

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

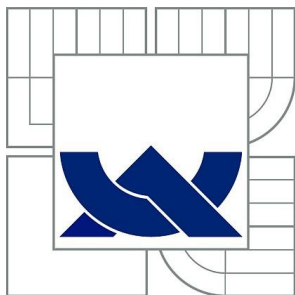
BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLŮ Z TEPLOTNÍCH ČIDEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

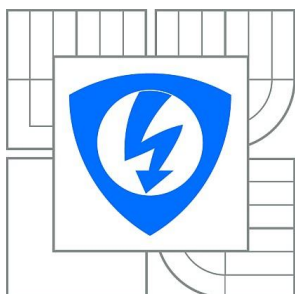
JOZEF HULANSKÝ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

BEZDRÁTOVÝ PŘENOS SIGNÁLŮ Z TEPLOTNÍCH ČIDEL

WIRELESS SIGNAL TRANSFER FROM TEMPERATURE SENSORS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

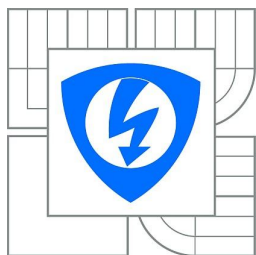
JOZEF HULANSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK ROUBAL

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Jozef Hulanský

ID: 115183

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový přenos signálů z teplotních čidel

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou snímání teploty v kritických místech rozvaděčů. Specifikujte místa v silové části rozvaděče, v nichž je žádoucí monitorování teploty za účelem předejití havarijního stavu v důsledku přehřátí. Navrhněte koncepci bezdrátového přenosu údajů z teplotních čidel na místo zpracování v nízkonapěťové části. Realizujte demonstrační vzorek přenosového systému a ověřte jeho funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Stojmenovic I., Handbook of Sensor Networks, Wiley, ISBN:13 978-0-471-68472-5, 2005.
- [2] Swami A., Zhao Q., Hong Y., Tong L., Wireless Sensor Networks, Signal Processing and Communications Perspectives, ISBN: 978-0-0470-03557-3, 2007.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 31.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Roubal

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto bakalárska práca sa zaoberá prenosom signálu z teplotných čidiel pomocou bezdrôtového modulu. Problematika je zameraná na špecifické miesta silovej časti rozvádzaču, kde je potreba monitorovanie teploty za účelom predchádzanie havarijného stavu pri prehriatí.

Hardwarová platforma je zameraná na mikrokontrolera ATmega8 od firmy ATMEL Corp. Pri výbere ostatných komponentov som snažil nájsť také súčiasky, ktoré najviac vyhovujú podmienkami nastávajúcim v rozvážacej skrini. Tieto podmienky boli: vysoké pracovné teploty, spoľahlivosť, jednoduchosť, dostupnosť a cena.

V práci je rozobraná bezdrôtová komunikačná technológia Zigbee, niektoré typy teplotných čidiel, a napájanie celého systému.

Pri druhej časti práce je dokumentované konkrétne riešenie merania teploty a prenášanie hodnôt bezdrôtovými modulmi. Práca obsahuje schematické zapojenie spolu s plošným spojom a obrázky funkčného systému.

V závere sú uvedené skúsenosti pri vypracovaní práce, a ďalšie možné riešenie v budúcnosti.

Kľúčové slová:

Atmel, AVR, Zigbee, monitorovanie, DS18B20, 1-wire, SHT15, LCD display, napájanie

Abstract

The main goal of this bachelor's thesis is to design a device capable of measuring temperature to prevent danger in critical hot areas of high voltage electric distribution boxes.

Hardware platform is focused on the Atmega8 chip from ATMEL Corp. factory. In this documents is elaborate the Zigbee wireless communication protocol, some types of temperature sensors and power system. The second part of this document are about the particular solution of measuring temperature and carrying values with wireless modules. This thesis also contains schematic and printed circuit board with pictures of system in work.

In the end of this document are indicated experiences in the development of work and other possible solutions in the future.

Keywords:

Atmel, ARV, Zigbee, monitoring, DS18B20, 1-wire, SHT15, LCD display, power,

HULANSKÝ, J. *Bezdrátový přenos signálů z teplotních čidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 35 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Roubal.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Bezdrátový přenos signálů z teplotních čidel jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **15.května 2012**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Roubalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne **15.května 2012**

.....
podpis autora

OBSAH

1	Úvod	5
	Riešenie problematiky	7
2	Atmel AVR	9
2.1	Mikrokontrolér Atmega8	10
2.1.1	Sériová komunikácia UART	11
3	Bezdrôtový senzorový sieť	14
3.1	Technológia Zigbee	14
3.2	Topológia siete Zigbee.....	16
3.3	XBEE modul.....	17
3.3.1	Práca s Xbee modulom	18
4	Teplotné Sensory	20
4.1	Typy teplotných senzoru.....	20
4.1.1	Kovové odporové senzory	20
4.1.2	Polovodivé odporové senzory	21
4.1.3	Ostatné typy teplotných senzoru.....	21
4.2	Teplotné čidlo DS18B20	22
4.2.1	Komunikácia 1-wire	22
5	Vlhkosťné senzory	25
5.1	Typy vlhkostných senzoru	25
5.1.1	Mechanický vlhkomer	25
5.1.2	Gravimetrický vlhkomer	25
5.1.3	Odporový senzor vlhkosti.....	25
5.1.4	Ostatné typy vlhkostných senzoru.....	25
5.2	Senzor vlhkosti SHT15.....	26
5.3	Komunikačný protokol I ² C	26
6	LCD displej	28
7	Napájanie	30
7.1	Termoelektrický generátor (TEG)	30
7.2	Superkapacity	30
7.3	Ni-MH akumulátory	31

7.3.1	Nabíjačka Ni-MH akumulátoru	31
8	Výroba hotového zariadenia	33
8.1	Návrh plošných spoju	33
9	Programovanie AVR	34
9.1	Hardware.....	34
9.2	Software	34
10	Záver	35
	Literatúra	36
	Obsah prílohy	39
	Prílohy na DVD	39

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1:	Bloková schéma zariadenia	6
Obr. 2:	Oblasti merania teploty v rozvádzaču	7
Obr. 3:	Vnútoraná architektúra mikrokontroléru AVR [2]	9
Obr. 4:	Rozloženie vývodu púzdra PDIP [2]	11
Obr. 5:	Vnútoraná štruktúra registru UART	12
Obr. 6:	Model protokolu Zigbee	16
Obr. 7:	Topológia Zigbee	16
Obr. 8:	Modul Xbee	17
Obr. 9:	Štruktúra AT módu [10]	17
Obr. 10:	Štruktúra API módu [10]	17
Obr. 11:	X-CUT Range Test	18
Obr. 12:	Nastavenie modulu Xbee v programe X-CTU	19
Obr. 13:	Časový priebeh signálu pri inicializácii [15]	23
Obr. 14:	Časový priebeh signálu pri zápise / čítaní [15]	24
Obr. 15:	Časový priebeh signálu pri inicializácii [21]	27
Obr. 16:	LCD displej	28
Obr. 17:	Logické úrovne 5 V a 3 V napájania	29
Obr. 18:	Zapojenie prevodníku úrovni signálu	29
Obr. 19:	Termoelektrický článok	30
Obr. 20:	Programátor AVRUsb500v2	34

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1:	Nastavenie registru UBRR	13
Tab. 2:	Nastavenie Fuse bitov, a doporučené veľkosti kondenzátorov	13
Tab. 3:	Rádiové pásma Zigbee	15
Tab. 4:	Popis vývodov displeja	28
Tab. 5:	Odber prúdu súčiastkov	32

1 ÚVOD

Cieľom bakalárskej práce je navrhnuť a konštruovať bezdrôtovú komunikáciu pre snímanie teploty v silnoprúdových rozvádzačoch.

Práca je realizovaná pomocou dvomi mikrokontrolermi (mcu) ktoré riadia celý systém. Mikrokontrolery sú vybrané od firmy ATMEL Corp. s označením Atmega8, ktoré boli vybrané ako najideálnejšie pre túto prácu ohľadom na ich schopnosť, rozmery a ceny. Tieto mcu majú pamäť typu flash s kapacitou 8 kB. Podporujú tzv. In-System programovanie, čo umožňuje programovať priamo v chipu. Programovanie je riešené pomocou jednoduchého obvodu, sériového programátora typu USBtinyISP ktoré s počítačom komunikuje pomocou USB portu, a je kompatibilné s programovacím prostredím AVRStudio 5, ktoré je originálny software od výrobcu ATMEL Corp.

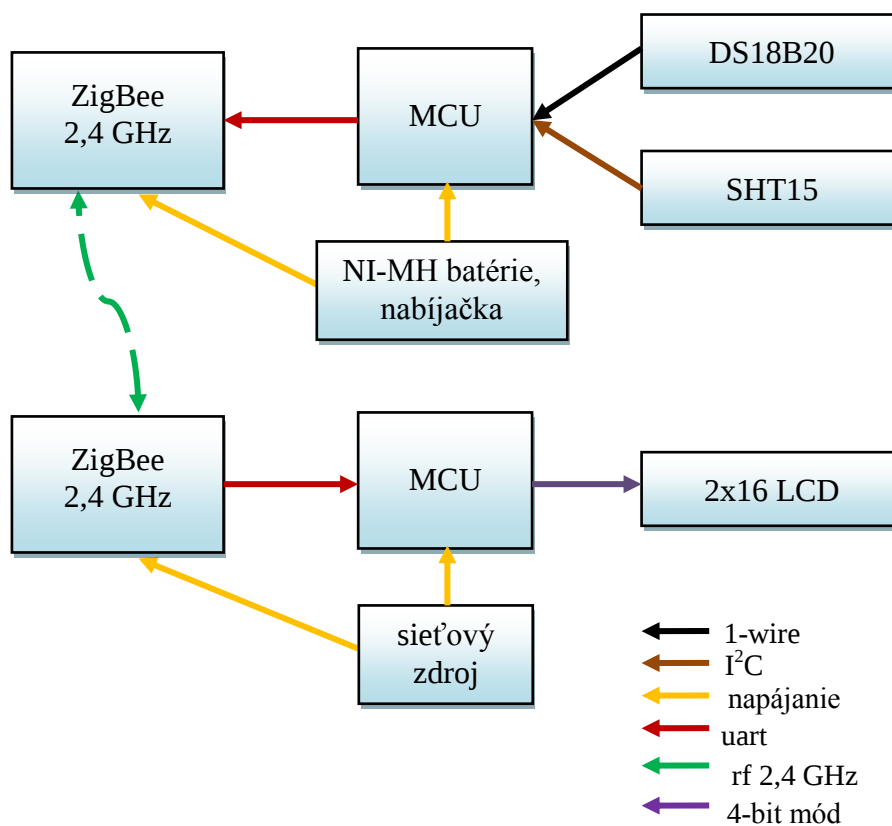
Zariadenie tiež obsahuje dva bezdrôtové moduly Xbee od firmy Digi Int. ktoré používajú Zigbee komunikačné technológie založená na štandarde IEEE 802.15.4, a umožňujú vytvoriť jednoduchú mesh-topológiu pre komunikáciu i viacerými modulmi súčasne.

Teplotné čidlá boli vybrané DS18B20 od firmy Maxim Inc. Tieto typy čidla komunikujú s mcu pomocou 1-wire komunikačná zbernica navrhovaný firmou Dallas Semiconductor Corp. Druhé čidlo, SHT15 od firmy Sensirion Inc. zahrňuje teplotný i vlhkostný senzor, a komunikuje s nadradením zariadením pomocou protokolu podobným ako I²C.

Namerané hodnoty sa zobrazujú na koncovom zariadení pomocou znakového LCD s radičom HD44780 a rozmermy 2x16 znakom.

Celý systém sa skladá z troch častí. Prvá časť, nazývaná ako meriacie zariadenie, ktoré je umiestnené v rozvádzači je napájené znovunabíjateľnými batériami. Druhá časť, nazývaná ako zobrazovacie zariadenie, ktoré je umiestnené mimo rozvádzača v dosahu signálu je napájený sieťovým adapterom. Tretí obvod, slúži na kontrolu nabíjania NiMH batériových článku.

Na blokovej schéme sú znázornené jednotlivé časti, ako medzi sebou komunikujú.



Obr. 1: Blokovaná schéma zariadenia

RIEŠENIE PROBLEMATIKY

Pri docielení takého výsledku ktoré je znázornené v prechádzajúcej kapitole prechádzal preštudovanie teoretickej časti súvisiace s témou.

Zadanie žiadalo zoznámenie sa s problematikou snímanie teploty v kritických miestach rozvádzaču. Špecifikovať miesta, kde je potrebné monitorovať teplotu, predísť tak havarijného stavu pri prehriatí, vznikajúce oblúkovým skratom. Získané teplotné hodnoty tak zobrazovať mimo miesta snímanie, bezdrôtovým prenosom.

Rozvádzače vysokého napätia sú jednými z najdôležitejších prvkoch v reťazci distribúcie elektrickej energie. Hotový bezdrôtový systém tejto práci je určené pre rozvádzače s kovovým krytím so vzduchovou izoláciou.

Kritické miesta rozvádzaču sú prehriate kontaktné plochy z dôvodu nedostatočne dotiahnutých spoju, pružinové kontakty odpojovača a uzemňovača.



Obr. 2: Oblasti merania teploty v rozvádzači

Umiestnenie detektorov je oveľa dôležitejšie, než jeho presnosť. Čidlo sa musí umiestniť vždy tam, kde kritické teploty prejavujú najrýchlejšie. Meranie teploty teda nesústreďuje na precízne teplotné hodnoty, najdôležitejšou úlohou je životnosť jednotlivých komponentov pri vysokých teplotách, minimalne zasiahnutie do vysokonapäťových častí a čím jednoduchšie vytvorený systém s možnosťou rozšírenia.

Keďže jedna časť bude napájaný batériou, je tak potrebné používať súčiastky s malým odberom prúdu.

V praxi existuje niekoľko typov meračov teploty, ktoré sú používané aj v rozvážacích skriňách. Tie sú prevažne buď infra termočlánky alebo pyroelektrické detektory. V jednej z takýchto skríň sa nachádza viacero miest, kde sa môže prejavovať kritické zvýšenie teploty. Preto tieto miesta musia byť stále pod kontrolou. Podľa toho manuálne kontrolovanie teploty kritických častí personálom je nepostačujúce. Ďalšou nevýhodou je, že sa nedá kontrolovať teplotu v menej dostupných miestach, snímače sa môžu zaniest' prachom, musí sa zasahovať do konštrukcie kovových prepážok a stien rozvážača.

V elektrických prístrojoch, a rozvážačoch elektrickej energie, hlavným zdrojom tepla sú straty vo vodičoch ktorými prechádza elektrický prúd. Toto teplo sa z časti odvedie povrchom vodiča do okolia a z časti zostáva vo vodiči a zvyšuje jeho teplotu.

Pri vypočítaní oteplenia zo zmeny odporu vinutia sa používa vzťah:

$$\vartheta_2 = \vartheta_1 + \frac{(R_2 - R_1) \times \left(\frac{1}{\alpha} + \vartheta_1 \right)}{R_1} \quad (1)$$

kde :

- ϑ_1 a R_1 je teplota a odpor vinutia na začiatku merania a ϑ_2 a R_2 hodnoty na konci merania
- α je tepelný súčiniteľ odporu použitého materiálu vodiči (med' $\alpha = 0,00427$)

Pre dosiahnutie presnejšieho výpočtu je nutné vyšetriť časovú teplotnú konštantu τ a maximálne oteplenie $\vartheta_{\max}$ pri určitom príkone súčiastok. K tomu sa dá používať vzťah:

$$\Delta \vartheta_{\max} = \frac{R \times I^2}{(\alpha_0 \times A)} \quad (2)$$

s časovou konštantou $\tau = \frac{cV}{\alpha_0 \times A}$. Výsledným grafom oteplenia je exponenciálny graf blížiaci sa veľkosti ustáleného oteplenia $\Delta \vartheta_{\max}$.

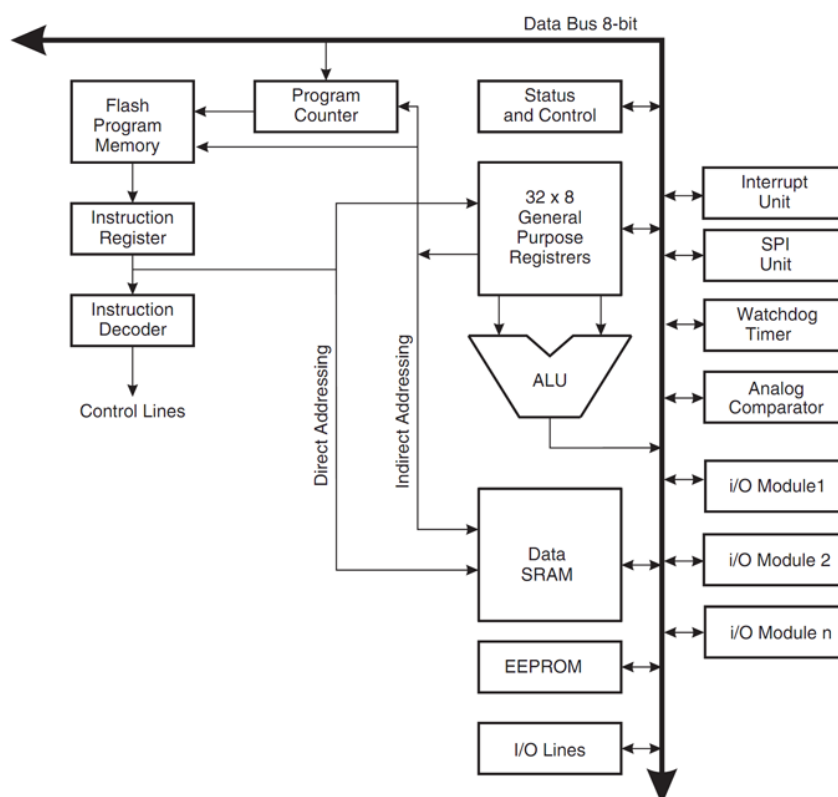
Bezdrátová sieť, navrhnutá v tomto článku popisuje jeden z možností, ako túto problematiku riešiť. O hlavných súčiastkoch, použité k realizácii práci je podrobne napísané v nasledujúcich kapitolách.

2 ATMEL AVR

V tomto kapitole boli použité literatúry [2] [3].

Pri výbere mikrokontrolera bolo nutné uvažovať aké ďalšie obvody budú použité v zapojení, a ako budú medzi sebou komunikovať. Ďalšie požiadavky boli, aby mal dostatočný počet vstupu a výstupu a určitú veľkosť pamäti.

Mikroprocesory AVR využívajú koncepciu Harwardskej architektúry. Znamená to, že majú oddelenú pamäť pre program a pre data. Jadro AVR je RISC, ktorý sa skladá z 8-bitových registru, ktoré môžu obsahovať dát aj adresu. Architektúru vyvinula firma Atmel v roku 1996.



Obr. 3: Vnútroštruktúra mikrokontroléru AVR [2]

Zavedením ALU (Aritmeticko Logická Jednotka) prevedie ALU za jeden hodinový cyklus jednu operáciu. Spracovanie operandu prebieha nasledovne: počas jedného taktovacieho cyklu sa privedú oba zdrojové operandy z pracovných registrov, uskutočňuje sa potrebná operácia a výsledok sa uloží späť do registra. Jedná sa výhradne o operáciu typu register-register, na ktoré je AVR architektúra založená.

Mikrokontrolér AVR obsahuje celkom tri druhy pamäte:

- Pamäť programu FLASH
- Pamäť dát RAM (SRAM)
- Pamäť dát EEPROM

Pamäť typu FLASH slúži k uloženiu programu a konštantov, ktoré pri programe používame. Tieto hodnoty sa dá uložiť do AVR len pomocou programátora.

V pamäti typu RAM sa uchovávajú prechodové hodnoty. Tieto môžu byť pracovné alebo riadiace.

Pamäť typu EEPROM slúži pre data, ktoré chceme aby zostali zachované i po odpojení napájania.

Mikroprocesory AVR je možné programovať paralelne a sériovo a to priamo v systéme. Pri paralelnom programovaní obvod je navrhovaný tak, aby po pripojení programovacieho napätia na určitý pin obvodu sa prevedie prepnutie vývodu z I/O režimu na adresové a datové vývody vnútorného pamäti. Nevýhodou je, že pri programovaní obvodu je potrebné od obvodu a umiestniť ho do programátora.

Pri sériovom programovaní také nevýhody nestávajú. Pomocou niektorých signálov pripojených na programátor je možné jednoducho naprogramovať priamo v koncovom aplikácii. Tomu sa hovorí ISP (In-System Programming). Sériové programovanie prevažne používa signály: MOSI, MISO, SCK a RESET. Pri tomto práci bol používaný ISP programátor, ktorý je podrobne popísaný ďalej v texte.

2.1 Mikrokontrolér Atmega8

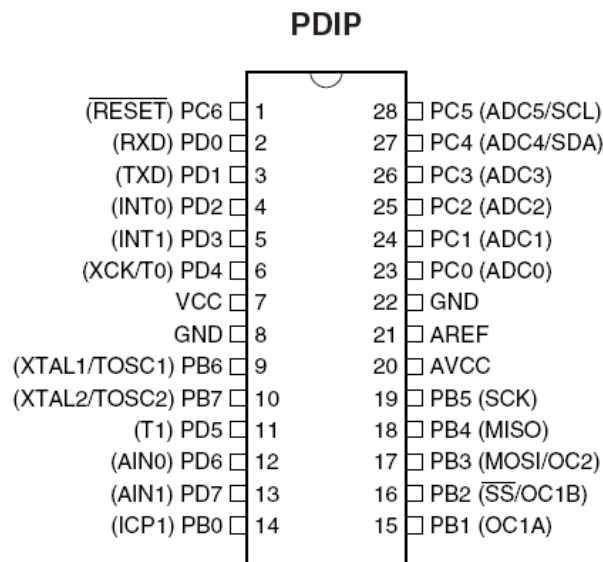
Pri výbere tohto mcu som uvažoval to že potrebujem taký komponent, čo obsahuje sériovú USART komunikáciu, niekoľko ďalších programovacích pinov, a funkčnosť pri napájaní 3,3 V.

Mikrokontrolér Atmega8 je nízkopríkonový 8-bitový mikrokontrolér založený na rozšírenú architektúru AVR. Obsahuje 28 pinov z čoho 23 sú programovateľné. Sú rozdelené do dvoch 8-bitových a jedného 7-bitových vstupného/výstupného portu označované PB, PC, PD. Všetky porty môžu pracovať ako obojsmerné s možnosťou pripojiť alebo odpojiť zabudované zvyšovacie odpory. Výstupný prúd jedného portu je až 20mA. Veľkosť napájacieho napätia je v rozmedzí +2,7 V až +5 V.

Hlavné vlastnosti tohto mcu:

- Dva 8 bitový čítač/časovač
- Jeden 16 bitový čítač/časovač
- Zabudovaný oscilátor
- 3 PWM kanály
- 6 kanálový AD prevodník
- Dvojvodičová sériová zbernica (Two-Wire)
- Sériové rozhranie USART
- SPI rozhranie
- Programovateľný watchdog
- Analogový komparátor

Pri tomto práci je používané DIP prevedenie ktoré má vývody na dvoch dlhších stranách. V nasledujúcom obrázku sa dá vidieť rozloženie jednotlivých portoch a funkčných vývodov.



Obr. 4: Rozloženie vývodu púzdra PDIP [2]

2.1.1 Sériová komunikácia UART

Väčšina AVR mikrokontrolerov už hardwareovo obsahuje USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) perifériu. Vďaka tomu je možné vytvoriť sériovú komunikáciu , čo umožňuje pripojiť mikrokontrolera k iným zariadeniam. Na túto komunikáciu slúžia dva piny: RXD (Receive Data-prijímač dát) a TXD (Transmit Data – vysielateľ dát). Na obrázku č. 3 vidíme, že na Atmega8 tieto vývody sú umiestnené na druhom a treťom pine.

Využívajú TTL logiku:

- Logická 1 je +5 V
- Logická 0 je 0 V

Datová vrstva sa skladá z 8 datových bitov, 1 START a 1 STOP bitov. Data sú poslané/prijaté spolu so signalizačnými bitmi v 10 bitových skupách.

V asynchrón móde (UART) informácie sú prenášané bit za bitom. Pred použitím treba vopred nastaviť komunikačný rýchlosť medzi vysielateľom a prijímačom. Túto hodnotu v programe zadávame pomocou Baud-rate.

```
#define F_CPU 3686400UL // 3.6864 MHz
#define UART_BAUDRATE 9600 // 9600 bps
#define UBRR_VALUE ((F_CPU / (UART_BAUDRATE * 16UL)) - 1)
```

Rýchlosť sériovej komunikácie sa vypočítava pomocou vzťahu:

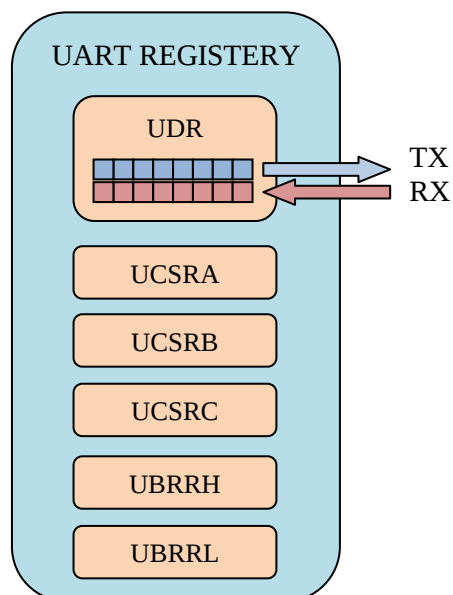
$$UBRR = \frac{f_{osc}}{16 \times BAUDRATE} - 1 \quad (3)$$

Výsledok musí byť celé číslo, Preto treba používať taký Baud-rate, pričom chybová hodnota neprekročí $\pm 3\%$.

Pri nastavenia Baud-rate na 9600 bps potrebný čas na posielanie 1 bitu je

$$\frac{1}{9600} = 0,000104 \text{ s teda } 104 \mu\text{s}$$

Za sekundu je možné poslať a prijímať $\frac{9600}{10} = 960$ bajtov (charakterov).



Obr. 5: Vnútorňa štruktúra registru UART

V ideálnom prípade hodinová frekvencia mikrokontrolera je totožná alebo celočíselný násobok komunikačnej rýchlosti UARTu. Vtedy nenastáva fázový rozdiel. V opačnom prípade prijímané alebo odoslané data môžu obsahovať chyby. Presné chybové percento je znázornené v tabuľke prevzaté z katalogového listu AVR. [2]

Tab. 1: Nastavenie registru UBRR

Baud Rate (bps)	$f_{osc} = 3,6864 \text{ MHz}$				$f_{osc} = 4,0000 \text{ MHz}$			
	U2X = 0		U2X = 1		U2X = 0		U2X = 1	
	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error	UBRR	Error
2400	95	0,0%	191	0,0%	103	0,2%	207	0,2%
4800	47	0,0%	95	0,0%	51	0,2%	103	0,2%
9600	23	0,0%	47	0,0%	25	0,2%	51	0,2%
14.4k	15	0,0%	31	0,0%	16	2,1%	34	-0,8%
19.2k	11	0,0%	23	0,0%	12	0,2%	25	0,2%
28.8k	7	0,0%	15	0,0%	8	-3,5%	16	2,1%
38.4k	5	0,0%	11	0,0%	6	-7,0%	12	0,2%

Pri projekte je používaný ako zdroj kmitočtu, externý kryštál s frekvenciou $f_{osc}=3,6864 \text{ MHz}$, ktorý je doplnený keramickými kondenzátormi 22 pF podľa [2].

V takom prípade sa musia nastaviť tzv. fuse bity podľa katalogového listu.

Tab. 2: Nastavenie Fuse bitov, a doporučené veľkosti kondenzátorov

CKOPT	CKSEL3:1	Frequency Range (MHz)	Recommended Range for Capacitors C1 and C2 for Use with Crystals (pF)
1	101	0,4 – 0,9	–
1	110	0,9 – 3,0	12 – 22
1	111	3,0 – 8,0	12 – 22
0	101, 110, 111	$1,0 \leq$	12 – 22

Návod, ako presne sa nastavujú Fuse bity je popísané v kapitole 9.

3 BEZDRÔTOVÝ SENZOROVÝ SIEŤ

V tomto kapitole boli použité literatúry [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10].

Táto technológia vznikla ako alternatíva klasických drôtových sietí. Asociácia IEEE definuje dve skupiny bezdrôtových sietí:

- WLAN (Wireless Local Area Network)
- WPAN (Wireless Personal Area Network)

Siete WPAN podľa IEEE je rozdelené do troch podskupín, a to podľa prenosovej rýchlosti, spotreby el. energie a QoS (Quality of Services).

- High-data rate WPAN (IEEE 802.15.3) je vhodné pre multimediálne aplikácie, vyžadujúce QoS.
- Medium-data rate WPAN (IEEE 802.15.1 - Bluetooth) je vhodná ako náhrada kábelového spoja pre spotrebnú elektroniku.
- Low-data rate WPAN (IEEE 802.15.4) je vhodné pre aplikácie, ktoré nepotrebujú vysokú prenosovú rýchlosť, spotrebujú minimálnu energiu. Do tejto kategórie sa patria aj bezdrôtové senzorové siete.

Bezdrôtová senzorová sieť (WSN) je sústava priestorovo rozmiestnených autonómnych senzorov, ktorými sa riadenie, monitorovanie fyzikálnych veličín, ako sú teplota, zvuk, tlak, pohyb, atď. Monitorovanie zaisťuje zber dát zo senzoru a poslanie ďalej k nadriadenému aplikácii. Riadenie zaisťuje ovládanie určitého člena obvodu. Na začiatku vývoji WSN boli použité pre armádu, v dnešnej dobe sa už predovšetkým slúžia pre industriálne účely a v oblasti zdravotníctve. Medzi najznámejšie WSN siete patrí štandard Zigbee.

3.1 Technológia Zigbee

Hlavným dôvodom vzniku tohto štandardu boli chýbajúce vyhovujúce nízkopríkonové, lacné riešenia pre bezdrôtové senzorové siete. Bol založený na štandardu 802.15.4 v roku 2004 skupinou Zigbee alliance, ktoré zahŕňa niekoľko priemyslových firiem, ako Honeywell, Motorola, Freescale a ďalší.

Protokol sa skladá z troch základných vrstiev:

- vrstvy štandardu IEEE 802.15.4
- sieťová vrstva (NWK)
- aplikačná vrstva (APL)

Fyzická vrstva špecifikuje prístup k prenosovému médiu. Sieťová vrstva realizuje pripojenie k sieti, zabezpečenie a smerovanie paketu. Aplikačná vrstva (APL) zaisťuje potrebné služby. Skladá sa z aplikačnej podvrstvy (APS), ZigBee objektu a užívateľských aplikačných objektu.

Hlavné oblasti použitia:

- priemyslová automatizácia
- automatizácia budov
- zdravotníctvo
- spotrebná elektronika

Hlavný problémom pri definícii frekvenčného pásma boli odlišnosti v organizácii rádiových pásmov v Európe a v Amerike. Preto boli definované tri rádiové pásma.

Tab. 3: Rádiové pásma Zigbee

Kontinent	Frekvenčné pásmo	Poznámky
Globálne	2,4 GHz	16 kanálov, pren. rýchlosť až 250 kbps
Amerika, Austrália	915 MHz	10 kanálov, pren. rýchlosť až 40 kbps
Európa	898 MHz	1 kanál, pren. rýchlosť až 20 kbps

Štandard definuje tri základné režimy prenosu dát:

- periodicky sa opakujúci
- nepravidelné prenosy
- opakujúce prenosy s malým spoždením

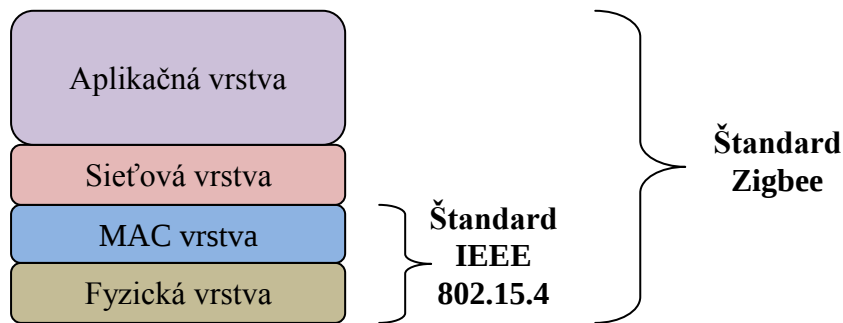
Dosah ZigBee je približne 10 až 50 metrov v závislosti na lokálnych podmienkach šírenia signálu. Dátový signál moduluje metódou O-QPSK (BPSK) a prenáša prostredníctvom DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Pre prístup k fyzickému médiu je použitá metóda CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance and optional time slotting).

MAC vrstva (linková) definuje samotný komunikačný protokol, ktoré je založený na prenose dátových rámcu. Sú definované štyri typy komunikačného rámcu, ktoré sú využívané pre prenos dát, riadenie či správu siete:

- Data Frame – rámec využívaný pre všetky prenosy užitočných dát
- Acknowledgement Frame – rámec pre prenos potvrdzovacie informácie
- Beacon Frame – rámec používaný koordinátorom k vysielaniu tzv. beacons
- MAC Command Frame – rámec na nastavovanie a riadenie klientských zariadení v sieti

Technológia definuje tri úrovne zabezpečenia:

- Bez zabezpečenia
- Access control list
- Symmetric key employing AES-128



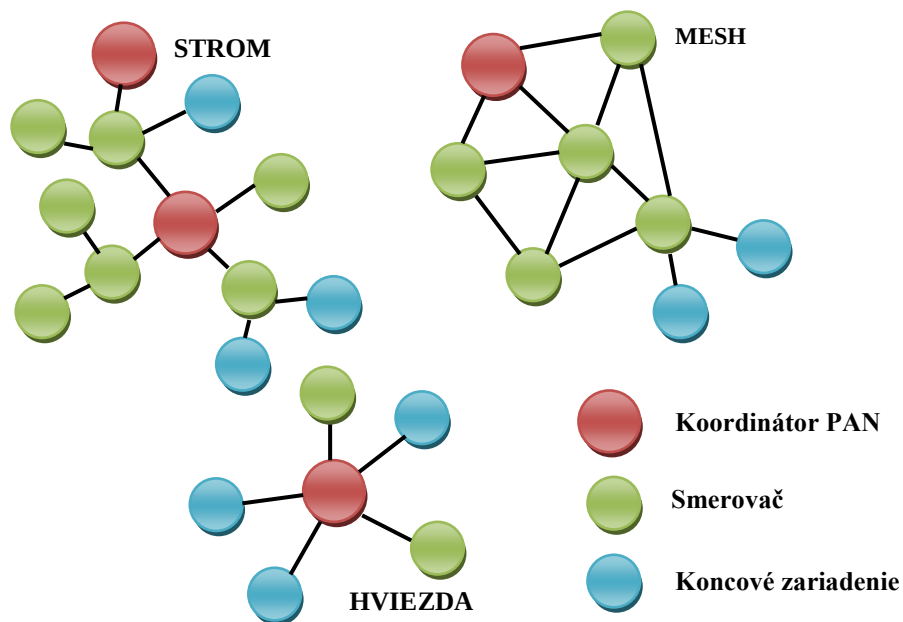
Obr. 6: Model protokolu Zigbee

3.2 Topológie siete Zigbee

Zigbee štandard definuje tri rôzne sieťové topológie.

Základnou štruktúrou je hviezdíčková topológia. Obsahuje centrálny riadiací uzol tzv. koordinátor siete.

Druhým typom je stomová štruktúra, ktoré umožňuje zväčšiť vzdialenosť medzi koordinátorom a koncovom zariadení. Protokol umožňuje vytvoriť redundandčné spojenie čím sa vytvorí mesh sieť. S takým spôsobom sa dá vytvárať sieť s ľubovoľným usporiadaním.



Obr. 7: Topológie Zigbee

3.3 XBEE modul

Bezdrôtové senzorové moduly s technológiou Zigbee, ako už bolo napísané vyššie, vyrábajú viaceré firmy. Pri výbere vhodného modulu pre túto prácu bol vybraný Xbee modul od firmy DIGI. Od ostatných vynikal dostupnosťou, cenou, a ľahkou manipuláciou vďaka prevedeniu.

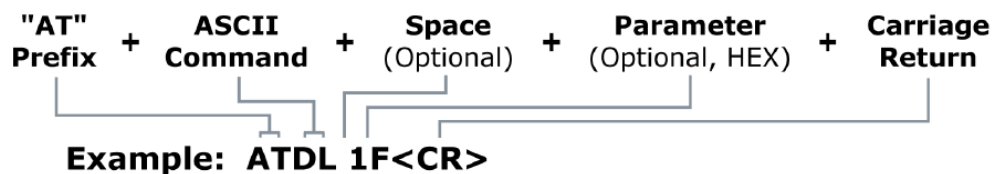


Obr. 8: Modul Xbee

Podporuje dva typy komunikácie:

- AT Command mód – transparentné sériové rozhranie
- API (Application Programming Interface) mód.

Pri komunikácii v AT móde je používaný ASCII kód. Vtedy Xbee sa chová ako kábel. Data poslané na pin modul vysielača DIN sú najprv ukladané do vyrovnávacej pamäti, a keď je možné sú ihneď vysiellané k druhým modulom, ktorý bol vpredom nastavený. Prijaté daty sú posielané ďalej na pin DOUT. .Potrebné je, aby rýchlosť sériovej komunikácii mikrokontrolera bol totožný s rýchlosťou modulu Xbee, aby nenastalo pretečenie vyrovnávacej pamäti a z toho vyplývajúce strata prijatých dát.



Obr. 9: Štruktúra AT módu [10]

API rozhranie je druhá komunikačná alternatíva pre Xbee moduly. Na rozdiel od AT módu rozširuje možnosti komunikácie. Daty sú vysiellané v rámcoch, ktoré môžu obsahovať viac možností. Výhodou je, že umožňuje posielat' daty viac modulom, a prijímať data z viacerých modulov súčasne, bez potreby nastavenia cieľovej adresy v AT móde. Nevýhodou je naopak väčšia zložitosť a neprehľadnosť správ pri ladení komunikácii. Z toho sa vyplíva, že sa jedná o mód určené predovšetkým pre rozsiahle siete.



MSB = Most Significant Byte, LSB = Least Significant Byte

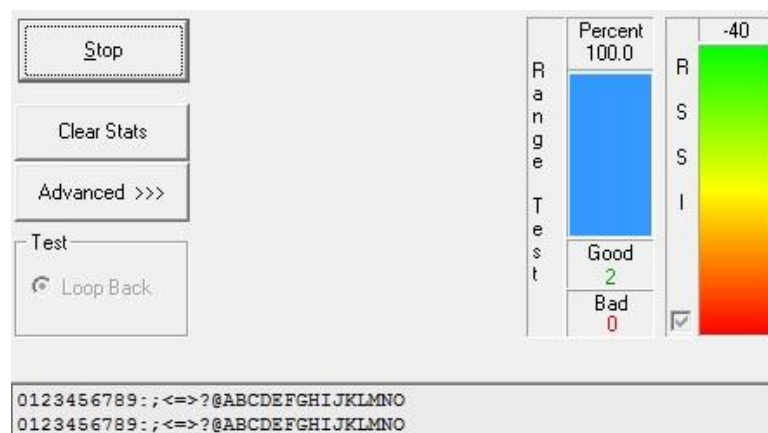
Obr. 10: Štruktúra API módu [10]

3.3.1 Práca s Xbee modulom

Práca s Xbee modulmi sa začal nastavovaním firmwaru. Na tento účel som používal program X-CTU vydané firmou Digi International. Na komunikáciu medzi Xbee a PC slúžil USB-UART prevodník od spoločnosti FTDI Ltd.. Prevodník podporuje self-powering, takže je napájaný priamo z USB-portu počítača. Stačí pripojiť príslušné vývody modulu XBEE (DIN, DOUT) k prevodníku (TX, RX). [29]

Prvým krokom sa musí vybrať COM port ktorému je pripojený prevodník. Po nastavení hodnoty sériovej linky (defaultne: Baud: 9600; FC: NONE; Data Bits:8, Parity: NONE; Stop Bit:1) môžeme otestovať funkčnosť modulu tlačítkom Test/Query. Pri dobrých nastaveniach ako odpoveď dostaneme identifikačnú adresu a firmware modulu.

Ďalším možnosťom programu X-CTU je otestovať komunikáciu medzi dvoma modulmi. V sekcii Modem Configuration po stlačení Read program načíta z modulu všetky nastavenia. Aby medzi sebou dva moduly mohli komunikovať, potrebujú nastaviť adresu druhého. Najprv treba nastaviť jedného modulu ako Coordinator, druhého ako Router. Tá sa zadáva v riadku Destination Address (DH, DL). Pre zápis používame tlačítko Write. U modulu nastavený ako smerovač pripojíme vývodu DOUT k DIN. Kordinátora necháme pripojeného k PC a v sekcii Range Test pustíme test. Pri tomto teste kordinátor posiela dáta smerovaču, ktorý cez prepojenie DOUT DIN posiela tieto dáta naspäť. Ako výsledok dostaneme stĺpcový grafikon chybovosti vyjadrené v percentách.



Obr. 11: X-CUT Range Test

Najprv, pri začiatku práci som používal AT transparentný mód. S postupným rozvíjaním vedomostí pri pracovaní s projektom som vyskúšal zložitejší API mód. Pri takej konfigurácie bolo potreba najprv nastaviť firmware v programu X-CTU.

Jednotlivé časti API rámcu:

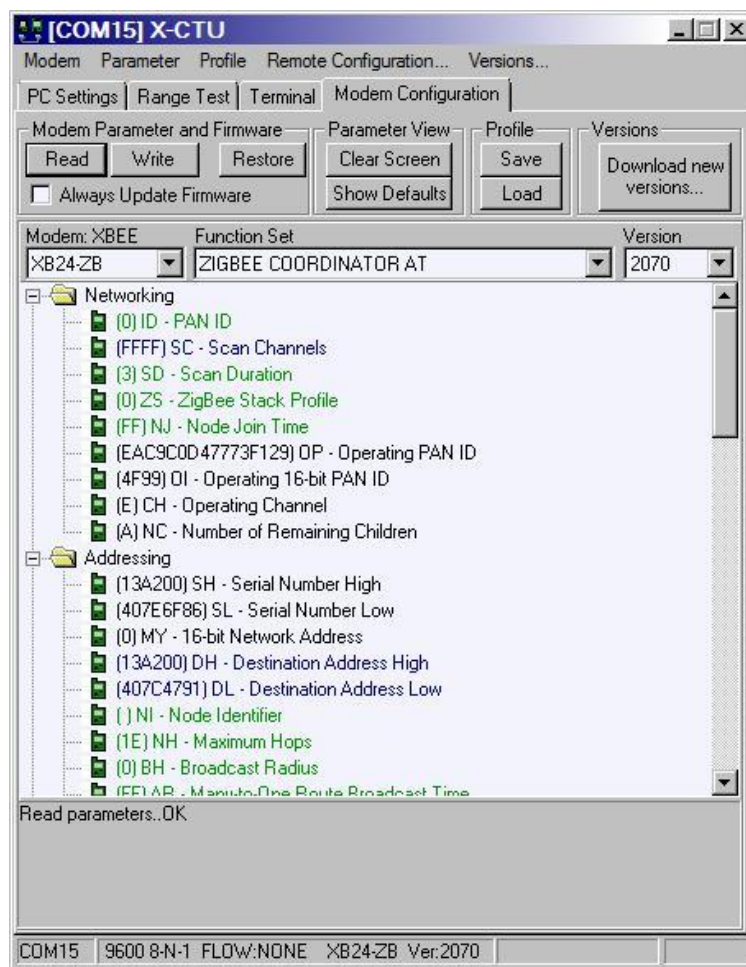
- začínajúci znak rámcu "start delimiter" 0x7E
- 2 byte na označovanie veľkosti API štruktúry, počet bajtov
- API identifikátor, určuje aký API príkaz bude obsiahnutý v dátovej časti paketu.
- kontrolný súčet, výpočet sa počíta od prvého bajtu s API identifikátorom až po posledný bajt dátovej časti paketu.

Kontrolný súčet možno vypočítať vzťahom:

$$\text{Kontrolný súčet} = 0xFF - \sum_{i=3}^{N-1} B_i \quad (4)$$

V nasledujúcich prípadoch sa musí byť rámec zmazaný

- neplatný kontrolný súčet
- chýbajúci oddelovací znak rámcu
- neplatná dĺžka rámcu
- neplatný API identifikátor



Obr. 12: Nastavenie modulu Xbee v programe X-CTU

4 TEPLOTNÉ SENZORY

V tomto kapitole boli použité literatúry [11] [12] [13] [14] [15] [16].

Teplota patrí medzi najdôležitejšie termodynamické vlastnosti, ktoré určuje stav hmoty a objavuje sa v mnoho iných fyzikálnych zákonoch. Teplota je jedna z málo veličín, ktoré sa nedá priamo merať.

V súčasnosti sú použité v širšom rozsahu mikroelektronické technológie, ako napr. implementácie polovodičových čidiel teploty na jediný čip s analogovými a číslicovými obvody, umožňujúce pripojenie senzoru k signálovým zbernicom.

Každý meriaci prístroj alebo meriaci systém pre meranie ľubovolnej fyzikálnej veličiny má stanovený rozsah teploty, v čom je zaistená hodnota neistoty prístroja alebo je stanovená zmena údaje meranej veličiny vyvolané teplotou.

Senzor teploty je funkčný prvok tvoriaci vstupný blok meracieho systému tj. blok, ktorý je v priamom vstuhy s meraním prostredím.

4.1 Typy teplotných senzorů

Podľa fyzikálneho princípu sa senzory teploty delíme na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN prechodom, dilatčné, optické, radiačné, chemické, šumové, akustické, magnetické, aerodynamické a kapacitné.

Podľa styku meraného prostredia sa senzory teploty delíme na dotykové a bezdotykové.

4.1.1 Kovové odporové senzory

Senzory využívajúce teplotné závislosti odporu kovu. Základné parametry odporových snímaču je pomer odporu R_{100} pri teplote $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a R_0 pri teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a platí vzťah

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad \text{kde } W_{100} \text{ je pomer teploty} \quad (5)$$

Pre malý rozsah teploty (od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) sa dá používať s určitou neistotou lineárny vzťah

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (6)$$

kde:

- R_0 je odpor čidla pri teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- α je stredná hodnota teplotného súčiniteľa odporu (K^{-1})

Platinové odporové senzory sa vyznačujú chemickou netečnosťou, časovou stálosťou a vysokou teplotou topenia. Pre čistotu platiny u prevádzkových snímačov teploty (Pt 100) je normou IEC-751 (IECČSN751) predpísaný pomer elektrického odporu $W_{100} = 1,385$. Senzory sa vyrábajú pre teploty od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Niklové odporové senzory - sú väčšinou vyrábané tenkovrstvou technológiou. Výhodou niklových snímačov je veľká citlivosť, rýchla odozva a malé rozmery. Nevýhodou je obmedzený teplotný rozsah a voči platine značná nelinearita, horšia dlhodobá stabilita a odolnosť voči pôsobeniu prostredia. Okrem základnej hodnoty odporu $R_{100} = 100\text{ }\Omega$ vyrábajú snímače so základnou hodnotou odporu 200, 500, 1000 a 2000 ohmů. Vyrábajú sa pre teploty od -70°C do 200°C .

4.1.2 Polovodičové odporové senzory

Využívajú tiež teplotnú závislosť odporu, ako kovové odporové senzory. U polovodičových senzorov je dominantná závislosť koncentrácie nosiču náboje n na teplote podľa vzťahu:

$$n = e^{-\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (7)$$

kde:

- ΔE je šírka medzery medzi energetickými hladinami
- k je Boltzmannova konštanta

Polovodičové odporové senzory teploty sa delia na termistory a na monokryštalické odporové senzory.

Termistor je teplotne závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálu. Keramická technológia umožňuje výrobu termistoru vo tvaru disku, dosičky, valčeku atď. Výhodou termistora je veľká teplotná citlivosť, malé rozmery, jednoduchý prevod odporu na elektrické napätie alebo prúd. Nevýhodou je nelineárna charakteristika. Delia sa na amorfné a polykrystalické. V závislosti na použítom materiálu sa delia na **Negastory** (NTC) a **Pozistory** (PTC).

Monokryštalické senzory sú vyrábané prevažne z kremíku alebo z germánia, indiu alebo ich zliatiny.

4.1.3 Ostatné typy teplotných senzorov

- **Monolitické PN senzory:** sú založené na teplotnej závislosti napätia PN prechodu v prepustnom smere
- **Termoelektrické články:** sú založené na Seebeckovom javu.
- **Dilatačné teploměry**
- **Špeciálne dotykové senzory**

4.2 Teplotné čidlo DS18B20

Na trhu sa nájde rozsiahla škála teplotných čidiel od jednoduchých až po inteligentných, digitálnych. Pri realizácii práci som vybral z digitálnych aby som predchádzal problémom s linearizáciou a kalibráciou meracieho rozsahu. Konkrétny vybraný typ je čidlo od firmy Maxim s označením DS18B20.

Obvod sa vyrába v dvoch typoch púzdra: TO-92 s tromi vývodmi a v SO alebo μ SO určené pre smd spoje. Ja som zvolil prvé púzdro, ktoré je možné pripojiť ku káblu. Senzor s nadriadeným systémom komunikuje pomocou zbernice 1-Wire, ktorá je podrobne napísaná ďalšom podkapitole.

Princípom snímania teploty sú dva oscilátory umiestnené vo vnútri čidla, z ktorých jeden je s nízkym teplotným koeficientom a druhý s vysokým. Pri zadanie príkazu po zbernici na začatie merania teploty, spustí sa čítanie oboch týchto oscilátorov. Výsledkom je hodnota 12 bitov zodpovedajúca aktuálnej teplote, ktorá je uložená vo vnútorných registroch obvodu a čaká na jej vyčítanie z nadradeného obvodu.

Rozlíšenie teplotného senzoru je 12 bitu, teda $0,0625^{\circ}\text{C}$. Presnosť uvedená v katalógovom liste je $0,5^{\circ}\text{C}$ v teplotnom rozsahu -10°C až $+85^{\circ}\text{C}$ a 2°C v celom teplotnom rozsahu obvodu, teda od -55°C až $+125^{\circ}\text{C}$.

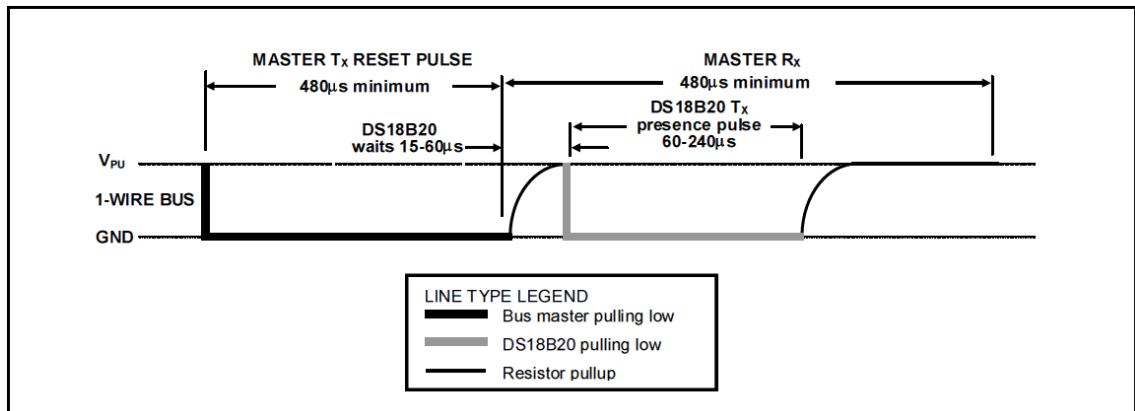
Hlavné prednosti tohto snímača je okrem iného aj možnosť napájania a prenosu dát po jednom vodiči, 64-bitová individuálna adresa, kalibrované v $^{\circ}\text{C}$, jednoduché pridanie viac senzorov daného typu, , nízka cena.

4.2.1 Komunikácia 1-wire

Zbernica 1-Wire, navrhutá firmou Dallas Semiconductor, umožňuje pripojiť niekoľko zariadení k nadradenému obvodu prostredníctvom dvoch vodičov (parazitné napájanie).

Zbernica má vždy jeden riadiaci obvod (master) a jeden či viac podriadených zariadení (slave). Všetky obvody sú zapojené na spoločnú zem, a paralelne na spoločný dátový vodič. Tento dátový vodič je pripojený cez "zdvíhací" tzv. pull-up odpor $4,7\text{ k}\Omega$ na napájacie napätie a "zdvíhá" tak zbernicu do log. 1.

Komunikácia začína vždy master reset pulzom. Najprv dátový vodič je log. 0 (uzemnené) a drží sa na tento úroveň minimálne $480\text{ }\mu\text{s}$. Potom sa zbernica uvoľňuje a odpor vráti zbernicu späť do log. 1. Keď je na zbernicu pripojené nejaké 1-Wire zariadenie, tak detekuje to vzostupnou hranu a po dobu 15 - 60 μs stiahne zbernicu na 60 - 240 μs k log. 0.



Obr. 13: Časový priebeh signálu pri inicializácii [15]

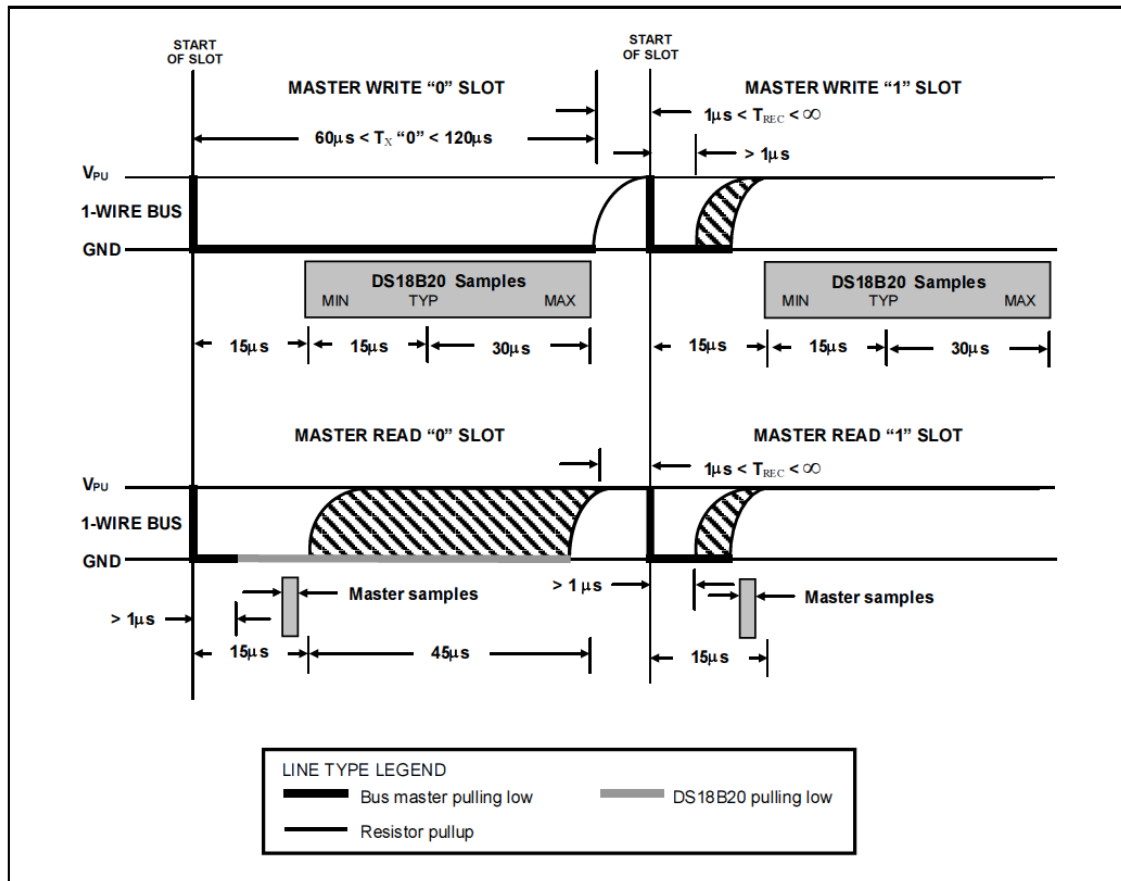
Ak sa zariadenie správne ohlásí, môže master začať vysielat' a prijímať dáta. Dáta sú vysielané v časových intervaloch. Slot je dlhý 60 až 120 mikrosekúnd a počas jedného slotu je vyslaný alebo prijatý jeden bit informácie. Medzi jednotlivými slotmi musí byť minimálne 1 mikrosekúnd medzera, kedy je zbernica v pokoji.

Komunikácia prebieha po bajtoch a vždy sa vysielá bit 0 (najmenšie) ako prvý a bit 7 ako posledný.

Nasledujúci časť kódu slúži na vyslanie prvého reset pulzu:

```
DSTHERM_LOW();
DSTHERM_OUTPUT_MODE();
dstherm_delay(us(480));
```

Definujú sa štyri druhy timeslotu, zápis a čítanie log. 0 a log. 1. Zápis log. 0 master nastavuje na zbernicu úroveň log. 0 a nechá na tento úroveň po celú dobu timeslotu (60 – 120 μ s). Čítanie sa inicializuje tým, že na zbernici nastavuje úroveň log. 0 na dobu $>1\mu$ s. Potom môže čidlo vyslať prvý bit. Zápis log. 1 prebieha nastavením pomocou mastera na zbernici úroveň log. 0 na $>1\mu$ s, a do dobu 15 μ s mení hodnotu na úroveň log. 1.



Obr. 14: Časový priebeh signálu pri zápise / čítanie [15]

Nasledujúci časť kódu slúži na čítanie jedného bitu:

```
uint8_t dstherm_read_bit(void) {
    uint_t bit=0;
    //úroveň log. 0 na dobu 1us
    DS_THERM
    DSTHERM_LOW();
    DSTHERM_OUTPUT_MODE();
    dstherm_delay(us(1));
    //úroveň log. 1 na dobu 15-1=14us
    //DSTHERM_INPUT_MODE();
    dstherm_delay(us(14));
    //čítanie hodnotu
    if(DSTHERM_PIN&(1<<DSTHERM_DQ)) bit=1;
    //čakanie do dobu 45 us na dokončenie čítanie vrátiť hodnotu
    dstherm_delay(us(45));
    return bit;
}
```

5 VLHKOSŤNÉ SENZORY

V tomto kapitole boli použité literatúry [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23].

Relatívna vlhkosť vzduchu udáva pomer medzi okamžitým množstvom vodných pár vo vzduchu a množstvom pár, ktoré by mal vzduch o rovnakom tlaku a teplote pri plnom nasýtení. Udáva sa v percentách (%). Relatívna vlhkosť sa tiež niekedy označuje ako pomerná vlhkosť.

5.1 Typy vlhkosťných senzorů

5.1.1 Mechanický vlhkomer

Používa prírodný materiál (hodváb. vlasy, koňskú srst') prípadne syntetický materiál (nylon), ktoré sú schopné absorbovať vo svojej štruktúre určité množstvo vody úmerné relatívnej vlhkosti okolia. Táto metóda je historicky najstaršia.

5.1.2 Gravimetrický vlhkomer

Gravimetrický vlhkomer predstavuje z meteorologického hľadiska etalon. Princípom je, že vhodné sušidlo absorbuje vodnú paru zo známeho objemu vzduchu a zisťuje sa prírastok jeho hmotnosti. Nevýhodou je dlhý meranie, hlavne pri malej vlhkosti a použiteľné len v laboratorných podmienkach. Služi prevažne k overovaniu a kalibrácii ostatných typov senzoru.

5.1.3 Odporový senzor vlhkosti

Využíva zmenu vodivosti, ktorá u niektorých hygroskopických materiálov sprevádza absorpciu vody. Dunmoreovo prevedenie používa polynylalkohol s prídavkom chloridu alebo bromidu lítneho. Prívodné elektródy sú platinové, vykonané ako dvojité špirály z drôtu na valci z izolantu alebo ako dva hrebienky naparené na keramickom podklade. Aby sa predišlo polarizácii elektród, je nutné merať striedavým napätím. Senzor je citlivý na orosenie a tak nemožno ho používať pri vyšších teplotách, napriek tomu je používaný najmä vďaka veľkej presnosti.

5.1.4 Ostatné typy vlhkosťných senzorů

- **Kondenzačný:** Po gravimetrickom vlhkomeru druhý najpresnejší. Skladá sa z termoelektricky chladeného kovového zrkadla, jeho odrazivosť sa sníma opticky.
- **Elektrolytický:** vyznačuje sa najmä dlhodobou stabilitou
- **Psychrometer:** používa obalenú baňičku teplomeru knôtom ponorený do vody a umiestnenou do prúdu meraného vzduchu.
- **Kapacitný senzor vlhkosti:** vyznačujú sa malou závislosťou na teplote, odolnosťou voči kondenzácii, rýchlou odozvou a presnosťou v jednotkách % RH.

5.2 Senzor vlhkosti SHT15

Umožňuje meranie teploty a vlhkosti bez nutnosti kalibrácie. Základom je inteligentný snímač firmy Sensirion. Na jednom čipe sú umiestnené vlastné senzory relatívnej vlhkosti a teploty tak aj digitálna časť. Jej súčasťou je 14bitové analógovo digitálny prevodník, kalibračná pamäť a dvojvodičové rozhranie.

Základné technické údaje:

- Meranie vlhkosti
 - Presnosť ± 2.0 %RH
 - Rozlíšenie: 0,03 %RH
 - Rozsah merania: 0-100 %RH
- Meranie teploty
 - Presnosť: $\pm 0,3$ °C
 - Rozlíšenie: 0,01 °C
 - Rozsah merania: -40 – 123.8 °C

Odber prúdu: 550 μ A (meranie) , 28 μ A (priemerovanie) , 0.3 μ A (sleep)

Meranie sa aktivuje zaslaním meracieho príkazu, senzor vykoná meranie a udržiava výsledok vo vlastnej pamäti až do najbližšieho odpočtu. Senzor je možné nastaviť aj na meranie s menším rozlíšením - 8 bitov pre relatívnu vlhkosť a 12 bitov pre teplotu pri súčasnom podstatnom skrátení času merania. SENSIRION SHT15 ďalej obsahuje detektor nízkeho napätia, užitočný pri batériových aplikáciách.

Každý senzor je kalibrovaný v precíznej vlhkostnej komore a kalibračné koeficienty sú uložené v OTP pamäti. Tieto koeficienty sú použité interne počas merania pre prepočítanie údajov zo senzorov. Malé rozmery a jednoduchá komunikácia cez dvou vodičovú zbernicu umožňujú jednoduchú aplikáciu senzora v rôznych oblastiach priemyslu.

Pre teploty odlišné od 25 °C je vhodné relatívnu vlhkosť kompenzovať podľa vzťahu uvedené v katalogovom liste senzoru. S nadradeným zariadením komunikuje pomocou dvoma vodičmi, podobne protokolom I²C.

5.3 Komunikačný protokol I²C

Protokol Inter-Integrated Circuit vyvinula firma Philips Semiconductor pôvodne pre svoje TV prijímače v roku 1980 za účelom komunikácie medzi integrovaných obvodov na jednej DPS pri použití minimálneho množstva pinov.

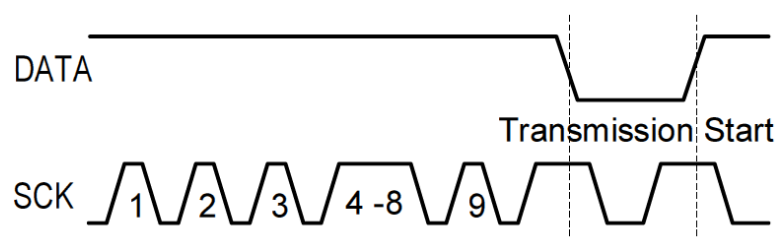
Používa sa ako riadiaca zbernica v obvodoch spracovania signálov, ktoré majú oddelenú dátovú zbernicu, napr. RF tunery, video dekódery a enkódery a audio procesory a kodeky. Vzďialenosť komunikujúcich zariadení je limitovaná na 4 m z dôvodu udržiavania komunikačnej rýchlosti.

Zbernica používa dva vodiče: Serial Data (SDA) a Serial Clock (SCL) , ktoré sú pripojené na napájacie napätie pomocou tzv. Pull-up rezistorov. Každý IO na zbernici je identifikovaný svojou adresou, ktorá je v rámci siete jedinečná, a komunikujú sa medzi sebou princípom master/slave, kde master môže fungovať ako prijímač, tak i vysielač.

Vytvárajú tak dvojsmernú 8-bitovú komunikáciu v normálnom rýchlosti 100 kbit/s alebo v zrýchlenom móde 400 kbit/s. Maximálny počet pripojených IO obmedzuje len maximálna kapacita prenosového vedenia, 400 pF.

Master zariadenie začína a končí dátovým prenosom generovaním štart bitu (prechod dátovej linky z vysokej na nízku úroveň) a stop bitu (prechod z nízkej úrovni na vysokú), a taktiež generuje hodinový signál a vysiela adresu podriadeného IO, pre ktorý budú dáta určené. Slave zariadenie odpovedá iba v prípade, že rozpoznal svoju adresu. Po štart bite považujú všetky zariadenia zbernicu za zaneprázdnenú, po príchode stop bitu čakajú zariadenia istý čas a potom považujú zbernicu za voľnú.

Pri práci so senzorom najprv je potrebné vyslať resetujúci signál. Ten podľa katalógového listu vyzerá nasledujúce:



Obr. 15: Časový priebeh signálu pri inicializácii [21]

Zdrojový kód ktoré ovláda signál resetu:

```
void s_connectionreset(void)
{unsigned char = i; // nastavenie začiatočných hodnôt
for(i=0;i<9;i++) // 9 cyklu SCK
{ SCK=1;
  sck=0;
}
s_transmit_start(); // začínať posielanie
}
```

Druhou dôležitejšou časťou je vyhodnocovanie nameraných hodnôt. V katalógovom liste výsledné hodnoty sú závislé na napájaciu hodnotu, preto treba s tým počítať. Nasledujúce hodnoty sú použiteľné pri napájení z 3,3 V.

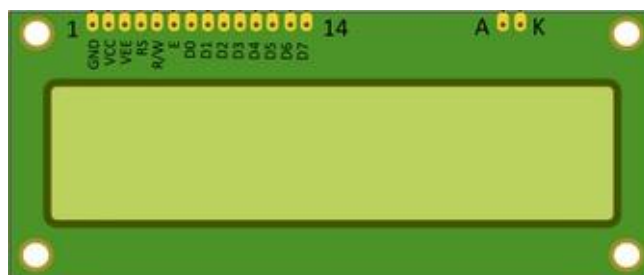
```
float calc_dewpoint(float h, float t)
{
  float k,dew_point ;

  k = (log10 (h)-2)/0.4343 + (17.62*t)/(243.12+t);
  dew_point = 243.12*k/(17.62-k);
  return dew_point;
}
```

6 LCD DISPLEJ

V tomto kapitole bola použitá literatúra [24].

Znakový LCD displej s radičom HD44780 umožňuje vypisovať znaky do dvoch riadkov po 16 znakov. Konkrétny displej používané pri tomto práci má označenie 1602B2.



Obr. 16: LCD displej

Tab. 4: Popis vývodov displeja

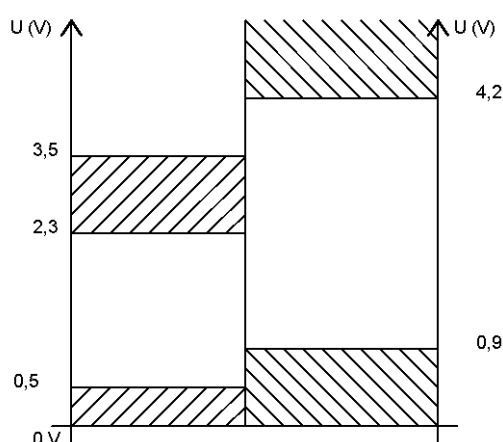
Č. pinu	Symbol	Poznámka
1	Vss	zem
2	Vdd	napájacie napätie
3	Vo	kontrast
4	RS	pri príkazu (log. 0) pri dáta (log. 1)
5	R/W	čítanie alebo písania na LCD
6	E	potvrďovací vstup
7	DB0	data bit 0
8	DB1	data bit 1
9	DB2	data bit 2
10	DB3	data bit 3
11	DB4	data bit 4
12	DB5	data bit 5
13	DB6	data bit 6
14	DB7	data bit 7
15	A	anóda podsvietenia
16	K	katóda podsvietenia

Radič HD44780 umožňuje dva spôsoby prenášanie dát:

- 8-bitová komunikácia: využíva všetky dátové vývody DB0:7. Zápis príkazu/dát prebieha nastavením vývodu RS podľa toho či bude poslaný príkaz alebo dáta, potom sa aktivuje výstup E a následne na vodiče DB0:7 privedie odosielaný bajt ktorý sa potvrdí stiahnutím signálu E na log0; vývod R/W je vždy na log0 keď dáta/príkaz sa zapisuje.

- 4-bitová komunikácia: vývody DB0:3 sú uzemnené a na prenos dát/príkazu sa využívajú vývody DB4:7 čo vedie k ušetreniu vývodov na mcu; dáta pri tom sú odoslané na dva krát. Najprv štyri horné a potom štyri dolné bity. Zápis dát/príkazu prebieha najprv nastavením vývodu RS (R/W -> log0), aktivujeme výstup E a následne na vývody DB4:7 privede najprv 4 horné bity bajtu a potvrdí sa stiahnutím E na log0; spodné štyri bity posielajú takisto ako horné.

LCD displej použité pri práci pracoval na napätie 5 V. Preto prijímacia časť, ktorá túto obrazovku používa obsahuje dve stabilizované obvody. Jeden na 5 V, pre mikrokontroler a LCD display, druhý na 3,3 V pre Xbee modul. V obrázku 9 je znázornené napäťové rozsahy logických úrovni pri jednotlivých napájení.

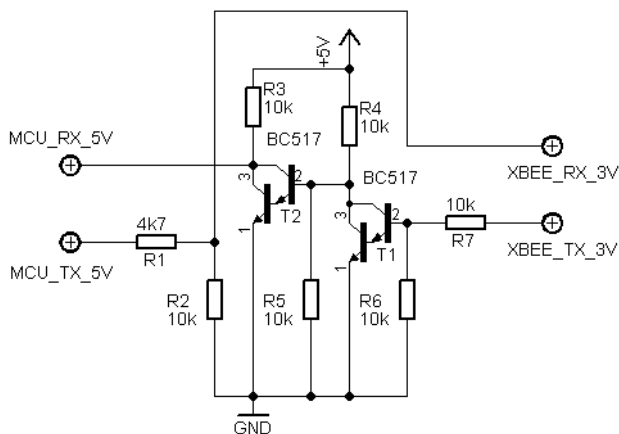


Obr. 17: Logické úrovne 5 V a 3 V napájania

Kedže mikrokontrolér a Xbee modul nemôžu komunikovať medzi sebou priamo, potrebujú obvod na prevod signálu z 5 V na 3 V, a opačne.

Na prevod signálu z 5 V na 3 V je používané napäťový delič pomocou dvoch rezistorov.

Na prevod signálu z 3 V na 5 V je používané neinvertujúci obvod s použitím dvoch darlingtonových tranzistorov a rezistorov.



Obr. 18: Zapojenie prevodníku úrovni signálu

7 NAPÁJANIE

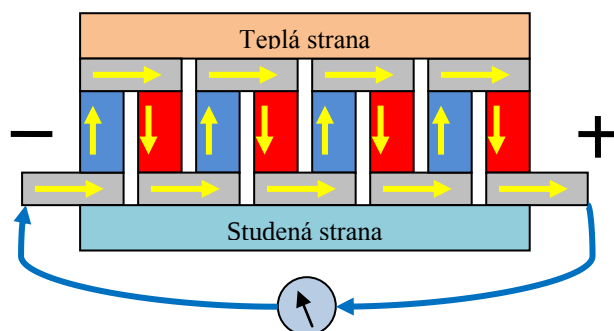
V tomto kapitole boli použité literatúry [25] [26] [27].

Celý meriací systém sa skladá z dvoch častí. Jedna časť, zobrazovací, ktoré obsahuje display, bude umiestnené mimo rozvádzacej skrine, takže je možné bezproblémov napájať zo siete adaptérom, a štabilizovaným napätím 5 V.

Druhá časť, meriací, bude umiestnené v rozvážači. Pri uzavretom priestore nie je možné používať predchádzajúce riešenie. Tiež, z bezpečnostných a fyzikálnych dôvodov sa nesmie používať transformátor pripojený na vysokonapäťové časti.

7.1 Termoelektrický generátor (TEG)

Najprv pri hľadaní riešenie bolo navrhnuté používanie termoelektrického generátora (TEG). TEG je zariadenie, ktoré premieňa teplo priamo na elektrickú energiu pomocou Seebeckovéhého javu. Účinnosť generátora je medzi 5 až 10 %. Výhodou je, že neobsahuje pohyblivé časti a výrazne tak predlžuje jeho životnosť. Hlavnou nevýhodou sú vysoké náklady, a malá účinnosť, a potreba dodržať veľký teplotný rozdiel, ktorý je možné chadením vodou alebo inou kvapalinou, čím je nebezpečné manipulovať pri vysokonapäťových časti.



Obr. 19: Termoelektrický článok

7.2 Superkapacity

Superkapacitor (superkondenzátor) predstavuje v princípe elektrolytický kondenzátor vyrobený špeciálnou technológiou, ktorá umožňuje dosiahnutie obrovskej kapacity faradov. Technológia je založená na elektrochemickej dvojvrstve. Najdôležitejším komponentom superkondenzátora je vrstva aktívneho uhlíka, ktorá je nanosená na vnútornú stranu hliníkových elektród, ktoré sú tvorené hliníkovou fóliou.

Nevýhodou je nízke prevádzkové napätie, ktorého hodnota sa pohybuje v rozmedzí 2,3 – 2,7 V. Pre väčšie napätie je potrebné riadiť superkondenzátor do série, čo však vyžaduje použitie ochranných balančných obvodov. Ďalšou nevýhodou je, že napätie sa zmení v závislosti na množstvo uloženej energie, a majú najvyššiu dielektrickú absorpciu zo všetkých typov kondenzátorov. Pri vysokých teplotách táto tendencia sa ešte zvyšuje, a preto výsledne boli superkapacity hodnotené ako nepoužiteľné pre napájanie v rozvážačoch s vysokým prevádzkovým teplotom.

7.3 Ni-MH akumulátory

Po preskúmaní možnosti napájanie bol zvolený akumulátorový set typu Ni-MH. Nikelmetalhydridové akumulátory (Ni-MH) v súčasnosti sú jedny z najčastejších používaných akumulátorov elektrickej energie. Nabíjateľný galvanický článok má zápornú elektródu z hydroxidu nikelnatého a kladnú elektródu z kovového hydridu. Nemá tzv. pamäťový efekt.

Aby sa dalo akumulátory nabíjať aj na mieste použitia, je konštruované aj automatická nabíjačka NiMH akumulátoru ktoré využíva prúdový transformátor aplikované na vysokonapäťový časť rozvádzača.

7.3.1 Nabíjačka Ni-MH akumulátoru

Nabíjanie Ni-MH akumulátoru sa môže uskutočniť dvoma spôsobmi:

- $\Delta T/\Delta t$ – zložitejšie, založené na meranie teploty v čase. Pri konci nabíjacieho cyklu v akumulátore sa rekombinuje oxigén, čo vyvoláva zvýšenie teploty. Rýchle zvýšenie teploty signalizuje dokončenie nabíjania.
- $-\Delta V/\Delta t$ – ďalším účinkom chemickej reakcie pri dobíjaní je mierne klesanie napätie batérie. Pri detekci tohto poklesu môžeme použiť ako signál k ukončeniu nabíjania.

Integrovaný obvod MC33340 je monolitický rýchlonabíjač akumulátora typu Ni-MH a Ni-Cd (Nickel Cadmium). Pracuje na princípe $-\Delta V/\Delta t$ (negative slope voltage detection) . Podporuje široký rozsah napájacieho napätia 3,25 V až 18 V. Používa dva režimy nabíjania: rýchly a udržiavací. Z rýchleho režimu obvod po dobití akumulátora prejde do udržiavacieho režimu.

Nabíjanie prebieha s nastaveným prúdom pomocou LM317. Pri každom bliknutí LE diody zapojené na výstupoch F/T, GATE je nabíjanie prerušené a obvod meria napätie akumulátora na Vsen pin cez delič. Pri poklesu napätí, rýchlonabíjacieho režimu nahradzuje režim udržiavací. Prúd LM317 prestane dodávať, ďalej je udržiavané cez rezistor R5. Hodnoty deliča napätia na vstupe snímača Vsen sú zvolené tak, aby bol získané napätie jedného článku.

Hodnota rezistora R2 sa vypočítava podľa vzťahu:

$$R_2 = R_1 \times \left(\frac{U_{BattP}}{U_{Vsen}} - 1 \right) \quad (8)$$

kde: U_{Vsen} je napätie na vstupe senzoru

U_{BattP} je napätie na svorkách setu akumulátorový článku

Hodnotu R1 volíme desiatok k Ω -u.

Nabíjací prúd I_{Fast} sa dá vypočítať pomocou vzťahu:

$$I_{Fast} = \frac{U_{Batt}}{R_6} \quad (9)$$

kde:

- U_{Batt} je napätie jedného akumulátorového článku, približne 1,2 V
- R_6 je výkonový rezistor

Udržovací prúd $I_{Trickle}$ sa dá vypočítať pomocou vzťahu:

$$I_{Trickle} = \frac{U_{In} + U_{D3} + U_{Batt}}{R_5} \quad (10)$$

kde:

- U_{In} je vstupné napätie stabilizátoru LM317
- U_{D3} je napätie na diodu D_3 v priepustnom smeru

Tab. 5: Odber prúdu súčiastkov

Názov	Odber prúdu
Atmega8	3,6 mA
Xbee	38 mA / 0,05 mA
DS18B20	1,5 mA
SHT15	0,55 mA
Spolu:	43,65 mA / 5,7 mA

Z tabuľku vidíme, že výrazne najväčšie spotrebu má Xbee modul v normálnom pracovnom režime. Druhá hodnota u tohto modulu ukazuje spotrebu pri tzv. sleep režimu. Vtedy modul neposiela, ani neprijíma žiadne dáty. Keďže nepotrebujeme v každom sekunde kontrolovať teplotu, môžeme používať tento možnosť na predĺženie času vybitia akumulátorov na strane vysielača.

Jedinou nevýhodou použitých akumulátorov je ich nepostačujúco malá pracovná teplota. Podľa katalógových listu výrobcov dajú sa používať pri maximálnom teplote 70 °C. V rozvážači vysokého napätia, kde teploty stúpajú až na 105 °C treba nájsť iné riešenie. Jednou možnosťou sú nenabíjateľné lítiumové batérie (Li-Ion, Li-SOCI) vyrábané pre extrémne vysoké okolné teploty. Pri používaní nenabíjateľných batérií je treba spočítať s tým, že po vybíjaní treba ich vymeniť.

8 VÝROBA HOTOVÉHO ZARIADENIA

Pre konkrétne využitie zariadenia v praxi bolo potrebné navrhnuť dosky plošného spoja, ktoré zaisťujú konkrétne rozmiestnenie súčiastok, spojenie medzi jednotlivými vývodmi súčiastok a mechanickú pevnosť.

Pre návrh plošného spoja bol použitý program Eagle CadSoft PCB Design Software 5.11.0. vo verzii LIGHT, ktoré umožňuje navrhnuť plošného spoja vo veľkostiach 100×80 mm. Plošné spoje boli navrhnuté ako jednostranné prevedenie typu DIL kvôli zjednodušeniu práce s nepájivým kontaktným poľom vo fázi vývoja programu.

Výsledkom sú tri dosky plošného spoja. Prvý, vysielacia časť doplnená senzormi teploty a vlhkosti, druhá časť, prijímacia, doplnená LCD displejom a tretia časť, nabíjačka akumulátorov.

8.1 Návrh plošných spoju

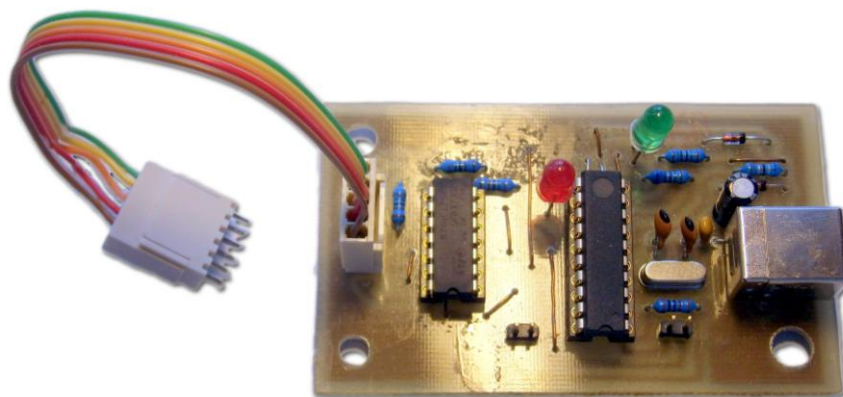
Pri návrhu plošných spojov boli dodržované základné pravidlá definované na tvorbu plošných spoju. Zahrňuje vhodné rozmiestnenie súčiastiek, dodržovanie vzdialenosti medzi jednotlivými vodivými cestami. Osadzovanie a pájanie súčiastok bol ručný. Postup pri osadzovaní bolo definované od najmenej citlivejších na vysoké teploty až po viacej citlivejších. Pre osadzovanie mikroprocesorov a Xbee modulov boli použité pätice pre ľahkú výmenu a obídením tak zničením komponentoch vysokou teplotou pri pájení. Pri realizácii plošných spoju sa musel dávať pozor na roztoč pinu Xbee modulu, ktorý je netipický 2,00 mm. Samotné oživenie prechádzal vizuálna kontrola osadzovaných a napájaných súčiastkov. Schémy zapojenie a vyrábané plošné spoje sú uvedené v prílohe B.

9 PROGRAMOVANIE AVR

9.1 Hardware

Na programovanie mikrokontrolera bol používaný jednoduchý USB programátor AVRUsb500v2. Sériový programátor používa vývody: MISO, MOSI, SCK, RESET.

Programátor k počítači pripojuje pomocou sériového rozhrania USB, čo umožňuje programovanie mikrokontrolera aj na novších počítačoch, ktoré klasické paralelné porty nemajú. Schéma zapojenia a potrebný zdrojový kód je voľne dostupný na internetových stránkach. [29]



Obr. 20: Programátor AVRUsb500v2

9.2 Software

Pre vývoj softwaru som používal na tento projekt vývojové prostredie AVR Studio 5. Je to integrované vývojové prostredie (IDE) pre vývoj Atmel AVR 8-bitové aplikácie.

AVR Studio 5 obsahuje debugger, ktorý podporuje ovládanie registrov, pamäte a I/O porty, cieľovú konfiguráciu, a plnú podporu programov pre programátorov. Verzia tejto aplikácie je voľne dostupná na internetových stránkach výrobcu produktov ATMEL. [30]

Pre nastavenie Fuse bitov som používal webovú stránku [31], kde po nastavení jednotlivých bitu hodnotu vráti v hexadecimálnom čísle. Tieto hodnoty naprogramujem pomocou programu avrdude, o ktorom sa zaoberá stránka [29].

10 ZÁVER

V rámci tejto bakalárskej práce bol vytvorený systém bezdrôtového prenosu údajov z teplotných a vlhkosťných čidiel cez rozhranie UART, 1-wire a dvojvodičová komunikácia. Bezdrôtový systém bol navrhnutý pre elektrické rozvodové skrine, v ktorých je potreba monitorovanie teploty za účelom predchádzanie havarijného stavu v dôsledku prehriatia.

Každú kapitolu som začínal teóriou, ktoré mi pomáhali pri výbere vhodného súčiastku. Po teórii mám vždy opísanú konkrétnu súčiastku, s ktorými som pracoval. Nasledovne uvediem, ako som s daným obvod pracoval, nastavoval, a vybraným obvodom som aj priložil časť zdrojového kódu.

Celý bezdrôtový systém sa skladá z dvoch častí. Vysielací, ktoré je určené do rozvádzaču obsahuje teplotné a vlhkosťné senzory pripojené riadiaceho mikrokontroléra Atmega8, ktorý zpracováva namerané hodnoty, a posiela k bezdrôtovému modulu Xbee. Obvod sa napája pomocou akumulátora Ni-MH, ktorým je navrhnutý aj automatická nabíjačka. Podľa predstavy, ako zdroj elektrickej energie slúžil prúdový transformátor aplikované na vysokonapäťovej časti rozvádzača.

Prijímacia časť, ktorá je určená na zobrazovanie tepelných a vlhkosťných hodnôt. Obsahuje ten istý mikroprocesor a komunikačný modul, ale miesto senzorov obsahuje znakový LCD displej. Celkový systém bol navrhnutý tak, aby boli využívané možnosti technológie senzorových sítí Zigbee.

Ako pokračovanie tejto práce je predstava softwaru pre PC, cez ktoré by sa dalo prehľadne pozorovať meranie veľkých počtu senzorov, prípade vytvoriť databázu nameraných hodnôt.

LITERATÚRA

- [1] KLIKA, Prof. Ing. Otokar. *Sdělovací technika po vedeních II: Telekomunikačné systémy*. Praha: SNTL, 1972. 460 s.
- [2] ATMEL®: 8-bit AVR® Microcontroller Flash[online]. 07.2009. 302 s. Dostupný z: <http://www.atmel.com/devices/ATMEGA8.aspx?tab=documents>
- [3] VÁNA Vladimír.: *Mikrokontroléry Atmel AVR programování v jazyce C*. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2003. 206 s. ISBN: 80-7300-102-0
- [4] IEEE 802.15.4. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [2012] [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/802.15.4>
- [5] ZigBee. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [2012] [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- [6] XBee. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. [2012] [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/XBee>
- [7] FALUDY, Robert. *Building Wireless Sensor Networks: A Practical Guide to the ZigBee Mesh Networking Protocol*. O'Reilly Media, 2010, 322 s. ISBN 978-0-596-8073-3.
- [8] ZigBee Specification Overview. *ZigBee Alliance* [online]. [2010] [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>
- [9] M. Kovichakka, M. Kuorilehto, M. Hännikäinen, T. D. Hämäläinen: *Performance analysis of IEEE 802.15.4 and ZigBee for large-scale wireless sensor network applications*. New York: ACM, 2006. 57 s. ISBN: 1-59593-487-1
- [10] XBee® ZB ZigBee® Modules. DIGI INTERNATIONAL INC. *Digi* [online]. [2012] [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/xbee-zb-module#overview>
- [11] LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. Praha: BEN, 2005, 153 s. ISBN 80-7300-180-2.
- [12] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: Senzory a měřicí obvody*. Praha: BEN, 2005, 153 s. ISBN 80-7300-145-4.
- [13] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: ČVUT, 1996, 153 s.
- [14] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [online], Maxim, [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

- [15] LINKE, Bernhard. Overview of 1-Wire® Technology and Its Use. *Maxim Integrated Products* [online]. 19.06.2008 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/1796>
- [16] PARETAS, Gerard Marull. OPENPLAYER. *Using DS18B20 digital temperature sensor on AVR microcontrollers*. 2007. Dostupné z: http://teslabs.com/openplayer/docs/docs/other/ds18b20_pre1.pdf
- [17] CHYSKÝ, Jaroslav. *Vlhký vzduch*. Praha: SNTL, 1977. 04-239-77.
- [18] ING. SCHWARZER, Jan. Teorie vlhkého vzduchu: Úvod a vyjádření vlhkosti vzduchu. *Tzbinfo* [online]. 29.5.2006 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i>
- [19] ING. MAREŠ, Luděk. Vlhkost vzduchu a její měření. *Tzbinfo* [online]. 13.3.2006 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [20] RNDr. Hanzal, J., Vlhkomery. [online] Automa, 2003, c.11. [cit. 2012-05-15] Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28979
- [21] SHT1x Humidity and temperature sensor [online]. Sensirion, 2007. [cit. 15.05.2012]. Dostupné z: http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humiditysensor-SHT1x.pdf
- [22] SENSIRION. *SHT1x and SHT7x Sample Code*. 2010. Dostupné z: http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Sample_Code_humidity_sensor_SHTxx.pdf
- [23] PHILIPS SEMICONDUCTOR. *The I2C-bus specification*. 2000. Dostupné z: <http://i2c2p.twibright.com/spec/i2c.pdf>
- [24] HD44780U (LCD-II) : (Dot Matrix Liquid Crystal Displej Controller/Driver) [online]. 1998 [cit. 2012-05-15] Dostupné z: <http://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>
- [25] KOZÁK, J. Termoelektrický generátor. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Vlach, Ph.D.. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=42227
- [26] Nickel–metal hydride battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 07.05.2005, 02.05.2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydride_battery

- [27] *MC33340: Battery Fast Charge Controllers*. 2005. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MC33340-D.PDF
- [28] *MM232R: MM232R USB - Serial UART Development Module Datasheet*. 2010. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_MM232R.pdf
- [29] LADYADA. *USBtinyISP: AVR programmer & SPI interface*. 2012. [cit. 2012-05-15] Dostupné z: <http://www.ladyada.net/make/usbtinyisp/index.html>
- [30] *Atmel Studio: AVR Studio 5.1 (build) Installer - Full*. 2012. [cit. 2012-05-15] Dostupné z: <http://www.atmel.com/tools/STUDIOARCHIVE.aspx>
- [31] *Engbedded Atmel AVR® Fuse Calculator Device selection*. 2012. [cit. 2012-05-15] Dostupné z: <http://www.engbedded.com/fusecalc>

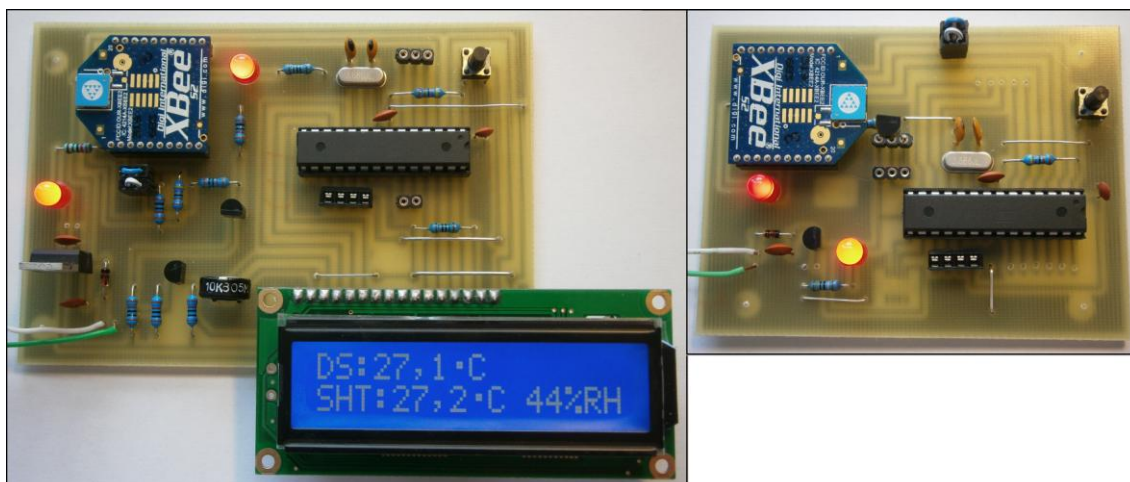
OBSAH PRÍLOHY

A	Hotové zariadenie	40
B	Návrh zariadenia	41
B.1	Schéma zapojenia prijímača	41
B.2	Doska plošného spoja prijímača – top (strana súčiastok)	42
B.3	Doska plošného spoja prijímača – bottom (strana spoju)	42
B.4	Umiestnenie súčiastok prijímača – top	43
B.5	Schéma zapojenia vysielача.....	44
B.6	Doska plošného spoja vysielача – top (strana súčiastok)	45
B.7	Doska plošného spoja vysielача – bottom (strana spoju)	45
B.8	Umiestnenie súčiastok vysielача – top	46
B.1	Schéma zapojenia nabíjačky	46
B.2	Doska plošného spoja nabíjačky – bottom (strana spoju).....	46
B.3	Umiestnenie súčiastok nabíjačky – top.....	47

PRÍLOHY NA DVD

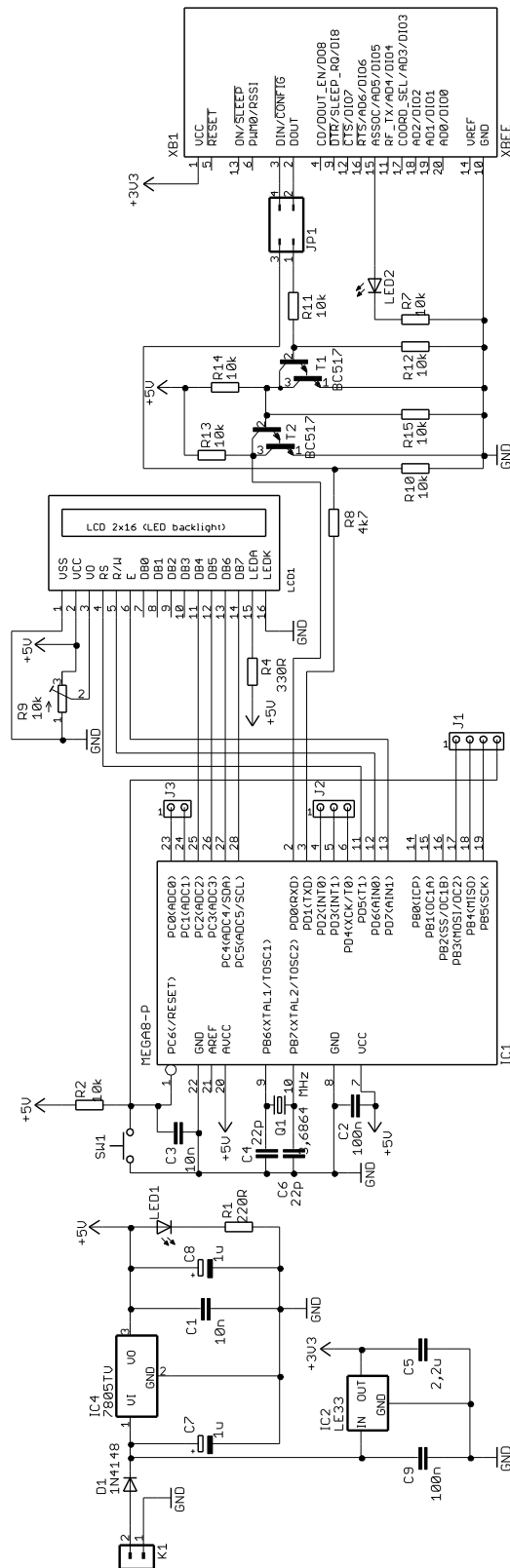
- táto práca vo formáte pdf
- program mikrokontroleroch ATMEGA8
- návod pre nastavenie modulov Xbee
- schéma a doska plošných spojov práci vytvorené programom Eagle PCB Design Software
- zoznam súčiastok vo formáte txt

A HOTOVÉ ZARIADENIE

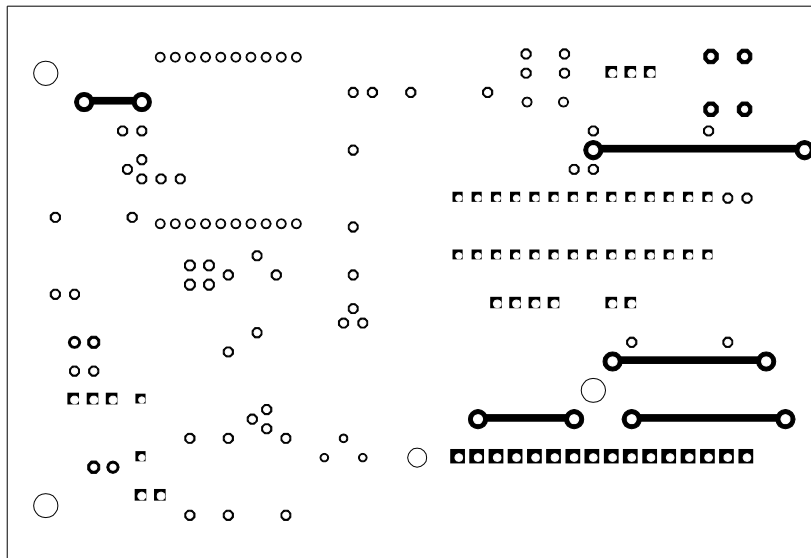


B NÁVRH ZARIADENIA

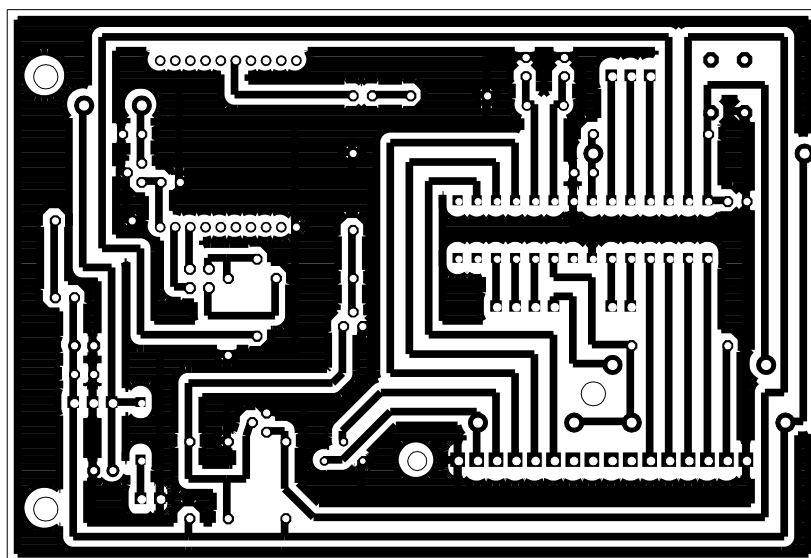
B.1 Schéma zapojenia prijímača



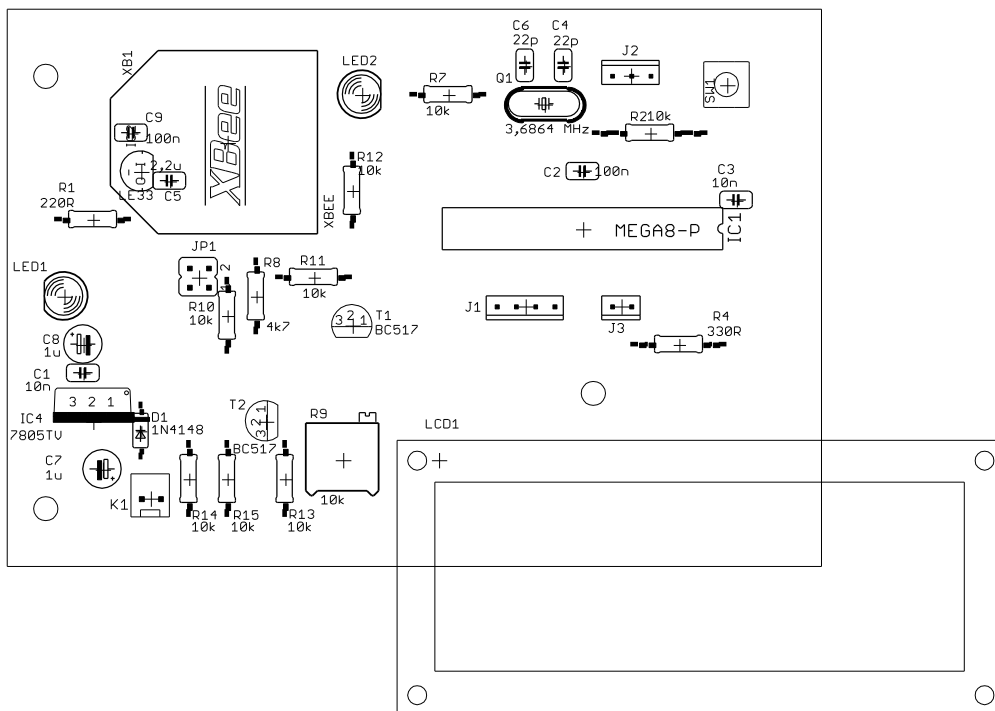
B.2 Doska plošného spoja prijímača – top (strana súčiastok)



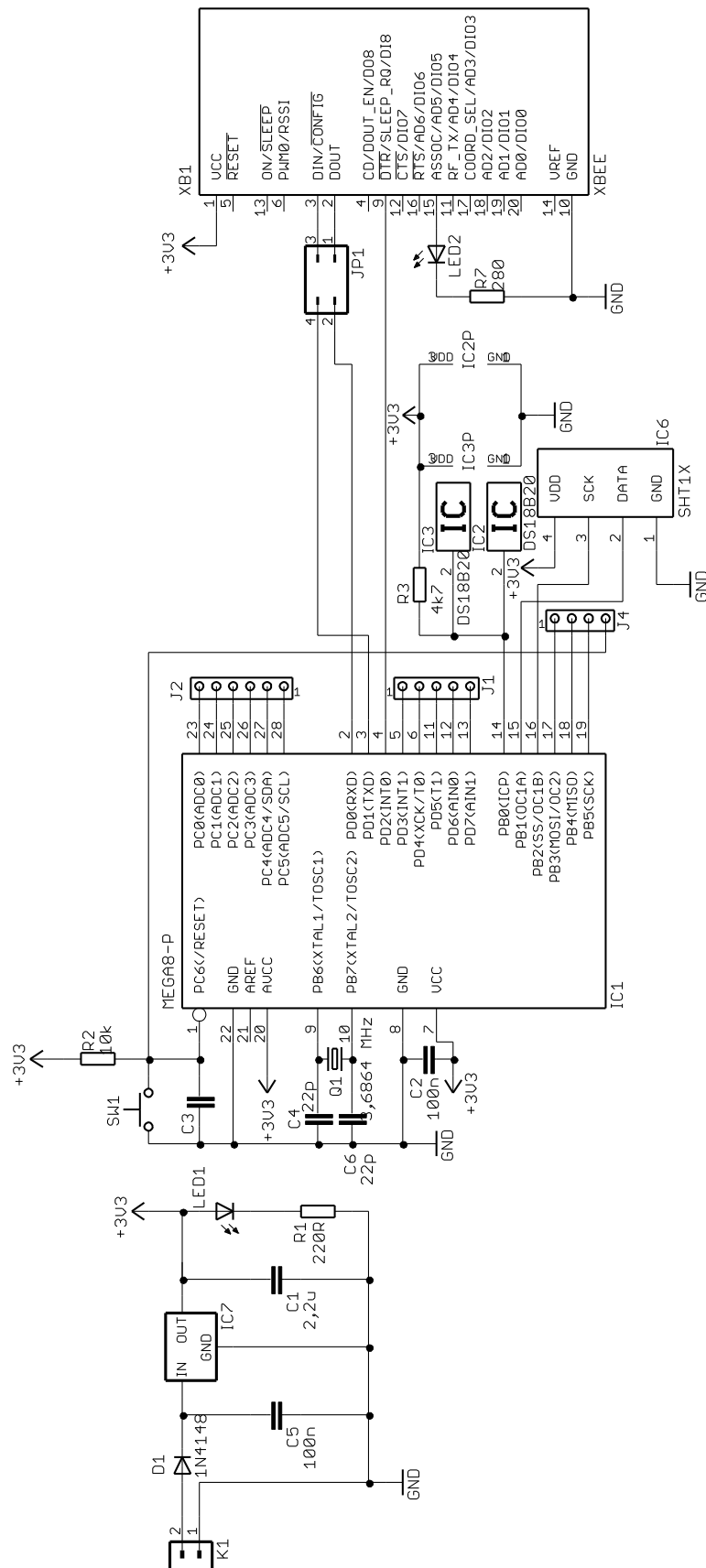
B.3 Doska plošného spoja prijímača – bottom (strana spoju)



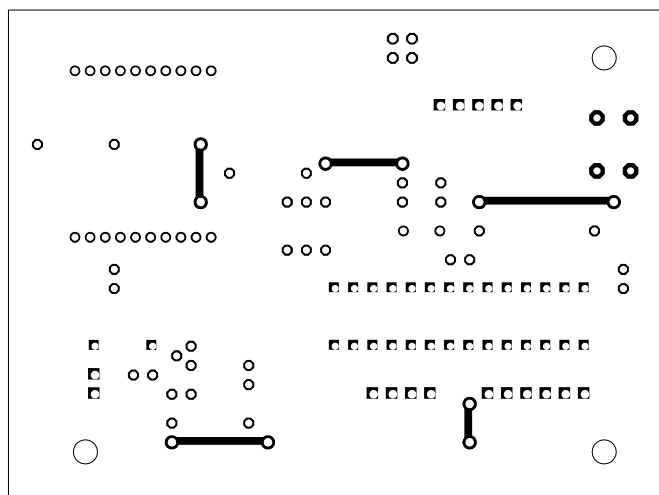
B.4 Umiestnenie súčiastok prijímača – top



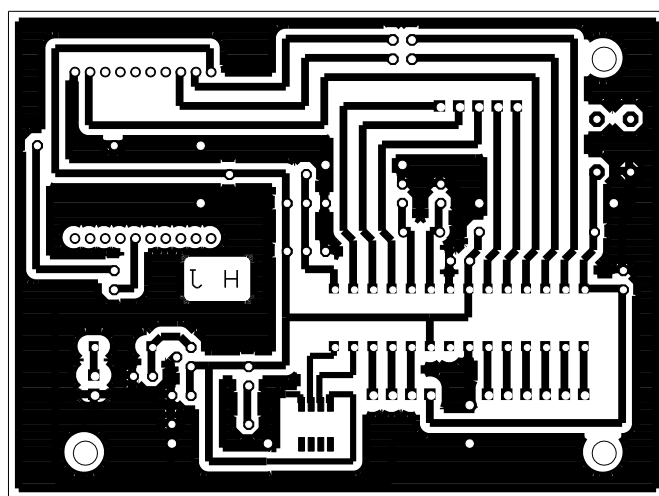
B.5 Schéma zapojenia vysieláča



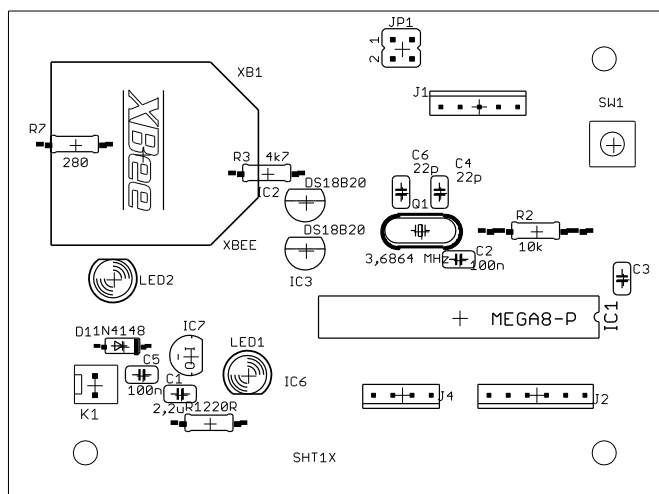
B.6 Doska plošného spoja vysielača – top (strana súčiastok)



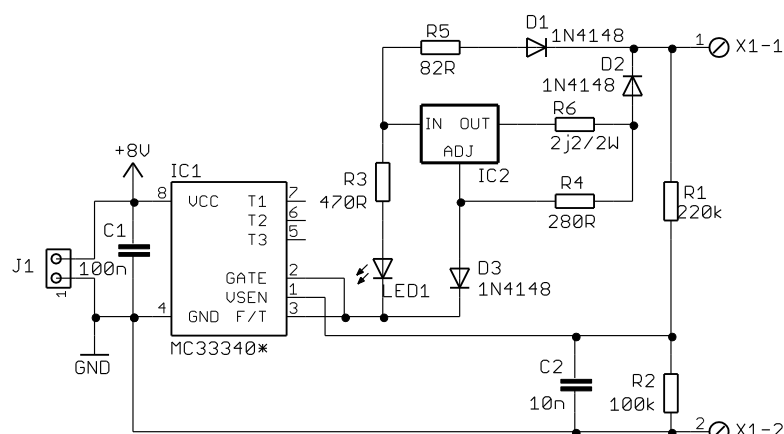
B.7 Doska plošného spoja vysielača – bottom (strana spoju)



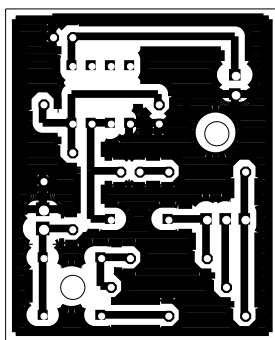
B.8 Umiestnenie súčiastok vysieláča – top



B.1 Schéma zapojenia nabíjačky



B.2 Doska plošného spoja nabíjačky – bottom (strana spoju)



B.3 Umiestnenie súčiastok nabíjačky – top

