

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MODUL PRO MĚŘENÍ TEPLoty A VLHKOSTI S ROZHRANÍM ETHERNET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

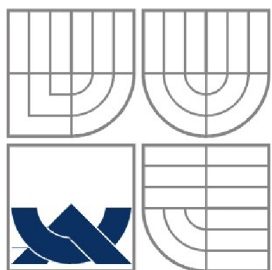
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

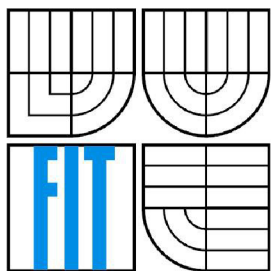
AUTHOR

LUKÁŠ BRZOBOHATÝ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

MODUL PRO MĚŘENÍ TEPLoty A VLHKOSTI S ROZHRANÍM ETHERNET

MODULE FOR MEASURING TEMPERATURE AND HUMIDITY WITH ETHERNET INTERFACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ BRZOBOHATÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JOSEF HÁJEK

Abstrakt

Cílem této práce je návrh a realizace modulu na měření teploty a vlhkosti, který odesílá naměřené hodnoty přes rozhraní Ethernet. Jádrem celého modulu je mikroprocesor Microchip PIC18F67J60 s integrovaným Ethernetovým řadičem. Měření teploty a vlhkosti je realizováno pomocí senzoru SHT15 komunikující přes sériové rozhraní. Odesílání hodnot je řešeno pomocí HTTP serveru, který je součástí TCP/IP Stacku volně dostupného přímo do výrobce Microchip. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány v uživatelském rozhraní, které je řešeno webovou aplikací.

Abstract

The aim of this work is the design and implementation module for measuring temperature and humidity, which sends the measured values via the Ethernet interface. The core module is the Microchip PIC18F67J60 microcontroller with integrated Ethernet controller. Temperature and humidity sensor is realized by SHT15 communicating via the serial interface. Valuable is solved using the HTTP server. HTTP server is part of the TCP / IP stack freely available directly to the manufacturer Microchip. Measured values are displayed in the user interface, which is solved by web applications.

Klíčová slova

Microchip, PIC18F67J60, SHT15, Vestavěný systém, Ethernet, TCP/IP Stack, teplota, vlhkost.

Keywords

Microchip, PIC18F67J60, SHT15, Embedded system, Ethernet, TCP/IP Stack, temperature, humidity.

Citace

Lukáš Brzobohatý: Modul pro měření teploty a vlhkosti s rozhraním Ethernet, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2012

Modul pro měření teploty a vlhkosti s rozhraním Ethernet

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Josefa Hájka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Lukáš Brzobohatý
14. května 2012

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Josefu Hájkovi za poskytnuté informace a prostředky pro vypracování bakalářské práce.

© Lukáš Brzobohatý, 2012

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Snímače fyzikálních veličin.....	4
2.1 Senzory teploty.....	4
2.1.1 Dotykové senzory.....	4
2.1.2 Bezdotykové senzory.....	9
2.2 Senzory vlhkosti.....	9
2.2.1 Mechanický (vlasový) vlhkoměr.....	10
2.2.2 Gravimetrie.....	10
2.2.3 Kondenzační vlhkoměr.....	10
2.2.4 Elektrolytický vlhkoměr.....	10
2.2.5 Psychometr.....	10
2.2.6 Odporový senzor vlhkosti.....	11
2.2.7 Kapacitní senzor vlhkosti.....	11
2.2.8 Vlhkoměr s vyhřívanými termistory.....	12
3 Vestavěné systémy a rozhraní Ethernet.....	13
3.1 Ethernet.....	13
3.2 Referenční model ISO/OSI.....	14
3.2.1 Fyzická vrstva.....	14
3.2.2 Linková vrstva.....	15
3.2.3 Síťová vrstva.....	15
3.2.4 Transportní vrstva.....	15
3.2.5 Relační vrstva.....	15
3.2.6 Prezentační vrstva.....	16
3.2.7 Aplikační vrstva.....	16
3.3 Základní popis protokolů.....	16
3.3.1 IP protokol.....	16
3.3.2 TCP protokol.....	16
3.3.3 UDP protokol.....	17
4 Návrh systému.....	18
4.1 Blokové schéma zařízení.....	18
4.2 Mikroprocesor.....	19
4.2.1 Ethernetový řadič.....	19
4.2.2 Microchip TCP/IP Stack.....	19

4.3 Senzor teploty a vlhkosti SHT15.....	20
4.4 Vývojový kit PICDEM.net 2.....	21
4.5 Návrh SW řešení.....	21
5 Hardwarové řešení.....	23
5.1 Návrhový systém Eagle.....	23
5.2 Povrchová montáž.....	23
5.3 Schéma a popis zapojení.....	24
5.4 Deska plošných spojů.....	25
6 Softwarové řešení.....	27
6.1 Hlavní program mikroprocesoru.....	28
6.1.1 Vytvoření aplikace.....	28
6.1.2 HTTP server.....	29
6.2 Uživatelské rozhraní.....	31
7 Testování.....	33
8 Závěr.....	34
Literatura.....	35
Podklady desky plošných spojů.....	38
Metriky kódu a ukázka kódu pro obsluhu senzoru.....	39
Fotografie realizovaného modulu.....	42

1 Úvod

V dnešní době téměř všichni využívají internet každý den. Mnoho uživatelů si přeje znát aktuální meteorologické hodnoty, ale většina dnešních meteorologických stanic je jen ve větších městech. Pro měření meteorologických hodnot na konkrétním místě určené uživatelem lze využít měřicí modul, kterému se věnuje tato práce.

Měřicí modul slouží k měření teploty a vlhkosti. Pro komunikaci s okolím slouží rozhraní Ethernet, proto ho lze připojit kamkoliv do počítačové sítě a přistupovat k němu přes webové rozhraní, které dokáže nejen zobrazit aktuální naměřené hodnoty, ale také zobrazit historii naměřených hodnot v určitém časovém úseku.

Na úvod se seznámíme s principy měření vybraných fyzikálních veličin, druhy snímačů a jejich vlastnosti. Další kapitola se zabývá tematikou vestavěných systémů, komunikací přes rozhraní Ethernet, stručným popisem referenčního modelu ISO/OSI a popisem základních protokolů využívaných v síťové komunikaci. Čtvrtá kapitola rozebírá samotný návrh systému, zvolení mikroprocesoru, měřicího senzoru a návrh softwarové části. Pátá kapitola popisuje fyzickou realizaci modulu, návrh schéma a desky plošných spojů. Šestá kapitola se věnuje realizaci softwarové části měřicího modulu a prezentaci naměřených hodnot uživateli v uživatelském rozhraní.

2 Snímače fyzikálních veličin

2.1 Senzory teploty

Teplota je stavová fyzická veličina určující stav termodynamické rovnováhy. Stav termodynamické rovnováhy je popsán termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy. Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Proto je měření teploty nazýváno jako měření nepřímé.

Senzor teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Senzory teploty lze rozdělit dle různých kritérií. Za první kritérium pro rozdělení lze považovat materiály použité pro výrobu senzorů. Dále se senzory teploty můžou rozdělit dle styku s měřeným prostředím na dotykové a bezdotykové. A jako poslední nejznámější rozdělení senzorů teploty můžeme považovat transformaci signálu. Transformace signálu může být aktivní, kde se působením teploty senzory chovají jako zdroj elektrické energie a nebo pasivní, u kterých je nutné elektrické napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu. Jako nejběžnější rozdělení senzorů se používá dle styku s měřeným prostředím. [1]

2.1.1 Dotykové senzory

Dotykové měření teploty je měření teploty těles na základě přímého přenosu tepla mezi měřeným tělesem a senzorem. Dle fyzikálního principu se dotykové senzory dělí na:

- odporové kovové
- odporové polovodičové
- polovodičové s PN přechodem
- termoelektrické
- dilatační
- speciální

2.1.1.1 Odporové kovové senzory

Odporové kovové senzory teploty pracují na principu teplotní závislosti odporu kovu. Odporové kovové senzory lze rozdělit dle použitých materiálů na platinové, niklové a měděné. Teplotní závislost základních materiálů je na obrázku 2.1.

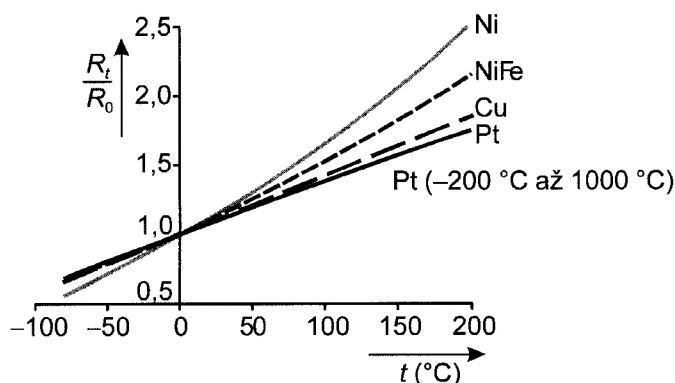
Mezi základní parametry patří:

- R_0 – odpor čidla při teplotě 0°C
- R_{100} – odpor čidla při teplotě 100°C
- α – střední hodnota teplotního součinitele odporu

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100R_0} \quad (1)$$

- W_{100} – poměr odporů čidla při teplotě 100°C a 0°C

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (2)$$



Obrázek 2.1 Teplotní závislost odporových kovových snímačů [1].

Odporové platinové snímače teploty

Platina se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání. Rozsah měření teplot je od -200°C do 850°C. Kromě základní hodnoty odporu $R_0 = 100\Omega$ se vyrábějí senzory se základní hodnotou odporu 50, 200, 500, 1000 a 2000 Ω .

Odporové niklové snímače teploty

Niklová čidla teploty jsou nejčastěji vyráběny tenkovrstvou technologií. Výhodou niklových snímačů je velká citlivost, rychlá odezva a malé rozměry. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah a vůči platině značná nelinearita, horší dlouhodobá stabilita a odolnost vůči působení prostředí.

Odporové měděné snímače teploty

Teplotní rozsah odporových měděných senzorů je od -200°C do 200°C. Hlavní nevýhodou mědi je mála rezistivita a snadná oxidace. Z tohoto důvodu se měděné snímače teploty nevyrábí.

Konstrukce odporových kovových snímačů teploty

Odporové kovové senzory se vyrábí:

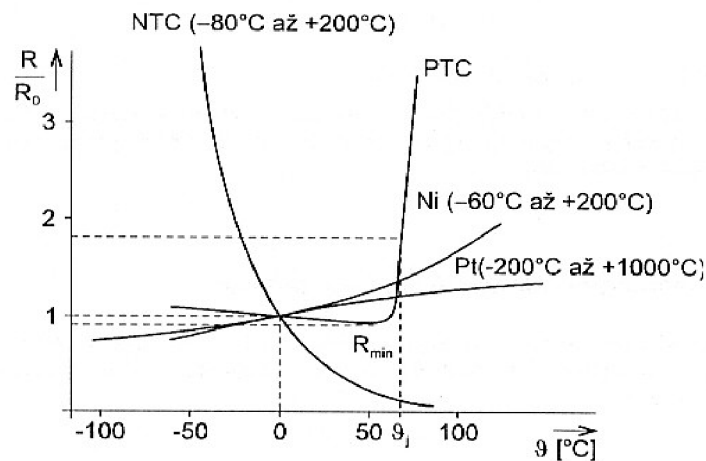
- drátkovou technologií – stočený platinový drátek, fixovaný do keramiky, nebo navinutý na keramické či skleněné tělísko a zataveno do skla.
- tenkovrstvou technologií – technologie napařování a iontové leptání
- tlustovrstvou technologií – technologie sítotisku

2.1.1.2 Odporové polovodičové senzory

Polovodičové odporové senzory využívají stejně jako kovové odporové senzory teplotní závislost odporu. Odporové polovodičové senzory teploty lze rozdělit na termistory (negastory, pozistory) a monokrystalické odporové senzory.

Termistory jsou teplotně závislé odpory zhotovené z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Výhodami termistoru jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární charakteristika.

Termistory se dle struktury dělí na amorfnní a polykrytalické. V závislosti na materiálu má termistor buď velký záporný teplotní součinitel odporu, tzv. Negastor, nebo velký kladný teplotní součinitel odporu, tzv. pozistor.



Obrázek 2.2 Porovnání teplotních závislostí negastoru NTC a pozistoru PTC s kovovými odporovými senzory Pt a Ni (R_0 je odpor při 0°C) [1].

Negastory

Negastory mají velký záporný teplotní součinitel odporu. Vyrábějí se práškovou technologií z kysličníků kovů. Nejběžněji se používá pro měření teplot v rozmezí od -50°C do $+150^{\circ}\text{C}$. Teplotní závislost odporu negastoru je silně nelineární a linearity lze docílit pomocí odporové sítě [1].

Pozistory

Pozistory mají velký kladný teplotní součinitel odporu. Vyrábějí se z polykrytalické feroelektrické keramiky. Hodí se pro měření v úzkém rozmezí teplot. Využití pozistorů je v elektrických obvodech ve funkci tepelné ochrany, omezovače proudu, teplotní regulace aj.

Monokrystalické odporové senzory

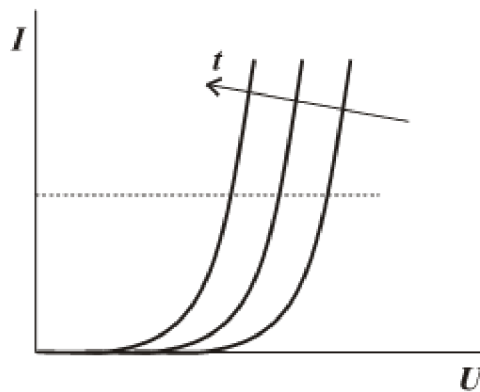
Monokrystalické odporové senzory se nejčastěji vyrábí ze slitin křemíku, které se používají pro měření teplot v rozsahu od -50°C do $+150^{\circ}\text{C}$. Pro větší teplotní rozsah od -100°C do 450°C se používají slitiny křemíku a uhlíku.

2.1.1.3 Polovodičové senzory s PN přechodem

Polovodičové senzory s PN přechodem pracují na principu teplotní závislosti napětí PN přechodu v propustném směru. Tyto senzory se používají pro měření v teplotním rozsahu od -55°C do $+150^{\circ}\text{C}$ a mají nejistotu měření v rozsahu 0,6% až 2%. Polovodičové senzory s PN přechodem se dělí na diodové, tranzistorové a monolitické.

Diodové PN senzory

Diodové PN senzory jsou založeny na teplotní závislosti napětí přechodu v propustném směru. Princip diodového PN senzoru je na obrázku 2.3, kdy s narůstající teplotou úbytek napětí na diodě klesá.



Obrázek 2.3 Teplotní závislost charakteristiky přechodu PN diody [1].

Tranzistorové PN senzory

Tranzistorové PN senzory jsou založeny na obdobném principu jako diodové PN senzory a využívají teplotní závislosti napětí přechodu báze-emitor v propustném směru.

Monolitické PN senzory

Monolitické PN senzory jsou nejčastěji založené na dvojici bipolárních tranzistorů napájených ze zdrojů proudu. Kromě bipolární technologie je pro tyto obvody používána i technologie CMOS. V současné době jsou na trhu monolitické senzory teploty s integrovaným zesilovačem, se strukturou prvku odpovídající charakteristice Zenerovy diody, s číslicovým výstupem s konverzí na impulsní šířkovou modulaci a jako tzv. SMART senzory teploty s mikroprocesorem.

2.1.1.4 Termoelektrické senzory

Termoelektrické senzory jsou založeny na Seebeckově jevu, kdy se tepelná energie převádí na elektrickou. Termoelektrický senzor se skládá ze dvou materiálově různých vodičů nebo polovodičů uzavřené do obvodu, kterými protéká elektrický proud, jestliže body dotyku polovodičů mají rozdílnou teplotu. Materiály pro výrobu byly vybrány s ohledem na přijatelnou nelinearitu závislosti termoelektrického napětí na teplotě pro daný teplotní rozsah, odolnost vůči korozi, chemickým vlivům a ionizačnímu záření. Tyto senzory mají dle použitých materiálů velký teplotní rozsah od -185°C až do $+2400^{\circ}\text{C}$.

2.1.1.5 Dilatační senzory

Dilatační senzory jsou založeny na teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů. Dle konstrukce se dilatační senzory dělí na tyčové, bimetalické, bimateriálové, skleněné, kapalinové tlakové, parní a plynové.

Tyčové senzory

Tyčové senzory jsou založeny na teplotní délkové roztažnosti dvou konstrukčních dílů z pevných látek, které jsou spolu spojeny v jediném místě. Nejčastější využití tyčových senzorů je v termostatech jako snímače dvoupolohových regulátorů teploty. Výhodou je možný teplotní rozsah až do 1000°C .

Bimetalické senzory

Bimetalické senzory jsou založeny na rozdílné teplotní roztažnosti dvou kovových materiálů. Tyto materiály jsou uspořádány ve tvaru pásků, které jsou navzájem podélně svařeny. Teplotní rozsah měření je od -100°C do 500°C . Využívají se především jako regulátory teploty, bimetalické pojistky a snímače v teploměrech.

Bimateriálové senzory

Bimateriálové senzory jsou vyráběny na stejném principu jako bimetalické teploměry, ale jako materiál se používají kombinace kov – polovodič.

Skleněné senzory

Skleněné senzory jsou založeny na teplotní objemové roztažnosti kapaliny ve skle. Teplotní rozsah měření je od -190°C do 600°C . Jako kapalina se převážně používá rtuť ve vakuované kapiláře. Nejčastěji se využívají v laboratořích a technických prostředích.

Kapalinové tlakové senzory

Kapalinové tlakové senzory mají stejný princip jako u skleněných senzorů, ale měření objemové roztažnosti se převádí na měření tlaku.

Parní senzory

Parní senzory jsou zčásti naplněny kapalinou a zčásti její sytou párou. Konstrukce senzoru je podobná jako u kapalinového tlakového senzoru, ale stupnice je nelineární, protože tlak je dán pouze tlakem nasycené páry uvnitř měřicí nádoby. Výhodou oproti kapalinovým senzorům je větší citlivost a menší měrná nádoba. Nevýhodou je nelinearita měření.

Plynové senzory

Plynové senzory mají měrný systém naplněn plynem. Princip měření je stejný jako u ostatních tlakových senzorů. Teplotní rozsah měření je od -250°C do 800°C . Nejčastěji se využívá v potravinářství, ve výrobě léčiv a v chemickém průmyslu.

2.1.1.6 Speciální senzory

Dle konstrukce se speciální senzory dělí na:

- **Akustické senzory** jsou založeny na teplotní závislosti rychlosti šíření zvuku v plynném nebo pevném prostředí. Teplotní rozsah je dle použitého materiálu od 750°C do 3000°C .
- **Krystalové senzory** pro měření teploty využívají teplotní závislosti rezonanční kmitočtu.
- **Šumové senzory** jsou založeny na měření tepelného šumu, který vzniká volným pohybem elektronů.
- **Magnetické senzory** jsou založeny na teplotní závislosti magnetické susceptibility.
- **Optické vláknové senzory** využívají vlivu teploty na vlastnosti optických vláken.

2.1.2 Bezdotykové senzory

Bezdotykové měření teploty je měření povrchové teploty těles na základě vysílaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného senzorem. Bezdotykové senzory se dělí na:

- pyrometry
- termografie
- termovize

2.2 Senzory vlhkosti

Vlhkost vzduchu lze vyjádřit několika způsoby. Relativní vlhkost vzduchu udává poměr mezi skutečným a maximálním, nasyceným obsahem vody ve vzduchu a udává se v procentech. Absolutní

vlhkost vzduchu udává hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu s obvyklou jednotkou gram na krychlový metr [2].

2.2.1 Mechanický (vlasový) vlhkoměr

Mechanický vlhkoměr patří mezi historicky nejstarší způsob měření vlhkosti. Využívá se přírodních materiálů, které jsou schopny podle vlhkosti okolí absorbovat určité množství vody. Dle množství absorbované vody materiál změní rozměr, který je převeden mechanismem na výchylku ručky nebo pisátka.

2.2.2 Gravimetrie

Gravimetrický vlhkoměr je považován z hlediska metrologie za absolutní standard a patří mezi nejpřesnější měřidla. Pracuje na jednoduchém principu, kdy se použije vhodné sušidlo, které absorbuje určité množství vodní páry z předem známého objemu vzduchu. Vlhkost vzduchu se zjišťuje dle přírůstku hmotnosti sušidla. Měření touto metodou je při malé vlhkosti velmi zdoluhavé a používá se zejména v laboratorních podmínkách pro ověřování a kalibraci dalších standardů.

2.2.3 Kondenzační vlhkoměr

Kondenzační vlhkoměr pracuje na principu měření rosného bodu a skládá se z termoelektricky chlazeného kovového zrcátka, jehož odrazivost je opticky snímána. Odrazivost se mění orosením zrcátka, které se ochlazuje, tak aby bylo stále mírně orosené. Pomocí platinového odporového teploměru se změří teplota zrcátka, která je závislá na vlhkosti vzduchu.

Starším způsobem měření je ochlazování zrcátka odpařováním éteru z tenké misky a teplota se odečítá v okamžiku, kdy se zrcátko orosí. Kondenzační vlhkoměr se vyznačuje dlouhodobou stabilitou a velkou přesností.

2.2.4 Elektrolytický vlhkoměr

Elektrolytický vlhkoměr měří elektrický náboj, který se vytváří při absorpci vzorku plynu ve speciálním roztoku, kde reaguje s elektrolyticky vylučovaným činidlem. Prošlý elektrický náboj je úměrný absolutní vlhkosti vzorku vzduchu. Elektrolytický vlhkoměr se vyznačuje zejména dlouhodobou stabilitou.

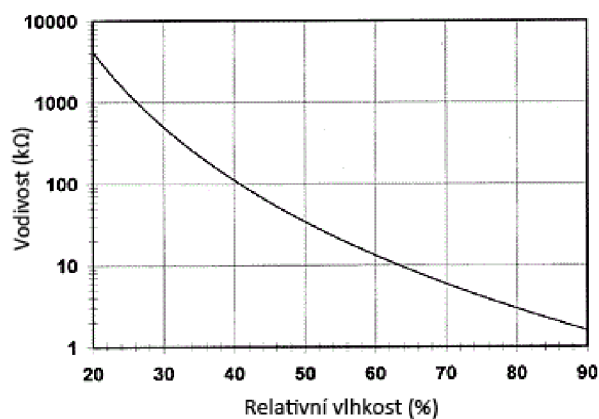
2.2.5 Psychometr

Psychometr pracuje na principu měření rozdílu teplot mezi dvěma teploměry. Suchý teploměr má baničku obalenou suchým knotem a vlhký teploměr knotem ponořeným do vody. Teploměry se

umístí do proudu měřeného vzduchu, kde vlhký teploměr bude mít nižší teplotu oproti suchému vlivem odpařováním vody z knotu. Dle relativní vlhkosti měřeného vzduchu se mění intenzita odpařování. Teploty se odečítají ručně a naměřené hodnoty se přepočítávají na údaj vlhkosti s použitím grafu nebo tabulky.

2.2.6 Odporový senzor vlhkosti

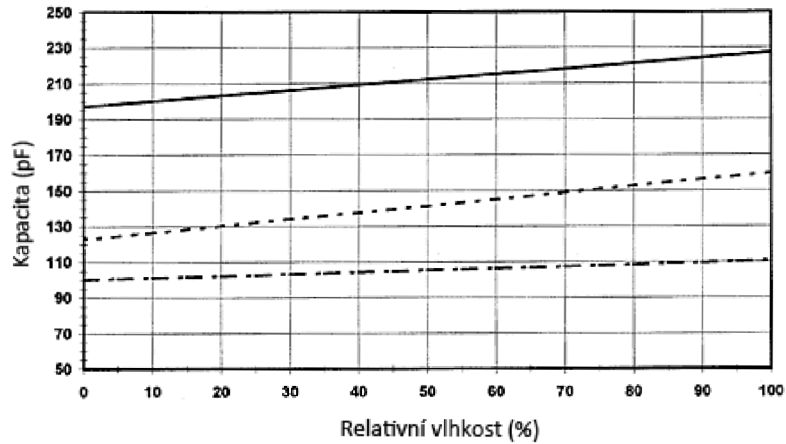
Odporový senzor vlhkosti využívá změnu vodivosti na základě absorpce vody v polymerních materiálech. Pro měření se musí používat střídavé napětí, aby se předešlo polarizaci elektrod. Senzor je náchylný na orosení a nelze ho použít při vyšších teplotách. Vyznačuje se velkou přesností a dobrou stabilitou.



Obrázek 2.4 Závislost vodivosti na relativní vlhkosti [2].

2.2.7 Kapacitní senzor vlhkosti

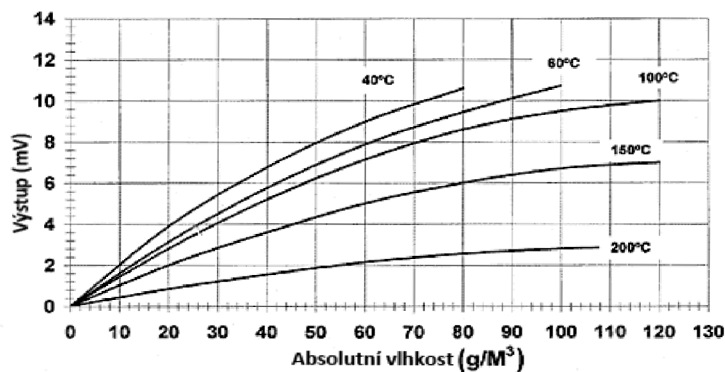
Kapacitní senzory vlhkosti využívají absorpci vody v polymerních materiálech. Pro měření se využívá změna kapacity kondenzátoru s polymerovým dielektrikem. Jedna z elektrod je děrovaná, umožňující okolnímu vzduchu kontakt s polymerním dielektrikem. Kapacitní senzory vlhkosti jsou často vyráběny s integrovaným čipem, který převádí měřenou kapacitu na elektrické napětí, nebo do digitální formy. Kapacitní senzory nejsou téměř ovlivňovány teplotou, jsou odolné vůči kondenzaci, doba odezvy se pohybuje řádově v desítkách sekund, přesnost měření se pohybuje v jednotkách %. Výrobní náklady jsou velmi malé a dá se docílit malých rozměrů.



Obrázek 2.5 Závislost kapacity senzoru na relativní vlhkosti [2].

2.2.8 Vlhkoměr s vyhříváními termistory

Vlhkoměry s vyhříváními termistory využívají 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 prostředí. Průchodem proudu se termistory zahřívají a dosažená teplota závisí na stupni jejich ochlazování, tj. na tepelné vodivosti okolního plynu. Výstup senzoru je úměrný absolutní vlhkosti. Výhodou je měření i při vysokých teplotách (až 200 °C).



Obrázek 2.6 Závislost výstupu na absolutní vlhkosti [2].

3 Vestavěné systémy a rozhraní Ethernet

V dnešní době se s vestavěnými systémy setkáme téměř všude a někdy aniž bychom o tom věděli. I v současnosti mají stolní počítače příliš velké rozměry na integraci do běžně používaných elektrických zařízení. Jejich univerzálnost je pro použití ve vestavěných systémech nadbytečná a plný výkon nevyužitelný, proto se u vestavěných systémů nepoužívají.

Pod pojmem vestavěný systém si můžeme představit řídicí jednotku (procesor, mikrokontrolér, ...), která je naprogramována jednouúčelovou aplikací k předem známému použití. Díky minimálnímu počtu součástek a velmi vysoké integraci periferních řadičů, vstupů/výstupů, atd., přímo do řídicí jednotky se dá docílit velmi malých rozměrů s ohledem na cenu. Nejčastěji se vestavěné systémy využívají v automatizaci a v odvětvích z automatizace vycházejících.

Řídicí jednotku je možné připojit pomocí rozhraní Ethernet dvěma způsoby. První možností je použít mikroprocesor s již integrovaným rozhraním Ethernet, nebo využít dodatečný integrovaný obvod zajišťující komunikaci přes Ethernet. Dodatečný integrovaný obvod nejčastěji komunikuje s mikroprocesorem přes sériové rozhraní SPI.

3.1 Ethernet

Protokol Ethernet pracuje na fyzické a linkové vrstvě a formálně je nazýván IEEE 802.3 CMA/CD. Standard IEEE 802.3 CMA/CD specifikuje fyzické vrstvy, které definují omezení linek, typy kabelů, metody přenosu signálů, formát rámce, který definuje funkce a pořadí bitů přenášených v paketu a mechanismus MAC, který umožňuje počítačům v síti přistupovat k síťovému médium.

Fyzická a linková vrstva je popsána v ISO/OSI vrstevovém modelu. Pro komunikaci pomocí Ethernetu musí mít řídicí jednotka implementovanou minimálně fyzickou a linkovou vrstvu. Vrstvy ISO/OSI modelu jsou popsány v následující kapitole.

Protokol Ethernet zapouzdřuje data, která přijímá z protokolu síťové vrstvy do rámce. Rámec je sekvence bitů, které začínají a ukončují každý paket Ethernet, který je přenášen. Rámec se skládá z hlavičky a patky. Hlavička a patka jsou rozděleny do polí obsahujících specifické informace potřebné pro správné nasměrování každého paketu [3].

Preamble	SFD	Cílová MAC	Zdrojová MAC	Délka	Data	FCS
7B	1B	6B	6B	2B	46-1500B	4B

Obrázek 3.1 Struktura Ethernetového rámce [3].

- Preamble – Pole preamble se skládá ze 7 bajtů , které komunikující systémy používají k synchronizaci hodinových signálů a poté je odstraní.
- SFD – Pole SFD (Start of Frame delimiter) má velikost 1 bajt a signalizuje pro přijímací stranu, že započne přenos vlastního rámce a všechna následující data jsou součástí datového paketu a měla by být umístěna do vyrovnávací paměti síťového adaptéru pro zpracování.
- Cílová MAC – Pole obsahuje 6-ti bajtovou hexadecimální adresu síťového adaptéru příjemce paketu.
- Zdrojová MAC – Pole obsahuje 6-ti bajtovou hexadecimální adresu síťového adaptéru odesílatele paketu.
- Délka – Pole definuje délku přenášených dat v paketu.
- Data – Pole obsahuje data od protokolu síťové vrstvy, který data odesílal. Tato data jsou odeslána stejnému protokolu v cílovém systému. Minimální délka přenášených dat je 46 bajtů. Jestliže odesílaná data jsou menší jako 46 bajtů adaptér Ethernet přidá řetězec bitů, které nemají žádný význam, aby doplnil pole na jeho minimální délku.
- FCS – Pole FCS obsahuje kontrolní součet vytvořen odesílatelem paketu a příjemce paketu ho použije ke zjištění, zda byl paket přenesen bez chyb.

3.2 Referenční model ISO/OSI

Model ISO/OSI je považován za primární pro komunikaci mezi počítači. Popisuje jak se informace z jednoho počítače přemísťují síťovým médiem do jiného počítače. Model ISO/OSI je rozdělen do sedmi vrstev, definuje celkovou funkci každé vrstvy a vzájemný vztah s vyššími a nižšími vrstvami. Data přenášená z jednoho zařízení do druhého procházejí trasou, která začíná u aplikační vrstvy a pokračuje směrem dolů vrstvami, než dorazí k fyzické vrstvě. Po příchodu do cílového systému musí data cestovat směrem nahoru z fyzické vrstvy k aplikaci. Data při přechodu z vyšší vrstvy do nižší k sobě přimknou informace nižší vrstvy, čemuž se říká zapouzdřování. Každá vrstva v modelu ISO/OSI obvykle komunikuje se třemi dalšími vrstvami. Těmito vrstvami jsou vrstvy přímo nad a pod vrstvou a odpovídající vrstva v cílovém zařízení. Následuje popis jednotlivých vrstev modelu ISO/OSI [3].

3.2.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva popisuje specifikaci topologie, maximální délky kabelů, typy kabelů, které se můžou použít k vytvoření sítě a elektrické či optické vlastnosti sítě. Další funkce fyzické vrstvy je navazování a udržování spojení a převod dat na elektrický signál.

Nejpoužívanější specifikace sítě Ethernet je 100Base-TX a 1000Base-T. Tato specifikace využívá 4 páry vodičů, které jsou označovány jako kroucená dvojlinka, kde se využívá v každém směru komunikace po dvou párech vodičů, proto se tento typ přenosu označuje za plně duplexní.

3.2.2 Linková vrstva

Linková vrstva definuje přístupovou strategii pro sdílení fyzických prostředků. Přípravuje informace či data, která obdrží z horních vrstev pro přenos prostřednictvím síťového média. Tato vrstva se skládá ze dvou základních podvrstev.

Nižší podvrstva je nazývána MAC (Media Access Control) definující specifické vlastnosti, které jsou jedinečné pro daný fyzický prostředek a způsob, jakým by měl být sdílen mezi jednotlivými zařízeními. Provádí správu přístupu protokolu k fyzickému síťovému médiu a fyzické adresování zařízení. Jakékoliv zařízení připojené k síti musí mít jedinečnou MAC adresu. Je dlouhá 48bitů a dá se rozdělit na dvě části po 24bitech, kdy první část identifikuje výrobce a druhá část identifikuje konkrétní zařízení.

Vyšší podvrstva je nazývána LCC a definuje způsob použití linky, synchronizaci rámců, řízení toku a kontrolu chyb.

3.2.3 Síťová vrstva

Síťová vrstva definuje procesy a úkoly požadované pro směrování paketů v sítích. Stará se o logické adresy zdrojových a cílových zařízení. Jestliže komunikující systémy sdílí společný segment sítě, lze pakety posílat přímo pomocí datové a fyzické vrstvy cílovému zařízení. V opačném případě, kdy komunikující systémy jsou v různých sítích musí síťová vrstva stanovit cestu mezi zdrojovým a cílovým uzlem. Mezi nejpoužívanější protokoly síťové vrstvy patří IP protokol.

3.2.4 Transportní vrstva

Transportní vrstva zajišťuje spolehlivost a integritu dat, kterou přebírá od relační vrstvy. Musí zajistit řízení toku, segmentaci datagramů vyšších vrstev, zahajování a ukončování konverzace mezi komunikujícími uzly a bezchybnost doručení dat příjemci. Mezi nejpoužívanější protokoly transportní vrstvy patří TCP a UDP protokol.

3.2.5 Relační vrstva

Hlavní funkcí relační vrstvy je vytvářet, spravovat a ukončovat relace mezi dvěma komunikujícími prezentačními entitami. Relace je řada souvisejících přenosů orientovaných na připojení mezi komunikujícími subjekty. Nejpoužívanějšími protokoly jsou NetBios, RPC, SSL, atd.

3.2.6 Prezentační vrstva

Hlavním úkolem prezentační vrstvy je definovat formáty dat, což slouží k poskytování množství služeb aplikační vrstvě. Musí provádět konverzi dat mezi různými aplikacemi a architekturami, šifrování a dešifrování dat.

3.2.7 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva je vrstva, která má nejbliže ke koncovému uživateli či koncové aplikaci. Definuje uživatelské procesy a aplikace komunikující po síti. Nejpoužívanějšími protokoly jsou DNS, SMTP, HTTP, SSH, POP3, atd.

3.3 Základní popis protokolů

Mezi základní protokoly, z kterých vychází všechny ostatní, se dá zařadit protokol IP, TCP, UDP.

3.3.1 IP protokol

IP protokol je základním protokolem síťové vrstvy ISO/OSI modelu. Definuje logické adresování a směrování ze zdrojového zařízení do cílového přes jednu nebo více sítí. Jednotlivá rozhraní zařízení připojená k síti jsou rozlišována pomocí IP adresy. Každé rozhraní připojené k síti musí být identifikováno jedinečnou IP adresou pro daný segment sítě. V dnešní době má IP protokol dvě verze. Nejrozšířenější verze protokolu je IPv4 o velikosti 4 bajtů, ale z důvodu vyčerpání IPv4 adres se začíná rychle rozšiřovat novější verze IPv6 o velikosti 6 bajtů.

Přenášena data po síti jsou rozdělena a posílány po blocích. Tyto bloky se nazývají datagramy, které putují sítí nezávisle, neboť mezi komunikujícími zařízeními není ustanoveno pevné spojení. IP protokol je označován jako nespolehlivý, protože posílané datagramy nemusí do cílového zařízení vůbec dorazit, nebo může dorazit několikrát a nebere ohled na pořadí datagramů. Každý posílaný datagram musí obsahovat IP adresu zdrojového a cílového rozhraní [15].

3.3.2 TCP protokol

TCP protokol je základním protokolem transportní vrstvy ISO/OSI modelu. Slouží k ustanovení spojení mezi komunikujícími zařízeními. Vytváří spojení klient-server. TCP protokol je založen na spolehlivém přenosu dat a přenášená data jsou doručována ve správném pořadí. Pro správné pořadí je každému odesílanému paketu přiřazeno číslo, podle které je v cílovém zařízení zařazen. Díky těmto číslům dokáže cílové zařízení určit ztracené pakety. Cílové zařízení při přijetí paketu odešle zdrojovému zařízení potvrzení. Jestliže zdrojové zařízení do určité doby nepřijme potvrzení o příjmu

paketu, tak odešle daný paket znovu. Tímto mechanismem TCP protokol docílí spolehlivosti doručení [16].

3.3.3 UDP protokol

Dalším základním a hojně využívaným protokolem transportní vrstvy je UDP protokol. UDP protokol na rozdíl od TCP protokolu nenavazuje spojení a nezaručuje spolehlivé doručení paketů, ani správné pořadí doručení. UDP protokol pracuje na jednoduchém principu otázka-odpověď, proto má mnohem nižší nároky na režii než TCP protokol. Nejčastěji se s tímto protokolem setkáme při převodu doménového jména na IP adresu tzv. DNS [17].

4 Návrh systému

Úkolem navrhovaného systému je měřit teplotu a vlhkost pomocí připojeného čidla. Naměřené hodnoty musí systém zprostředkovávat uživateli přes rozhraní Ethernet.

Celý navrhovaný systém se skládá z mikroprocesoru, který řídí celou aplikaci a veškerou komunikaci s okolím, čidlem měřící teplotu a vlhkost, rozhraním Ethernet a pomocnými obvody pro bezproblémový chod mikroprocesoru. Pro komunikaci přes Ethernet lze využít rozsáhlou sadu modulů integrovaných do jedné knihovny TCP/IP stack [4]. Tato knihovna je volně dostupná přímo na webových stránkách výrobce Microchip.

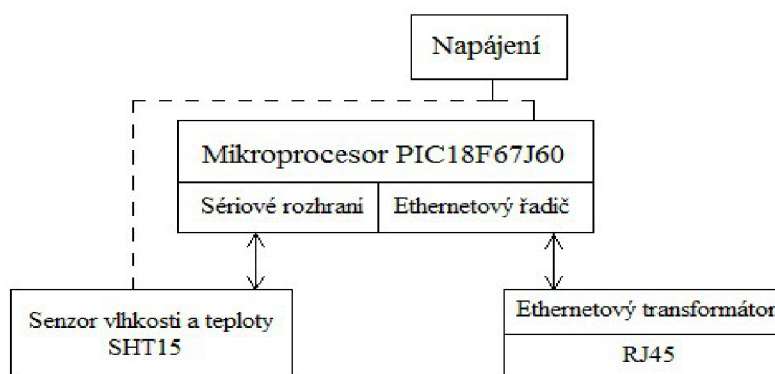
Z důvodu použití komunikace přes Ethernet se přímo nabízí použít pro uživatelské rozhraní webovou aplikaci, v které by se měli zobrazovat minimálně aktuálně naměřené hodnoty. Konkrétní řešení uživatelské části je v kapitole 6.

Pro vývoj aplikace byl využit vývojový kit PICDEM.net 2 [19] s provizorně připojeným čidlem, aby v případě nefunkčnosti výsledného modulu byla vyloučena softwarová chyba.

4.1 Blokové schéma zařízení

Zařízení se skládá ze 4 základních částí. První část je čidlo, které měří teplotu a vlhkost. Druhá část je mikroprocesor komunikující s čidlem a s ethernetovým rozhraním. Třetí část tvoří ethernetové rozhraní a poslední částí je napájení.

Z důvodu jednoduchosti zařízení a zapojení bylo vybíráno mezi mikroprocesory firmy Microchip s integrací ethernetového řadiče. Pro naše požadavky plně postačuje mikroprocesor PIC18F67J60 ke kterému je volně dostupná knihovna TCP/IP stack. Pro komunikaci s čidlem je využito sériové rozhraní SPI.



Obrázek 4.1 Blokové schéma zařízení.

4.2 Mikroprocesor

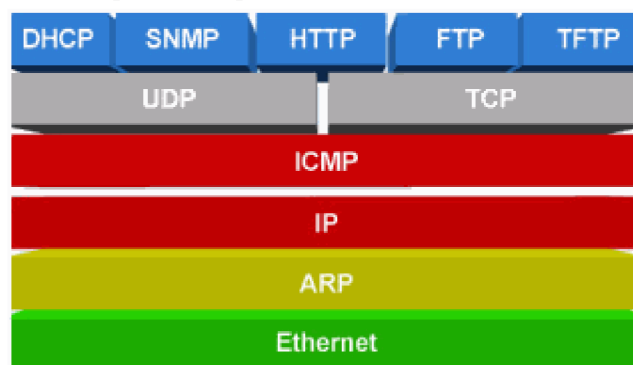
Mikroprocesor Microchip PIC18F67J60 je 8-bitový mikroprocesor s redukovanou instrukční sadou a s integrovaným ethernetovým řadičem. Pro paměť programu má vyhrazeno 128KB a pro paměť dat 3808B. Rozsah napájecího napětí je 2,4V – 3,6V. Maximální vnitřní kmitočet pomocí externího generátoru času je 41.667MHz. Mikroprocesor má v sobě integrovány standardní periferie, jako je USART, SPI, I2C, 10-bitový AD převodník, 7 programovatelných portů, 5 časovačů, sériové rozhraní SPI, atd. Výhodou je integrovaný ethernetový řadič. Podrobnější popis v [5].

4.2.1 Ethernetový řadič

Ethernetový řadič je implementován dle standardu IEEE 802.3. Je plně kompatibilní s 10/100/1000Base-T sítěmi. Podporuje automatické přeposílání paketů při kolizích, automatické odstraňování chybných paketů a generování kontrolního součtu. Obsahuje 8KB vyrovnávací paměti typu FIFO pro přijímané a odesílané pakety. Má integrovanou fyzickou a MAC vrstvu. Pro svoji správnou funkci musí být k mikroprocesoru připojen generátor hodinového signálu. Podrobnější popis v [5].

4.2.2 Microchip TCP/IP Stack

Microchip TCP/IP Stack je knihovna volně ke stažení, která obsahuje sadu protokolů realizující funkce vyšších vrstev referenčního modelu ISO/OSI. TCP/IP Stack je založen na modulárním způsobu a se všemi poskytovanými službami vytváří vysoce abstraktní vrstvy, proto uživatel nemusí dopodrobna znát problematiku a specifikaci protokolu TCP/IP.



Obrázek 4.2 TCP/IP Stack – základní přehled poskytovaných služeb.

TCP/IP Stack je také nazýván „živým“ Stackem, neboť některé jeho vrstvy musí být schopny vykonávat některé operace asynchronně. Aby bylo možné tento požadavek splnit a přitom zůstala

hlavní aplikace nezávislá na využívaných službách, používá TCP/IP Stack techniku zvanou kooperativní multitasking.

Princip kooperativního multitaskingu spočívá na postupném přidělování mikroprocesoru právě provádějícímu úseku kódu a mikroprocesor nemůže využít žádná jiná úloha. Kooperativní multitasking dovoluje uživateli provádět svoje vlastní úlohy, aniž by musel řídit chod TCP/IP Stacku [4].

4.3 Senzor teploty a vlhkosti SHT15

Senzor SHT15 od firmy Sensirion je senzor miniaturních rozměrů, který dokáže měřit teplotu a relativní vlhkost. Pro měření teploty je použit polovodičový senzor s PN přechodem a pro měření vlhkosti je použit kapacitní senzor. Senzor SHT15 má integrován 14-bitový AD převodník, který převádí naměřené analogové hodnoty do digitální podoby. To má za výsledek vynikající kvalitu signálu, rychlou odezvu a necitlivost na vnější rušení za velmi příznivou cenu. Již od výroby je senzor kalibrován pro velice přesné výsledky měření a kalibrace senzoru je uložena v paměti senzoru. Hodnoty kalibrace jsou používány interně během měření.

Pro připojení k mikroprocesoru používá senzor dvou vodičovou sériovou sběrnici I2C. Jeden vodič slouží k synchronizačnímu hodinovému signálu a druhý vodič pro samotný přenos dat. Toto řešení umožňuje snadnou a rychlou integraci do systému. Omezení dvou vodičové sériové sběrnice je zapojení k jedné sériové sběrnici pouze jednoho senzoru. Malé rozměry a nízká spotřeba energie umožňuje dokonalou volbu i pro ty nejméně náročné systémy. Pro měření je možné využít dvou módů. První rychlejší a méně přesný mód měří teplotu 12bity a vlhkost 8bity, druhý pomalejší a přesnější mód měří teplotu 14bity a vlhkost 12bity [6].

Základní parametry:

- napájecí napětí je od 2,4V do 5,5V
- rozsah měření teploty -40°C až 125°C
- přesnost měření teploty $\pm 0,3^\circ C$
- rozsah měření relativní vlhkosti 0% až 100%
- přesnost měření relativní vlhkosti $\pm 2\%$
- měření relativní vlhkosti nemá lineární průběh a musí se kompenzovat pomocí teploty

Přepoččet naměřených hodnot

RH_{linear} – přepočítaná naměřená vlhkost na lineární

$$RH_{linear} = C_1 + C_2 \cdot SO_{RH} + C_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3)$$

RH_{true} – relativní vlhkost s kompenzací pomocí teploty

$$RH_{true} = (T_{(°C)} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (4)$$

T – výsledná teplota

$$T = d_1 + d_2 \cdot SO_T \quad (5)$$

konstanty C_1 , C_2 , C_3 , D_1 a D_2 jsou uvedeny v [6].

4.4 Vývojový kit PICDEM.net 2

Vývojový kit PICDEM.net 2 je postaven na mikroprocesoru PIC18F97J60 s integrovaným rozhraním Ethernet. Mezi vybavení patří i rozhraní Ethernet zprostředkováváno integrovaným obvodem ENC28J60, který je připojen k mikroprocesoru standardním SPI rozhraním. Dále obsahuje EEPROM paměť o velikost 32kB, dvouřádkový LCD displej o délce 16 znaků na řádek, analogové teplotní čidlo, 8 LED diod konfigurovatelných uživatelem, uživatelem definovaná tlačítka, sériový port, atd [19].

4.5 Návrh SW řešení

Pro vývoj aplikace je využito vývojové prostředí Mplab [7], které poskytuje samotný výrobce mikroprocesorů Microchip. Díky programovacímu kitu ICD3 [8] ve spojení s vývojovým prostředím Mplab je možné ladit program přímo za běhu v mikroprocesoru. Samotný program je postaven na TCP/IP komunikaci zprostředkovávající komunikaci mezi modulem a uživatelskou částí. Pro TCP/IP komunikaci je možné použít volně dostupného TCP/IP stacku přímo od firmy Microchip, který je dostačující pro naši aplikaci.

Z TCP/IP stacku lze využít DHCP klient a DHCP server, které nám dovoluji se připojit kamkoliv do sítě, nebo se spojit přímo s počítačem. DHCP klient přiřadí zařízení IP adresu, pokud se na síti vyskytuje zařízení se spuštěným DHCP serverem. Jestliže modul bude připojen přímo k počítači můžeme využít funkci DHCP serveru, který přidělí modulu a počítači IP adresu. Za další užitečný modul můžeme považovat NBNS poskytující službu NetBIOS. Tato služba přiřadí modulu předem nastavený název, proto není nutné znát IP adresu modulu a komunikaci s modulem nám to velmi zjednoduší. Jako hlavní modul pro naši práci je jednoduchý HTTP server, který bude mít za úkol zpracovávat žádosti od uživatelského rozhraní a řádně na ně odpovídat.

Díky tomu, že v mikroprocesoru využíváme HTTP server, nabízí se nám jako aplikace pro uživatelské rozhraní webová aplikace. HTTP server s uživatelským rozhraním uzavírá jednorázovou komunikaci založenou na spojení klient-server na portu 80. Kdy uživatelské rozhraní pošle žádost, modul žádost zpracuje, odešle odpověď a komunikaci ukončí. Díky HTTP serveru lze využít pro jednoduchost HTTP protokol, kde se jednotlivé zprávy posílají v textové formě. V HTTP zprávě by

se měla minimálně vyskytnou autentifikace uživatelského prostředí, aby modul rozeznal, že komunikace probíhá s uživatelským prostředím určeného pro tuto aplikaci. Jako další část zprávy by se dalo považovat posílání názvů, které by zastupovali jednotlivé měřené veličiny.

5 Hardwarové řešení

Fyzický návrh hardware zahrnuje desku plošných spojů a seznam potřebných součástek. Návrh desky plošných spojů byl řešen v navrhovacím programu Eagle.

5.1 Návrhový systém Eagle

Návrhový systém Eagle od německé firmy Cadsoft je uživatelsky přívětivý a výkonný nástroj pro návrhy desek plošných spojů. Eagle je velmi nenáročný na výpočetní výkon a v dnešní době není problém s ním pracovat na jakémkoliv počítači a je dostupný pro operační systémy Windows a Linux. Eagle je rozdělen do tří částí, kde každá část má určitou funkci. Jednoduchost ovládání je zajištěna jedním uživatelským rozhraním, z kterého jsou ovládány jednotlivé části návrhového systému. Mezi hlavní rysy lze vyzdvihnout dopřednou a zpětnou anotaci v reálném čase, nápovědu orientovanou dle obsahu a vícenásobná okna pro schéma, desku a knihovnu. Hlavními třemi částmi jsou:

- Editor spojů – lze vytvořit až 16 signálových vrstev, rozlišení 1/10000mm (0,1 mikronu), použití klasických i SMD součástek, snadné vytváření vlastních součástek, poměření ploch a kontrola pravidel návrhu.
- Editor schémat – až 99 listů jednoho schématu, kontrola elektrických pravidel zapojení, prohazování hradel a pinů, vytvoření desky ze schématu jediným příkazem.
- Autorouter – ripup&retry router, až 16 signálových vrstev, strategie propojování nastavitelná uživatelem pomocí váhových faktorů.

Výsledek návrhu desky plošných spojů lze exportovat pomocí CAM processoru do formátů Postscript, plotrů Gerber, perových plotrů, souborů pro vrtačky, atd.

5.2 Povrchová montáž

Pro požadavky vestavěných systému, kde se hlavně klade důraz na rozměry daného zařízení je použito povrchové montáže typu SMT, kdy jsou součástky pájeny na straně plošného spoje. Pro tento typ montáže se využívá součástek typu SMD umožňující minimalizovat rozměry desky plošných spojů oproti montáži klasických součástek s drátkovými vývody. Mezi další výhody SMT technologie je jednodušší výroba desky a možnost umístit součástky po obou stranách desky. Jako každá technologie má i SMT své nevýhody. Mezi nejznámější patří větší obtížnost osazování oproti běžným součástkám, kdy se pro samotné osazování používají speciální pájecí stanice.

V projektu je téměř celá deska vyrobena a osazena technologií SMT. Díky které jsou konečné rozměry modulu 62x63mm. Pro rezistory a keramické kondenzátory jsou voleny pouzdra s ohledem

na rozměry a obtížnosti osazování o velikost 1206. Elektrolytické kondenzátory jsou použity pouzdra typu B. Klasická montáž součástek je použita u napájecího konektoru, Ethernet konektoru, programovacího konektoru RJ12 a krystalů. Deska je realizována oboustranně, kde na jedné straně desky jsou umístěny veškeré SMD součástky a druhá strana je primárně použita pro pájení klasickou montáží součástek. Pro snadnější montáž součástek je možné si nechat na desku nanést nepájivou masku a pájecí plošky si pocínovat.

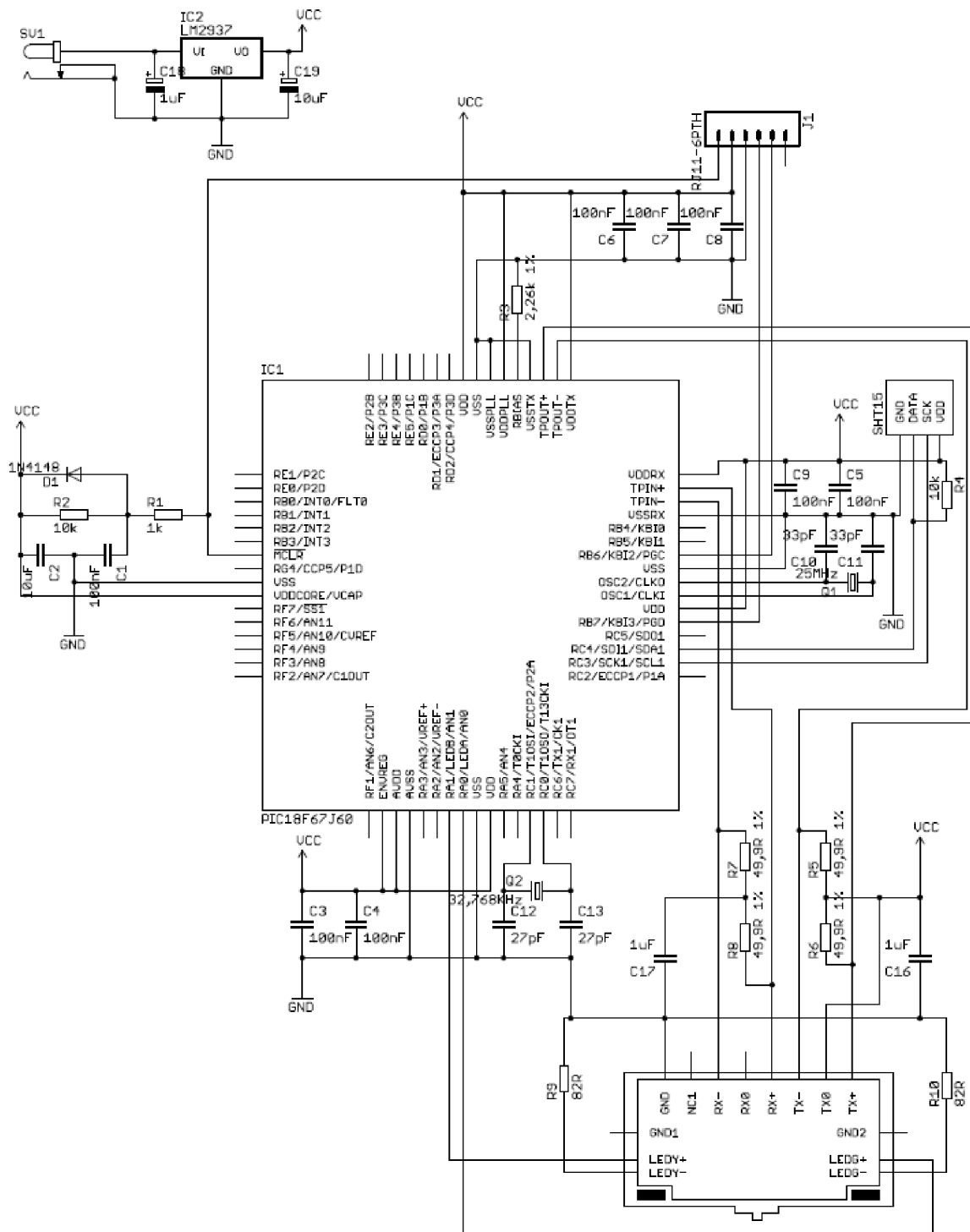
5.3 Schéma a popis zapojení

Schéma zapojení měřicího modulu je na obrázku 5.1. Hlavní součástkou celého modulu je mikrokontrolér PIC18F67J60 a senzor SHT15. Ostatní součástky tvoří podpůrné obvody pro běh a komunikaci s okolím.

Napájecí napětí celého modulu je 3,3V. Abychom docílili tohoto napětí je ke vstupnímu napájecímu konektoru připojen stabilizátor napětí LM2937 [10], který může mít maximální vstupní napětí 26V a dodává celému obvodu stabilní napětí 3,3V. Kondenzátory C18 a C19 vyhlazují průběh vstupního a výstupního napětí. Samotný mikroprocesor je zapojen dle referenčního manuálu [5]. Mezi všechny napájecí svorky jsou připojeny kondenzátory o velikosti 100nF, které drží konstantní napájecí napětí na mikroprocesoru. Na pin VDDCORE je připojen kondenzátor C2, který povoluje funkci vnitřního stabilizátoru napětí v mikrokontroléru. Na piny PGC, PGD a MCLR je připojen konektor pro programátor.

Ethernetový řadič mikroprocesoru pracuje na frekvenci 25MHz, proto je k mikroprocesoru připojen k pinům OSC1 a OSC2 krystal Q1 taktující hodiny pro ethernetový řadič. Pro správnou komunikaci ethernetového řadiče musí být připojen rezistor R3 určující amplitudu signálu pinů TPOUT+ a TPOUT-, který má hodnotu 2,26k s tolerancí 1%. Pro použití hodin reálného času je připojen krystal Q2 o frekvenci 32,768KHz.

Pro připojení senzoru teploty a vlhkosti slouží sériová linka. Datový vodič senzoru využívá obousměrné komunikace a je připojen k pinu SDA. K synchronizaci hodinového signálu slouží druhý vodič a je připojen k pinu SCK. Mezi pin SDA a napájení je připojen pull-up rezistor zvyšující úroveň signálu.

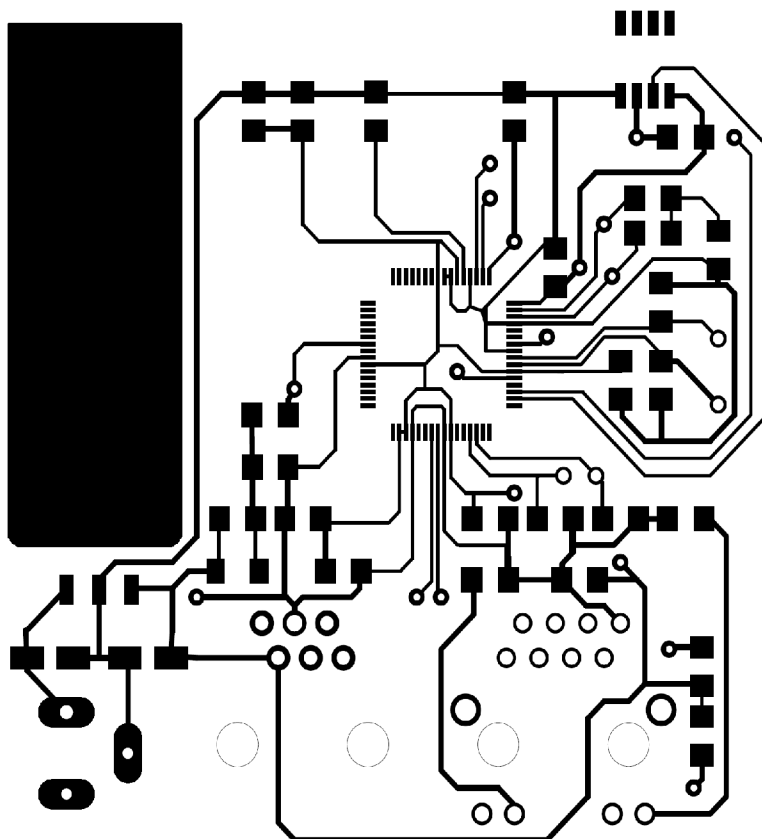


Obrázek 5.1 Schéma zapojení.

5.4 Deska plošných spojů

Na obrázku 5.2 je znázorněna navržená horní strana deska plošných spojů. Spodní strana slouží pouze pro osazení všech konektorů a propojů mezi prokovenými otvory. Veškeré SMD součástky jsou

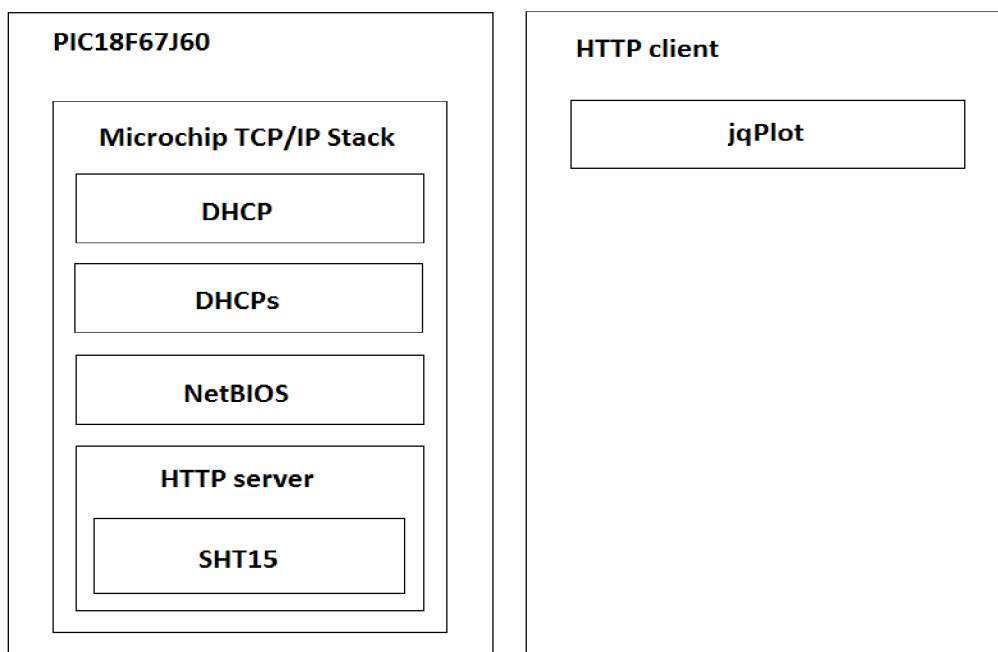
osazeny na horní straně desky. V levé části se nachází stabilizátor napětí a proto je pod ním rozlita měď z důvodu odvodu vyprodukovaného tepla. I přes tuto chladicí plochu se stabilizátor velmi zahřívá, proto je osazen malým hliníkovým chladičem. Snaha o udržování co nejnižší teploty stabilizátoru je z důvodu tepelného ovlivňování ostatních součástek na desce, hlavně senzoru. Napájecí konektor je univerzální a lze k němu připojit klasický napájecí adaptér s výstupním stejnosměrným napětím nejvýše do 26V. Horní i spodní strana desky, rozmístění součástek a seznam použitých součástek jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 5.2 Deska plošných spojů – horní strana.

6 Softwarové řešení

Softwarovou část si můžeme rozdělit na dvě části. První část tvoří aplikace běžící v mikroprocesoru, která řídí TCP/IP komunikaci a zprostředkovává měření teploty a vlhkosti pomocí senzoru. Druhá část je uživatelské prostředí, které nám ukazuje aktuální naměřené hodnoty a zobrazuje historii naměřených hodnot. Celkové rozvržení softwarové části je zobrazeno na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1 Rozvržení softwarové části modulu.

Na levé části obrázku jsou vyobrazeny jednotlivé moduly používané v aplikaci pro mikroprocesor. Hlavní částí aplikace je TCP/IP Stack. Jako první použitý modul je DHCP klient sloužící k získávání IP adresy, jeli v síti zařízení jejich poskytování tzn. DHCP server. Druhý modul je DHCP server, který se spouští jestliže modulu není přiřazena IP adresa od jiného zařízení ze sítě, nejčastěji se DHCP server využívá při přímém spojení s počítačem. Třetí modul je NetBIOS, který přiřadí modulu předem určený název zařízení, díky kterému nemusíme v uživatelské části zjišťovat IP adresu zařízení, ale stačí nám znát jeho název. Poslední modul z TCP/IP Stacku je HTTP server, který nám zajišťuje autentifikaci uživatele, obsluhu senzoru, zpracování naměřených veličin a komunikaci s uživatelským rozhraním.

Uživatelská část, neboli HTTP client je velmi jednoduchý a jediným použitým modulem je jqPlot [11] pro vykreslování grafu historie naměřených hodnot. Podrobněji tato část bude rozebrána v podkapitole 6.2. Komunikace s uživatelskou částí je řešena pomocí TCP/IP na portu 80.

6.1 Hlavní program mikroprocesoru

Jako hlavní součástí programu mikroprocesoru je TCP/IP Stack, který můžeme dle našich požadavků libovolně konfigurovat a zvolit jen ty moduly opravdu potřebné. Samotná konfigurace se provádí v souboru TCPIPConfig.h. V tomto projektu jsou potřeba moduly DHCP, DHCPs, NetBios a HTTP server. Všechny dostupné moduly konfigurované v tomto souboru využívají aplikační vrstvu OSI/ISO modelu. Moduly z nižších vrstev jako jsou TCP, UDP, IP, ARP, MAC, atd. jsou povolovány automaticky dle námi zvolených modulů, tím se konfigurace pro nás velmi zjednodušila, neboť nemusíme vědět jaké moduly z nižších vrstev musí být povoleny pro chod modulů z aplikační vrstvy.

Jako další konfigurovatelná část v souboru TCPIPConfig.h je identifikace modulu na síti. Modulu lze přiřadit NetBIOS jméno, MAC adresu, základní IP adresu modulu, maximální počet připojení k HTTP serveru, atd. Vytvoření samotné aplikace je velmi jednoduché a skládá se z několika kroků.

6.1.1 Vytvoření aplikace

Základní struktura programu:

```
void main() {
    InitializeBoard();
    TickInit();
    InitAppConfig();
    StackInit();
    HTTPInit();
    while(1) {
        StackTask();
        HTTPServer();
        NBNSTask();
    }
}
```

Jako první se volá funkce InitializeBoard, která specifikuje nastavení portů, AD převodníků, přerušení, zdroje hodinových signálů, aj. Funkce TickInit inicializuje všechny související komponenty s TCP/IP Stackem. Funkce InitAppConfig inicializuje strukturu APP_CONFIG, ve které se nachází konfigurační parametry (IP adresa, MAC adresa, NetBIOS jméno, atd.). Funkce StackInit inicializuje moduly zajišťující funkci všech vrstev ISO/OSI modelu, od fyzické vrstvy po aplikační vrstvu. Funkce HTTPInit nastavuje všechny HTTP sokety do naslouchajícího stavu a inicializuje pro každé připojení stavový automat. Tyto funkce jsou provedeny jen jednou a to pouze při prvním spuštění celé aplikace.

Hlavní programová smyčka se provádí neustále. Obsahuje funkci StackTask, která obsluhuje zásobník pro kontrolu příchozích paketů a zajišťuje včasné vyřizování všech příchozích paketů. Funkce HTTPServer je TCP aplikace naslouchající na portu 80 a reaguje na vzdálené požadavky. Funkce NBNSTask slouží k odesílání NetBIOS jména ostatním síťovým zařízením.

6.1.2 HTTP server

HTTP server využívá TCP/IP komunikace, která nám umožňuje vytvářet aplikace typu klient/server a je pro tento projekt dostačující. Samotný modul HTTP serveru je založen na konečném automatu, kdy se postupně vykonávají určité úlohy serveru. Během každé úlohy se nastaví do proměnné určující stav konečného automatu na nadcházející stav.

Komunikace s modulem probíhá jednorázově. Uživatelské rozhraní odešle HTTP serveru zprávu, HTTP server zprávu přijme a zpracuje tzn. proběhne autentifikace a měření veličin. Jestliže se při komunikaci naskytne jakákoliv chyba, ať už z důvodu chybné autentifikace, nebo jakákoliv jiná, tak HTTP server vrátí pomocí HTTP hlavičky popis dané chyby. Autentifikace načte z hlavičky uživatele a heslo, pak následuje kontrola zdali načtené hodnoty odpovídají předem nastaveným hodnotám.

Ukázka kódu z funkce HTTPHeaderParseAuthorization obsluhující autentifikaci:

```
TCPGetArray(sktHTTP, user, USER_SIZE+1);      // načtení uživatele
user[USER_SIZE] = '\0';
TCPGetArray(sktHTTP, pass, PASS_SIZE);        // načtení hesla
pass[PASS_SIZE] = '\0';
if(strncmp2ram((char *)user, (ROM char *)USER) == 0 &&
  strncmp2ram((char *)pass, (ROM char *)PASS) == 0) {
    // autentifikace proběhla v pořádku
    curHTTP.isAuthorized = 0x80;
}
else {
    curHTTP.isAuthorized = 0x00;
}
```

Po autentifikaci je volána funkce pro obsluhu senzoru v které se provede načtení příkazů pro měření a resetování komunikace s čidlem. Na základě načtených příkazů se provede zavolání funkce pro měření sht15_read s parametrem symbolizující měřenou veličinu. Funkce vrátí naměřené hodnoty jako hexadecimální číslo, které se následně musí přepočítat dle vzorců z podkapitoly 4.3 na srozumitelné hodnoty pro uživatele. A pro umístění do odesílané zprávy musí být hodnoty převedeny na řetězec.

Ukázka kódu z funkce HTTPHeaderParseMeasuring obsluhující senzor:

```
TCPGetArray(sktHTTP, value1, TEMP_SIZE+1);    // načtení příkazu teploty
```

```

value1[TEMP_SIZE] = '\0';
TCPGetArray(sktHTTP, value2, HUM_SIZE);      // načtení příkazu vlhkosti
value2[HUM_SIZE] = '\0';

connectionReset();      // resetování komunikace se senzorem

if(strcmp_pgm2ram((char *)value1, (ROM char *)TEMP) == 0 ||
strcmp_pgm2ram((char *)value2, (ROM char *)TEMP) == 0) {
    temperature_measured = sht15_read(TEMPERATURE);      // měření teploty
    temperature = TEMPERATURE_D1 + TEMPERATURE_D2 * temperature_measured;
    strcpy_pgm2ram(value.temperature, "Teplota: ");
    // převod naměřené hodnoty na řetězec
    strcat(value.temperature, float2string(temperature));
    strcat_pgm2ram(value.temperature, "°C");
}

if(strcmp_pgm2ram((char *)value1, (ROM char *)HUM) == 0 ||
strcmp_pgm2ram((char *)value2, (ROM char *)HUM) == 0) {
    humidity_measured = sht15_read(HUMIDITY);      // měření vlhkosti
    humidity_linear = HUMIDITY_C1 + HUMIDITY_C2 * humidity_measured +
HUMIDITY_C3 * humidity_measured * humidity_measured;
    humidity_true = (temperature - 25) * (HUMIDITY_T1 + HUMIDITY_T2 *
humidity_measured) + humidity_linear;
    strcpy_pgm2ram(value.humidity, "Vlhkost: ");
    // převod naměřené hodnoty na string
    strcat(value.humidity, float2string(humidity_true));
    strcat_pgm2ram(value.humidity, "%");
}

```

Následně naměřené hodnoty HTTP server odesílá zpět v textové formě a komunikace se ukončí.

```
TCPPutString(sktHTTP, (BYTE*)result);
```

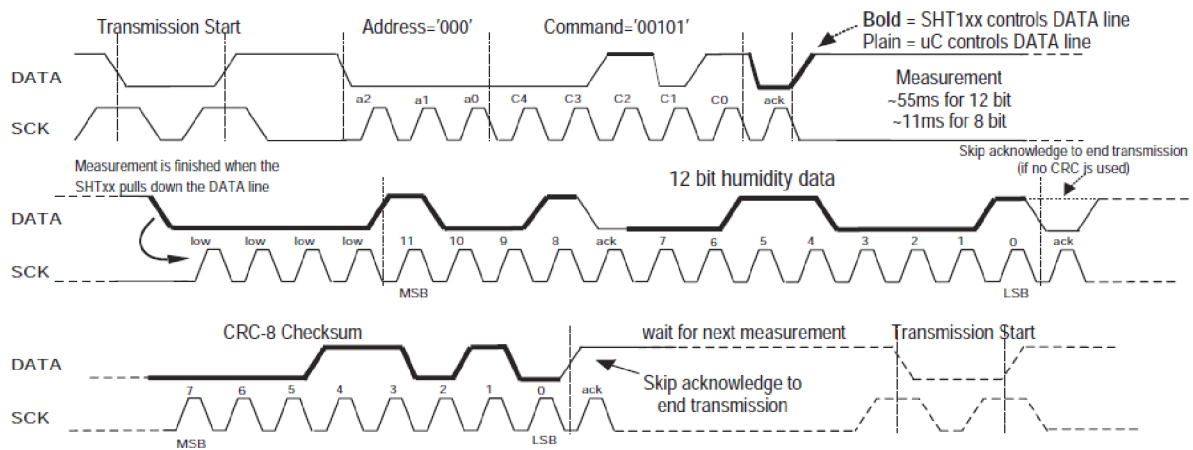
Příklad odesílané zprávy: Teplota: 21.5°C#Vlhkost: 51.2%\r\n

6.1.2.1 Obsluha senzoru SHT15

Základem obsluhy senzoru je jeho inicializace, kdy se provede přiřazení portu, ke kterému je senzor připojen a přepnutí AD převodníku na daném portu do digitálního režimu. Pro připojení senzoru je použit port C, ze kterého je využit pin SDI1 pro datový vodič a pin SCK1 pro vodič synchronizačního signálu.

Samotné měření probíhá v několika krocích viz. obrázek 6.2. Jako první krok se senzoru odesílá posloupnost bitů, sloužící pro signalizaci začátku měření. Druhý krok spočívá v odeslání řídicího příkazu určující co má senzor vykonat, jestli měřit teplotu nebo vlhkost. Po odeslání řídicího příkazu je nutné čekat na odpověď, která přijde následovně. V každém taktu se načte jeden bit

naměřené veličiny a uloží do výsledku, který se po každém uložení jednoho bitu musí posunout o pozici doleva („shiftnout“). Po načtení všech 14-ti bitů u změřené teploty, popř. 12-ti bitů u změřené vlhkosti je možnost ještě přijmout CRC součet, který nám slouží ke kontrole správnosti přijatých hodnot, ale pro urychlení ho lze přeskočit. Tím samotné měření je u konce a čeká se na další žádosti měření. Ukázky kódu jsou v příloze 2.



Obrázek 6.2 Příklad měření vlhkosti [6].

6.2 Uživatelské rozhraní

Základní funkcí uživatelského rozhraní je zobrazování aktuálně naměřených hodnot. Abychom nemuseli webovou stránku neustále aktualizovat je využito programovacího jazyku ajax a javascript, který nám obstará automatickou aktualizaci stránky, aniž by to uživatel postřehl. Interval měření tj. I aktualizaci stránky se nastavuje přímo ve zdrojovém kódu. Základně je přednastaven interval měření na 30 sekund. Po uplynutí tohoto intervalu ajax zavolá php skript *measuring.php*, kterému je předán parametr *action* nastavený na hodnotu *Measuring* metodou POST. Tento parametr určuje jaká činnost se bude ve skriptu vykonávat.

Pro aktualizaci měřené hodnoty se provede událost *Measuring*. Kde se nastaví číslo portu a adresa modulu. Díky tomu, že modul má přiřazen název, nemusíme zjišťovat a zadávat IP adresu, ale stačí nám pro identifikaci jeho název. Následuje vytvoření socketu na dané adrese a spojení s HTTP serverem v modulu. Veškeré chyby při vytváření a připojování k socketu jsou ošetřeny.

Komunikace je prováděna pomocí HTTP zprávy, která má formát:

```
Authorization: SENSORBOARD#MEASURING\r\n
```

```
Measuring: TEMPERATURE#HUMIDITY\r\n\r\n
```

kde pole *Authorization* slouží k autentifikaci uživatele, pokud bude toto pole obsahovat jiné položky, modul nekompromisně spojení ukončí. Pole *Measuring* udává modulu jaké veličiny má

změřit a řádně odpovědět. Toto pole by mělo zůstat nastavené na základní hodnoty, neboť u uživatelského rozhraní není zajištěna správná funkčnost po změně na jednotlivé položky.

Tato zpráva je odeslána do vytvořeného a připojeného soketu. Po níž následuje čekání na odpověď od HTTP serveru. Danou odpověď odesíláme zpět ajaxem do webové stránky, kde se jednotlivé naměřené veličiny aktualizují.

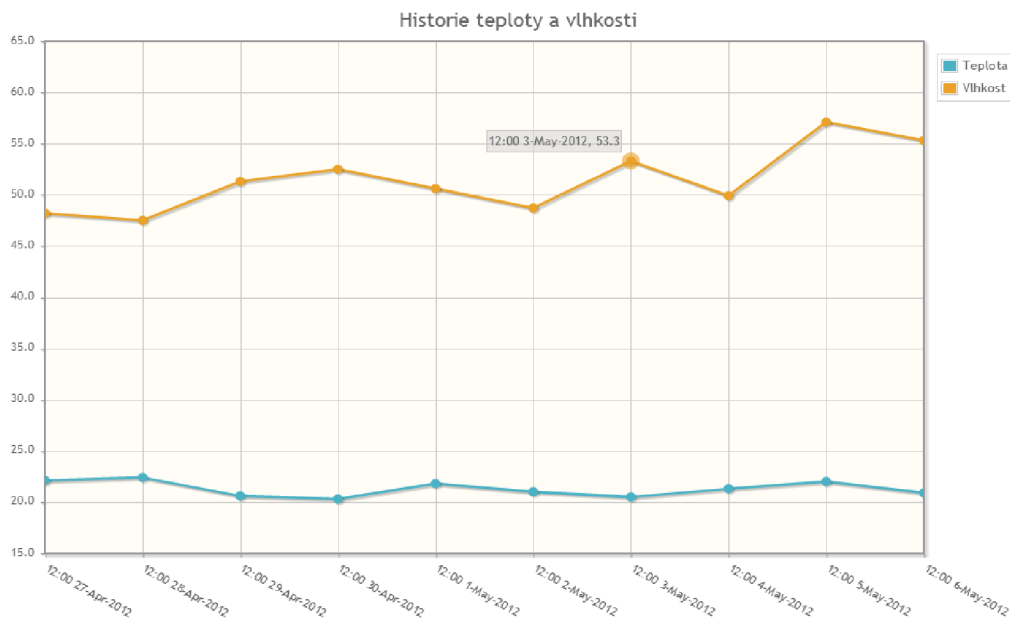
Uživatelské rozhraní nabízí rozšířenou funkci, která zobrazí historii naměřených veličin ve vybraném časovém úseku do grafu. Pro toto rozšíření je potřeba využít databázi, v níž je vytvořena jednoduchá tabulka. Do tabulky je zaznamenáváno id, datum měření, naměřená vlhkost a teplota. Do databáze zapisujeme pomocí php skriptu *cron.php*, který musí běžet na serveru a automaticky se spouštět po určité době, aby naměřené hodnoty mohli být zaznamenány. K tomuto spuštění se využívá nejčastěji na serveru aplikace cron [13].

Pro zobrazení historie měření je možné si vybírat, zdali chceme zobrazit jen vlhkost, teplotu, nebo oboje. Pro vybírání časového úseku je využito volně dostupného modulu DatePicker [14] založeného na jazyku jQuery. Díky tomuto modulu lze zobrazit přehledný kalendář, který nám poskytne automatické naformátování data dle požadavků pro vyhledávání v databázi.

Zobrazovaná data se opět odesílají ajaxem do php skriptu *measuring.php*. Jako parametry jsou odeslány žádost o načtení hodnot z databáze odkdy dokdy chceme načíst naměřené hodnoty. Výsledné hodnoty z databáze jsou odeslány v číselné formě zpět ve formátu datum#teplota#vlhkost\r\n. Ve webové aplikaci jsou přijaté hodnoty rozparsovány a uloženy do pole. Před samotným zobrazením hodnot jsou vytvořeny dvourozměrné pole, které obsahují datum a teplotu, nebo vlhkost, podle toho které pole je vytvářeno. Následně jsou pole předány modulu pro vykreslení grafu. Graf je vykreslován volně dostupným modulem JqPlot [11].

Aktuální hodnoty
Teplota: 21.7°C **Vlhkost:** 48.2%

Historie měření
Zobrazit: Teplota a vlhkost **Od:** **Do:**



Obrázek 6.3 Ukázka uživatelského rozhraní.

7 Testování

Testování desky probíhalo v několika fázích. Hodnoty byly srovnávány s klasickým rtuťovým teploměrem a digitální meteostanicí. Měřicí modul byl napájen 9V.

V první fázi byla porovnávána pouze vlhkost měřicího modulu s digitální meteostanicí. Naměřené hodnoty se od sebe velmi lišili. Digitální meteostanice ukazovala relativní vlhkost 44%, ale měřicí modul ukazoval jen 35%.

Druhá fáze testování probíhala v měření pokojové teploty. Rtuťový teploměr ukazoval 23,5°C, digitální meteostanice 23,1°C a měřicí modul 28,3°C. Tento velký výkyv teploty je následkem ovlivňování senzoru součástkami vydávající teplo. Proto byl prvně na usměrňovač napětí umístěn malý hliníkový chladič a sníženo napájecí napětí na 6V. Tímto prvotním opatřením ovlivňování senzoru ostatními součástkami, klesla naměřená teplota na 27,8°C. Pokles nebyl markantní, proto byl chladič aplikován i na samotný mikroprocesor. Po těchto opatřeních naměřená teplota opět klesla o cca 1°C na 26,9°C.

Třetí fáze testů probíhala s měřením teploty pod bodem mrazu 0°C. Rtuťový teploměr naměřil -11,5°C, digitální meteostanice -10,4°C a měřicí modul -9,3°C. I zde vidíme rozdíl mezi klasickým měřením a digitálním měřením. Tento rozdíl je způsoben odchylkou měření u digitálních přístrojů.

8 Závěr

Výsledkem této práce je funkční a otestovaný modul pro měření vlhkosti a teploty s rozhraním Ethernet. Zařízení lze připojit do počítačové sítě, nebo přímo k počítači. Měřené hodnoty jsou zobrazována pomocí webové aplikace v určitém intervalu.

Realizace modulu probíhala v několika krocích. Prvním krokem bylo nastudování teorie a seznámení se s principy měření vlhkosti a teploty v běžném prostředí. Důležitou částí pro samotnou realizaci bylo seznámení s mikroprocesorem Microchip PIC18F67J60. Z důvodu menších zkušeností s vývojem systémů postavených na mikroprocesor, byl zapůjčen vývojový kit PICDEM.net 2 [19], na kterém probíhalo prvotní zkoušení a oťukávání programování mikroprocesorů. Na tomto kitu i probíhal samotný vývoj aplikace s provizorně připojeným čidlem, aby v případě nefunkčnosti výsledného modulu byla vyloučena softwarová chyba.

Realizace desky plošných spojů proběhla bez problémů, ale z důvodu velkého zahřívání stabilizátoru napětí a mikroprocesoru a tím i zahřívání samotné desky, byli na ně umístěny malé hliníkové chladiče a sníženo doporučené napětí na 6V. I přes tohle opatření bylo čidlo při testování ovlivňováno teplem z okolních součástek a měřilo o řádově 3 - 4°C více než byla reálná teplota okolí. Ovlivňování naměřené teploty okolními součástkami bylo ověřeno po připojení senzoru k vývojovému kitu PICDEM.net 2, kde čidlo bylo připojeno drátovými propojkami a nemohlo být nijak ovlivňováno. Naměřené hodnoty tímto způsobem odpovídali reálným hodnotám.

Při testování se také občas vyskytla chyba modulu, kdy aplikace měřicího modulu odmítla žádost s chybou o špatné autentifikaci. Tato chyba je záležitostí hardwarového návrhu desky, neboť při vývoji aplikace na vývojovém kitu k této chybě nedocházelo. Po dlouhém zjišťování příčiny jsem našel zmínku o elektromagnetickém rušení ethernetového rozhraní. Pro odstranění tohoto rušení je potřeba do návrhu ještě zakomponovat filtry v podobě feritových perel a kondenzátorů. Více v [5]

V případě vývoje další verze tohoto měřicího zařízení by se měly tyto ovlivňující faktory brát v potaz a senzor umístit mimo hlavní desku. Nejlépe na samostatnou desku pro senzor a propojení s deskou měřicího zařízení pomocí drátové propojky. Jako další vylepšení aktuální verze by se dalo považovat realizaci napájení modulu pomocí ethernetového konektoru, neboli tzv. POE napájení [20]. Tím by odpadlo připojování napájecího napětí pomocí zdroje ze sítě a modul by byl napájen pouze přes UTP kabel.

Literatura

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [2] RNDr. HANZAL, Josef. HW.cz: Vše o elektronice a programování. [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>>
- [3] IGELow, Stephen J. *Mistrovství v počítačových sítích: správa, konfigurace, diagnostika a řešení problémů*. Vyd. 1. Překlad Petr Matějů. Brno: Computer Press, 2004, 990 s. ISBN 80-251-0178-9.
- [4] TCP/IP Stack for PIC18, PIC24, dsPIC & PIC32. [online]. [cit. 2012-02-29]. Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2680&dDocName=en537041
- [5] PIC18F97J60 Family Data Sheet. [online]. [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39762f.pdf>
- [6] SHT15 - Digital Humidity Sensor (RH&T). [online]. [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf
- [7] MPLAB Integrated Development Environment. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002
- [8] MPLAB ICD 3 In-Circuit Debugger. [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51766B.pdf>
- [9] Eagle Online. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.eagle.cz/info.htm>
- [10] LM2937 Data Sheet: 500mA Low Dropout Regulator. [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/dokumentace/934/934-119/dsh.934-119.1.pdf>
- [11] JqPlot - pure javascript plotting. [online]. [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.jqplot.com/>
- [12] The Microchip TCP/IP Stack. [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833c.pdf>
- [13] Cron. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cron>
- [14] UI/API/1.8/Datepicker. [online]. [cit. 2012-05-05]. Dostupné z: <http://docs.jquery.com/UI/Datepicker>
- [15] Internet Protocol. [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Internet_Protocol

- [16] Transmission Control Protocol. [online]. [cit. 2012-05-10].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol
- [17] User Datagram Protocol. [online]. [cit. 2012-05-10].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol
- [18] DOSTÁLEK, Libor. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Computer Press, 2000, 426 s. ISBN 80-722-6323-4.
- [19] PICDEM.net 2 Development Board. [online]. [cit. 2012-05-12].
Dostupné z: http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en028217
- [20] Power over Ethernet. [online]. [cit. 2012-05-12].
Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet

Seznam příloh

Příloha 1. Podklady desky plošných spojů

Příloha 2. Metriky kódu a ukázka kódu pro obsluhu senzoru SHT15

Příloha 3. Fotografie realizovaného modulu

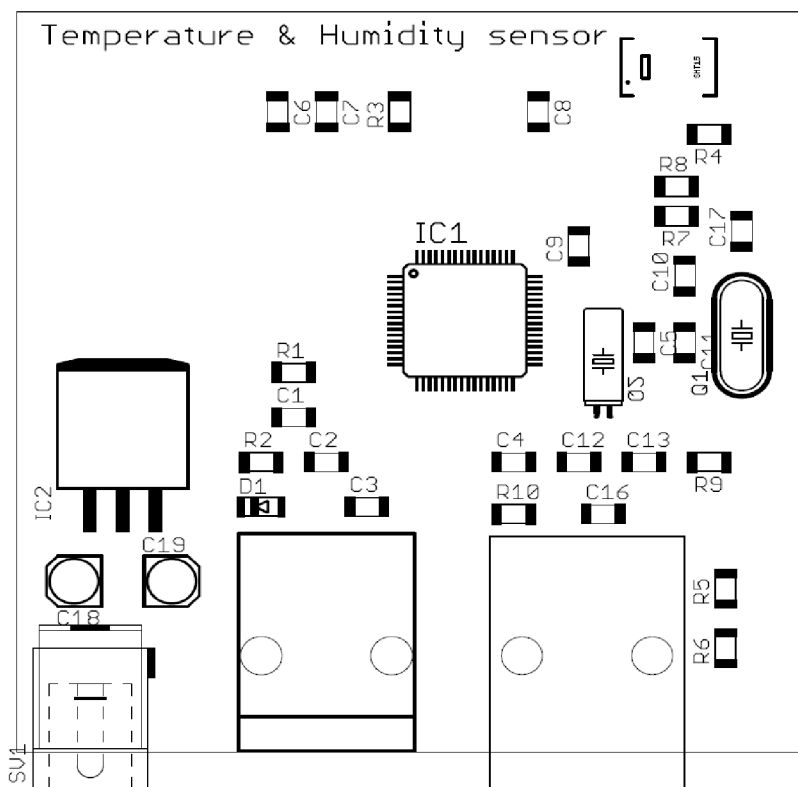
Příloha 4. DVD se zdrojovými soubory, seznamem součástek a podklady Eaglu pro konstrukci.

Podrobnější popis v README v kořenovém adresáři DVD.

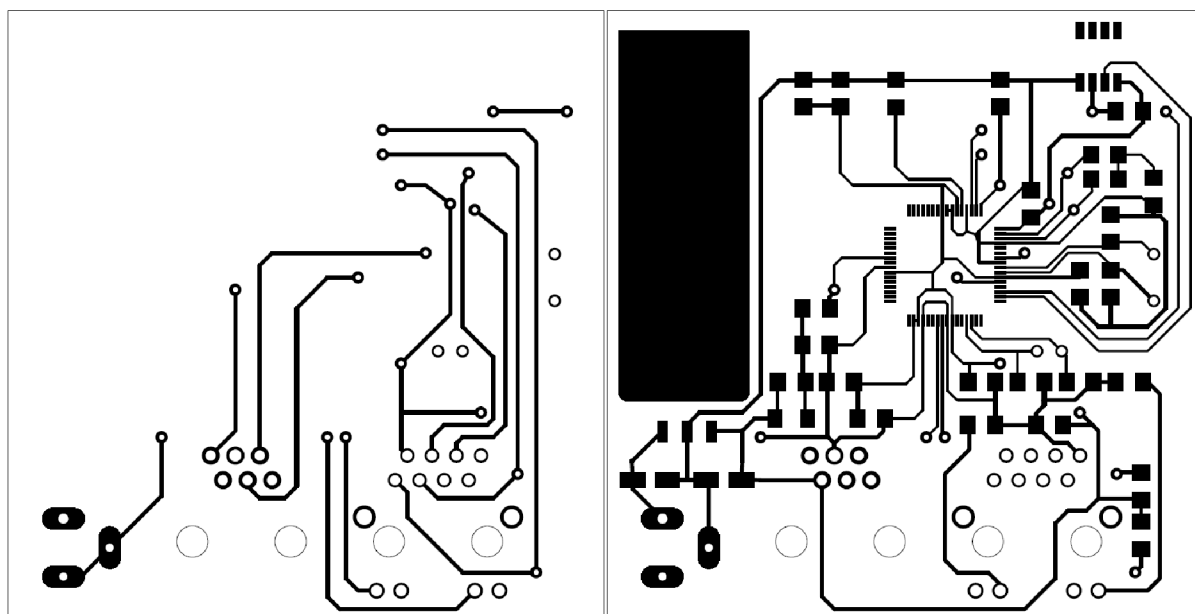
Příloha 1

Podklady desky plošných spojů

Osazení desky plošných spojů



Motiv desky plošných spojů



Příloha 2

Metriky kódu a ukázka kódu pro obsluhu senzoru

Metrika kódu

Počet souborů: 77

Velikost: 1,72MB

Počet řádků zdrojového textu celého projektu:

Počet řádků zdrojového textu databáze: 39

Počet řádků zdrojového textu firmware modulu: 20334

Počet řádků zdrojového textu webové aplikace: 25859

Počet řádků zdrojového textu moji části projektu:

Počet řádků zdrojového textu databáze: 39 (sensorboard.sql)

Počet řádků zdrojového textu firmware modulu: 406 (SHT15.h, HTTP2.h, SHT15.c, HTTP2.c)

Počet řádků zdrojového textu webové aplikace: 432 (index.html, cron.php, measuring.php, basic.css)

Ukázka kódu pro obsluhu senzoru SHT15

```
void sendCommandSHT(UINT8 command)    // funkce odesílající příkaz senzoru
{
    UINT8 i;
    INT ack;
    WRITE_sda();    // přepnutí datového vodiče do režimu zápis
    // Sekvence impulsů značící start přenosu
    SDA = HIGH_PULLS;
    SCK = HIGH_PULLS;
    SDA = LOW_PULLS;
    SCK = LOW_PULLS;
    SCK = HIGH_PULLS;
    SDA = HIGH_PULLS;
    SCK = LOW_PULLS;

    // odeslání příkazu měření (první tři bity musí být 0)
    for (i=0x80;i>0;i/=2)
    {
        if (i & command) {
            SDA = HIGH_PULLS;
        }
        else {
```

```

        SDA = LOW_PULLS;
    }
    SCK = HIGH_PULLS;
    SCK = LOW_PULLS;
}

// čekání na potvrzení odeslání příkazu
SCK = HIGH_PULLS;
READ_sda();
ack = SDA;
SCK = LOW_PULLS;
do {
    ack = SDA;
} while(ack != HIGH_PULLS);
}

INT32 getData16SHT() //funkce čtecí výsledek měření
{
    INT32 val;
    SCK = LOW_PULLS;
    READ_sda(); // přepnutí datového vodiče do režimu čtení
    val = shiftIn(8); // získání vyššího bytu výsledku
    val *= 256;

    // posláni potvrzení o přijetí
    WRITE_sda();
    SDA = HIGH_PULLS;
    SDA = LOW_PULLS;
    SCK = HIGH_PULLS;
    SCK = LOW_PULLS;

    READ_sda();
    val |= shiftIn(8); // získání nižšího bytu výsledku
    return val;
}

UINT8 *float2string(FLOAT fNum) // převod float na string
{
    INT16 wholeNum = fNum;
    INT16 decimalNum = fabs((int) ((fNum - wholeNum) * pow(10,PRECISION)));
    UINT8 wholeNumStr[5];
    UINT8 decNumStr[4];
    UINT8 decPtStr[] = ".";
    UINT8 numStr[12];

```

```
    itoa(wholeNum, wholeNumStr);
    itoa(decimalNum, decNumStr);
    strcpy(numStr, wholeNumStr);
    strcat(numStr, decPtStr);
    strcat(numStr, decNumStr);
    return numStr;
}
```

Příloha 3

Fotografie realizovaného modulu

