



Fakulta elektrotechnická

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Čidla vlhkosti a detektory sněhu

Autor práce: Vojtěch Smetana

Vedoucí práce: Ing. Zuzana Petránková, Ph.D.

Plzeň 2012

Anotace

Tato práce vznikla za účelem seznámení se s principy měření vlhkosti a detekce sněhu. Dalším bodem je popis konstrukčních řešení jednotlivých senzorů a detektorů. V následujícím textu naleznete rovněž přehled dnes používaných metod a prostředků. Dále se tato práce zabývá samotným návrhem a sestavením čidla vlhkosti pro venkovní použití. Návrh systému byl proveden v systému Formica. Vlastní konstrukční řešení je realizováno deskou plošných spojů, kde základním elementem je vlhkostní čidlo SHT 11 od firmy Sensorion, které komunikuje s mikrokontrolérem typu AT89S52. Data jsou následně zobrazována na LCD displeji.

Klíčová slova

Vlhkost, vzduch, vodní pára, rosný bod, senzor, sníh, schéma, motiv, teplota.

Abstract

This work was created for the purpose of familiarization with the principles of measurement of humidity and snow detection. Another point is the description of the various designs of sensors and detectors. Below you will also find an overview of methods used today, and resources. Furthermore, this work deals with the actual design and compilation of the humidity sensor for outdoor use. The system design was carried out of Formica. Custom design is realized by PCB, the main element is a humidity sensor SHT 11 from Sensorion company that communicates with microcontroller 89S52 type. In following step is data displayed on the LCD.

Keywords

Humidity, air, water vapor, dew point, sensor, snow, scheme, motive, temperature.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne

Vojtěch Smetana

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Zuzaně Petránkové, Ph.D., za ochotu, užitečné rady, trpělivost, konzultace a metodické vedení při vytváření této práce.

Dále bych chtěl poděkovat všem vyučujícím za profesionální přístup a získané informace během doby studia.

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	9
1 – Úvod, Cíle práce	10
2 – Základní veličiny a druhy vlhkosti vzduchu	11
2.1 Absolutní vlhkost - Φ	11
2.2 Relativní vlhkost – ρ	11
2.3 Měrná vlhkost – χ	12
2.4 Teplota rosného bodu	12
3 – Přehled použitelných metod pro měření vlhkosti plynů	13
3.1 Psychrometrická	13
3.2 Hygrometrická	13
3.3 Rosného bodu	13
3.4 Coulometrická	13
3.5 Další používané metody	13
4 – Popis metod pro měření vlhkosti	15
4.1 Psychrometrická metoda	15
4.1.1 Stabilní (Assmanův)	16
4.1.2 Aspirační	16
4.2 Hygrometrická metoda	17
4.2.1 Metoda Gravimetrická	19
4.2.2 Metoda dilatační	19
4.2.3 Metoda Odporová	21
4.2.4 Metoda Kapacitní	22
4.2.5 Metoda Rezonanční	23
4.2.6 Metoda Tepelné vodivosti	24
4.3 Metoda Rosného bodu	25
4.4 Coulometrická metoda	28
4.5 Měření sorpčního tepla	29
4.6 Difúzní metoda	30
5 - Detektory sněhu	31
5.1 Anténní sněhový senzor	31
5.2 Ultrazvukový výškový senzor sněhu	33

6 - Senzor SHT 11	36
7 - Konstrukce měřicího systému	38
7.1 Návrhový systém Formica 4.40	38
7.2 Návrh schématu.....	38
7.3 Návrh desky plošného spoje.....	40
7.4 Osazení a oživení	43
7.5 Programování a výpočty	44
8 - Závěr.....	49
9 - Použitá literatura.....	50

Seznam symbolů a zkratk

\varnothing [g/m ³]	absolutní vlhkost vzduchu
\varnothing'' [g/m ³]	absolutní vlhkost nasyceného vzduchu
RH [%]	relativní vlhkost vzduchu
m_v [g]	hmotnost vodní páry
V [m ³]	objem vodní páry
T [°C, K]	absolutní teplota
τ	poměrné prodloužení délky
C [mol/kg]	molární vlhkost plynu
LiCl	chlorid lithný
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý, korund
SeO ₂	oxid seleničitý
BaF ₂	Barium fluoride
LED	světlo vyzařující dioda
h [m]	vzdálenost detektoru od podložky
SHT 11	kapacitní senzor vlhkosti
CMOS	technologie výroby integrovaných obvodů
A/D	analogově digitální převodník
OTP	jednorázově programovatelná paměť
PDIP	označení pro typ pouzdra elektornické součástky
SOT89	velikostní označení pouzdra elektronické součástky
LR44	typová velikost baterií
L1325	typové označení alkalické baterie
LCD	displej z tekutých krystalů
DPS	deska plošných spojů
BOT	označení spodních vrstev DPS směrem od středu
TOP	označení horních vrstev DPS směrem od středu

1 – Úvod, Cíle práce

Vlhkost vzduchu a její definice

Nejprve, než přejdeme k přímé definici vlhkosti vzduchu, je třeba definovat několik základních pojmů, jako jsou vlhký a mlhový vzduch. Tyto pojmy vyjadřují, v jaké formě se ve vzduchu vyskytuje voda. Vlhký vzduch je směs suchého vzduchu a vody ve formě vodní páry, oproti tomu pojem mlhový vzduch se používá, pokud je voda ve zkondenzované formě, tj. vodní kapičky či krystalky ledu.

Vlhkost vzduchu udává, jakou měrou je vzduch nasycen vodními parami. Vlhkost je velmi závislá na teplotě, jinak řečeno maximální množství páry, která může být obsažena v určitém objemu vzduchu, závisí na teplotě. Z toho plyne, že při stejném tlaku vodních par, ale při odlišné teplotě je vzduch relativně suchý či vlhký. Jako příklad uvedu následující: v 1m^3 při teplotě 10°C je pouze 9 g vody, kdyžto při 20°C je objem vody již 17 g.

Vlhkost vzduchu se vyjadřuje v procentech, pro lepší představivost, relativní vlhkost je rovna 100%, pokud je vzduch vodní parou zcela nasycen a kdybychom dodali větší množství vodní páry, vedlo by to ke kondenzaci.

Jak jsem již výše zmínil tlak vodních par je jednou z charakteristik vlhkosti vzduchu, další charakteristikou je teplota rosného bodu, což je vlastně teplota, při které se vzduch izobarickým ochlazováním nasytí bez toho, aby bylo dodáno jakékoli množství vodní páry. Pokud teplota klesne pod úroveň teploty rosného bodu, dochází obvykle ke kondenzaci vodní páry. To zapříčiňuje vznik rosy nebo mlhy. Jestliže je relativní vlhkost menší než 100%, je teplota rosného bodu nižší než teplota vzduchu. Tento rozdíl se nazývá deficit teploty rosného bodu, je nepřímo úměrný relativní vlhkosti.

Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je popsat metody ať už dnes či v minulosti používané k měření vlhkosti vzduchu respektive detekci sněhu. Vytvořit přehled těchto metod a zejména konstrukčních řešení senzorů a detektorů užívaných v tomto odvětví.

Dalším neméně důležitým bodem práce je návrh elektronického systému pro měření vlhkosti nebo detekci sněhu, který je určen pro venkovní použití. V následujícím kroku sestavení a oživení tohoto systému ve formě funkčního vzorku. S tímto bodem úzce souvisí návrh technického a programového prostředku.

2 – Základní veličiny a druhy vlhkosti vzduchu

2.1 Absolutní vlhkost - Φ

Pojem, který udává hmotnost vodní páry vázaný na objem vzduchu. Typickou jednotkou je gram na metr krychlový [g/m^3]. Absolutní vlhkost je přímo úměrná teplotě, to znamená, že s rostoucí teplotou vlhkost roste. Množství páry, která může být ve vzduchu obsažena je omezena. Pokud se vzduch plně nasytí, další vlhkost již nepřijme.

$$\Phi = \frac{m_V}{V} \left[\text{g}/\text{m}^3, \text{kg}/\text{m}^3 \right] \quad (2.1.1)$$

kde: m_V hmotnost vodní páry
 V objem

2.2 Relativní vlhkost – ρ

Tento pojem vyjadřuje poměr mezi skutečným a maximálním možným nasycením vzduchu vodní parou. Udává se v procentech [% RH]. Jinak řečeno, je to procentní podíl nasycení suchého vzduchu vodní parou při konstantní teplotě. Pro lepší představu, suchý vzduch má relativní vlhkost 0 %, naopak relativní vlhkost nasyceného vzduchu je 100 %. Relativní vlhkost můžeme určit z parciálního tlaku vodní páry.

$$\varphi = \frac{P_p}{P_p''} = \frac{\Phi}{\Phi''} \cdot 100 [\%] \quad (2.2.1)$$

kde: P_p parciální tlak vodní páry
 P_p'' parciální tlak nasycené vodní páry
 Φ absolutní vlhkost vzduchu
 Φ'' absolutní vlhkost nasyceného vzduchu

$$\varphi = \frac{P_c - P_p}{P_c - P_p''} [\%] \quad (2.2.2)$$

kde: P_c celkový tlak vodní páry a suchého vzduchu

2.3 *Měrná vlhkost – χ*

Udává množství hmoty vodní páry, odpovídající hmotnosti 1 kg suchého vzduchu. Pro výpočet využívá hmotnostní zlomek a poměr hmotnosti vodní páry m_p a hmotnosti suchého vzduchu m_v , jednotkou jsou procenta.

$$\chi = \frac{m_p}{m_v} \cdot 100 [\%] \quad (2.3.1)$$

kde: m_p hmotnost vodní páry
 m_v hmotnost suchého vzduchu

2.4 *Teplota rosného bodu*

Tato teplota označuje hranici, kdy už vzduch není schopen přijímat jakékoli množství vodní páry. Je dána ochlazením vzduchu do stavu sytosti, jinak řečeno je to teplota mezního adiabatického ochlazení. Adiabatické ochlazení je stav sytosti, kdy se medium ochlazuje odpařováním vody bez přívodu nebo odvodu tepla.

3 – Přehled použitelných metod pro měření vlhkosti plynů

3.1 Psychrometrická

Tato metoda je založena na snímání mezního adiabatického ochlazení. Měření probíhá při adiabatickém sycení vzduchu vodní párou, kdy je měřena teplota suchého a mokrého teploměru, respektive rozdíl parciálních tlaků. Relativní vlhkost je poté dána psychrometrickým rozdílem.

3.2 Hygrometrická

Je to druh metody sorpční, u které se využívá sorpční vlhkosti, která mění permitivitu a vodivost nebo fyzické vlastnosti. Tato změna je způsobena absorpcí molekul vodní páry, která je součástí vzduchu či jiného plynu. Výhodou je jednoduchost a zároveň dobrá citlivost.

3.3 Rosného bodu

Principem je měření teploty na povrchu vody při dynamické rovnováze mezi množstvím vypařené vody z povrchu a množstvím kondenzované vodní páry z okolního vzduchu. Pokud dosáhneme rovnováhy, tak teplota vzduchu je shodná s teplotou povrchu vody, zároveň tato vrstva vzduchu má relativní vlhkost 100 %.

3.4 Coulometrická

Patří mezi elektrolytické metody měření, základem je tenká vrstva oxidu fosforečného, která pokrývá elektrodu a absorbuje vodní páru z měřeného vzorku. Tato vlhkost je elektrolyzována proudem, který dodává vnější zdroj. Pokud je proudění plynu či vzduchu v okolí měřící elektrody konstantní, tak je dodávaný proud přímo úměrný vlhkosti plynu. Metoda vhodná zejména pro měření malých koncentrací vlhkosti.

3.5 Další používané metody

- měření sorpčního tepla
- difúzní metoda
- měření tepelné vodivosti
- měření pomocí rovnovážného elektrolytického teploměru

- měření permitivity
- využití monokrystalu iontové soli
- spektrální metody -využití schopnosti atomů a molekul pohlcovat a vyzařovat elektromagnetické vlnění pouze některých vlnových délek
- chromatografické metody -vlhkost je stanovena pomocí dalších složek plynu

4 – Popis metod pro měření vlhkosti

4.1 Psychrometrická metoda

Měření tímto způsobem je nejčastěji aplikovaná metoda pro měření relativní vlhkosti. Princip činnosti spočívá v měření teploty pomocí 2 teploměrů, kdy se každý z nich nachází v odlišném prostředí. Teplota jednoho je měřena v běžném prostředí, tento teploměr označujeme jako suchý. Druhý teploměr je vlhčen, tak že je obalen materiálem, který jímá vlhkost, například vhodný druh tkaniny. Tímto materiálem vzlíná voda z nádoby, ve které je tento teploměr, označovaný jako mokrý umístěn. Voda obsažená ve tkanině se odpařuje v závislosti na vlhkosti okolního prostředí, tím je ovlivněna teplota vlhčeného teploměru oproti teploměru suchému. Tento rozdíl teplot na obou teploměrech se nazývá psychrometrická diference, ze které určíme tlak vodní páry a následně pomocí tabulek relativní vlhkost. Princip tohoto měření a samotný odečet z tabulek je odvozen z psychrometrické rovnice.

$$m = kSD(p'_{T_w} - p') \quad (4.1.1)$$

kde:

S	plocha odpařování
D	difúzní koeficient vodní páry ve vzduchu
p'_{T_w}	tlak nasycené vodní páry vlhkého teploměru při teplotě T_w
p'	tlak vodní páry ve vzduchu
k	psychrometrická konstanta
m	množství vody vypařené za jednotku času z povrchu S vlhkého teploměru

Závislost relativní vlhkosti na intenzitě odpařování je nepřímo úměrná, z toho plyne, že pokud se intenzita odpařování z povrchu vlhčeného teploměru zvyšuje, tím se snižuje teplota tohoto teploměru a tím také relativní vlhkost. Intenzita odpařování je závislá na relativní vlhkosti vzduchu, kterým je měřicí systém obklopen. Například pokud by systém obklopen zcela nasyceným vzduchem, oba teploměry by ukazovaly stejnou hodnotu, jelikož by nedocházelo k odpařování jakéhokoliv množství vody.

Naopak, aby mohlo docházet k odpařování, je potřeba dodat určité množství tepla.

$$Q_1 = \Delta hm = \Delta kSD(p'_{T_w} - p') \quad (4.1.2)$$

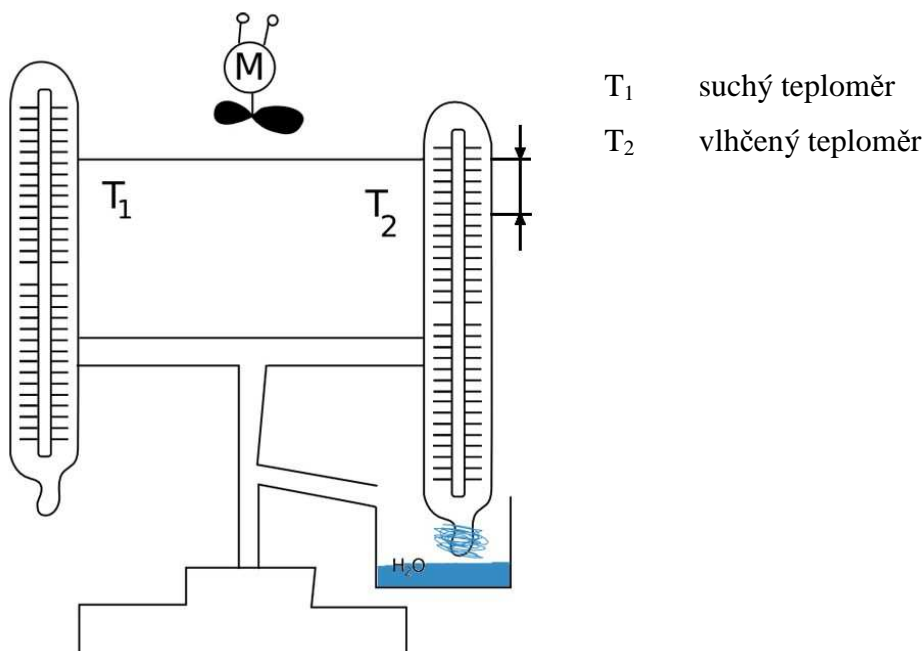
kde: Δh – specifické výparné teplo vody

Chyba této metody a samotného určení relativní vlhkosti je závislá na teplotě vzduchu, geometrických rozměrech teploměru, vlivu slunečního záření apod. Chyba roste se snižující se teplotou.

Dělení psychrometrů:

4.1.1 *Stabilní (Assmanův)*

- nutnou podmínkou není cirkulace vzduchu nebo měřeného plynu
- velká chyba měření (až $\pm 20\%$ RH)

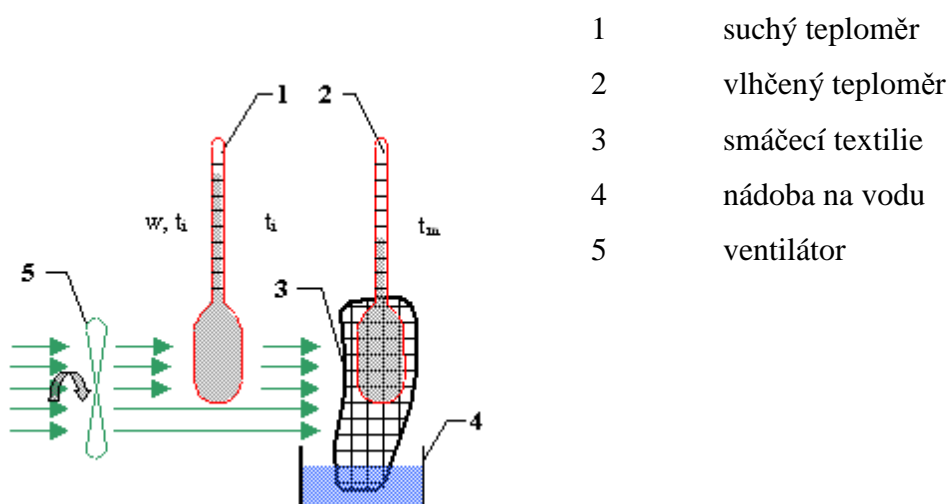


obr 4.1.1 stabilní psychrometr

[zdroj: <http://www.iautomatizace.cz>]

4.1.2 *Aspirační*

- měřené médium cirkuluje, tento průtok je zajištěn buďto umělým větráním nebo malou turbínou
- umělým větráním lze dosáhnout max. průtoku 2,5 m/s
- turbína, poháněna malým motorkem dokáže překročit tuto hodnotu
- při užití rtuťových teploměrů vzniká chyba $\pm 1 - 2\%$ RH



obr 4.1.2 principiální schéma aspiračního psychrometru

[zdroj: <http://www.e-automatizace.cz>]

Moderní psychrometrické přístroje mají zajištěné automatické doplňování vody do zásobníku, namísto kapalinového teploměru používají odporové či termoelektrické senzory. Zároveň jsou doplněny o převodník, který převádí výstupní elektrický signál senzoru na hodnoty vlhkosti bez nutnosti užití tabulek. Tyto přístroje dosahují přesnosti asi $\pm 3\%$.

Výhody

Nízká cena, vysoká rychlost měření

Nepotřebují speciální kalibraci

Nevýhody

Pokles citlivosti při nízkých teplotách (0°C - dosahují nejvyšší přesnosti)

Nutnost konstantního toku plynu

4.2 Hygrometrická metoda

Jak jsem již výše zmínil, jedná se o metodu sorpční, která využívá fyzikálních či chemických změn vlastností materiálu. Tyto změny jsou zapříčiněny změnou absorbované vlhkosti respektive vodní páry zkoumaného materiálu.

Vlhkost má za následek zejména změny tohoto druhu:

- objem
- hmotnost
- elektrický odpor
- permitivita

Z tohoto hlediska také následně můžeme tyto metody dále rozlišovat a určit jednotlivé druhy senzorů, které pracují s těmito principy. Na senzory jsou také kladeny určité požadavky, a to zejména:

- odezva ve směru sorpce a desorpce musí být rychlá s velmi malou hysterezí
- změna měřené veličiny musí být dostatečně velká a zároveň lineárně závislá na relativní vlhkosti nebo teplotě rosného bodu
- stálost kalibračních křivek za běžných měřících podmínek
- měřitelnost v širokém teplotním rozsahu, vliv teploty na měření musí být zanedbatelný

Výhody

Jednoduchost konstrukce senzorů (nízká cena).

Rychlost měření, velký rozsah akceptovatelných vlhkostí, dobrá rozlišitelnost.

Nevýhody

Hystereze, teplotní závislost sorpce a desorpce, nestabilita kalibračních křivek.

Dělení sorpčních metod:

- gravimetrická
- dilatační
- odporová
- kapacitní
- rezonanční
- pomocí tepelné vodivosti

4.2.1 *Metoda Gravimetrická*

Tato metoda je považována za standard pro měření vlhkosti plynů. Princip této metody a samotného zařízení pro měření touto metodou je velmi jednoduchý. Vhodný absorpční materiál, někdy označován jako sušidlo, pohlcuje vodní páru známého objemu. Poté se odečítá přírůstek hmotnosti.

Současný model měření touto metodou spočívá v plynu, který protéká třemi trubicemi tvaru U, které jsou plněny chloristanem hořečnatým nebo oxidem fosforečným. Po průchodu plynu prvními dvěma trubicemi je odečtena hmotnost. Přírůstek hmotnosti a známý objem plynu poté slouží pro výpočet střední hodnoty vlhkosti. Poslední trubice slouží ke kontrole a zároveň zabraňuje difúzi vlhkosti do opačného směru. V dnešní době se používá zejména pro kalibraci a ověřování měření pomocí jiných metod.

Nevýhody

Časová náročnost měření

Použitelnost přístroje pouze pro laboratorní měření

4.2.2 *Metoda dilatační*

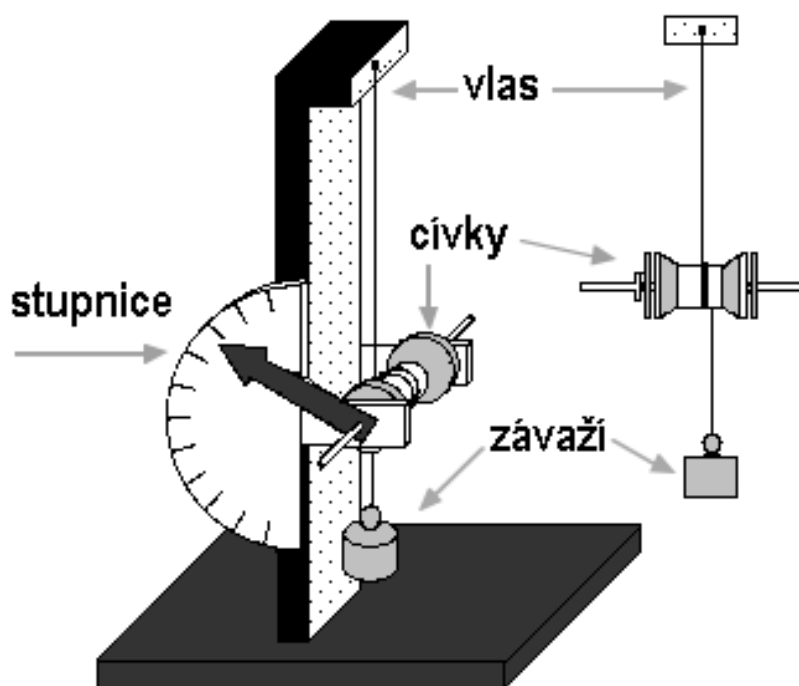
Nejstarším materiálem, který se využívá v rámci tohoto měření, je odmaštěný lidský vlas, který je základem tzv. vlasového vlhkoměru či hygrometru (*obr 4.2.2.1*). Princip tohoto přístroje je založen na vhodných vlastnostech lidského vlasu, popř. koňské žíně, která po odstranění tuku, svými vlastnostmi shoduje se zmiňovaným lidským vlasem. Fyzikálně se tento vlas či žíně chová tak, že se v závislosti na vlhkosti mění jeho délka. Pro rostoucí vlhkost vzduchu se délka zvyšuje, a naopak pro klesající vlhkost prostředí se délka zmenšuje.

Přístroj je koncipován tak, že určité množství vlasů tvoří svazek, který je jedním koncem pevně spojen s pružinou, která se opírá o nařizovací šroub, druhý konec svazku je zavěšen na rameni, které celý systém napíná. Poté jakákoliv změna délky vlasu, způsobena změnou vlhkosti je převáděna na stupnici, která znázorňuje hodnotu relativní vlhkosti.

Poměrné prodloužování je dáno vztahem:

$$\tau = k \cdot T \cdot \log \varphi \quad (4.2.2.1)$$

kde: T absolutní teplota [K]
 k konstanta
 φ relativní vlhkost [%]



obr 4.2.2.1 principální schéma vlasového vlhkoměru

[zdroj: <http://www.uq.edu.au>]

Pro urychlení měření je možno výchylku převést na elektrický signál, který je následně snímán odporovým potenciometrem nebo indukčním snímačem.

V závislosti na vlhkosti je vlas schopen změnit svoji délku o 2,5 až 3 % při změně relativní vlhkosti 0 – 100 %, z čehož vyplývá, že teoretická přesnost je kolem 3 %. Závislost délky vlasu a vlhkosti ale není lineární, ale spíše se podobá funkci logaritmus. Pro zlepšení vlastností se používá různých úprav vlasu, abychom zlepšili linearitu a zároveň zmenšili hysterezi, je možno odmastit vlas pomocí éteru.

Výhody

Spolehlivost při teplotách pod bodem mrazu, až do 80°C.

Velká jednoduchost celého zařízení.

Nevýhody

Nutnost časté regenerace.

Ta spočívá ve vystavení senzoru do prostředí s vysokou vlhkostí, blízkou stavu nasycení. To může být problém u vnitřních zařízení. U přístrojů zejména pro meteorologické, či jiné odborné měření probíhá tato regenerace samočinně při výrazném poklesu teploty (noční provoz), kdy dochází k výraznému zvýšení relativní vlhkosti, která často dosahuje hodnot rosného bodu.

Choulostivost při vyšších teplotách.

4.2.3 Metoda Odporová

Tato metoda respektive senzor pracuje na principu změny elektrolytické vodivosti. Základem je elektrolyt v pevné nebo kapalné formě.

Základem odporového hygrometru s kapalným elektrolytem na bázi Lithium-chloridu, je nevodivá trubička, na níž je umístěna tkanina, která se sestává z drátkových elektrod, které jsou navinuty bifilárně a připojeny na zdroj střídavého proudu. Zároveň je tkanina napuštěná již zmiňovaným roztokem LiCl (Lithium-chlorid). Po sepnutí zdroje, se začne elektrolyt ohřívat a tím pádem se z roztoku začne odpařovat voda. Tento jev způsobí pokles vodivosti a následné snížení procházejícího proudu, které provází pokles teploty. Naopak snižováním teploty dochází k absorpci vodní páry, zvyšování vodivosti a proudu, který zapříčiní zvýšení teploty. Rovnováha systému a objemu vody v elektrolytu je závislá na teplotě, která je funkcí parciálního tlaku vodních par ve vzduchu.

Druhou variantou je elektrolyt v pevném skupenství. Tuto variantu tvoří hliníková elektroda, jejíž povrch je tvořen vrstvou Al_2O_3 (oxid hlinitý), na druhé elektrodě je napařena tenká vrstva zlata, která je pro vodní páru propustná.

Měření probíhá při napájení střídavým proudem, abychom předešli polarizaci elektrod. Velikost měřeného odporu je závislá jak na relativní vlhkosti, tak i na teplotě, proto je nutné měřící soustavu teplotně stabilizovat. Výše zmíněná závislost vlhkosti a odporu je exponenciální. Rychlost odezvy je závislá na pohybu a teplotě okolního vzduchu.

Používané senzory se liší většinou pouze typem používaného elektrolytu: LiCl, SeO₂, BaF₂, ZnO Cr₂O₃.

Výhody

Velká přesnost, až desetiny % RH. Dobrá stabilita.

Nevýhody

Citlivost senzoru na kondenzaci, nemožnost použití při vyšších teplotách.



obr 4.2.3.1 kapacitní a rezistivní vlhkoměr

[zdroj: <http://machinedesign.com>]

4.2.4 Metoda Kapacitní

Konstrukce těchto senzorů je podobná konstrukci odporového senzoru, pracuje na principu kondenzátoru, jehož dielektrikum tvoří polymer s hygroskopickými vlastnostmi. Polymer je tenká vrstva takového materiálu, který je schopen vratně sorbovat vlhkost okolního prostředí. Místo polymer je možné použít také vhodný oxid kovu. Elektrody kondenzátoru jsou odlišné, jedna z elektrod je děrovaná a umožňuje kontakt vzduchu a dielektrika.

Princip, se kterým se zde pracuje, je změna kapacity a elektrického odporu, tím pádem také impedance, vlivem sorpce vlhkosti materiálem. Množství vody, které je materiálem absorbováno, je velmi malé, přesto jsou změny kapacity dobře měřitelné, vlivem velké dielektrické konstanty. Možnou výhodou je možnost výstupu v přijatelnější formě elektrického napětí či digitálního rozhraní.

Výhody

Velká citlivost, malý vliv znečištění, malá závislost měřeného údaje na teplotě.

Odolnost vůči kondenzaci, přesnost na jednotky % RH.

Měřitelnost jak vlhkosti plynů, tak i kapalin.

Téměř lineární závislost kapacity senzoru a relativní vlhkosti.

Nevýhody

Odezva v řádu desítek sekund.

4.2.5 Metoda Rezonanční

V tomto případě probíhá měření tak, že množství vody, která je sorbována materiálem, ovlivní celkovou vlhkost tohoto materiálu.

Jak již název metody napovídá, princip je založen na oscilacích, proto i měřicí obvod je sestaven z oscilátoru, do jehož obvodu jsou zapojeny elektrody křemíkového výbrusu. Z tohoto zapojení je patrné, že frekvence výstupního vysokofrekvenčního napětí závisí na mechanických vlastnostech křemíkového výbrusu. Těmito vlastnostmi jsou zejména rozměry a hmotnost.

Z této závislosti, při zjednodušení některých podmínek vyplývá:

$$\Delta f = K - \Delta m \quad (4.2.5.1)$$

kde: Δf změna frekvence vyvolaná změnou hmotnosti

K konstanta úměrnosti

Δm změna hmotnosti

$$K = \frac{f^2}{N \cdot \rho \cdot S} \quad (4.2.5.2)$$

kde: f vlastní frekvence oscilátoru

N frekvenční konstanta závislá na úhlu řezu

ρ hustota křemene

S plocha výbrusu

Pro praktické využití těchto poznatků je nutné splnit několik základních podmínek:

- Malé množství sorbované látky, jelikož velké množství sorbované vody ovlivní koncentraci vodních par v měřené látce.
- Pro rychlou odezvu je nutné, aby se na povrchu sorbantu rychle ustálila dynamická rovnováha mezi plynnou fází a sorbovanou látkou.
- Dostatečná rychlost metody pro měření změny hmotnosti.

4.2.6 Metoda Tepelné vodivosti

Principem této metody je využití závislosti tepelné vodivosti vzduchu na její vlhkosti. Této závislosti vyhovuje konstrukce s vyhřívanými termistory. Senzor je sestaven ze 2 shodných termistorů, kde jeden je hermeticky oddělen a uzavřen v prostředí se suchým dusíkem. Druhý termistor je volně uložen, tak aby jej mohl obklopovat okolní vzduch. Sériové spojení těchto termistorů tvoří jednu větev můstku, kde druhá větev je tvořena pevnými rezistory a proměnným trimrem, který slouží k nulování rozváženého můstku. Pokud jsou termistory protékány proudem, tak se zahřívají do teploty, která je závislá na tepelné vodivosti okolního plynu. Pokud je můstek umístěn v absolutně suchém prostředí, je vyvážen a zobrazuje nulovou výchylku, tato výchylka se začne měnit spolu se změnou vlhkosti prostředí. Výstupní signál senzoru je úměrný absolutní vlhkosti.

Výhody

Měřitelnost i při vysokých teplotách (až 200°C)

Vysoká chemická odolnost

4.3 Metoda Rosného bodu

Principem, na kterém tato metoda zakládá, je měření teploty povrchu vody. Tato hodnota udává dynamickou rovnováhu mezi množstvím vody, která je odpařena z povrchu a množstvím kondenzátu, vyjádřeného množstvím molekul vodní páry v prostředí obklopujícím systém. Dosáhneme-li rovnovážného stavu, plyn obklopující a dotýkající se povrchu vody dosáhne této teploty, zároveň bude relativní vlhkost rovna 100 %. Za tohoto předpokladu určíme teplotu, při které je systém v rovnováze a následně pomocí tabulek stanovíme tlak vodní páry, který pro určitou hodnotu teploty dosahuje svého maxima. Z tohoto principu tedy vyplývá, že teplota dosažení rovnováhy odpovídá teplotě rosného bodu, ze které se následně určuje příslušný tlak vodní páry.

Další možností pro určení hodnoty teploty rosného bodu, se kterou se pracuje, je ochlazování a následné ohřívání senzoru. Postupně snižujeme teplotu na senzoru tak, abychom dosáhli kondenzace, jakmile se kondenzát objeví, končí část ochlazování a začíná část ohřevu, která trvá do doby, než kondenzát opět zanikne. Záznam hodnot, kdy vznikl a zanikl kondenzát, slouží pro výpočet jako střední hodnota rovnovážného stavu. Tento postup, a takto nalezená teplota se od skutečné teploty rosného bodu značně liší. Vzniklá diference je tedy největším limitem tohoto postupu.

Clausius-Clapeyronova rovnice vyjadřuje závislost relativní vlhkosti a teploty rosného bodu

$$p' = p_0 \cdot \exp \left[\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4.3.1)$$

kde: ΔH latentní teplo vypařování
 p_0 tlak nasycené vodní páry při teplotě T_0
 p' tlak nasycené vodní páry při teplotě T

Následnými úpravami rovnic dosáhneme hodnoty, udávající přesnost měření rosného bodu, takové, která zajistí určení relativní vlhkosti s danou přesností. Na rozdíl od psychrometrické metody dosahujeme srovnatelné přesnosti jak při vyšších, tak při nižších teplotách. Požadovaný teplotní rozsah je -20°C - 40°C a dosažení 1% absolutní přesnosti měření relativní vlhkosti ρ .

$$p = p' \cdot \rho \quad (4.3.2)$$

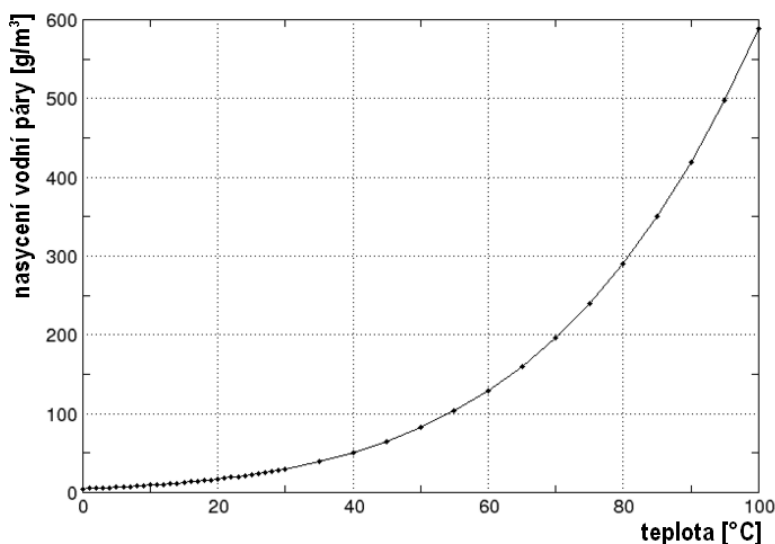
tlak vodní páry, je-li při absolutní teplotě T relativní vlhkost ρ

zároveň však platí:

$$p = p_{RB} \quad (4.3.3)$$

kde: p_{RB} tlak nasycené vodní páry při teplotě rosného bodu

Závislost nasycení vodní páry na teplotě



obr 4.3.1 graf závislosti vodní páry na teplotě

[zdroj: <http://cs.wikipedia.org>]

z toho plyne:

$$p_{RB} = p' \cdot \rho \quad (4.3.4)$$

dosadíme-li z Claus.-Clapey. rovnice:

$$p_0 \cdot \exp \left[\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{\vartheta_{RB}} \right) \right] = \rho \cdot p_0 \cdot \exp \left[\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4.3.6)$$

po úpravě:

$$\ln \rho = \left[\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{\vartheta_{RB}} \right) \right] \quad (4.3.7)$$

$$\vartheta_{RB} = \frac{1}{\frac{1}{T} - \frac{R}{\Delta H} \ln \rho} \quad (4.3.8)$$

derivace podle ρ :

$$\frac{d \vartheta_{RB}}{d \rho} = \frac{\frac{R}{\Delta H} \frac{1}{\rho}}{\left(\frac{1}{T} - \frac{R}{\Delta H} \ln \rho \right)^2} \quad (4.3.9)$$

Při měření metodou rosného bodu používáme kondenzační vlhkoměry (*obr 4.3.1*), které se skládají z několika základních částí. Pro měření teploty používají termočlánky nebo termistory, dalším prvkem je ochlazovací zdroj, který u moderních přístrojů tvoří termoelektrický chladič. Dnešní vlhkoměry jsou složitější elektronická zařízení, která mimo jiné často obsahují mikroprocesor pro vyhodnocení výsledků.

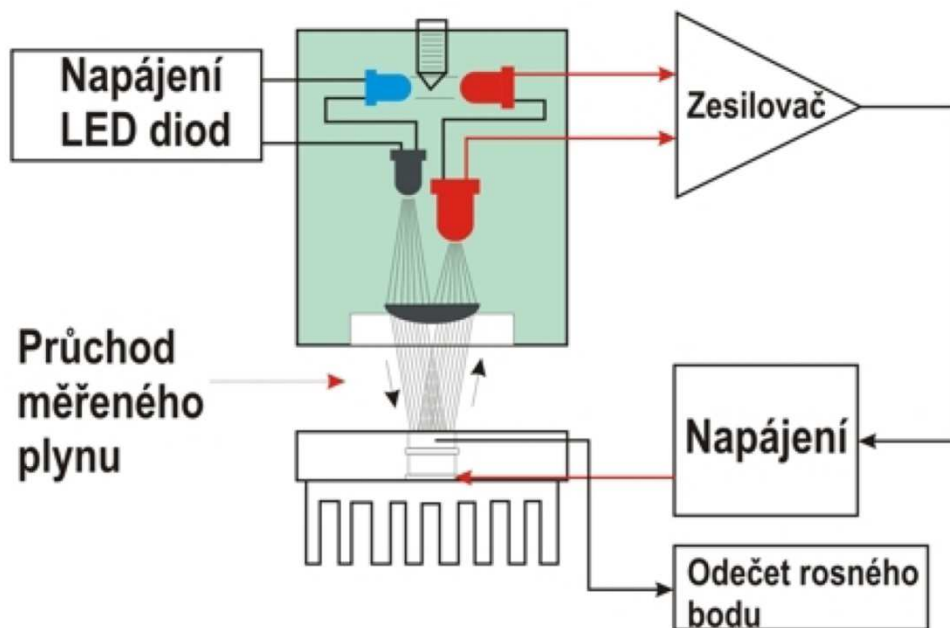
Princip přístroje tkví v ochlazení určitého materiálu, na kterém sledujeme změny srážení vlhkosti. Tento materiál musí splňovat určité požadavky na tepelnou vodivost a odolnost proti oxidaci. Těmto požadavkům vyhovuje součástka vytvořená z více materiálů, kde substrát tvoří kovová destička pokrytá skleněnou odrazivou plochou.

Další část je tvořena snímací elektronikou, vysílač představuje LED dioda, která je směřována na odrazivou plochu, odražený světelný paprsek snímá fotocitlivý prvek, nejčastěji fototranzistor. Tento obvod, jak jsem výše zmínil, snímá odrazivou plochu, pokud se kovová destička začne rosit, tak se sníží intenzita odraženého světla, což zaznamená fotodetektor a tuto informaci předá řídicímu obvodu. Ten zároveň spravuje ostatní části systému, a proto je schopen měnit teplotu v takovém rozsahu, dokud systém nedosáhne rovnovážného stavu.

Namísto snímacího systému a zrcadla se také používá krystalový rezonátor, kde se změnou orosení povrchu krystalu mění jeho rezonanční frekvence, která je opět zpracovávána řídicím obvodem.

Výhody

Dobrá stabilita, velká přesnost, odolnost proti chemikáliím



obr 4.3.1 principální schéma kondenzačního vlhkoměru

[zdroj 1]

4.4 Coulometrická metoda

Tato metoda spadá pod metody, kde se využívá elektrolytický roztok, proto ji řadíme mezi elektrolytické metody. Základem je elektroda pokrytá filmem hygroskopické látky, nejčastěji se používá se oxid fosforečný, který pohlcuje vodní páru, která je obsažena v měřeném plynu. Poté, co se vodní pára dostane na elektrodu pokrytou filmem, molekuly vody se rozloží na kyslík a vodík. Vrstva oxidu je tedy stále udržována v téměř suché formě a je tedy schopna poutat další množství vodní páry. Toto měření probíhá při konstantního napětí a na elektrodě je měřen časový průběh proudu, který je prochází elektrolytickým článkem při výše zmíněném chemickém rozkladu.

Z Faradayova zákona můžeme určit výsledný náboj, jako integrál proudu podle času, potřebný pro rozložení 1 molu vody: $1,93 \cdot 10^{-5}$. Pokud jsou známy další veličiny, jako rychlost proudění vzduchu čidlem a proud článkem lze určit molární vlhkost C:

$$I = Q_m F C + (i_e + i_r) \quad (4.4.1)$$

kde:	I	procházející proud, při konst. napětí	[A]
	Q_m	hmotnostní průtok plynu	[kg/s]
	F	Faradayova konstanta = $9,648 \cdot 10^4$	[C/mol]
	C	molární vlhkost plynu	[mol/kg]
	i_e	elektrolytický proud pozadí	[A]
	i_r	rekombinační proud	[A]

Tato metoda je vhodná zejména pro měření malých obsahů vlhkosti.

Výhody

Nevyžaduje kalibraci přístroje

Dostatečná přesnost a dynamika

Nevýhody

Závislost na protékajícím plynu

Možnost reakce měřeného plynu a materiálu senzoru

4.5 Měření sorpčního tepla

Princip si zakládá na uvolnění nebo naopak na pohlcení tepla materiálem v závislosti na sorpci tuhého nebo kapalného toho daného materiálu. Množství této energie ve formě tepla je závislé hned na několika faktorech: vlastnosti sorbentu, množství sorbentu, množství sorbované vody a teplotě.

Následně je v měřícím ústrojí zkoumaný plyn rozdělen na dvě části, kdy první část je přenášena přímo na senzor, zatímco druhá část je nejprve vysušena a až pak přiváděna na senzorický prvek. Princip je takový, že první, vlhká část je sorbentem pohlcována, tím pádem uvolňuje teplo, naopak suchá část sorbent vysušuje a teplo tedy spotřebovává. Systém měří a vyhodnocuje rozdíl teplot, který je přímo úměrný vlhkosti.

Podmínkou správné funkce je nesoučasnost obou režimů, proces sorpce a desorpce se tedy musí střídat.

4.6 Difúzní metoda

Vlhkoměr na difúzním principu, pracuje dle přirozených vlastností látek, kdy látky mají tendenci přecházet z prostředí s vyšší koncentrací do prostředí s nižší koncentrací. Difuze v různých skupenstvích probíhá s různou rychlostí a na tomto principu funguje měření difuzní metodou, kdy molekuly vzduchu a vodní páry se šíří přes pórovitou přepážku odlišnou rychlostí.

Přepážky jsou většinou z materiálů jako keramika, různé druhy polymerů, stlačený uhelný prášek.

Používá se při konstantní teplotě a dostatečném tlaku vodní páry.

Nevýhody

Celkově malá účinnost

5 - Detektory sněhu

V dnešní době se používají hlavní dva typy sněhových detektorů jejichž funkce a použití je značně odlišné.

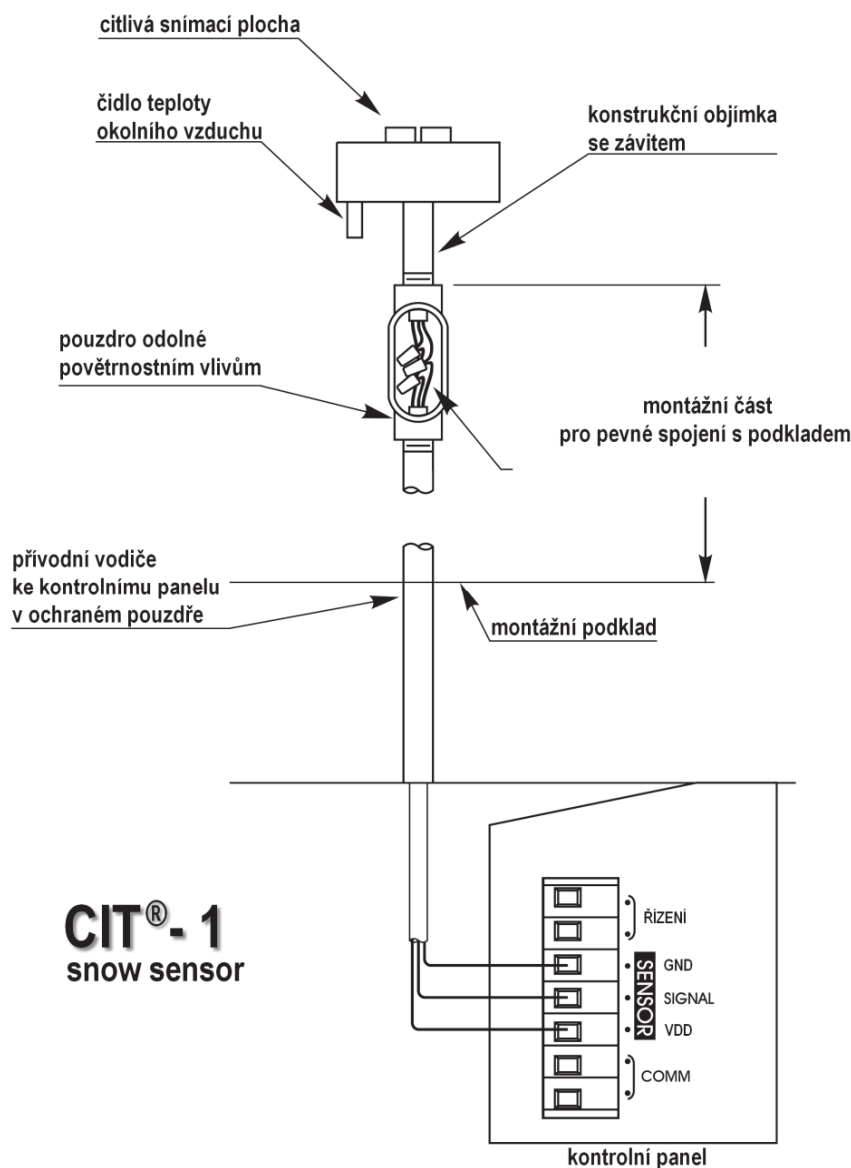
První z nich je *anténní sněhový senzor*, který slouží k vyhodnocení, zda se na citlivé ploše nachází vrstva sněhové pokrývky. Používá se tedy jako detektor, který je součástí komplexních systémů pro ochrana venkovních ploch před sněhem a náledím. Tyto systémy používají čidlo spolu s regulátorem jako řídicí obvod pro síť topných kabelů.

Druhý níže popsáný typ senzoru je *ultrasonický výškový senzor*, který se používá jak k samotné detekci, tak i k měření výšky sněhové pokrývky. Jeho použití je tedy zejména pro hydrometeorologické a jiné měřicí stanice.

5.1 *Anténní sněhový senzor*

Tento senzor detekuje přítomnost sněhu na citlivém povrchu. Je složen ze dvou základních částí, kterými jsou čidlo teploty a elektrický topný prvek, který je propojen se snímacím povrchem. Z každého prvku je poté signál přiveden na vstup mikroprocesoru, který nepřetržitě porovnává oba signály a následně vyhodnocuje, zda je na povrchu snímací plochy sníh.

Vyhodnocování principálně pracuje tak, že topný prvek je s konstantní periodou buzen proudem. Teplotní čidlo neustále snímá tepelný příkon a rychlost poklesu teploty na citlivém povrchu v každém cyklu, kdy je tepelný kontakt buzen proudem. Následně je provedena časová analýza teplotního poklesu snímacího povrchu, ze které se poté velmi přesně určí přítomnost sněhu na senzoru. Pokud je přítomnost sněhu potvrzena, senzor má na výstupní bráně hodnotu odpovídající vysoké logické úrovni.

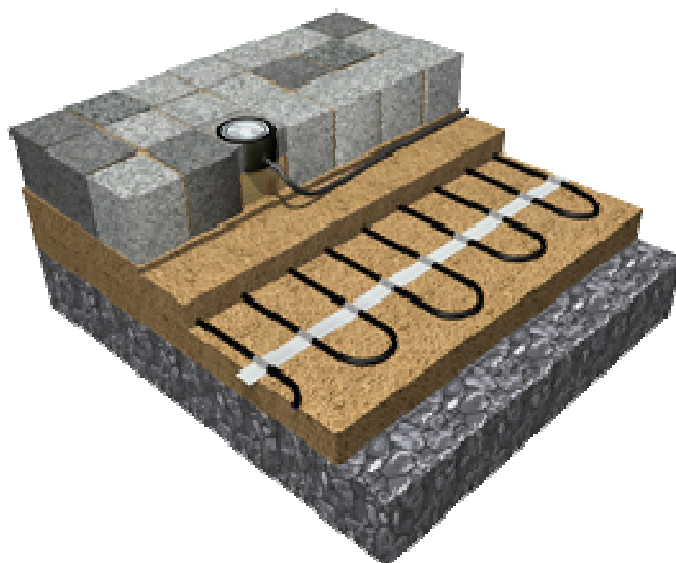


obr 5.1.1 konstrukční a montážní schéma senzoru CIT-1

[zdroj: <http://networketi.com>]

Tento senzor se většinou používá jako řídicí prvek uzavřené smyčky například v systémech pro odstraňování sněhové pokrývky.

Senzor je tvořen uzavřeným pouzdrům, které je odolné vůči povětrnostním vlivům a nečistotám. Zároveň díky topnému prvku je automaticky tvořena ochrana proti tvoření sněhových krystalků na citlivém povrchu, které by snižovaly účinnost detekce.



obr 5.1.2 příklad použití anténního snímače v kompletním systému

[zdroj: <http://www.fenixgroup.cz>]

5.2 *Ultrazvukový výškový senzor sněhu*

Tento typ senzoru je používán jak pro měření výšky sněhové pokrývky, tak pro měření vodní hladiny. Senzor měří vzdálenost od detekčního prvku k určenému bodu. Principiálně se jedná o měření doby, za kterou ultrazvukový puls urazí vzdálenost od senzoru k cílové ploše a zpět. Ultrazvukový puls, který je vysílán, je mimo frekvenční rozsah lidského sluchu a odpovídá frekvenci kolem 50 kHz.

Součástí systému je integrovaný stíněný snímač teploty, který měří teplotu vzduchu a poskytuje údaj pro následný výpočet teplotně kompenzované vzdálenosti. Tento výpočet a další úlohy, jako je kontrola chyb, jsou prováděny mikroprocesorem.

Důležitou částí celého systému je snímač, který má vícero využití. Nejprve je použit jako zdroj k přenosu ultrasonického pulsu, tedy jako reproduktor. V další části slouží k zpracování odraženého impulsu, tedy jako mikrofón. Měřením doby přijímaní impulsů na cestě ze zdroje a k povrchu a zpět lze vypočítat vzdálenost. Snímač opakuje měření vícekrát, aby zaručil zvýšení spolehlivosti měření.

Pro správnou kompenzaci vzdálenosti je nutné určit korekční faktor, pro jehož výpočet je potřeba několik doplňujících hodnot. Jedná se zejména o rychlost zvuku ve vzduchu, která je závislá na teplotě.



obr 5.2.1 graf závislosti rychlosti vzduchu na teplotě

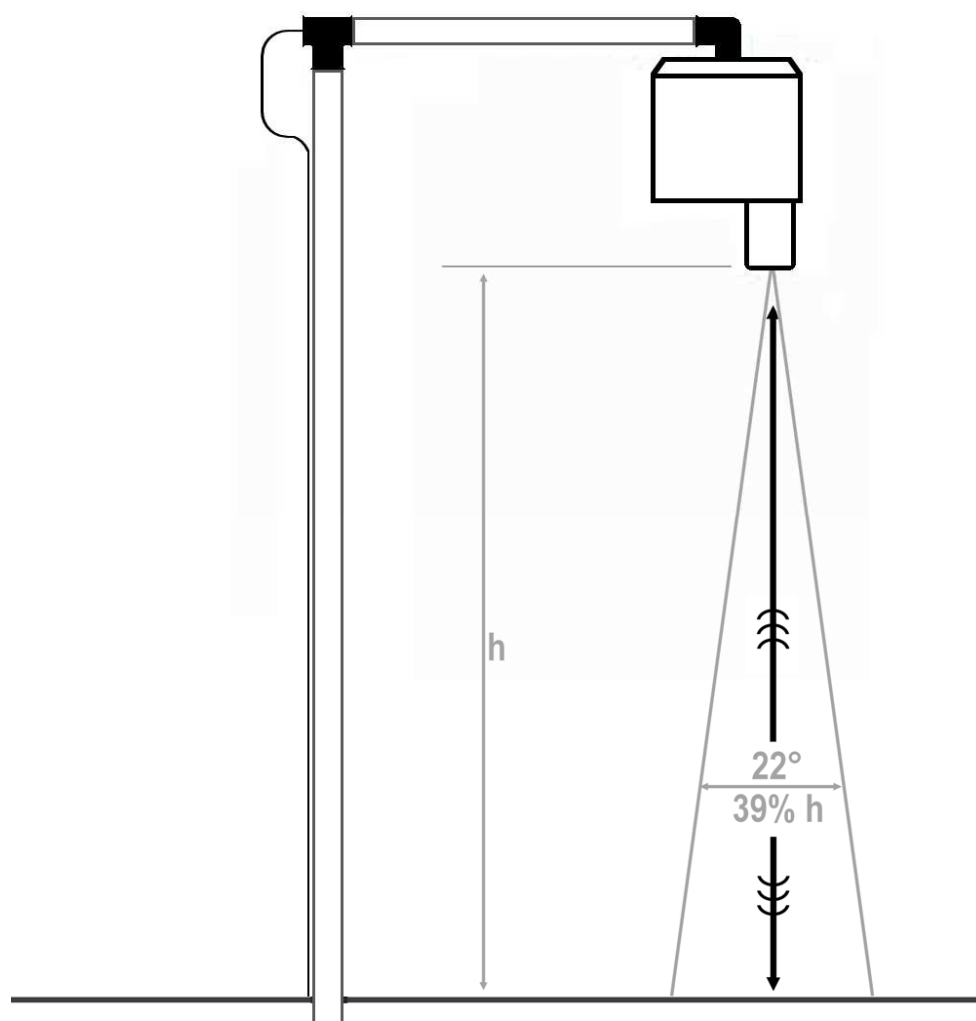
[zdroj: datasheet NOVALYNX, <http://www.novalynx.com>]

Pro výpočet rychlosti zvuku je potřeba zároveň přesného měření teploty, ta je prováděna výše zmíněným integrovaným teplotním čidlem. Obr. 5.2.2 ukazuje korektní umístění senzoru a dále velikost vyzařovaného kužele, která je 22°, tento průměr odpovídá 39% vzdálenosti (h) senzoru od podložky.

Výstup je typicky analogový v rozsahu jednotek Volt.

Výhody

přesné a spolehlivé měření vzdálenosti



obr 5.2.2 instalační schéma ultrazvukového sněhového senzoru

[zdroj: datasheet NOVALYNX, <http://www.novalynx.com>]

6 - Senzor SHT 11

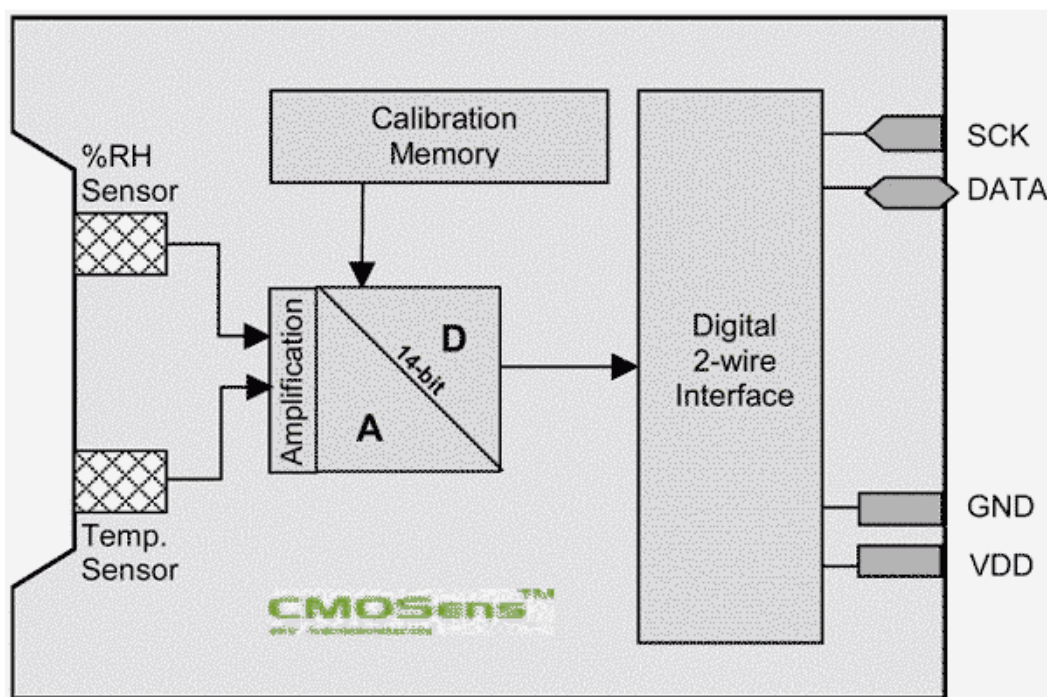
Jedná se o čidlo od firmy SENSIRION, výrobce snímacích a měřicích prvků. Řada SHT 1x je řada digitálních senzorů pro měření relativní vlhkosti a teploty. Tento typ senzoru je kombinací jak samotného čidla, tak i dalších obvodů pro zpracování signálu. Všechny výše zmíněné prvky jsou umístěny v jednom pouzdře s plně digitálním kalibrovaným výstupem, což je nespornou výhodou tohoto senzoru.

Principiálně se tento senzor řadí mezi kapacitní snímací prvky. Měří relativní hodnoty vlhkosti a také teplotu pomocí snímače v zapojení Band – Gap.

Konstrukčně se jedná o CMOS technologii, výrobcem označovanou jako *CMOSense® technology, která zajišťuje spolehlivost a časovou stabilitu.* [citace zdroje 7.] Oba senzory jsou propojeny se 14 bitovým A/D převodníkem a sériovým rozhraním.

Kalibrace senzoru je prováděna ve výrobě naprogramováním kalibračních koeficientů do OTP paměti, která je součástí čipu.

Součástí pouzdra je mimo teplotní a vlhkostní čidlo, také výše zmíněný A/D převodník, zesilovač, OTP paměť a digitální rozhraní.

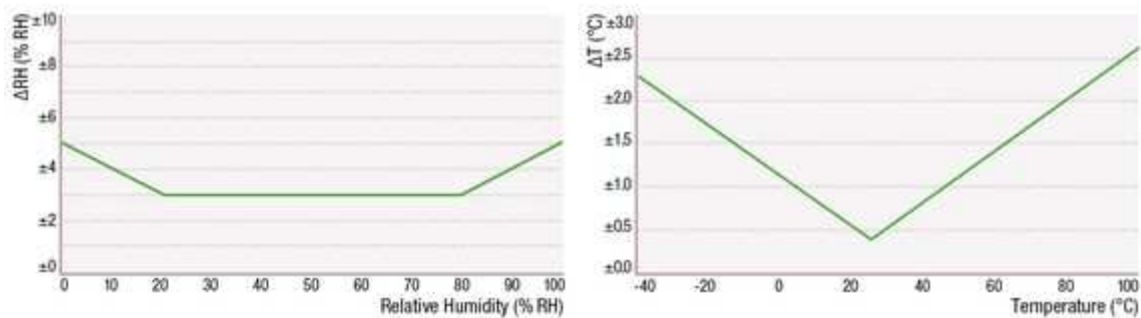


obr 6.1.1 blokové schéma SHT11

[zdroj: <http://www.hw.cz>]

Technická specifikace:

	RH	T
měřicí rozsah	0 ÷ 100%	-40°C ÷ +125°C
doba odezvy	8s (0,63τ)	5 ÷ 30 s (0,63τ)
přesnost	± 3,0% RH	± 0,4 °C



obr 6.1.2 a obr 6.1.3 závislost přesnosti senzoru na relativní vlhkosti a teplotě

[zdroj: <http://www.sensirion.com>]

7 - Konstrukce měřícího systému

Při návrhu elektronického systému jsem čerpal zejména z článku *Vlhkoměr a teploměr bez kalibrace*. [citace ze zdroje 7.] Tento článek kompletně popisuje problematiku čidla vlhkosti, a jeho součástí je také návrh měřícího přípravku, který jsem principiálně převzal a následně upravil pro potřeby mého čidla.

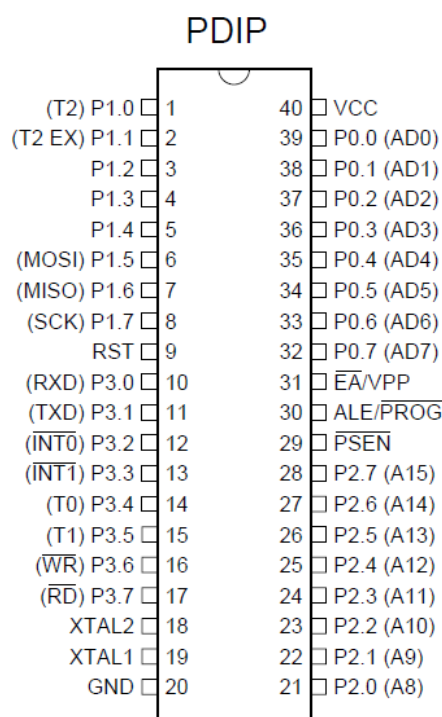
7.1 Návrhový systém Formica 4.40

Celý návrh byl proveden v návrhovém systému Formica 4.40, který sestává ze schematického editoru a editoru plošných spojů. Každý z editorů tvoří samotnou část, po dokončení schématu v prvním z editorů se volně přechází s návrhem do programu Layout, kde se výstupní data ze Schematicu použijí, jako vstupní parametry pro tvorbu návrhu desky plošného spoje v editoru Formica Layout. Tímto způsobem se mezi oběma soubory vytvoří vzájemná funkční vazba. Důvodů tohoto postupu je několik, zejména pro přehlednost a čitelnost další osobou, dalším hlediskem je snadnost kontroly splnění návrhových pravidel.

Pokud navrhujeme standardním způsobem, což znamená, že již v prvním z editorů volíme součástky přesně podle potřeby, zadáme správná pouzdra a volíme hodnoty, po přenesení do druhého editoru se nám tyto informace přenesou spolu s návazností součástek na sebe. Dalším souborem, který je užitečný, je textový výstup se seznamem součástek, pouzder a hodnotou jednotlivých položek.

7.2 Návrh schématu

Základními stavebními prvky celého systému, jsou výše zmíněné čidlo SHT 11, které spolupracuje s mikroprocesorem, původně byl použit AT89C52, který se již nyní nevyrábí, proto jsem použil ekvivalent AT89S52 od firmy Atmel. Jedná se 8 bitový mikroprocesor s 8KB flash pamětí, jejíž výhodou je tzv. *naprogramování v systému* [citace zdroje 11]. Tento 40 pinový čip se vyrábí v několika provedeních, já jsem zvolil konfiguraci PDIP.



obr 7.2.1 mikroprocesor AT89S52

[zdroj: datasheet AT89S52]

Další součástka, kterou jsem nahradil je stabilizátor napětí, původní MC78LC50HT1, od firmy ON Semiconductor je nahrazen typem HT7550-1 výrobce Holtek.

Jedná se o 5V stabilizátor napětí, s výstupním proudem až 100mA. Největším problémem při nahrazení původního stabilizátoru bylo dodržet elektrické parametry daného prvku. Typ MC78LC50HT1 je totiž precizní stabilizátor s malým poklesem napětí (Dropout Voltage), přibližně 40 mV a maximálním klidovým proudem (Quiescent current) asi 4 μ A. Pokud bychom nedodrželi tyto hodnoty, stabilizátor by v této konfiguraci nefungoval.

Samozřejmě najít součástku s identickými parametry je velmi obtížné, proto uvažujeme nějakou toleranci, u poklesu napětí do velikosti rozdílu mezi vstupním a stabilizovaným napětím.

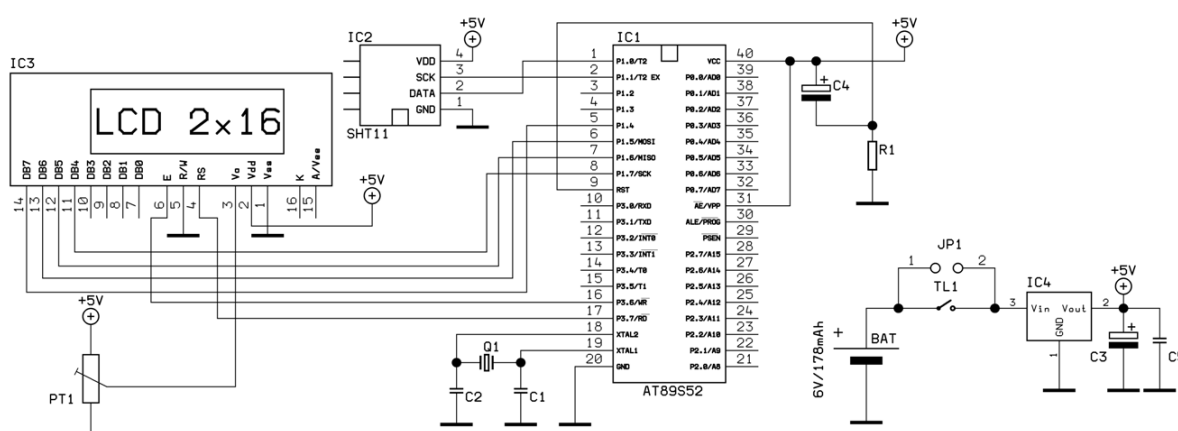
Zvolený typ stabilizátoru je nabízen v několika pouzdrech, do mého návrhu jsem použil konfiguraci SOT89. O časování obvodu se stará krystal s pracovní frekvencí 11,059 MHz.

Obvod je napájen 6V alkalickou baterií L1325, která je složena ze čtyř článků typu LR44, hodnota kapacity baterie je 178mAh. Výdrž baterie při přibližném odběru 15mA činí více než 10 hodin.

Pro co nejvyšší energetickou nezávislost a možnost použití bez externího zdroje energie je obvod opatřen tlačítkem, které připojí napájení v okamžiku stisku. Počítáme-li tedy s teoretickou hodnotou doby měření asi 5s, lze pak odvodit, že teoreticky můžeme měření opakovat až 7000 krát.

Dalším prvkem zapojení je LCD displej s řadičem a 2 řádkovým displejem po 16 znacích.

Ostatní části tvoří již jen pasivní součástky, jako jsou rezistory a kondenzátory. Následující obrázek ukazuje kompletní schéma zapojení, vytvořené programem Formica Schematic 4.40.



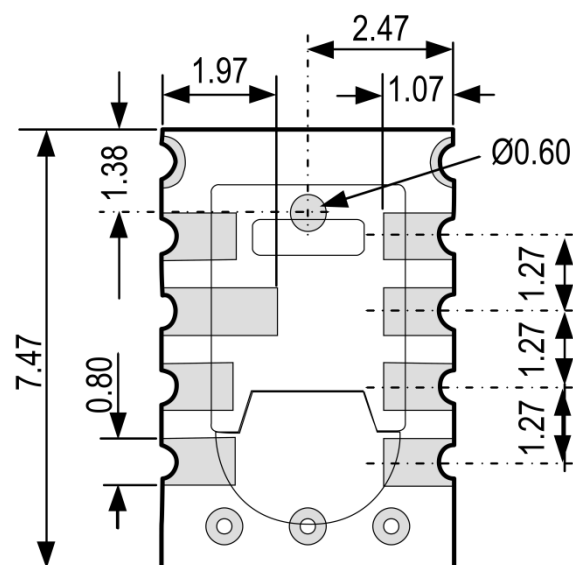
obr 7.2.2 schéma zapojení

7.3 Návrh desky plošného spoje

Každý z editorů má svoje interní knihovny, které obsahují schematické značky a pouzdra. Pro individuální potřeby jednotlivých uživatelů lze editor rozšířit o uživatelské knihovny, ale ani tyto knihovny neobsahují všechny typy součástek a proto je zapotřebí konkrétní typy atypických součástek navrhnout.

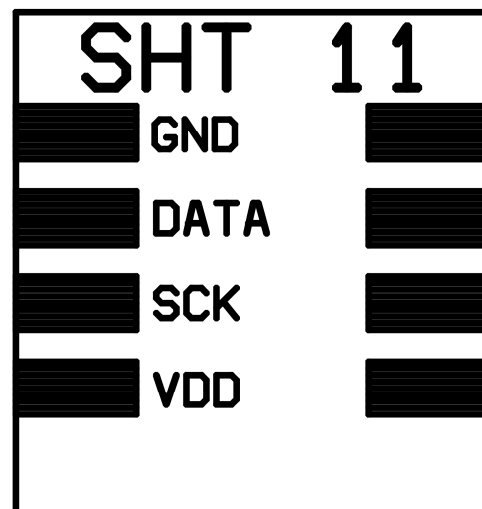
V případě mého obvodu bylo nutné navrhnout pouzdro pro čidlo SHT 11, které nebylo v žádné z knihoven definováno. Rozměry samotného čidla jsou velmi malé, proto bylo nutné velmi přesně dodržet tyto rozměry. Při návrhu pouzdra jsem čerpal ze [zdroje 7.], kde jsou uvedeny jak přesné rozměry celého pouzdra, jednotlivých plošek pro připojení součástky k desce, tak i doporučený tvar a rozměry motivu.

Následující obrázky znázorňují jak půdorys pouzdra s označenými rozměry, který je součástí datasheetu, tak i mnou navržený motiv pouzdra použitý na DPS.



obr 7.3.1 výkres pouzdra SHT 11

[zdroj: datasheet SHT 11]



obr 7.3.2 motiv pouzdra SHT 11

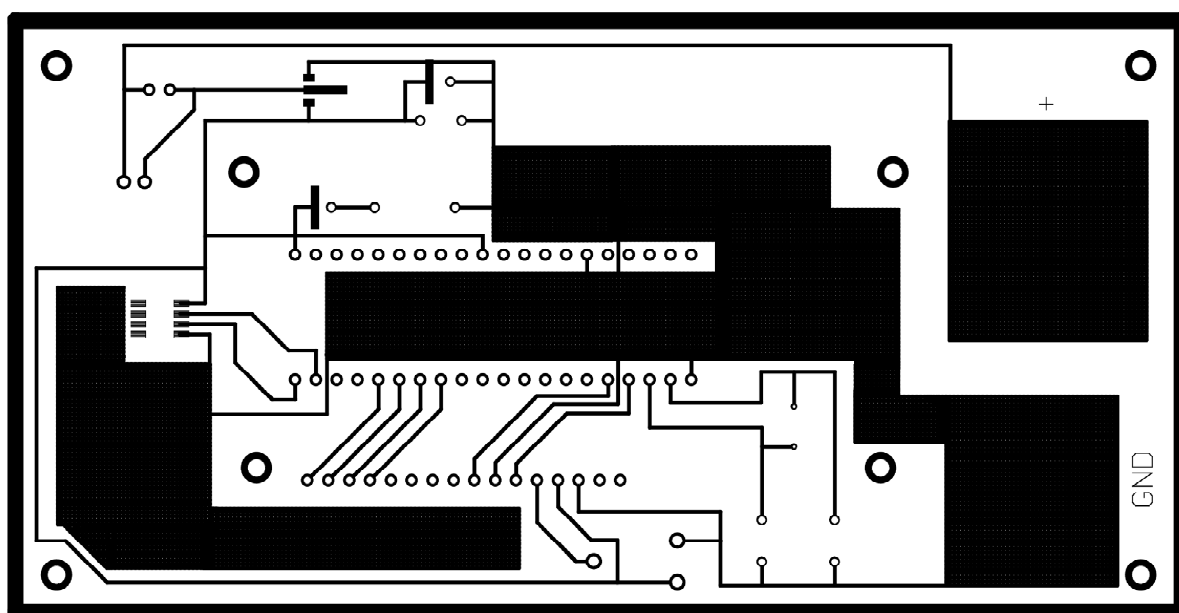
vytvořený v Layout Formica

Jak jsem již zmínil výše, vstupní hodnoty pro práci v editoru Layout, zpravidla tvoří již definované součástky předchozím editorem. V této fázi se tedy zabýváme rozmístěním jednotlivých součástek. Z toho plyne, že můžeme přímo ovlivnit konečnou grafickou podobu DPS.

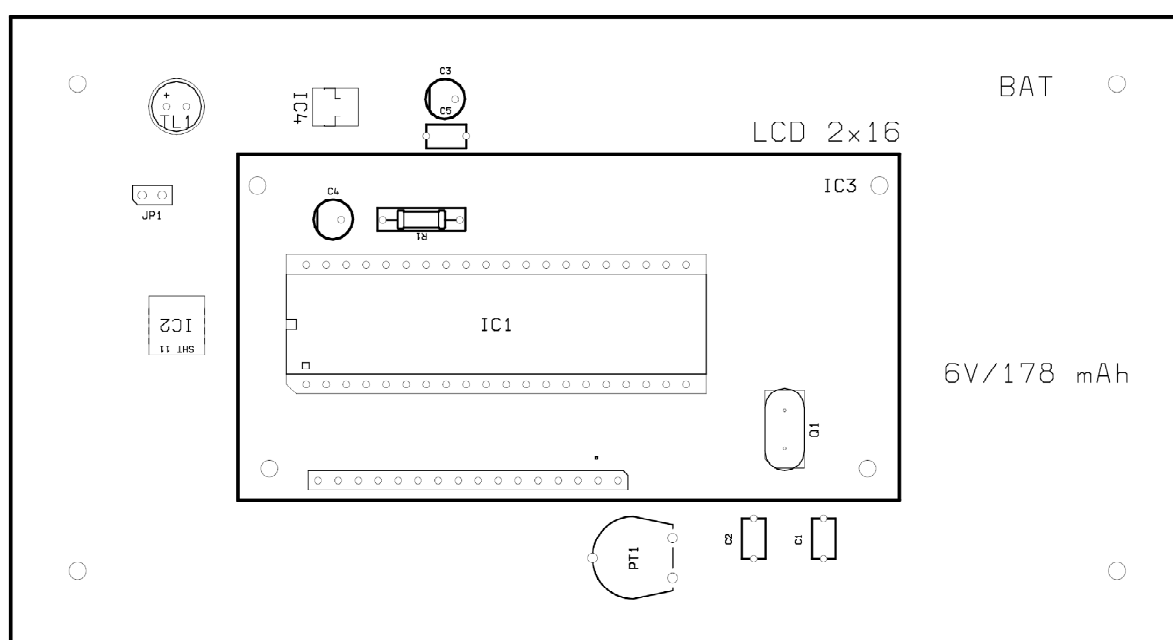
Jelikož se jedná o víceméně jednoduchý obvod s malým počtem součástek, deska je vyrobena jako jednostranný motiv. Editor pracuje s vrstevným systémem, to znamená, že lze každou část výkresu umístit do jiné hladiny, které lze následně vypnout či upravovat odděleně, což je z hlediska obsluhy a zejména přehlednosti velký benefit.

V praxi to vypadá tak, že součástky jsou umístěny v jedné hladině, v hladině součástek označované B či TOP, číslo 14.

Naopak motiv je zakreslen ve vrstvě A (BOT nebo 9). Toto grafické znázornění v praxi znamená, že součástky jsou umístěny tak, že se pájí na protilehlé straně desky, než jsou umístěny. Tento postup se používá kvůli snadné instalaci součástek na desku.



obr 7.3.3 výkres plošného spoje



obr 7.3.4 osazovací výkres

Motiv desky je vyroben frézováním. U DPS vyrobených tímto způsobem není nutné umisťovat krajní body pro výrobu. Obrys celé desky se zakreslí 2 mm silnou čarou ve vodivé hladině, kterou je zakreslen vodivý motiv desky. Následně je tato čára při výrobě odstraněna 2 mm silným frézovacím nástrojem, který desku vyřízne.

Další motivy nutné zejména pro orientaci a grafickou podobu DPS, což je v mém případě například obrys LCD, se zakreslí v nevodivé hladině. V mém návrhu jsem zvolil nevodivou hladinu číslo 23.

U DPS vyráběných frézováním se do nevyužitých ploch rozlévá měď, která se poté spojuje s potenciálem země. Tato skutečnost přináší výhody při samotném osazování desky, kdy se velmi snižuje pravděpodobnost vytvoření nežádoucích zkratů.

7.4 Osazení a oživení

Osazení probíhá standardním způsobem pájení, pouze mikroprocesor je připojen přes objímku, která je připájená k desce, u ostatních součástek není nutné použít další patice.

Mikroprocesor je někdy nutné vyjmout z patice, zejména pro případy naprogramování či jiné úpravy softwaru, kdy není obvod opatřen přímým konektorem pro připojení s počítačem, nebo to použití zařízení nedovoluje.

Zvláštní pozornost je nutné věnovat připájení čidla [citace zdroje 5.] Pro snížení pravděpodobnosti nechtěného zkratu je dobré samotné čidlo podložit kouskem izolačního materiálu, například kusem papíru.

LCD displej je připojen pomocí konektoru a je pevně uložen na distančních sloupcích. Tyto distanční sloupky jsou podobné těm, které jsou umístěny na okrajích desky, a pomocí kterých je DPS spojena a vhodně vystředěna v instalačním boxu. Displej je umístěn na distančních sloupcích zejména kvůli úspoře prostoru, i když to s sebou nese nevýhodu toho, že pokud potřebujeme vyjmout mikrokontrolér z patice, je většinou nutné odstranit i displej, který se nachází nad ním.

Pro oživení je vhodné použít jiný zdroj, než je primárně zamýšlená baterie, vhodný je napájecí 6V zdroj. Odběr proudu obvodem by neměl přesahovat deklarovaných 15mA a komunikace a následné oživení displeje by nemělo trvat více jak 5 vteřin.

7.5 Programování a výpočty

První krok, který je nutné učinit je převod digitálních hodnot z čidla na fyzikální hodnoty zobrazované na displeji.

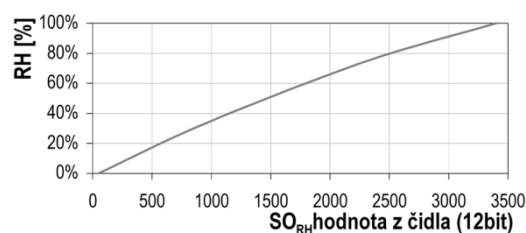
Kompensace nelinearity relativní vlhkosti

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (7.5.1)$$

kde: SO_{RH} hodnota RH načtená z čidla

c_1, c_2, c_3 koeficienty určené z tabulky

SO_{RH}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	-1.5955E-6
8 bit	-2.0468	0.5872	-4.0845E-4



tab 7.5.1 koeficienty pro přepočet RH_{linear}

[zdroj: datasheet SHT 11]

obr 7.5.2 závislost RH na údajích SO_{RH}

[zdroj: datasheet SHT 11]

Teplotní kompenzace relativní vlhkosti je vhodná pro teploty odlišné od 25°C a řídí se vzorcem:

$$RH_{true} = (T_{°C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (7.5.2)$$

kde: t_1, t_2 koeficienty dané tabulkou

SO_{RH}	t_1	t_2
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

tab 7.5.3 koeficienty pro přepočet RH_{true}

[zdroj: datasheet SHT 11]

Kompensace teplotního čidla

Tento senzor je více lineární, proto i kompenzační výpočet je jednodušší:

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (7.5.3)$$

kde: SO_T hodnota T načtená z čidla

d_1, d_2 koeficienty dané tabulkou

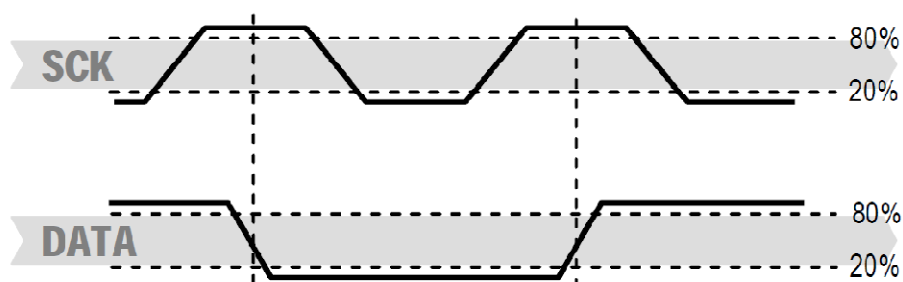
VDD	d ₁ (°C)	d ₁ (°F)	SO _T	d ₂ (°C)	d ₂ (°F)
5V	-40.1	-40.2	14bit	0.01	0.018
4V	-39.8	-39.6	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.7	-39.5			
3V	-39.6	-39.3			
2.5V	-39.4	-38.9			

obr 7.5.4 koeficienty pro přepočet T

[zdroj: datasheet SHT 11]

Komunikace se senzorem

Probíhá po 2 vodičové sběrnici, na začátek je potřeba startovací impulsu viz. následující



obr 7.5.5 startovací impuls

[zdroj: datasheet SHT 11]

Po startovací pulsu už mohou následovat další libovolné příkazy z rozsahu tabulky:

Příkaz	Kód
Rezervace	0000x
Měření teploty	00011
Měření vlhkosti	00101
Čtení status registru	00111
Zápis status registru	00110
Rezervace	0101x - 1110x
Soft Reset rest čipu, nastavení registru na výchozí hodnoty, časová prodleva 11ms pře dalším příkazem	11110

tab 7.5.6 možné bitové kombinace

[zdroj: datasheet SHT 11]

další možnost využití integrovaných funkcí pomocí status registru

Bit	Typ	Popis	Výchozí hodnota
7		Rezervace	0
6	R	End of battery	X, nedefinovaná hodnota
5		Rezervace	0
4		Rezervace	0
3		nepoužívá se	0
2	R/W	vyhřívání	0
1	R/W	kalibrace před měřením	0
0	R/W	rozlišení měření 1-8b RH/12b T 0-12b RH/14b T	0

tab 7.5.7 bity status registru

[zdroj: datasheet SHT 11]

Výrobce čidla dodává spolu s čidlem i obslužné komunikační rutiny pro komunikaci v jazyce C.

Součástí těchto rutin jsou:

- načtení relativní vlhkosti RH nebo teploty T z čidla s jednoduchým ošetřením chyb
- výpočet kompenzované RH_{linear} a teplotně kompenzované RH_{true}
- přístup ke status registru
- výpočet rosného bodu z RH a T
- zacházení s UART

[citace zdroje 7.]

Jako příklad uvádím několik základních obslužných rutin

startovací podmínka

```
//-----
void s_start_cond(void)
//-----
// generace startovacího pulsu ve tvaru
//
// DATA:  _____
//
// SCK :  ___|___|___|___
{
DATA=1; SCK=0;           //vychozi stav
_nop();                 //zpozdeni
SCK=1;
_nop();
DATA=0;
_nop();
SCK=0;
_nop();_nop();_nop();
SCK=1;
_nop();
DATA=1;
_nop();
SCK=0;
}

```

kod 7.5.8 vzorový kód pro start impuls

[zdroj: datasheet SHT 11]

zápis byte na sběrnici

```
//-----
char s_write_byte(unsigned char value)
//-----
// zapis byte na sběrnici a overeni acknowledge
{
unsigned char i,error=0;
for (i=0x80;i>0;i/=2)           //bitovy posun pro maskovani
{ if (i & value) DATA=1;       //maskovani hodnotou i ,zapis 1 na sběrnici
else DATA=0;                   // zapis 0 na sběrnici
SCK=1;                           //hodinovy puls
_nop();_nop();_nop();           //puls o delce 5us
SCK=0;                           //vynulovani hodin
}
}

```

```
DATA=1;           //uvolneni DATA pin
SCK=1;           // 9. Puls pro ack
error=DATA;      //kontrola ack (sensor nastavi DATA pin 0)
SCK=0;
return error;    //error =1, pokud neni ack
}
```

kod 7.5.9 vzorový kód pro zapis 1B

[zdroj: datasheet SHT 11]

inicializace UART

```
//-----
void inic_uart()
//-----
// Inicializace UART, konecna data mohou byt odelsana (PC)
//rychlost 9600 bps @ 11.059 MHz
{SCON = 0x52;
TMOD = 0x20;
TCON = 0x69;
TH1 = 0xfd;
}
```

kod 7.5.10 vzorový kód inicializace UART

[zdroj: datasheet SHT 11]

8 - Závěr

Práce se skládá ze dvou základních částí, kdy první má teoretický charakter a druhá spíše praktický a klade za úkol navrhnout a sestrojít funkční vzorek elektronického zařízení.

Cílem práce, jak jsem již uvedl v kapitole *1 - Úvod*, *Cíle práce* bylo nastudovat a popsat metody pro měření vlhkosti a principy detekce sněhu.

V prvním bodě jsem přistoupil k principům měření vlhkosti, kde jsem se snažil zaměřit zejména ty metody, které jsou používány v současné době, a kde měřicí přípravky jsou tvořeny elektronickým systémem, nikoli mechanickým.

V bodě druhém jsem se snažil popsat principy detekce sněhu, kde je ale rozmanitost jednotlivých metod mnohem menší a omezuje se pouze na dva odlišné principy, které slouží pro rozdílné účely použití. První z nich, kde je detektor jako takový využit, jsou systémy pro odstraňování sněhu z venkovních ploch. Tady detektor slouží jako spouštěcí prvek pro další části systému. Druhý princip má charakter spíše informativní, přesto i tento senzor lze použít pro detekci, navíc přidává výhodu možného výpočtu výšky sněhové pokrývky.

V druhé části jsem snažil splnit zadání a sestavit funkční vzorek elektronického systému pro měření vlhkosti. Zařízení, které jsem navrhl, používá kapacitní senzor vlhkosti SHT11, součástí tohoto malého čipu je také čidlo teploty. Čidlo SHT11 spolupracuje s mikroprocesorem AT89S52, který obstarává načítání dat ze samotného čidla a další potřebné výpočty pro kompenzaci hodnot.

Naměřené a korigovaná data jsou zobrazovaná na 2 řádkovém LCD displeji. V zadání byl požadavek na sestavení zařízení pro venkovní použití, proto jsem celé zařízení opatřil plastovým boxem, a k napájení obvodů slouží alkalická baterie, jejíž kapacita teoreticky zajišťuje až 7000 opakování měření.

Pro oživení zařízení bylo nutné mikroprocesor naprogramovat, jako zdrojový kód pro obslužné rutiny byl použit kód psaný v jazyce C, který poskytuje výrobce čidla SHT11.

9 - Použitá literatura

- [1] MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU, katedry mikroelektroniky, FEL ČVUT Praha, [online] únor 2006. Dostupné z: <<http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/cviceni/Navody%20na%20cviceni/07.Mereni%20vlhkosti.pdf>>
- [2] SKŘEHOT, Petr, RNDr., Meteorologické stanice a přístroje, 2004.
- [3] MAREŠ, Luděk, Ing., Vlhkost vzduchu a její měření, [online] březen 2006. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>>
- [4] TEPELNÉ A VLHKOSTNÍ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ, katedra materiálového inženýrství a chemie, FSV ČVUT Praha, [online] listopad 2009. Dostupné z: <<http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/TVVM/TVVM6.pdf>>
- [5] VÁCLAVÍK, Radek, Vlhkoměr a teploměr bez kalibrace, [online] březen 2003. [cit 2012-2-23] Dostupné z: <<http://www.hw.cz/Teorie-a-praxe/Konstrukce/ART38-Vlhkomer-a-teplomer-bez-kalibrace.html>>
- [6] AUTOMA časopis, KLASNA, Miloš, Ing., CSc., BUREŠ, Josef, Ing., Experimentální porovnání metod měření vlhkosti medicinálních plynů, [online] srpen 2010. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=41777>
- [7] SENSIRION, Datasheet SHT1x, ver 4.3, [online] květen 2010. [cit 2012-06-12] Dostupné z: <<http://www.sensirion.com/en/products/humidity-temperature/humidity-sensor-sht11/>>
- [8] NOVALYNX CORPORATION, Instruction manual model 260-700, Ultrasonic snow depth sensor, [online] červenec 2006. Dostupné z: <<http://www.novalynx.com/manuals/260-700-manual.pdf>>
- [9] UNITED STATES PATENT, RUTKIEWICZ, Robert,D. Snow sensor [online] září 1994. Dostupné z: <<http://www.freepatentsonline.com/5345223.pdf>>
- [10] ENVIROMENTAL TECHNOLOGY, Inc., Datasheet General Purpose Snow Sensor, Model CIT – 1, ver A, [online] květen 2008. Dostupné z: <http://networketi.com/wp/wp-content/uploads/ds_cit119036A.pdf>
- [11] ATMEL Corp., Datasheet AT89S52, [online]. [cit 2011-08-17] Dostupné z: <<http://www.gme.cz/dokumentace/432/432-198/dsh.432-198.1.pdf>>