor of atmospheric pressure) to build a complete weather station.

This work was presented at a student competition FTA 2010-2011, organized by Freescale Semiconductor.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CATSOULIS, John. *Designing Embedded Hardware*. O'Reilly Media, 2005. 400 s. ISBN 978-0-596-00755-3.
- [2] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN – technická literatura, 2004. 220 s. ISBN 80-7300-110-1.
- [3] MANN, Burkhard. *C pro mikrokontroléry*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 280 s. ISBN 80-7300-077-6.
- [4] KOŽNAROVÁ, Věra; KLABZUBA, Jiří. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie: VI. díl – Voda v atmosféře, výpar, vlhkost vzduchu, půdy a materiálu*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009. 39 s. ISBN 978-80-213-1123-7.
- [5] JENČÍK, Josef; VOLF, Jaromír. *Technická měření*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2003. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.
- [6] PAVELEK, Milan; ŠTĚTINA, Josef. *Experimentální metody v technice prostředí*. Brno: VUTUM, 1997. 215 s. ISBN 80-214-0970-3.
- [7] HANZAL, Josef. *Automa* [online]. 2004 [cit. 2011-04-19]. Vlhkoměry. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=28979](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28979)>.
- [8] Freescale Semiconductor. *MC9S08QE32/16 Reference Manual* [online]. 2009 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <[http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref\\_manual/MC9S08QE32RM.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/ref_manual/MC9S08QE32RM.pdf)>.
- [9] Sensirion the Sensor Company. *SHT1x Datasheet* [online]. 2010 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <[http://www.sensirion.com/en/pdf/product\\_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf](http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf)>.
- [10] Texas Instruments. *MAX3232 Datasheet* [online]. 2004 [cit. 2011-04-03]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max3232.pdf>>.
- [11] MIŠUREC, Jiří; ZEMAN, Václav; ŠTĚPÁN, Miroslav. *Konstrukce elektronických zařízení - návrh plošných spojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002. 67 s.

- [12] KESL, Jan. *Elektronika III: Číslicová technika*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. 112 s. ISBN 80-7300-075-X.
- [13] Sencera Co. Ltd. *H25K5A resistance humidity sensor specification* [online]. [cit. 2011-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.sensorelement.com/humidity/H25K5A%20spec.pdf>>.
- [14] Honeywell. *HIH-3610 Datasheet* [online]. [cit. 2011-04-22]. Dostupné z WWW: <[http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/009012\\_2.pdf](http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/009012_2.pdf)>
- .

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\Phi$	Absolutní vlhkost vzduchu
$\varphi$	Relativní vlhkost vzduchu
A/D	Analogově digitální
ALU	Arithmetic logic unit
CAD	Computer aided design (počítačem podporované projektování)
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor
DC	Direct current (stejnoseměrný proud)
I <sup>2</sup> C	Inter-integrated circuit (multi-masterová počítačová sériová sběrnice)
ln	Přirozený logaritmus
PC	Personal computer (osobní počítač)
RAM	Random-access memory (paměť s přímým přístupem)
RH	Relative humidity (relativní vlhkost vzduchu)
SMD	Surface mount device (součástka pro povrchovou montáž)
SOIC	Semiconductor Small outline integrated circuit
TTL	Tranzistorově-tranzistorová logika
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB	Universal serial bus
UV	Ultrafialové záření

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Statická charakteristika vlasu .....	13
Obr. 2. Psychrometr .....	14
Obr. 3. Odporové senzory vlhkosti .....	16
Obr. 4. H25K5A.....	16
Obr. 5. Výstupní napětí v závislosti na RH a teplotě.....	18
Obr. 6. Průběh signálu z asynchronního vysílače .....	21
Obr. 7. Mapa paměti MC9S08QE16 .....	24
Obr. 8. SHT11.....	25
Obr. 9. Schéma zapojení SHT11 .....	26
Obr. 10. Startovní sekvence .....	27
Obr. 11. Průběh komunikace mikropočítače se senzorem SHT11 .....	28
Obr. 12. Závislost hodnoty relativní vlhkosti vzduchu na výstupu čidla.....	29
Obr. 13. Základní ovládací panel .....	31
Obr. 14. Editor schémat .....	32
Obr. 15. Editor plošných spojů .....	33
Obr. 16. Výsledný návrh v prostředí Eagle.....	34
Obr. 17. Schéma zařízení .....	35
Obr. 18. Blokové schéma hlavního programu .....	41
Obr. 19. Program Tera Term.....	42
Obr. 20. Výstup naměřených dat.....	42

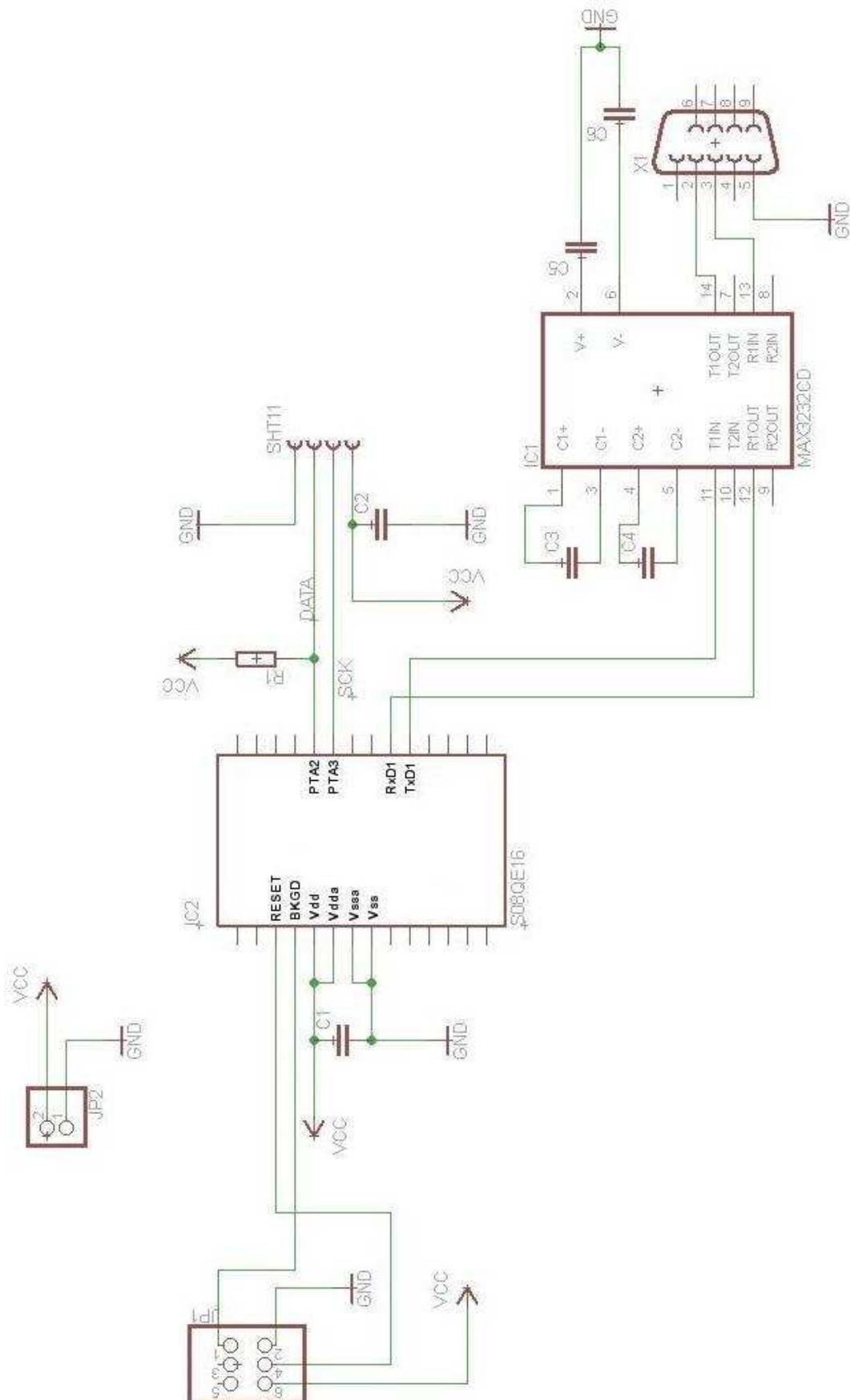
**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. Absolutní vlhkost vzduchu při nasycení vodní párou v závislosti na teplotě.....	12
Tab. 2. Vlastnosti čidla H25K5A.....	17
Tab. 3. Vlastnosti čidla HIH-3610.....	18
Tab. 4. Vlastnosti čidla SHT11.....	19
Tab. 5. Převodní konstanty .....	28
Tab. 6. Kompenzační konstanty.....	29

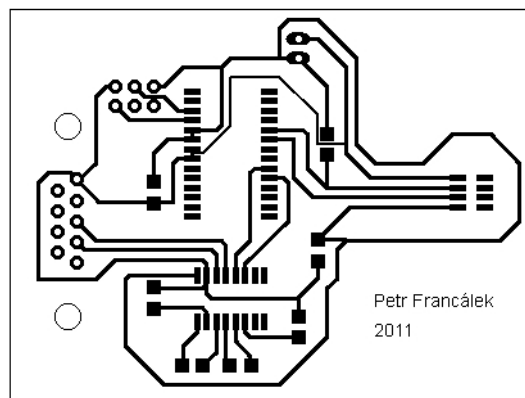
## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Schéma zařízení
- P II Deska plošných spojů
- P III Osazovací výkres

## PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ZAŘÍZENÍ



## PŘÍLOHA P II: DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ



## PŘÍLOHA P III: OSAZOVACÍ VÝKRES

