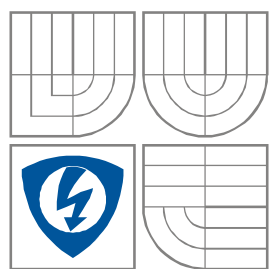


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ JEDNOTKA PRO IRC SYSTÉM

CONTROL UNIT FOR IRC SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MALIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2011

ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ / BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem řídicího systému pro regulaci teploty v rodinném domě. Systém je navržen pro individuální vytápění jednotlivých místností a skládá se z jedné řídicí jednotky a několika termostatických jednotek rozmístěných po celém domě. Řídicí jednotka je centrálním prvkem systému a ke komunikaci s termostatickými jednotkami využívá bezdrátovou technologii ZigBee.

Klíčová slova

IRC, ZigBee, Koordinátor, Směrovač, Koncové zařízení, XBee, UART, 1-Wire, mikrokontrolér

Abstract

This bachelor's thesis deals with design of control system for temperature regulation in family house. System is designed for individual room heating and consist of one control unit and several thermostatic units, which are situated all over the house. Control unit is central element of heating system and it uses ZigBee technology in communication with thermostatic units.

Keywords

IRC, ZigBee, Coordinator, Router, End device, XBee, UART, 1-Wire, microcontroller

Bibliografická citace:

MALIŠ, M. *Řídicí jednotka pro IRC systém*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 73s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Tomáš Macho, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Řídící jednotka pro IRC systém 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 jsem si 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.

V Brně dne: **30. května 2011**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D., za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **30. května 2011**

.....
podpis autora

Obsah

Úvod	12
1 Problematika IRC	13
1.1 Princip IRC vytápění.....	13
1.2 Možnosti rozšíření IRC.....	14
1.3 Předchůdce IRC	14
2 Technologie zigbee	15
2.1 Historie.....	15
2.2 Hlavní rysy.....	15
2.3 Struktura ZigBee	16
2.3.1 Standard IEEE 802.15.4.....	17
2.3.2 Vrstvy definované standardem ZigBee.....	18
2.4 Typy zařízení v Zigbee sítích.....	19
2.4.1 Koordinátor.....	19
2.4.2 Směrovač	20
2.4.3 Koncové zařízení	20
2.5 Topologie ZigBee sítí.....	20
2.5.1 Hvězda (Star).....	20
2.5.2 Strom (Tree).....	21
2.5.3 Polygon (Mesh)	22
3 Teoretický návrh IRC systému	23
3.1 Struktura systému.....	23
3.1.1 Řídicí jednotka.....	23
3.1.2 Termostatická jednotka a bezdrátové čidlo teploty	24
3.1.3 Topologie sítě	24
3.2 Koncepce jednotek.....	26
4 Hardwarový návrh	28
4.1 Řídicí jednotka	28
4.1.1 Bezdrátový modul.....	28
4.1.2 Grafický displej	29
4.1.3 Ovládací tlačítka	31
4.1.4 Obvod reálného času.....	32
4.2 Mikrokontrolér.....	32
4.3 Napájecí zdroj	33

4.4	Termostatická jednotka	35
4.4.1	Bezdrátový modul.....	35
4.4.2	Čidlo teploty	35
4.4.3	Akční člen.....	37
4.4.4	Výkonový spínací prvek	38
4.5	Mikrokontrolér.....	40
4.6	Napájecí zdroj	40
5	Výrobní postup	41
5.1	Návrh plošných spojů.....	41
5.2	Realizace a oživení.....	41
6	Softwarové vybavení jednotek.....	42
6.1	Řídicí jednotka	42
6.1.1	Firmware mikrokontroléru XBee modulu	42
6.1.2	Software mikrokontroléru Atmega32	45
6.2	Termostatická jednotka	52
7	Závěr	55
8	Seznam použité literatury	57
9	Seznam zkratk	60
10	Seznam příloh	61

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Příklad IRC vytápění dle [1]	13
Obr. 2.1: Struktura ZigBee podle [7].....	16
Obr. 2.2: Struktura super rámce [8].....	18
Obr. 2.3: Topologie hvězda	21
Obr. 2.4 Topologie strom	21
Obr. 2.5 Topologie typu polygon	22
Obr. 3.1 Příklad možné konfigurace IRC vytápění	25
Obr. 3.2 Blokové schéma řídicí jednotky	27
Obr. 3.3 Blokové schéma termostatické jednotky	27
Obr. 4.1 Zapojení tranzistoru jako spínače podsvětlení displeje.....	31
Obr. 4.2 Zapojení ovládacích tlačítek.....	31
Obr. 4.3 Zapojení RTC obvodu PCF8563	32
Obr. 4.4 Pierceovo zapojení krystalu mikrokontroléru	33
Obr. 4.5 Zapojení napájecího zdroje řídicí jednotky	34
Obr. 4.6: Zobrazení průběhů signálů na sběrnici při zahájení komunikace; [11]	36
Obr. 4.7: Časování rámců sběrnice 1-Wire; převzato z [11]	37
Obr. 4.8 Termoelektrická hlavice Siemens STA21 [22]	38
Obr. 4.9: Časové průběhy proudů optotriaku (I_{FT} – řídicí proud, I_L – proud zátěží) [13]	39
Obr. 4.10 Schéma zapojení výkonové části.....	40
Obr. 6.1 XBee modul spolu s převodníkem UART-USB	42
Obr. 6.2 Syntaxe pro zaslání AT příkazu [9].....	43
Obr. 6.3 Hlavní obrazovka řídicí jednotky	46
Obr. 6.4 Uživatelské prostředí řídicí jednotky	47
Obr. 6.5 Obrazovka konfigurace intervalu	48
Obr. 6.6 Obsah zprávy vysílané řídicí jednotkou	48
Obr. 6.7 Obsah zprávy vysílané termostatickou jednotkou.....	48
Obr. 6.8 Diagram cyklu rozesílání zpráv koncovým zařízením.....	50
Obr. 6.9 Diagram přenastavení parametrů adresace koncového zařízení	52
Obr. 6.10 Diagram vyčtení teploty z čidla DS18B20.....	53

Obr. 9.1 Kompletní schéma řídicí jednotky	64
Obr. 9.2 Kompletní schéma termostatické jednotky	65
Obr. 9.3 DPS řídicí jednotky – strana TOP (125 x 87 mm)	66
Obr. 9.4 DPS řídicí jednotky – strana BOTTOM (125 x 87 mm).....	67
Obr. 9.5 Rozložení součástek na DPS řídicí jednotky – strana TOP	68
Obr. 9.6 Rozložení součástek na DPS řídicí jednotky – strana BOTTOM	69
Obr. 9.7 DPS termostatické jednotky (107 x 44 mm)	70
Obr. 9.8 Rozložení součástek na DPS termostatické jednotky – strana TOP	71
Obr. 9.9 Rozložení součástek na DPS termostatické jednotky – strana BOTTOM.....	72
Obr. 9.10 Fotografie hotového výrobku řídicí jednotky.....	73
Obr. 9.11 Fotografie hotového výrobku termostatické jednotky	73

Seznam tabulek

Tab. 4.1: Specifikace XBee modulů dle [9]	29
Tab. 6.1 Nastavení parametrů modulu XBee	45
Tab. 6.2 Knihovny pro práci s displejem	45
Tab. 9.1 Soupiska součástek řídicí jednotky	62
Tab. 9.2 Soupiska součástek termostatické jednotky	63

ÚVOD

V posledních letech se stále více a více rozmáhají různé metody úspor tepelné energie budov. Většina úprav, se záměrem ušetřit tepelnou energii, je spojována s regenerací obalových konstrukcí a hlavně jejich zateplením. K dosažení nízké spotřeby tepla na vytápění však významně přispívá i vhodná regulace teploty v domě.

Moderní metodou vytápění se v poslední době stává tzv. IRC neboli Individual Room Control. Jedná se o programově řízené vytápění jednotlivých místností podle individuálních požadavků, kde pro každou dílčí místnost existuje samostatný akční člen a příslušné čidlo. V referenční místnosti se pak nachází řídicí modul, pomocí něhož můžeme nastavovat otopové křivky jednotlivých místností. Pokud je IRC systém aplikován na teplovodní vytápění domu, je úkolem řídicího modulu i ovládání hlavního ventilu či čerpadla oběhové soustavy dle skutečné potřeby. Dále může řídicí jednotka komunikovat s čidly venkovní teploty a zohledňovat tak povětrnostní podmínky. Dochází tak k efektivnímu hospodaření s energií, nehledě na zvýšení teplené pohody v domě.

Na základě požadavku realizace větších sítí IRC přichází na scénu bezdrátová komunikace mezi jednotlivými moduly. Výhodou použití bezdrátových modulů je i jejich snadná integrace do již vybudovaného systému vytápění. Nabízí se tak možnost snadné rekonstrukce vytápění například v památkářsky chráněných objektech či běžných rodinných domech bez nutnosti distribuce komunikačních vodičů. Na poli bezdrátové komunikace se v poslední době začíná rozšiřovat technologie ZigBee, která je poměrně novým standardem platným od roku 2004 a je primárně určena do aplikací v průmyslu a do senzorových sítí s malými nároky na objem přenášených dat s vysokou úrovní bezpečnosti. Je tedy ideálním kandidátem pro vybudování IRC bezdrátového systému.

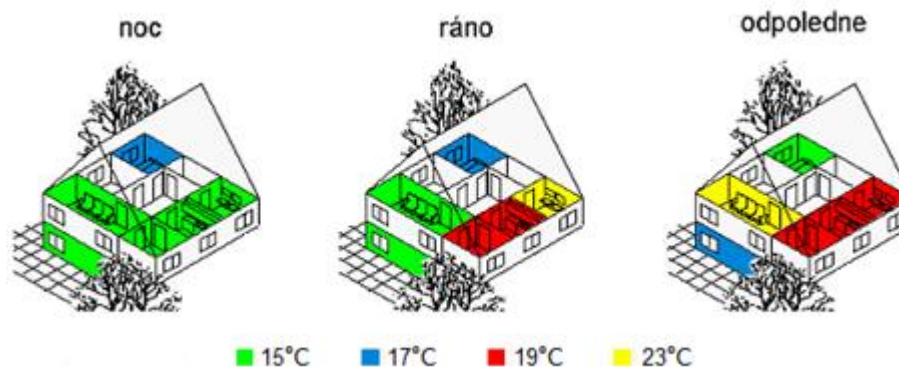
V této práci se tedy pokusím navrhnout IRC systém vytápění pro rodinný dům s využitím bezdrátového protokolu ZigBee.

1 PROBLEMATIKA IRC

V této kapitole je stručně popsán princip moderního vytápění IRC a jsou zde uvedeny možnosti jeho rozšíření na základě prostudování literatury [2].

1.1 Princip IRC vytápění

Jak jsem již v úvodu zmínil, zkratka IRC (Individual Room Control) označuje individuální vytápění jednotlivých místností domu. Tento systém je založen na myšlence, že v jednotlivých místnostech jsou požadavky na průběh a velikost teploty během dne rozdílné. Například pro obývací pokoj je ideální teplota kolem 22 °C v čase, kdy se vracíme z práce a následně až ve večerních hodinách. V intervalech mezi těmito časovými úseky může být teplota nižší. Jiné požadavky jsou kladeny na pracovní místnost či kancelář, kde je vhodné nepřetápět. Zde udržujeme teplotu v pracovních hodinách na hodnotě 19 °C a opět mimo aktivní dobu místnosti postačí teplota nižší. Další místností, kde není zapotřebí konstantní teplota po celý den je koupelna. Zde je vhodné udržovat teplotu na hodnotě 23 °C v ranních a večerních hodinách. Příklad obdobné konfigurace teplot v obytném domě je na Obr. 1.1.



Obr. 1.1 Příklad IRC vytápění dle [1]

Velkou výhodou IRC je fakt, že jsme schopni využít zisky tepla z oslunění a jiných zdrojů tepla, například osvětlení či elektroniky a zabránit tak zbytečné aktivaci topení. V případě typu vytápění, kde měříme teplotu pouze v referenční místnosti, nejsme schopni tomuto jevu zabránit.

1.2 Možnosti rozšíření IRC

Rozšíření IRC může představovat komplexnější správu vytápění, kdy je řídicí systém schopen utlumit vytápění v případě, že venkovní teplota stoupne nad určitou hranici či dojde k aktivaci chladících jednotek popř. otevření některého z oken domu. Další rozšíření může představovat propojení systému s počítačem, či GSM modulem, kdy by bylo umožněno ovládání systému na dálku pomocí e-mailů či textových zpráv z mobilu.

1.3 Předchůdce IRC

V dnešní době můžeme za předchůdce IRC systému považovat mechanické termostatické hlavice radiátorů, které v sobě integrují čidlo teploty, regulátor i akční člen v podobě vlnovce, který v závislosti na teplotě otvírá či zavírá ventil. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je nemožnost nastavení časového průběhu žádané teploty a umístění čidla teploty v těsné blízkosti radiátoru.

2 TECHNOLOGIE ZIGBEE

Cílem této kapitoly je prozkoumat možnosti a vlastnosti bezdrátové technologie ZigBee, která bude v tomto projektu využita ke komunikaci mezi jednotlivými jednotkami IRC systému. Je zde stručně popsána koncepce a význam jednotlivých vrstev ISO/OSI modelu ZigBee nutný k pochopení funkčnosti komunikace.

2.1 Historie

ZigBee je poměrně mladá komunikační technologie založená na standardu IEEE 802.15.4. Byla navržena pro spojení nízko-výkonových zařízení v sítích WPAN (Wireless Personal Area Network) na vzdálenosti až 70 metrů bez přímé viditelnosti v závislosti na použité anténě. V začátcích se na vývoji podílely společnosti ZigBee Alliance a IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Společně vytvořili specifikaci protokolu IEEE 802.15.4, který byl dokončen v roce 2003 a následně společnost IEEE pokračovala v definici dvou nejnižších vrstev modelu ISO/OSI (fyzické a spojové vrstvy). O vytvoření vyšších vrstev (od síťové až po aplikační) se mezitím postarala ZigBee Alliance, která v současné době zastřešuje skupinu více než 3000 společností jako je Ember, Freescale Semiconductor, ST Microelectronics, Emerson, Itron, Philips, Schneider Electric a další. Nejnovější schválená specifikace nese název ZigBee 2007/PRO. [3][4][5]

2.2 Hlavní rysy

Charakteristickými rysy pro ZigBee technologii jsou:

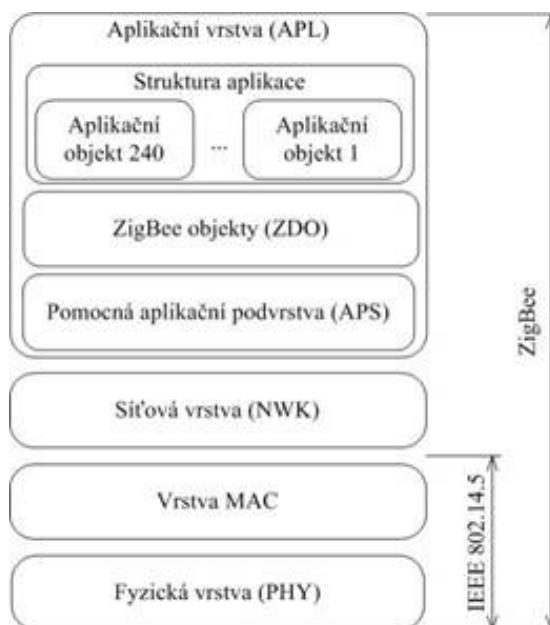
- malá přenosová rychlost – max. 250 kb/s pro pásmo 2,4 GHz
- aplikace na malé a rozlehlé sítě – ZigBee je schopna spravovat více než 65 tisíc zařízení
- poměrně malý dosah – typicky se pohybuje v desítkách metrů v závislosti na lokálních podmínkách šíření signálu
- malá spotřeba – desítky mA v režimu vysílání a jednotky μA v režimu spánku
- malé nároky na paměť procesoru (30-60 kB)

Vlastnosti takovéto technologie lze využít u aplikací, kde není zapotřebí vysoká komunikační rychlost a zároveň jsme odkázáni na bateriové napájení. Díky nízké spotřebě mohou zařízení pracovat po dobu několika měsíců až let v závislosti na množství přenášených dat.

Podobně jako Wi-Fi či Bluetooth pracuje ZigBee mimo jiné i v bezlicenčním ISM (Industrial, Scientific and Medical) pásmu 2,4 GHz. Vůči těmto dvěma technologiím má ZigBee nespornou výhodu v principu komunikace. Pracuje totiž s krátkou aktivní pracovní dobou od 0.1 % do 1 % pracovní periody. Díky tomu může využívat metody CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance and optional time slotting) k detekci volného kanálu. Zabraňuje se tak kolizím vysílaných dat, jelikož předtím než začne zařízení vysílat, zjistí zda-li je kanál volný. Pokud kanál volný není, počká, dokud nedojde k jeho uvolnění. [5][6]

2.3 Struktura ZigBee

Z hlediska ISO/OSI modelu je ZigBee rozděleno do čtyř vrstev, jak zobrazuje Obr. 2.1. První dvě nejnižší vrstvy jsou definovány standardem IEEE 802.14.5. Vyšší vrstvy (síťová a aplikační) jsou definovány ZigBee standardem.



Obr. 2.1: Struktura ZigBee podle [7]

2.3.1 Standard IEEE 802.15.4

Tento standard [4] byl vytvořen pro specifikaci nízko-rychlostní bezdrátové sítě (LR-WPAN – Low-Rate Wireless Private Area Networks), kde definuje požadavky na fyzickou a linkovou vrstvu a dále možné topologie sítě. Byl vyvíjen s požadavky na nízké výrobní náklady, malou přenosovou rychlost (v porovnání například s WiFi) a nízkou spotřebu pro možnost bateriového napájení.

2.3.1.1 Fyzická vrstva (PHY – Physical Layer)

Fyzická vrstva je zodpovědná za přenos a příjem dat, kdy používá specifický kanál s příslušnou modulací a rozprostřením signálu. Pro přenos se používají tři pásma a to 868 MHz kde je definován jeden přenosový kanál s rychlostí přenosu 20 kb/s, 915 MHz s deseti kanály o rychlosti 20 kb/s a 2.4 GHz s šestnácti kanály s přenosovou rychlostí až 250 kb/s. Důvodem k použití více pásem je rozdílnost v definicích frekvenčních pásem v různých zemích světa.

Přenos probíhá prostřednictvím DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), kde je každý jednotlivý bit určený k přenosu nejdříve nahrazen určitou sekvencí bitů (tzv. chipů), které mají pseudonáhodný charakter. Skutečně přenášená je pak tato sekvence bitů modulována na nosný signál. K modulaci se využívá O-QPSK (Offset Quadrature Phase-Shift Keying) nebo BPSK (Binary Phase-Shift Keying) modulace v závislosti na použitém frekvenčním pásmu. Signál je následně rozprostřen do větší části rádiového spektra a tím je méně citlivý na rušení. Zároveň je bez znalosti vytváření původní pseudonáhodné sekvence prakticky nemožné přenášená data zpět demodulovat. [5][6][8]

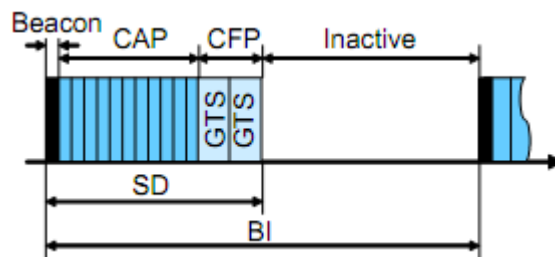
2.3.1.2 Linková vrstva (MAC – Media Access Control Layer)

Linková vrstva již definuje samotnou komunikaci, která je založena na přenosu datových rámců. Jsou definovány čtyři typy, jež jsou využívány pro přenos dat, řízení či správu sítě:

- MAC Command Frame – rámeček pro řízení a nastavování klientských zařízení
- Data Frame – rámeček pro přenos dat
- Acknowledgment Frame – rámeček pro přenos potvrzení informace

- Beacon Frame – rámeček používaný koordinátorem sítě; slouží k synchronizaci komunikujících zařízení, k identifikaci sítě PAN a k popisu struktury super rámce

V případě komunikace s využitím pomocných singálů (beacons) se pak přenáší tzv. super rámeček (Super Frame) vyobrazený na Obr. 2.2. Nejedná se o rámeček ve smyslu paketu jako u předchozích případů, ale o rozdělení času do určitých časových slotů. Super rámeček je tvořen dvěma částmi a to aktivní a pasivní. V aktivní části nejdříve zařízení vyšle pomocný signál – Beacon Frame, který slouží zejména k synchronizaci obou zařízení. Následuje interval pro CAP (Contention Access Period), kdy koordinátoři naslouchají a jsou připraveni přijmout data od podřízených zařízení. Podřízená zařízení v tomto intervalu vysílají data jen v případě nutnosti, jinak mohou být přepnuty do režimu spánku. Tato přístupová metoda komunikace se nazývá CSMA-CA. Dále následuje CFP (Contention Free Period) obsahující tzv. garantované timesloty GTS (Guaranteed Time Slots), které jsou vyhrazeny pro pomalá a prioritní zařízení. V druhé části rámce je zařízení v neaktivním stavu. [7][8]



Obr. 2.2: Struktura super rámce [8]

2.3.2 Vrstvy definované standardem ZigBee

Jak již bylo zmíněno, nejnovějším standardem upravujícím definice síťové a aplikační vrstvy je standard ZigBee 2007/PRO.

2.3.2.1 Síťová vrstva (NWK – Network Layer)

Vrstva obsahující funkce pro řízení ZigBee sítě. Hlavním úkolem je ovládání linkové vrstvy a vytváření vhodného propojení na aplikační vrstvu. Vykonává datový přenos (utváření, spojování a řízení) a realizuje směrovací funkce. [7]

2.3.2.2 Aplikační vrstva (APL – Application Layer)

Aplikační vrstva je nejvyšší vrstvou struktury standardu ZigBee. Je tvořena třemi částmi – Aplikační podvrstvou (APS – Application Support Layer), objektem ZigBee zařízení ZDO (ZigBee Device Object) a rámcem výrobcem definovaných aplikačních objektů (Application Objects). [7]

Úkolem aplikační podvrstvy je prohledávání sítě za účelem párování zařízení podle poskytovaných služeb a požadavků, což je realizováno pomocí tzv. párovací tabulky (binding table).

ZigBee objekt (ZDO) slouží k definici role jednotlivých zařízení v rámci sítě (koordinátor, směrovač, koncové zařízení). U zařízení v roli koordinátora nebo směrovače navíc umožňuje vzdáleně iniciovat prohledávání sítě a získávat směrovací nebo párovací tabulku. V neposlední řadě ZigBee objekt zodpovídá za zabezpečení komunikace.

Aplikační objekty umožňují využívání jednoho radiovysílače pro více aplikací najednou, díky integraci popisovačů jednotlivých aplikací.

2.4 Typy zařízení v Zigbee sítích

Z principu funkce se ZigBee síť skládá ze dvou typů zařízení. Prvním je „plně funkční zařízení“ (FFD – Full-Function Device) a druhým je zařízení „s redukovanou funkčností“ (RFD – Reduced-Function Device). V síti pak musí být jedno zařízení typu FFD pracující jako koordinátor sítě. Koncová zařízení již mohou být tvořena prvky RFD. V případě, že je koncové zařízení mimo dosah koordinátora může komunikovat přes směrovač, tedy další prvek sítě typu FFD. [5]

Nejdůležitějším typem je tedy koordinátor (coordinator), dalším je směrovač (router) a posledním je koncové zařízení (end device). [6]

2.4.1 Koordinátor

V jedné ZigBee síti může být koordinátorem pouze jedno zařízení, které je zodpovědné za vytvoření sítě. Tento prvek musí být na síti přítomen po celou dobu

funkce sítě, a proto je u něj nutné trvalé připojení k napájení. Není u něj totiž povolen žádný režim spánku a má tudíž větší nároky na napájení. Koordinátor provádí výběr volného rádiového kanálu a určení PAN ID (Personal Area Network Identifier).

2.4.2 Směrovač

Směrovače poskytují adresní informace o prvcích, které spravují. Mimo to mohou fungovat jako zdroje či příjemce dat. Vzhledem k obsluze spravovaných zařízení není u směrovačů povolen režim spánku, což má za následek vyšší nároky na napájení a stejně jako u koordinátora je vhodné napájet tyto prvky z elektrické sítě.

2.4.3 Koncové zařízení

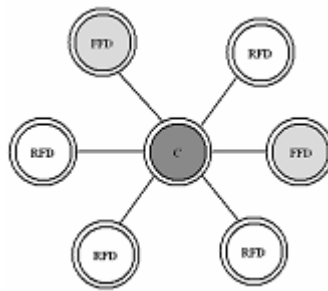
Tyto zařízení jsou koncovými uzly sítě a jejich komunikace je omezena na komunikaci pouze s jejich rodiči (spravujícími prvky). Nemohou tak zasílat data jiným zařízením než právě rodičům. Koncové zařízení jako jediné umožňují aktivaci spánkového režimu v době nečinnosti, což umožňuje realizovat napájení bateriemi.

2.5 Topologie ZigBee sítí

V této kapitole jsou popsány základní topologie sítí podporované standardem ZigBee. Topologie typu hvězda, strom a polygon.

2.5.1 Hvězda (Star)

V této topologii probíhá komunikace mezi koncovými zařízeními a řídicím členem, který má v síti výsadní postavení viz Obr. 2.3. Řídicí člen je koordinátorem sítě a je tedy „plně funkčním zařízením“ (FFD). Koncová zařízení mohou být jak typu FFD tak typu RFD. Teoreticky je možné komunikovat s více než 65 tisíci koncovými zařízeními RFD. [5] [6]

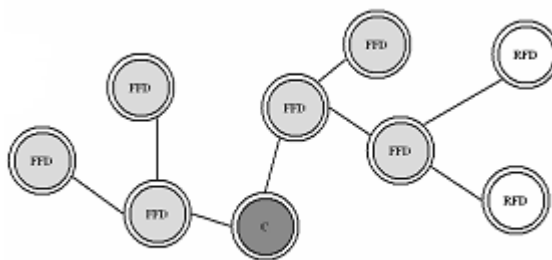


Obr. 2.3: Topologie hvězda

Za sestavení sítě je zodpovědný koordinátor a svou činnost začne vykonávat ihned po aktivaci. Nejdříve provede prozkoumání jednotlivých kanálů za účelem zdokumentování existujících sítí. Následně se pokusí o vytvoření vlastní sítě na volném kanálu a pro jednoznačnou identifikaci sítě zvolí tzv. PAN identifikátor (PAN ID). Což je 16-ti bitové číslo, které má za úkol rozlišení sítí, u kterých dochází k vzájemnému překrytí.

2.5.2 Strom (Tree)

V topologii typu strom má opět jedno zařízení výsadní postavení a ostatní fungují jako podřízená viz Obr. 2.4. Oproti topologii hvězda však koncová zařízení nemusí komunikovat s koordinátorem přímo, ale mohou využít jiné zařízení, které je ve funkci FFD tedy směrovače.



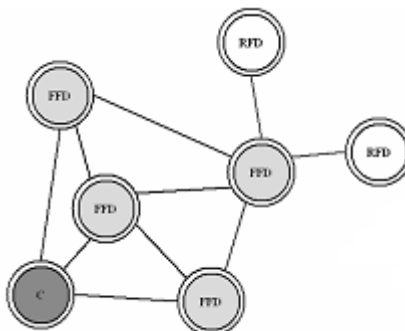
Obr. 2.4 Topologie strom

Při sestavování sítě se nejdříve vytvoří hlavní skupina, která je tvořena pouze koordinátorem. Po zvolení nepoužitého PAN ID začne koordinátor rozesílat okolním zařízením rámce s požadavkem o sestavení sítě. Zařízení, která tento rámec obdrží, mohou požádat o zařazení do hlavní skupiny. Pokud koordinátor povolí připojení do hlavní skupiny, stanou se podřízenými členy koordinátoru. Nově připojené FFD zařízení začnou nyní samy vysílat rámce s požadavkem na sestavení sítě a může tak

dojít k vytvoření stromové struktury sítě. Tímto způsobem lze vytvářet rozsáhlé sítě, protože dochází k předávání dat pomocí směrovačů a koncová zařízení tak nemusí být v dosahu koordinátora. Nevýhodou této topologie je vyšší datových tok přes směrovače sítě z čehož plynou vyšší nároky na napájení a menší rychlost přenosu dat.

2.5.3 Polygon (Mesh)

Poslední topologií je typ polygon (viz Obr. 2.5), která vznikne kombinací dvou předchozích topologií. Komunikace mezi koordinátorem a podřízenými prvky probíhá vícecestnou formou, což má za následek redundantní přenos dat. Z toho důvodu se tato topologie používá v případě, že je nutné zvýšit spolehlivost přenosu dat. Typickým použitím uskupení zařízení do polygonu jsou průmyslové senzorické sítě, zabezpečovací zařízení, zařízení životu nebezpečná atd.



Obr. 2.5 Topologie typu polygon

3 TEORETICKÝ NÁVRH IRC SYSTÉMU

V této kapitole je čtenář seznámen s navrženou strukturou celého řídicího systému. Jsou zde stanoveny požadavky na jednotlivé prvky systému a rozebrány možnosti řešení. Poslední část této kapitoly se věnuje návrhu koncepce samotných jednotek a na jeho základě jsou sestrojena bloková schémata.

3.1 Struktura systému

Celý systém regulace vytápění domu se skládá z řídicí jednotky umístěné v referenční místnosti a z jednotlivých termostatických jednotek, umístěných v dílčích místnostech domu (viz Obr. 3.1). Komunikace mezi těmito prvky probíhá bezdrátově pomocí protokolu ZigBee, který byl popsán v předchozí kapitole (2). Tato konfigurace umožňuje centrální řízení celého systému.

Uvažovanými výměníky tepla jsou teplovodní radiátory s elektrotermickými hlavicemi pro napájení 230 V AC, které jsou popsány v kapitole 4.4.3. V případě, že by byl systém aplikován na vytápění právě s teplovodními radiátory v rodinném domě, bylo by nutné doplnit systém o řízení zdroje energie, čili kotle případně tepelného čerpadla. Mezi nejprimitivnější způsoby ovládání kotlů patří ovládání pomocí bezpotenciálového kontaktu relé, avšak moderní kotle či tepelná čerpadla s automatickým provozem jsou často vybaveny specifickým komunikačním rozhraním mezi které patří např. OpenTherm. Návrh kotlové jednotky by proto vyžadoval individuální přístup vzhledem k použitému kotli. Z tohoto důvodu se návrhem kotlové jednotky nebudu zabývat. Navržený řídicí systém tak bude v základní konfiguraci (řídicí jednotka a termostaty) umožňovat realizaci vytápění bez řízení zdroje energie.

3.1.1 Řídicí jednotka

Úkolem řídicí jednotky je možnost zadávat otopové křivky pro jednotlivé místnosti a sledovat průběh aktuálních teplot. Je tedy nutné tento člen konfigurovat jako koordinátora bezdrátové sítě z čehož plyne požadavek na trvalé napájení z elektrické sítě. Rádiový modul konfigurovaný jako koordinátor totiž neumožňuje realizaci jakéhokoliv úsporného režimu viz kapitola 2.4. Má tedy větší nároky na napájení.

Z uživatelského hlediska by měla tato jednotka disponovat dostatečně velkým a přehledným displejem a komfortním ovládáním. Vybíral jsem tedy z grafických

displejů a jako ovládací prvky jsem zvolil čtyři tlačítka, kde dvě z nich slouží k listování v nabídkách a další dvě slouží jako akční tlačítka.

3.1.2 Termostatická jednotka a bezdrátové čidlo teploty

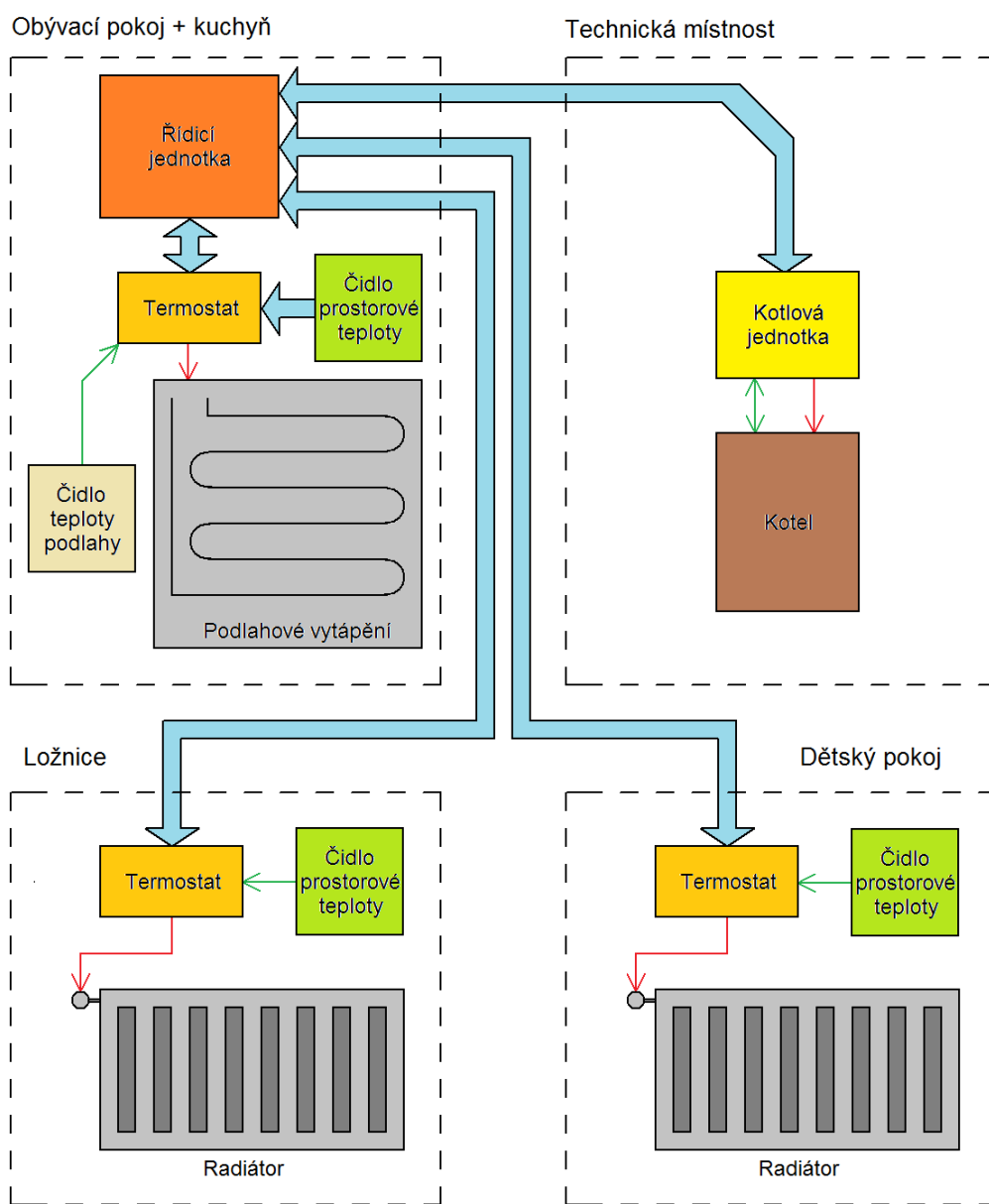
Termostatické jednotky zajišťují regulaci teploty v jednotlivých místnostech v závislosti na žádané teplotě zaslané řídicí jednotkou. Jsou opatřeny čidly teploty a výkonovými spínacími prvky. Čidla musí být schopna měřit teplotu v rozsahu alespoň 0 až 40 °C s přesností minimálně 0,5 °C. Výkonové prvky by měly být uzpůsobeny pro ovládání buď servopohonů nebo elektrotermických hlavíc. Napájení jednotky bude v tomto případě opět řešeno jako trvalé napájení z elektrické sítě.

Tato koncepce, kdy je měření teploty i ovládání akčních členů implementováno v jedné jednotce, bude zajišťovat možnost řízení vytápění menšího prostoru. V případě, že by fyzické propojení čidla s termostatickou jednotkou bylo limitujícím, naskytuje se zde možnost zvolit čidlo teploty také jako bezdrátové. Termostatická jednotka by byla pro modul měření teploty z hlediska hierarchie sítě nadřazeným systémem čili směrovačem, což je vzhledem k trvalému napájení termostatické jednotky reálné. Rádiový modul čidla teploty by tak fungoval jako koncové zařízení s možností přepínání do úsporného režimu v době nečinnosti. Napájení modulu měření teploty by bylo řešeno bateriově, z čehož plyne variabilita umístění v prostoru v případě nevhodné prvotní volby měřicího místa či při přestavbě nábytku. Koncepce se dvěma čidly je nutná i v případě podlahového vytápění, kde je nutné regulovat teplotu prostoru a zároveň sledovat teplotu povrchu podlahy, která z hygienických důvodů nesmí překročit teplotu 29 °C.




3.1.3 Topologie sítě

Na Obr. 3.1 je tedy vyobrazen příklad možné konfigurace IRC systému vytápění. Z teoretického hlediska nám ke komunikaci v síti postačuje topologie typu hvězda (při uvažování základní konfigurace), kdy centrálním prvkem je řídicí jednotka a jednotlivé termostaty představují koncové stanice. V důsledku omezeného dosahu bezdrátových modulů však může při sestavování sítě vzniknout požadavek na vytvoření topologie typu strom, kde komunikace mezi jedním ze směrovačů (termostatů) s koordinátorem sítě (řídicí jednotkou) neprobíhá přímo, ale přes další prvek sítě tzv. směrovač vyskytující se na přenosové trase viz kapitola 2.5. Avšak

vzhledem k předpokládané aplikaci řídicího systému v rodinném domě běžných rozměrů a k předpokládanému minimálnímu dosahu rádiových modulů přibližně 30 metrů ve vnitřních prostorech bude IRC systém vytvořen na topologii typu hvězda a to v základní konfiguraci termostatických jednotek (se senzory prostoru na fyzické sběrnici viz Obr. 3.1).



Obr. 3.1 Příklad možné konfigurace IRC vytápění

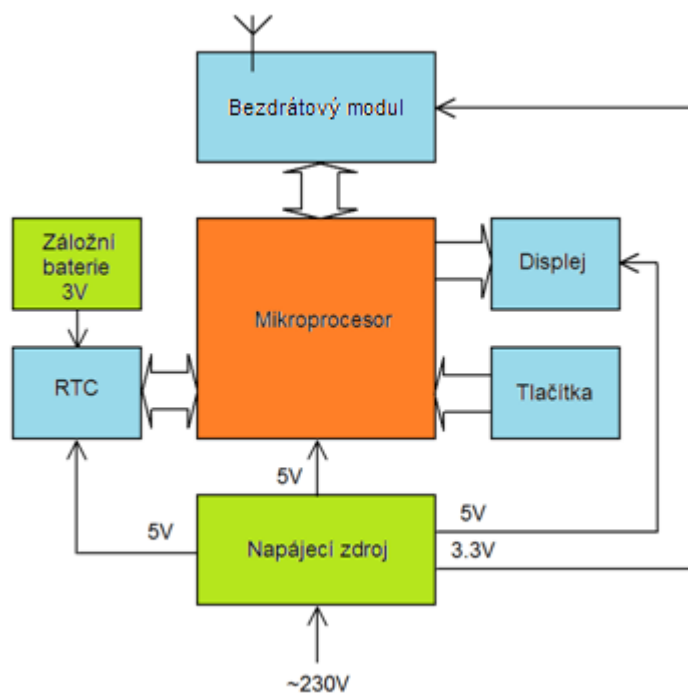
-  Tato šipka označuje bezdrátovou komunikaci ZigBee
-  Označení datové komunikace na fyzické sběrnici
-  Repräsentace fyzického propojení silovými vodiči

3.2 Koncepce jednotek

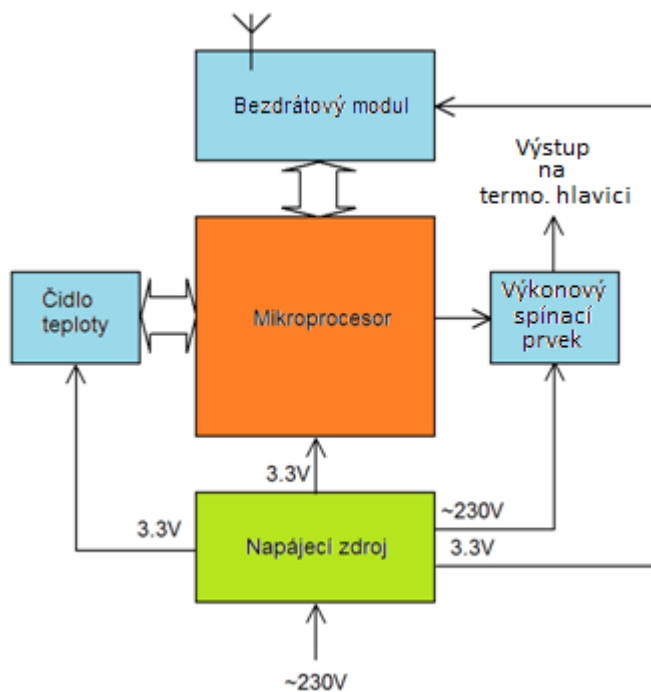
S koncepcí jednotek úzce souvisí volba provedení bezdrátových modulů. Nejrozšířenějším provedením je kompaktní řešení, které v sobě integruje jak RF (Radio Frequency) čip tak i řídicí mikrokontrolér. Jednotliví výrobci pak ke svým modulům dodávají svůj firmware mikrokontrolérů a tedy i svou implementaci ZigBee protokolu. Takovéto řešení obvykle disponuje komunikačním rozhraním SPI či UART a v průměru třemi až čtyřmi vstupně/výstupními piny pro obsluhu jednoduchých zařízení. Dále jsou na trhu k dispozici samotné RF moduly v podobě čipů, které je ovšem nutné vybavit řídicím mikrokontrolérem a vhodnou anténou, kterou lze realizovat určitým obrazcem na DPS či použitím prutové antény. Bohužel dosah toho zařízení s anténou na DPS je poměrně malý a prutová anténa je vzhledem k aplikaci nepraktická. Dále také komunikační protokoly pro tuto koncepci jsou obvykle vystavěny pouze na MAC vrstvě. Nejedná se tedy o plnohodnotné ZigBee.

Vzhledem k nejistému výsledku v případě modulárního provedení jsem se tedy rozhodl použít kompaktní moduly. Mým původním záměrem bylo do co největší míry využít integrovaných mikrokontrolérů a to z hlediska obsluhy všech zařízení jako jsou čidla, akční členy atd. U řídicí jednotky je však zapotřebí poměrně velké množství vstupů a výstupů, proto je zde použití externího procesoru nevyhnutelné. Jiná situace je u termostatické jednotky, kde by již počet vstupně/výstupních pinů integrovaného procesoru postačoval, ale pro úpravu programu by bylo nutné použít vývojových prostředků daného výrobce. Cena těchto zařízení je poměrně vysoká, proto jsem zvolil schůdnější cestu a externí procesor jsem použil i zde. V integrovaném procesoru bezdrátového modulu je tedy nahrán firmware pro obsluhu ZigBee sítě a externí procesor se stará o řízení dané jednotky. Výhodou tohoto řešení je možnost rozšíření termostatické jednotky například o malý displej zobrazující aktuální teplotu v místnosti nebo o tlačítka upravující lokální žádanou teplotu.

Na následujících obrázcích (Obr. 3.2 a Obr. 3.3) jsou nakresleny blokové schémata pro řídicí a termostatickou jednotku. Použití jednotlivých prvků vychází z požadavků kapitoly 3.1. U řídicí jednotky je pro realizaci přesného času použit RTC (Real Time Clock) obvod zálohovaný lithiovou baterií pro případ výpadku napájecího napětí. Jednotlivé části jednotek jsou pak popsány v následujících kapitolách.



Obr. 3.2 Blokové schéma řídicí jednotky



Obr. 3.3 Blokové schéma termostatické jednotky

4 HARDWAROVÝ NÁVRH

Cílem této kapitoly je výběr a popis jednotlivých součástí pro řídicí a termostatickou jednotku, jejichž bloková schémata a požadované vlastnosti byly uvedeny a popsány v předchozí kapitole.

4.1 Řídicí jednotka

4.1.1 Bezdrátový modul

Na trhu je dostupná celá řada bezdrátových modulů v kompaktním provedení a jsou založeny na procesorech drtivě většiny výrobců mikroprocesorů jako je Freescale, Ember, Atmel, MicroChip atd.

Při zkoumání nabídek jednotlivých výrobců jsem narazil na atraktivní moduly firmy MaxStream. Jejich konfigurace je možná pomocí sériové linky při jednoduchém propojení s počítačem. Za pomoci programu s poněkud exotickým názvem X-CTU je nejen možné provádět konfiguraci, ale i přehrávat firmware, což je důležitá vlastnost, jelikož jednotlivé moduly jsou prodávány v drtivě většině se základním firmwarem, který je určen jen pro realizaci koncových zařízení.

Po zhodnocení vlastností jednotlivých typů modulů jsem se rozhodl pro moduly druhé série tzv. XBee Series 2 (viz Obr. 4.1), které jsou vylepšenými verzemi série první. První série byla vytvořena na procesorech Freescale s neúplným ZigBee stackem, který neumožňoval například funkci modulu jako koncového zařízení. Druhá série je realizována na procesorech výrobce Ember a je pro ně vytvořen plnohodnotný ZigBee stack tzv. EmberZNet 2.5. Ve verzi PRO moduly disponují vyšším vysílacím výkonem a tím i větším dosahem (až 90 metrů oproti 40 metrům ve vnitřních prostorech u klasické verze). Avšak pro účely přenosu dat v domě běžných rozměrů by mělo vyhovět i základní provedení. Dále jsou na výběr tři typy provedení antén. Prvním je anténa realizována přímo na plošném spoji, která má nejmenší zisk. Druhou variantou je prutová anténa s největším ziskem a třetím typem je drátová anténa, která je kompromisem mezi rozměry antény a jejím ziskem. Zvolil jsem tedy třetí variantu provedení modulu, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 4.1. Moduly také disponují komunikačním rozhraním UART.



Obr. 4.1: Modul XBee Series 2

Specification	XBee Series 2
Performance	
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)
Transmit Power Output (software selectable)	2mW (+3dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-95 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Operating Current (Transmit)	40mA (@ 3.3 V)
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C
General	
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (Industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector

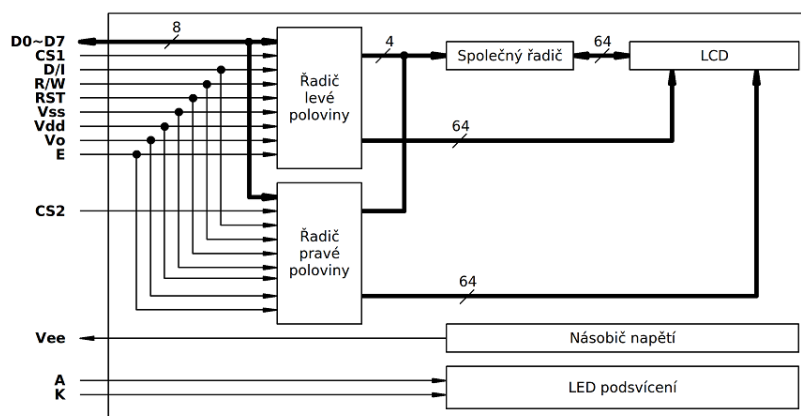
Tab. 4.1: Specifikace XBee modulů dle [9]

4.1.2 Grafický displej

Důvodem k použití grafického displeje je přehlednější zobrazení údajů a snadnější orientaci uživatele v programu. Vzhledem k faktu, že XBee moduly vyžadují napájecí napětí zhruba 3 V a všechny ostatní součástky řídicí jednotky je možné tímto napětím napájet také, pokoušel jsem se najít displej taktéž pro napájení 3 V. Bohužel se tyto displeje u běžných distributorů elektronických součástek buď vůbec nevyskytují, nebo jsou příliš drahé v kusovém množství. Zvolil jsem tedy grafický displej ATM12864,

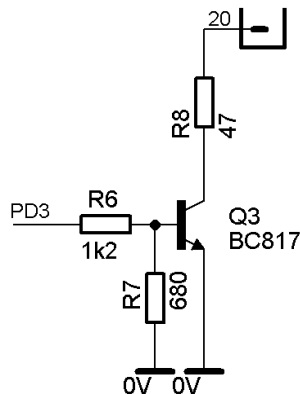
který je nutné napájet 5 V. Jeho rozlišením činí 128x64 pixelů, aktivní plocha zobrazení je 72x40 mm a bez LED podsvícení má spotřebu maximálně 15 mA. V případě aktivního podsvícení může spotřeba displeje dosahovat hodnoty až 100 mA v závislosti na požadované intenzitě.

Displej je řízen dvěma nezávislými řadiči KS0108 z nichž každý řídí jednu polovinu panelu o rozměrech 64x64 pixelů. Komunikace probíhá po datové a řídicí sběrnici, které jsou paralelní. Pro obsluhu displeje bude využita knihovna vytvořená v bakalářské práci Miroslava Skopala [21] proto se rozбором této problematiky nebudu dále zabývat. Blokové schéma je na Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Blokové schéma displeje z katalogového listu [12]

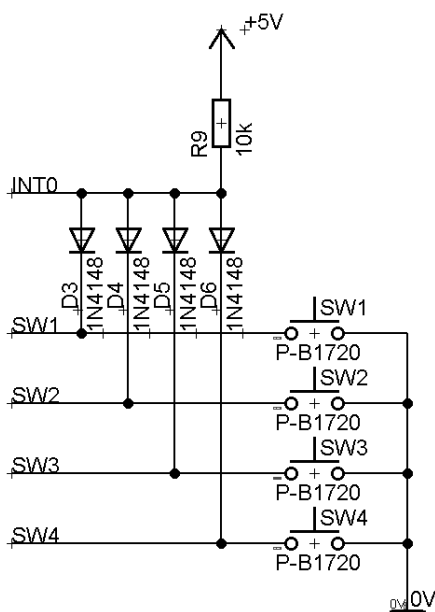
Podsvícení displeje je spínáno tranzistorem BC817 (Obr. 4.1). Anoda podsvěcovací LED diody je připojena na kladný pól napájení 5 V. Katoda podsvěcovací LED diody je přes odpor a tranzistor připínána na zem. Protékající proud a tedy i jas je dán odporem R8. Proud LED diodou je zhruba 70 mA. Se zvoleným vnuceným proudovým zesilovacím činitelem tranzistoru 20 pak bude muset do báze téct proud 3,5 mA. Proud odporem R7 volím 1 mA. Hodnota odporu R7 je pak dána ohmovým zákonem z napětí na přechodu BE tranzistrou a proudem 1 mA. Hodnota odporu R6 je dána podílem rozdílu napájecího napětí a napětí na přechodu BE tranzistoru a součtem proudů tekoucích do báze tranzistoru a odporem R7.



Obr. 4.1 Zapojení tranzistoru jako spínače podsvětlení displeje

4.1.3 Ovládací tlačítka

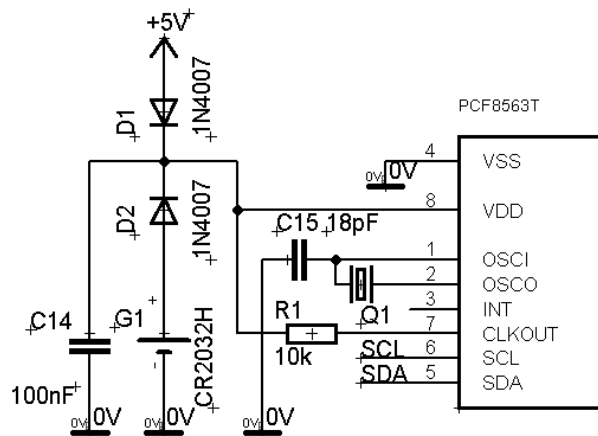
Pro ovládání řídicí jednotky jsou použity klasická tlačítka v přímém připojení k mikrokontroléru (Obr. 4.2). Připojení je realizováno negativní logikou, kdy je vstup mikrokontroléru připojen pomocí pull-up rezistorů na napájení. Vstup je tedy v klidovém stavu v úrovni log. 1 a při stisknutí tlačítka v úrovni log. 0. Zároveň je signál ze všech tlačítek přiveden přes oddělovací diody na vstup vnějšího přerušení mikrokontroléru INT0. Mikrokontrolér tak může být po celou dobu nečinnosti uspán a v okamžiku, kdy je zmáčknuto některé z tlačítek, dojde k probuzení mikrokontroléru a k vykonání přerušení, ve kterém se rozpozná konkrétní tlačítko a vykoná se příslušná operace.



Obr. 4.2 Zapojení ovládacích tlačítek

4.1.4 Obvod reálného času

Reálný čas je v řídicí jednotce realizován běžným kalendářovým RTC obvodem PCF8563 firmy PHILIPS. Ke komunikaci s mikrokontrolérem využívá dvou vodičovou sběrnici I²C a pro zálohu napájení jsem zapojení dle katalogového listu [16] doplnil o malou lithiovou baterii CR2032 namísto zálohovacího kondenzátoru, který je podstatně dražší. Aby nedocházelo k nechtěnému dobíjení baterie hlavním napájecím napětím, jsou od sebe tyto napětí odděleny dvěma diodami viz Obr. 4.3. Bateriový článek typu 2032 v tomto zapojení teoreticky vydrží 35 let. Jeho kapacita činí 180 mAh a odběr RTC obvodu je 550 nA při napájení 5V. Tudíž nemá smysl vyhodnocovat stav baterie mikrokontrolérem.



Obr. 4.3 Zapojení RTC obvodu PCF8563

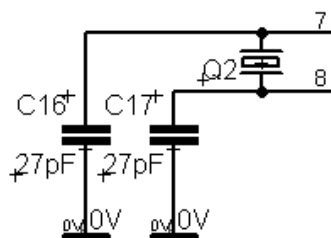
4.2 Mikrokontrolér

Při výběru řídicího mikrokontroléru je nutné uvažovat všechny komponenty, které bude muset mikrokontrolér obsloužit. Požaduje se, aby měl dostatečný počet vstupů a výstupů a disponoval potřebnými komunikačními rozhraními. Musí tedy disponovat rozhraním UART pro komunikaci s bezdrátovým modulem, dále I²C pro komunikaci s obvodem RTC. Výhodou bude rozhraní pro programování přímo v aplikaci. Dalším kritériem může být počet vstupů vnějších přerušení, časovačů/čítačů atd. V neposlední řadě je nutné zvolit dostatečné velikosti paměti a typ procesoru (8 bit, 16 bit, 32 bit).

Pro ovládání řídicí jednotky použiji běžný osmibitový mikrokontrolér firmy Atmel rodiny AVR, který disponuje všemi potřebnými perifériemi. Jedná se o typ ATmega32 [17], který je určen pro napájecí napětí 4.5 až 5.5 V a bude napájen

napětím 5 V. Jeho jádro je založeno na RISC hardvardské architektuře. Obsahuje dva osmibitové časovače/čítače a jeden šestnáctibitový. Dále je vybaven komunikačním rozhraním USART a I²C. Programová FLASH paměť má velikost 32 kB , paměť dat SRAM 2 kB a paměť EEPROM 1024 B.

Z hlediska správné funkčnosti je nutné procesor vhodně taktovat. Vybraný mikrokontrolér obsahuje vnitřní zdroj hodinového signálu s frekvencí 8 MHz. S ohledem na menší chybovost přenosu dat po sběrnici UART jsem však volil jako zdroj kmitočtu externí hodinový krystal s kmitočtem 7.3728 MHz, který je doplněn o keramické kondenzátory 27 pF dle manuálu [17]. Jedná se o Pierceovo zapojení (Obr. 4.4).



Obr. 4.4 Pierceovo zapojení krystalu mikrokontroléru

Pouzdro mikrokontroléru má šest napájecích pinů (tři piny VCC a tři GND). Kvůli stabilitě je na plošném spoji v těsné blízkosti napájecích pinů VCC umístěn blokovací kondenzátor 100 nF viz Obr. 10.5. Jelikož se v této aplikaci nevyužívá AD převodník, jsou příslušné piny AREF a AVCC připojeny rovněž na napájecí napětí VCC viz Obr. 10.1.

Pro zamezení vzniku problémů při nestabilním napájecím napětí, kdy má být procesor resetován je nutné procesor vybavit watchdog obvodem hlídající velikost napájecího napětí. Vybraný mikrokontrolér ATmega32 má však tento watchdog integrován v pouzdře a je možné jej nastavit na prahovou úroveň 2.7 V nebo 4.5 V.

4.3 Napájecí zdroj

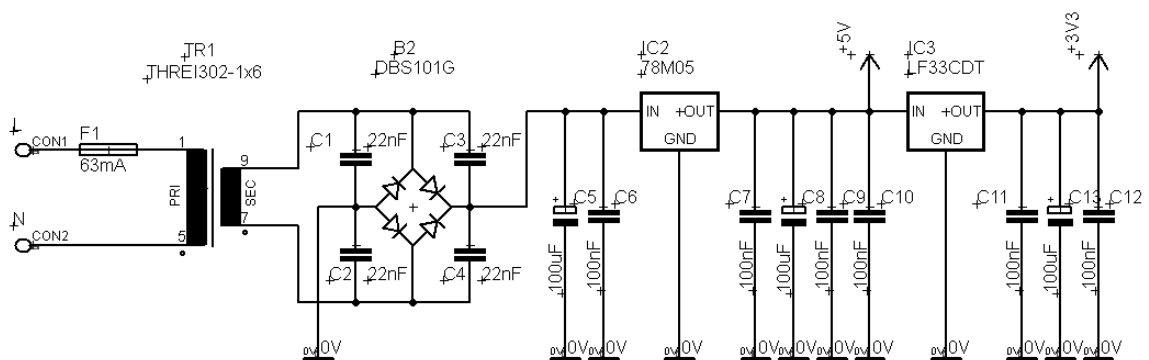
Napájecí zdroj řídicí i termostatické jednotky je možno řešit dvěma způsoby. Nejjednodušším způsobem je použití klasického síťového transformátoru, jehož hlavními nevýhodami jsou větší rozměry a malá účinnost. Avšak v případě uvažovaného příkonu celého zařízení kolem 1 W nejsou tyto fakta natolik kritická, aby

bránila jeho použití. Druhou variantou je spínaný zdroj, který má vyšší účinnost. Rozměrově je spínaný zdroj výhodnější až od vyšších výkonů. Problém spínaného zdroje je i odrušení harmonických složek, které mohou pronikat do sítě či napájené části. Vzhledem k tomu, že se v obou jednotkách vyskytuje citlivý bezdrátový modul, bylo od tohoto řešení upuštěno. Pro napájení tedy použijí obligátní zapojení lineárního zdroje se síťovým transformátorem.

Z hlediska výkonového dimenzování transformátoru u řídicí jednotky bude vyhovovat transformátor s výkonem 1.5 VA, maximální proudový odběr celého zařízení by totiž neměl překročit hodnotu 200 mA. Vycházím z předpokladu, že mikrokontrolér má spotřebu zhruba 20 mA, grafický displej při aktivním podsvícení 100 mA a bezdrátový modul zhruba 40 mA v aktivním stavu.

Jednotlivé diody u Graetzova můstku jsou blokovány keramickými kondenzátory 22 nF pro zamezení vzniku rušení při spínání viz Obr. 4.5.

Z hlediska stabilizovaného napájecího napětí je nutné mít k dispozici napětí 3.3 V pro bezdrátový modul a 5 V pro displej a mikrokontrolér. Pro stabilizaci napětí jsou proto použity integrované obvody s pevně definovaným výstupním napětím 3.3 V a 5 V, které jsou zapojeny do kaskády za sebe. Jedná se o obvody 78M05 a LF33CDT s maximálním proudem 1000 mA. Minimální hodnota vstupního napětí pro zajištění funkčnosti stabilizátoru musí být o 1,2 V vyšší než hodnota napětí výstupního, což je v návrhu zajištěno. [20]



Obr. 4.5 Zapojení napájecího zdroje řídicí jednotky

4.4 Termostatická jednotka

4.4.1 Bezdrátový modul

Typ bezdrátového modulu je zde totožný s bezdrátovým modulem řídicí jednotky. Liší se pouze v nahraném firmwáre.

4.4.2 Čidlo teploty

Na trhu se vyskytuje velká škála inteligentních čidel pro nenáročné použití v rozumných cenových relacích. Záměrně vybírám z inteligentních čidel, jelikož výhodou tohoto provedení je fakt, že u něj odpadá problém s linearizací a kalibrací měřicího rozsahu a ke své funkci nepotřebuje velké množství dalších součástek. Pro tuto aplikaci jsem vybral čidlo firmy Dallas Semiconductor s označením DS18B20, které je dostupné v běžných distributorských sítích.

4.4.2.1 Inteligentní čidlo teploty DS18B20

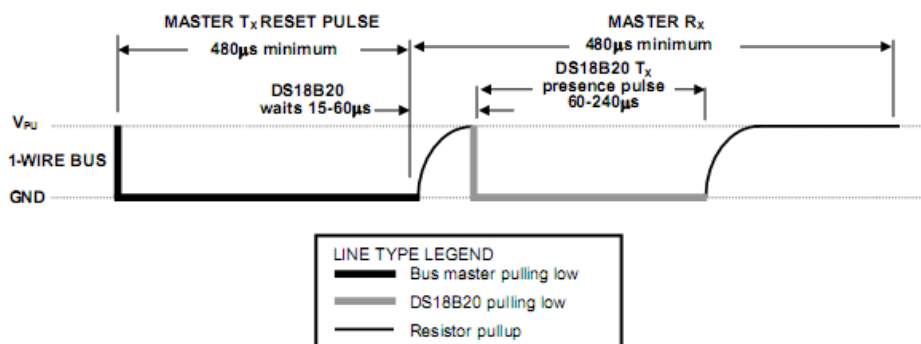
Čidlo disponuje převodníkem s rozlišením 9, 10, 11 nebo 12 bitů a přesností měření $\pm 0,5$ °C (při rozlišení 9 bitů) až $\pm 0,0625$ °C (při rozlišení 12 bitů) garantovanou v rozsahu teplot -10 °C až 85 °C, což pro mou aplikaci zcela postačuje. Kalibrace čidla je ve stupních Celsia a rychlost převodu naměřeného údaje při maximálním rozlišení 12 bitů činí 750 ms. Vzhledem k několikařádkově větší časové konstantě soustavy (vytápěné místnosti) je tato rychlost více než dostatečná.

K dispozici jsou tři typy pouzder. První dva typy jsou pouzdra určená pro SMT montáž. Jedná se o 8 pinová pouzdra SO a μ SOP. Já jsem pro svou aplikaci zvolil 3 pinové pouzdro TO-92, které je předurčeno pro připojení na kabel. Čidlo disponuje třemi vývody – V_{DD} , DQ, a GND. Vývody V_{DD} a GND slouží pro napájení, zatímco vývod DQ slouží jako datový vstup i výstup. Data jsou ze senzoru získávána pomocí jednovodičového sériového rozhraní. [11]

4.4.2.2 Sběrnice 1-Wire

Každé zařízení sběrnice 1-Wire obsahuje paměť ROM, ve které je obsaženo unikátní 64 bitové číslo, pomocí něhož je možné jednotlivé zařízení od sebe odlišit. Sběrnice má jeden řídicí obvod – master a jeden či více ovládaných zařízení – slave.

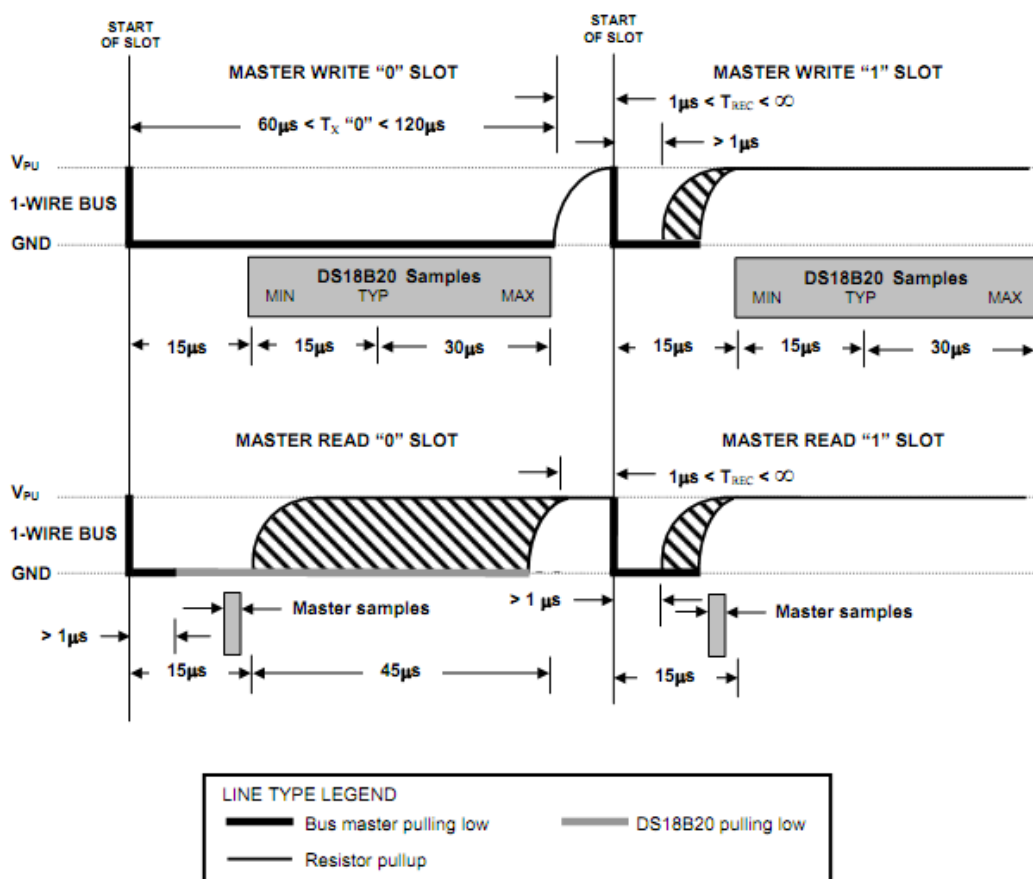
Komunikace mezi řídícím obvodem a ovládanými zařízeními funguje následujícím způsobem. Zahájení komunikace provádí vždy master resetovacím pulzem, kdy na datový vodič pošle log. 0 a v tomto stavu setrvá minimálně 480 μ s. Poté změní stav z log. 0 na log. 1 a naslouchá. Pokud je na sběrnici přítomný alespoň jeden slave obvod, detekuje slave tuto vzestupnou hranu a po určité prodlevě (15 až 60 μ s) vyšle na sběrnici log. 0 na dobu 60 až 240 μ s viz Obr. 4.6.



Obr. 4.6: Zobrazení průběhů signálů na sběrnici při zahájení komunikace; [11]

Po ohlášení slave zařízení řídícímu členu může začít vysílání a příjem dat. Data jsou vysílány v časových intervalech tzv. time slots. Jednotlivé timesloty jsou dlouhé přibližně 60 až 120 μ s a během jednoho cyklu timeslotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace.

Existují čtyři druhy timeslotů, jedná se o zápis a čtení log. 1 či 0. Zápis log. 1 probíhá tak, že master nejdříve nastaví na sběrnici úroveň log. 0 na minimálně 1 μ s a do 15 μ s od začátku tuto hodnotu změní na úroveň log. 1. V případě zápisu log. 0 master nastaví na sběrnici úroveň log. 0 a ponechá jí na této úrovni po celou dobu timeslotu (60 až 120 μ s). Čtení opět inicializuje master tím, že na sběrnici nastaví úroveň log. 0 na minimálně 1 μ s. Nyní může zařízení vyslat 1 bit. Pro názornější vysvětlení přikládám Obr. 4.7 z katalogového listu [11].



Obr. 4.7: Časování rámců sběrnice 1-Wire; převzato z [11]

4.4.2.3 Způsob napájení čidla

Čidlo je možné napájet dvěma způsoby a to klasickým způsobem nebo parazitně přes datovou sběrnici DQ. Výhodou parazitního napájení je menší počet potřebných vodičů pro propojení, ale limitujícím faktorem je možnost výpadku napájení při zatížení sběrnice. Výrobce udává nutnost použití spínacího MOSFET tranzistoru pro přímé připojení sběrnice na napájecí napětí v době konverze naměřeného údaje či zápisu ze scratch-pad paměti do EEPROM. Jelikož v řešené aplikaci nebude vzdálenost mezi měřicím místem a řídicí jednotkou nijak kritická a na jedné sběrnici bude zapojeno jen jedno čidlo, bude využito klasického tří-vodičového zapojení.

4.4.3 Akční člen

Jako akční člen je v systémech vytápění domů možno uvažovat dvě varianty. První méně rozšířenou je použití malého servo motoru spolu s klasickým ventilem topení. Tento systém je na trhu dostupný bohužel pouze v hotových sestavách regulačních systémů. Výhodou je možnost nastavení přesné polohy ventilu, naopak nevýhodou je

hlučnější provoz. Druhou variantou je použití tzv. termoelektrické hlavice. Jedná se o systém, který lze jednoduše nainstalovat opět na klasické ventily radiátorů. Termoelektrická hlavice se z principu funkce skládá ze dvou hlavních částí. První je voskové médium s velkou teplotní roztažností a druhou částí je topné tělísko, které je umístěno v těsné blízkosti voskového média. Při průchodu elektrického proudu topným prvkem dochází ke vzniku tepla a zahřívání voskového média. Voskové médium zvětšuje svůj objem čímž dochází k interakci s čepem ventilu a následně k přiškrcení samotného potrubí. Úhel otevření ventilu lze plynule nastavovat pomocí střídavé pulsně šířkové modulace (PWM – Pulse Width Modulation). [22]

Dostupnost těchto typů akčních členů je značně lepší než u první varianty a u většiny prodejců se ceny těchto prvků pohybují v cenové relaci od 500 Kč. Na výběr jsou hlavice pro napájení 230V AC či 24V DC v provedení NC (Normally Closed) nebo NO (Normally Opened). Pro navrhovaný IRC systém byla tedy zvolena termoelektrická hlavice Siemens STA21 pro napájení 230V AC. Důvodem pro volbu střídavého napájení je dosažení vyšší účinnosti díky absenci napájecího zdroje.



Obr. 4.8 Termoelektrická hlavice Siemens STA21 [22]

4.4.4 Výkonový spínací prvek

Pro ovládání elektrotermických hlavic s napájením 230 V AC se nabízí použití dvou typů spínacích prvků. První variantou je elektromagnetické relé. Jeho nevýhodou je mechanické omezení v rychlosti spínání a s tím spojené opotřebení kontaktů. Záleží tedy na zvoleném algoritmu řízení. Nevýhodou je ale také proudový náraz při zapnutí a s tím spojené rušení v síti. Nezanedbatelným faktorem je i velký budicí proud cívky.

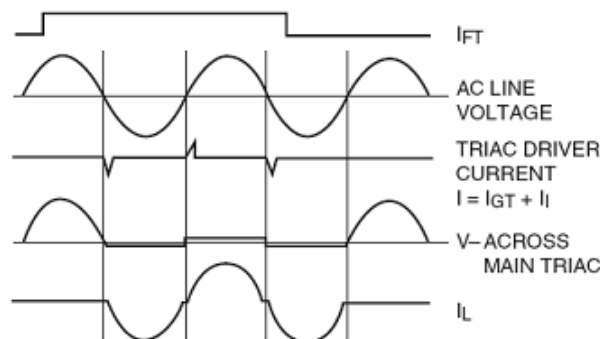
Druhou variantou je použití polovodičového spínacího prvku – triaku, což umožňuje realizovat algoritmy řízení s četnými akčními zásahy. Na triaku

pochopitelně vzniká větší výkonová ztráta než na sepnutém kontaktu elektromagnetického relé, avšak v případě spínání proudu elektrotermické hlavice, kdy proud dosahuje špičkových hodnot v řádu stovek miliampér, je tento fakt zanedbatelný.

Pro řízení triaků jsou na trhu dostupné řídicí integrované obvody, které zajišťují galvanické oddělení pomocí optočlenu a spínání v nule. Díky spínání zátěže právě v okamžiku, kdy je střídavé napětí nulové, dochází k omezení rušení na minimum.

4.4.4.1 Optotriak pro řízení výkonového triaku

Nejdostupnějšími optotriaky s obvody detekující průchod napětí nulou jsou součástky s označením MOC30xx. Jednotlivé modely se liší převážně jen maximálním napětím, velikostí řídicího proudu a typem pouzdra. S ohledem na napěťové špičky v síti (uvažují napájení 230 V AC) je nutné tento prvek dimenzovat na špičkové napětí 600 V. V úvahu tak připadá optotriak s označením MOC3063 jehož funkce je znázorněna na Obr. 4.9. Z obrázku je zřejmé, že dochází ke zpoždění při sepnutí i vypnutí mezi řídicím a řízeným napětím, které však v této aplikaci nemá na kvalitu regulace vliv.



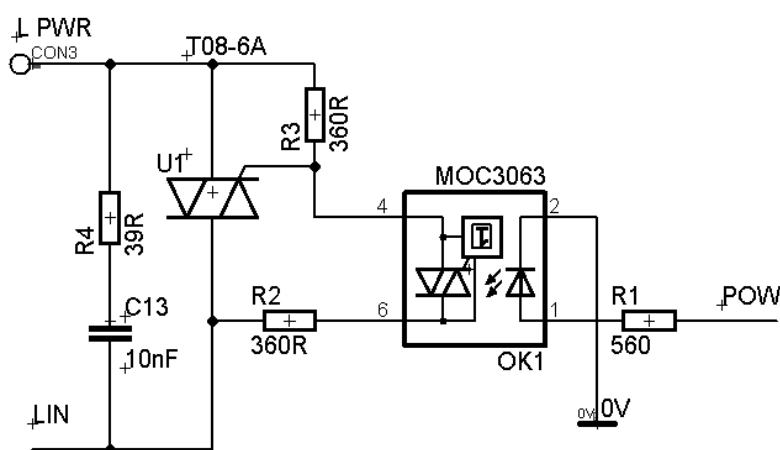
Obr. 4.9: Časové průběhy proudů optotriaku (I_{FT} – řídicí proud, I_L – proud zátěže) [13]

4.4.4.2 Výkonový triak

Výkonový triak je nutné dimenzovat napěťově i proudově. Napěťově je nutné prvek dimenzovat na max. špičkové napětí 600 V ze stejného důvodu jako u optotriaku. Proudové zatížení triaku dosahuje v případě výše popsané termoelektrické hlavice maximální hodnoty 300 mA při zapnutí. V ustáleném stavu pak proud klesá na hodnotu zhruba 12 mA. Vyhoví zde tedy jedny z nejmenších typů triaků na trhu. Byl

vybrán typ T08-6A, jehož špičkový jednorázový neopakovatelný proud činí 8 A a efektivní proud 1 A. [14]

Schéma zapojení triaku spolu s řídicím obvodem viz Obr. 4.10 je převzato z katalogového listu [13]. Jedinou úpravou byla změna hodnoty sériového odporu na straně řízení. Podmínkou je totiž budicí proud přibližně 5 mA. Pro napájení 3.3 V pak hodnota odporu činí 560 Ω .



Obr. 4.10 Schéma zapojení výkonové části

4.5 Mikrokontrolér

Pro termostatickou jednotku jsem použil procesor stejné řady jako u řídicí jednotky, ale s menší kapacitou programové FLASH paměti. Jedná se o typ ATmega8L, který je určen pro napájení 2.7 až 5.5 V a bude napájen napětím 3.3V. Hodinový krystal má opět frekvenci 7.3728 MHz ze stejných důvodů jako u řídicí jednotky. [18]

4.6 Napájecí zdroj

Termostatická jednotka obsahuje obdobný zdroj jako řídicí jednotka. Stabilizované napájecí napětí je zde však pouze 3.3 V. Hladina 5 V zde není zapotřebí. U termostatické jednotky je odebíraný proud ze zdroje mnohem nižší a jeho předpokládaná hodnota v aktivní době XBee modulu je zhruba 60 mA. Pro tuto jednotku by tedy měl vyhovovat transformátor s výkonem 0.5 VA, výstupním napětím 6 V a maximálním proudem sekundárního vinutí 83 mA. [19]

Napájení termostatické hlavice je 230 V AC a je spínáno triakem viz kapitola 4.4.4.

5 VÝROBNÍ POSTUP

Návrh plošných spojů je proveden v programu Eagle 5.0.0. Plošný spoj řídicí jednotky byl vzhledem k složitosti zařízení navrhnut jako oboustranný v SMD provedení. Naopak termostatická jednotka je realizována pouze na jednostranný plošný spoj taktéž v SMD provedení.

5.1 Návrh plošných spojů

Při návrhu DPS jsem kladl důraz na dodržování základních pravidel tvorby plošných spojů. Zejména jde o vhodné rozmístění součástek, dále o dodržování bezpečných vzdáleností mezi jednotlivými vodivými cestami (zejména v primárních částech napájecích zdrojů). Důležitým faktorem ovlivňujícím konečnou funkčnost zařízení jsou také délky jednotlivých spojů, rozmístění blokovacích kondenzátorů na napájecích větvích atd.

5.2 Realizace a oživení

První série plošných spojů byla realizována v amatérských podmínkách bez prokovů. Osazování a pájení bylo taktéž ruční. Postup při osazování byl od nejmenších a zároveň nejméně citlivých součástek na teplo tzn. rezistory, patice, mechanické komponenty. Jako poslední byly osazeny největší prvky a polovodičové součástky.

Při realizaci jsem se setkal s problémem osazení Xbee modulů, které mají netypickou rozteč pinů. Klasická rozteč pinů patic je 2,54 mm. Patice Xbee modulů však mají rozteč 2,0 mm a u běžných distributorů elektronických součástek nejsou tyto typy k dispozici. Řešením je tak objednání těchto patic v zahraničí případně osazení jednotlivých pozlacených pinů patice bez pevné rozteče.

Samotnému ožívání předcházela vizuální kontrola osazených součástek. Ožívání probíhalo po částech, kdy jako první byly zprovozněny napájecí zdroje, následně mikrokontroléry a jako poslední byly zprovozněny periferie.

6 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ JEDNOTEK

V této části je popsáno programové vybavení jak řídicí tak termostatické jednotky. Je zde vysvětlen princip funkce ovládání celého IRC systému vytápění.

6.1 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka obsahuje dva mikrokontroléry. Jeden je zabudován v bezdrátovém XBee modulu a obsahuje firmware pro komunikaci pomocí ZigBee protokolu. První kapitola se proto zabývá konfigurací právě tohoto modulu. Druhá kapitola pak pojednává o programu implementovaného do mikrokontroléru ATmega 32, který je srdcem řídicí jednotky.

6.1.1 Firmware mikrokontroléru XBee modulu

Bezdrátové moduly je možné sériovou linkou propojit s PC a pomocí programu XCTU výrobce MaxStream je možné do modulů nahrát potřebný firmware. Na výběr je mezi firmwary pro směrovač (router), koncové zařízení (end device) a koordinátor (coordinator). Dále je nutné vybrat mezi módy AT a API. Význam těchto zkratk popíší v následujících kapitolách. Nezbytné je i nastavení parametrů modulu, které je rozebráno v kapitole 6.1.1.4.

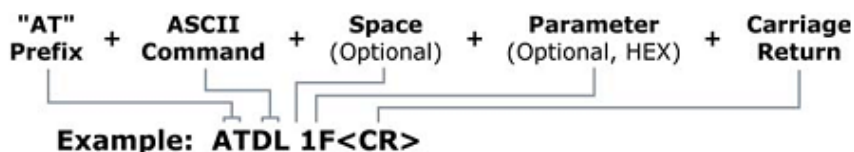


Obr. 6.1 XBee modul spolu s převodníkem UART-USB

6.1.1.1 AT příkazy

Parametry modulu je možno modifikovat tzv. AT příkazy. Jedná se o specifickou sekvenci znaků, která začíná znaky „AT“ poté následují dva znaky definující

konkrétní příkaz, dále mezera a parametr příkazu. Posledním znakem je návrat na nový řádek.



Obr. 6.2 Syntaxe pro zaslání AT příkazu [9]

6.1.1.2 Transparentní mód

V transparentním módu se XBee zařízení chová jako náhrada sériové linky tzn. všechna data přijatá na vstup jsou pakétována a rádiově vyslána k adresátovi. Data jsou nejdříve ukládány do vstupního bufferu a k jejich odeslání dojde po splnění jedné z následujících podmínek:

- 1) Po určitou dobu (definovanou parametrem RO) nejsou přijaty žádná data. V případě, že je parametr RO nastaven na hodnotu 0, začíná pakétování ihned po obdržení prvního znaku.
- 2) Dojde k naplnění vstupního bufferu (kapacita vstupního bufferu je 72 znaků).
- 3) Je přijata specifická posloupnost AT příkazů (GT + CC + GT).

Modul je v transparentním módu možno konfigurovat pomocí AT příkazů po přepnutí do příkazového módu (Command Mode). Do příkazového módu se vstupuje po jedné sekundě bez přenosu dat (možno nastavit parametrem Guard Time), zasláním příkazu „+++“, na který musí modul odpovědět zprávou „OK“. Dále je možno konfigurovat všechny parametry modulu dle tabulky příkazů viz manuál [9].

Adresát je určen adresou v parametrech modulu DH (Destination Address High) a DL (Destination Address Low). Existují tři typy rozesílaných zpráv. Zprávu je možno poslat jednomu adresátovi (Unicast Transmission) nebo všem adresátům (Broadcast Transmission), popř. určité skupině adresátů (Multicast Transmission). V této aplikaci IRC vytápění však není nutné využívat jiné rozesílání než unicast, jelikož každá zpráva má specifického adresáta.

6.1.1.3 API mód

API (Application Programming Interface) mód je alternativním módem k defaultnímu transparentnímu módu. V API módu jsou všechna data vstupující a

vystupující z modulu ve formě rámců, které kromě samotných dat obsahují stavové informace modulu a příkazy pro adresáta. Výhodou je tedy kompaktnější způsob komunikace, kdy není zapotřebí vstupovat do příkazového módu. Nevýhodou je naopak větší složitost a nepřehlednost zpráv zejména při ladění komunikace.

Z tohoto stručného popisu je zřejmé, že se jedná o mód určený zejména pro rozlehlé sítě, kdy by se přepínání mezi adresáty stávalo limitujícím.

6.1.1.4 Nastavení parametrů modulu

Pomocí programu X-CTU byly nastaveny parametry , které jsou uvedeny v tabulce Tab. 6.1. Prvním parametrem je PAN ID. Jedná se o identifikační číslo sítě, které je libovolné, ale musí být v dané rádiové oblasti specifické. Dále je vhodné nastavit parametr SC, který specifikuje počet kanálů, které má koordinátor při startu skenovat. Parametrem SD určíme jak dlouho se bude skenovat každý z kanálů. Časový interval ve kterém se mohou koncové zařízení ohlašovat koordinátorovi je dán parametrem NJ-Node Join Time. Parametr MY je síťová adresa zařízení. Každý z modulů je však v síti jednoznačně specifikován svou 64 bitovou adresou v parametrech SH a SL. Musí být tedy jedinečná. Parametr PL určuje vysílací výkon modulu a je zde nastaven na nejvyšší možný. V neposlední řadě je nutné nastavit i vlastnosti sériové komunikace. Rychlost 9600 Bd a bez parity. Posledním parametrem, který jsem upravoval byl parametr RO definující dobu za kterou má dojít k paketování zprávy od poslední přijatého znaku. Jedná se o násobek doby přenosu jednoho znaku po sériové lince.

Parametr	Zkratka parametru	Natavená hodnota
PAN ID	ID	234
Scan Channels	SC	0x0E (3)
Scan Duration	SD	3 (0.36 s)
Node Join Time	NJ	0x40 (64 s)
16-bit Network Address	MY	1DFE
Serial Number High	SH	13A200
Serial Number Low	SL	40649B6C
Destination Number High	DH	13A200
Destination Number Low	DL	40624DCA
Power Level	PL	4-Highest
Baud Rate	BD	3-9600
Parity	NB	0-No parity
Packetization Timeout	RO	4

Tab. 6.1 Nastavení parametrů modulu XBee

6.1.2 Software mikrokontroléru Atmega32

6.1.2.1 Ovládání grafického displeje

Prvním úkolem při vytváření programu bylo zprovoznit grafický displej. Jak už jsem se zmínil v popisu displeje, pro jeho ovládání je využita hotová knihovna, která je velmi dobře propracována. Jedná se o bakalářskou práci Miroslava Skopala.

Funkce pro práci s displejem jsou rozděleny do několika knihoven, které jsou shrnuty v následující tabulce.

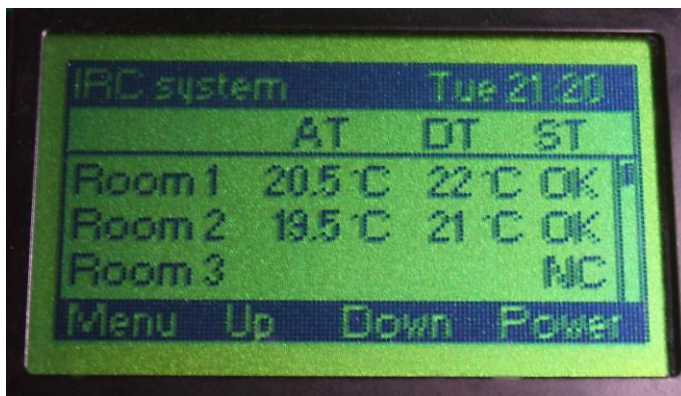
Hlavičkový soubor	Obsah
ks0108.h	Knihovna pro ovládání řadiče KS0108
avrlcd_fonts.h	Knihovna pro práci s textem
font.h	Knihovna znaků
avrlcd.h	Knihovna pro práci s grafickými objekty

Tab. 6.2 Knihovny pro práci s displejem

6.1.2.2 Grafické rozhraní a uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí je rozděleno na hlavní obrazovku, která má informativní charakter a na jednotlivé položky menu, které slouží k nastavování vlastností řídicí

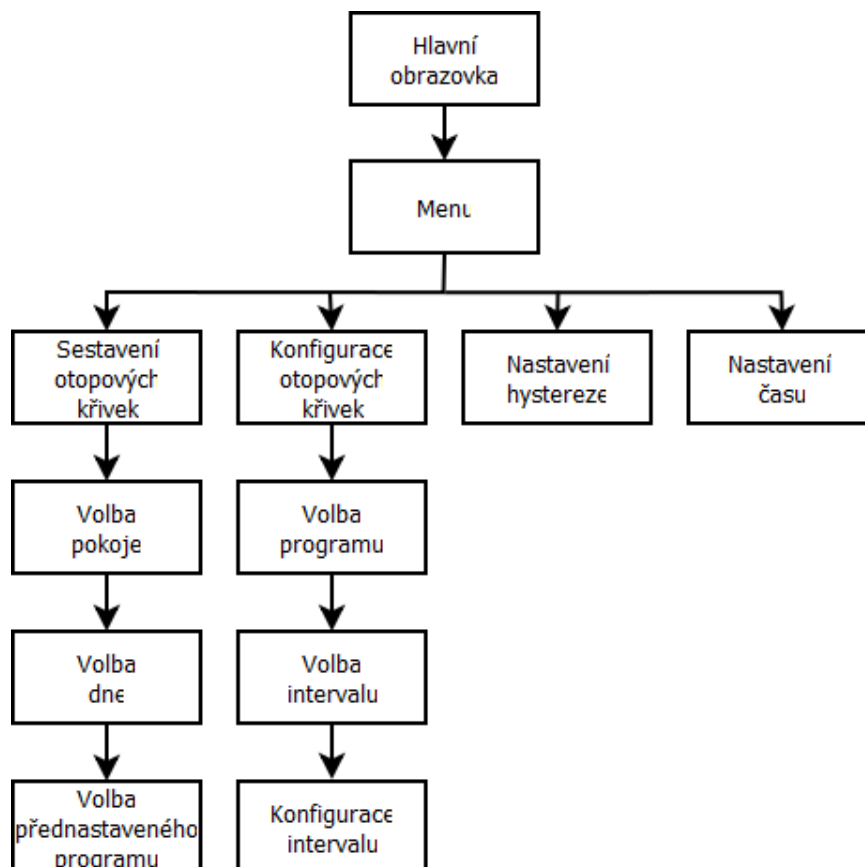
jednotky. Obsluha řídicí jednotky je na hlavní obrazovce (Obr. 6.3) informována o požadované a aktuální teplotě jednotlivých místností, dále o stavu termostatů, zda-li jsou v dosahu či nikoliv.



Obr. 6.3 Hlavní obrazovka řídicí jednotky

Je zde vypsán i den v týdnu a aktuální čas. Hodnoty pod znaky „AT“ jsou aktuální teploty v místnostech (název plyne od slovního spojení „Actual Temperatures“). Pod znaky „DT“ jsou požadované teploty („Desired Temperatures“) a pod znaky „ST“ jsou indikovány stavy zařízení („State“). Pokud je vše v pořádku, je ve stavu daného pokoje slovo „OK“. V případě, že se termostatická jednotka daného pokoje neohlásila, je ve stavu zobrazeno „NC“ – Not Connected. Poslední zprávou, která může být ve stavu zobrazena je „Err“ a ta signalizuje chybu při konfiguraci bezdrátového modulu řídicí jednotky.

Tlačítka „Up“ a „Down“ může uživatel listovat v zobrazovaných teplotách jednotlivých pokojů. Ke snadnější orientaci slouží postranní posuvník. Tlačítkem „Menu“ se uživatel dostává do hlavního menu řídicí jednotky. Má zde možnost konfigurovat jednotlivé otopové křivky a přiřazovat je jednotlivým pokojům. Je zde možnost nastavit i hysterezi pro termostaty a to globálně. Hysterezi je možno zvolit v rozsahu ± 0.1 po ± 0.5 °C. Dále může uživatel upravit čas řídicí jednotky, který je zde naprogramován s přesností na minuty. Tlačítkem „Power“ je celý systém vypnut a řídicí mikrokontrolér je uspan. Na displeji se zobrazí hláška o vypnutí systému a po chvíli dojde i k vypnutí podsvícení displeje.



Obr. 6.4 Uživatelské prostředí řídicí jednotky

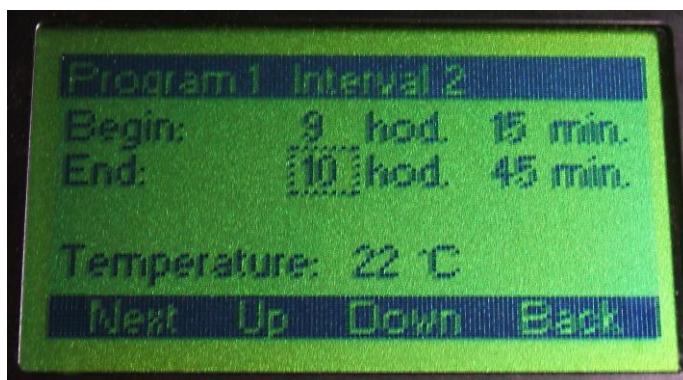
6.1.2.3 Komunikace s RTC obvodem PCF8563

Obvod reálného času komunikuje s hlavním procesorem po sběrnici I²C. V pravidelných intervalech se z registrů RTC obvodu vyčítá čas v BCD kódu. V obvodu PCF8563 je čas uložen ve formátu rok, měsíc, den, den v týdnu, hodiny, minuty, vteřiny. V případě, že se aktuálně vyčtená hodnota liší od minulé, dojde k překreslení údaje na displeji.

6.1.2.4 Otopové křivky a komunikace s koncovými prvky sítě

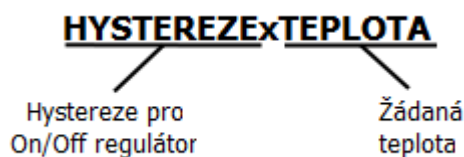
Nastavování otopových křivek jednotlivých místností se děje následujícím způsobem. Uživatel nejdříve nakonfiguruje otopové křivky (Obr. 6.5), které následně přiřadí k jednotlivým dnům v týdnu dané místnosti. Regulátor má tedy týdenní program, kde ke každé místnosti lze v jednotlivých dnech přiřadit jeden z osmi přednastavených denních programů. U každého denního programu je možné nastavit až pět intervalů s požadovanou teplotou. Dále je také možné nastavit teploty v neaktivních dobách

topných intervalů místností tzv. útlumové teploty. V případě, že se nastavené topné intervaly překrývají, má nejvyšší prioritu interval s nižším pořadovým číslem.



Obr. 6.5 Obrazovka konfigurace intervalu

Řídicí mikrokontrolér rozesílá v určitých intervalech aktuální žádanou teplotu jednotlivým termostatům spolu s informací o nastavené hysterezi pro regulátory (viz Obr. 6.6).



Obr. 6.6 Obsah zprávy vysílané řídicí jednotkou



Obr. 6.7 Obsah zprávy vysílané termostatickou jednotkou

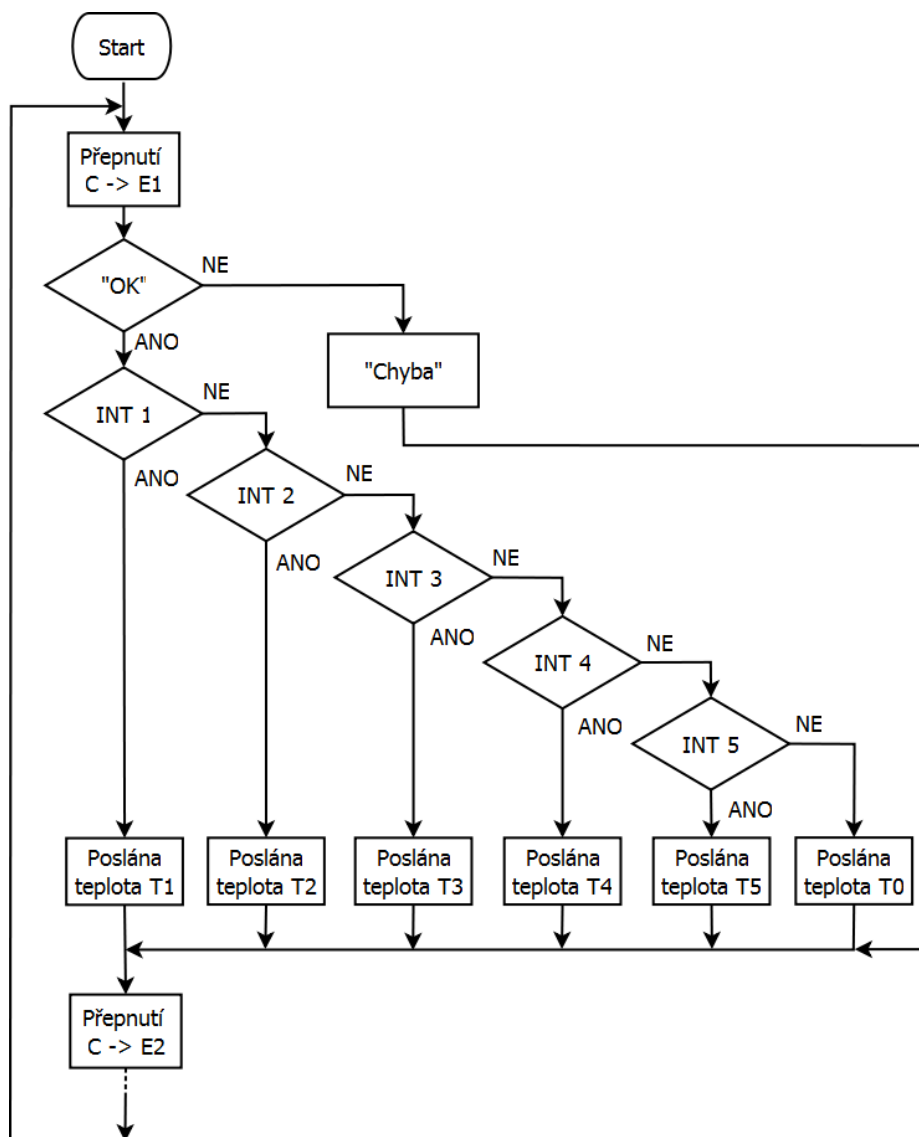
Termostaty na tuto zprávu reagují změřením teploty místnosti a následným zasláním této informace řídicí jednotce. Zpráva vyslaná termostatem (viz Obr. 6.7) je ve formátu, kdy první znak je identifikačním prvkem daného termostatu. Další užitečný znak ve zprávě (po oddělovacím znaku „x“) říká, zda-li je výstup On/Off regulátoru v aktivním stavu nebo ne. Tato informace je důležitá z důvodu řízení kotle, kdy musí dojít k vypnutí kotle a jeho bezpečnému vychlazení v případě, že jsou všechny hlavice

radiátorů zavřeny. Následující znaky zprávy (po oddělovacím znaku „x“) představují samotnou teplotu místnosti ve tvaru dle 7.1.

$$T_Z = 1000 + T_M \cdot 10 \quad (7.1)$$

Kde T_M značí naměřenou teplotu a T_Z teplotu ve vhodném tvaru pro přenos zprávy. Důvodem pro toto zakódování je přenos záporných teplot a posunutí desetinné čárky tak, aby byl výsledek ve formátu celého čísla.

V případě, že čidlo není na sběrnici detekováno, je tento stav vyhodnocen jako porucha a termostat zašle řídicí jednotce informaci o této skutečnosti. Jako porucha je vyhodnocen i stav kdy se daná termostatická jednotka do určitého času od vyslání zprávy o žádané teplotě neozve.



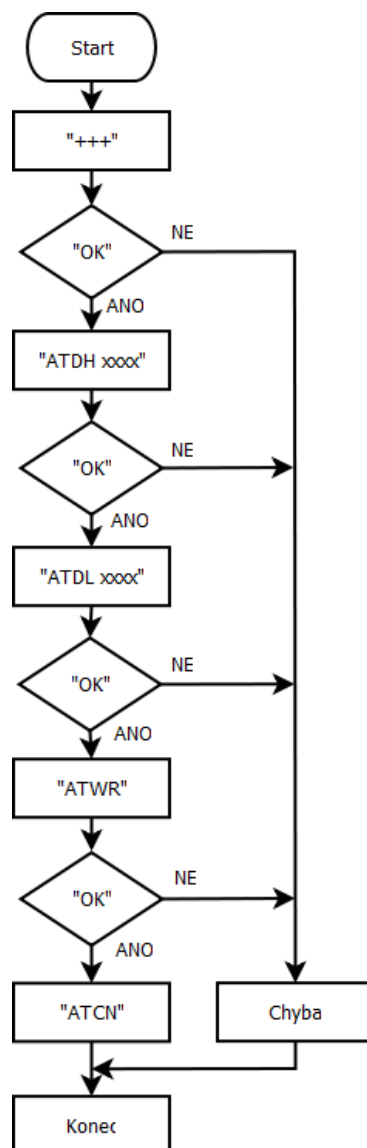
Obr. 6.8 Diagram cyklu rozesílání zpráv koncovým zařízením

Na obrázku Obr. 6.8 je znázorněn postup při rozesílání zpráv s aktuální žádanou teplotou. V jednom z prvních kroků po startu se XBee modul řídicí jednotky, který je v roli koordinátora přenastaví na komunikaci s prvním koncovým zařízením (termostatem). Po kladném ohlášení přenastavení modulu se provádí kontrola aktivních částí otopové křivky dané místnosti. V případě, že v danou dobu není aktuální žádný časový interval, je danému termostatu zaslána útlumová teplota. V případě, že ano, vyšle se žádaná teplota daného intervalu. Následuje přenastavení

XBee modulu na komunikaci s dalším koncovým zařízením a celý proces se opakuje, dokud nejsou obslouženy všechny termostaty v síti. Poté se cyklus opakuje.

Na následujícím obrázku (Obr. 6.9) je vyobrazeno přenastavení parametrů pro komunikaci řídicí jednotky s daným koncovým zařízením. Moduly zasílají zprávy vždy jedinečnému příjemci (tzv. unicast transmission) a využívají 64 bitové adresování. Pro zaslání určité zprávy danému koncovému zařízení je tedy nutné aby v parametrech DH (Destination Address High) a DL (Destination Address Low) koordinátoru byly adresy koncového zařízení SH (Serial Number High) a SL (Serial Number Low). Stejně tak pokud má koncové zařízení zasílat zprávy koordinátoru musí mít v parametrech DH a DL adresy koordinátoru SH a SL. [9]

V prvním kroku je nutné vstoupit do příkazového módu zasláním zprávy „+++“ na kterou musí modul odpovědět zprávou „OK“. V druhém kroku zašleme dva obdobné příkazy pro přenastavení parametrů DH a DL následované mezerou a částí adresy příjemce. Na obě dvě zprávy musí modul odpovědět zprávou „OK“. Pokud je vše v pořádku musíme zaslat příkaz pro zapsání parametrů do napěťově nezávislé paměti EEPROM, aby bylo přenastavení uchováno i v případě výpadku napájení. Jedná se o příkaz „ATWR“ a modul musí opět potvrdit přijetí zprávy. Poslední zprávou je zpráva pro ukončení příkazového módu „ATCN“ na kterou již modul neodpovídá a dále už funguje jako náhrada sériové linky.



Obr. 6.9 Diagram přenastavení parametrů adresace koncového zařízení

6.2 Termostatická jednotka

Termostatické jednotky obsahují mikrokontroléry ATmega8, které svou velikostí programové paměti v této aplikaci zcela postačují. Jejich úkolem je pomocí sběrnice One-wire komunikovat s inteligentním čidlem tzn. detekovat zda se vůbec čidlo na sběrnici nachází a v případě, že ano, vyčíst z něj teplotu. Dále mají za úkol na základě žádané teploty provést patřičný akční zásah do systému vytápěné místnosti. V ideálním případě by měly obsahovat inteligentní algoritmus, který by byl schopen adaptabilně přenastavit parametry regulátoru v závislosti na vlastnostech soustavy

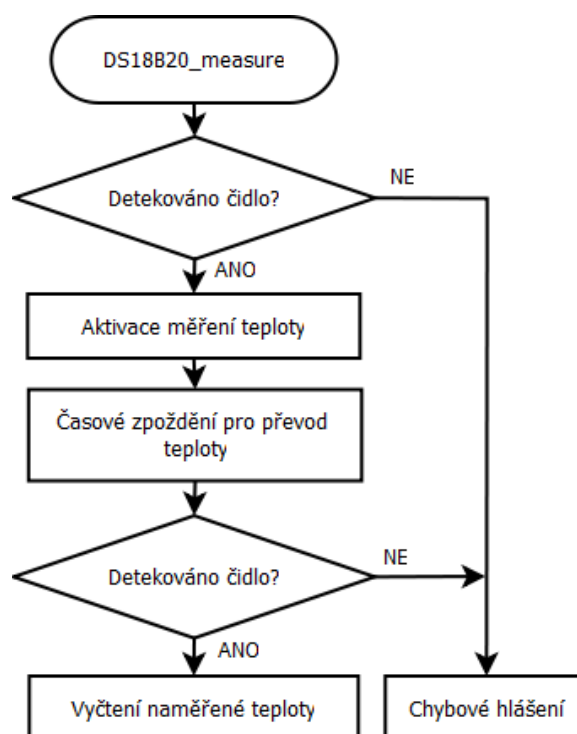
topení. Nedílnou součástí funkce jednotky je i komunikace s nadřazeným systémem, kdy termostatická jednotka musí hlásit všechny provozní situace řídicí jednotce.

6.2.1.1 Komunikace s řídicí jednotkou

Obdržená zpráva zasláná řídicí jednotkou nese informaci o hysterezi regulátoru a požadované teplotě. Je zde tedy nutné tyto informace oddělit a patřičně využít. Současně je obdržení zprávy podnětem k odeslání aktuální teploty místnosti. Tato problematika byla rozebrána v předcházející kapitole 6.1.2.4.

6.2.1.2 Komunikace s inteligentním čidlem teploty DS18B20

Pro komunikaci s čidlem DS18B20 bylo zapotřebí implementovat do procesoru program, který umožní pracovat s jedním čidlem na sběrnici One-wire. Obchází se tedy identifikace čidla dle specifického kódu uloženého v ROM paměti, která je nutná v případě dvou a více čidel na sběrnici a přistupuje se přímo do části vnitřní paměti (tzv. scratchpad paměť), kde je uložena naměřená teplota. Na následujícím obrázku Obr. 6.10 je vykreslena sekvence operací a vyhodnocení při volání funkce pro měření teploty.



Obr. 6.10 Diagram vyčtení teploty z čidla DS18B20

V prvním kroku se provede kontrola zda-li se čidlo nachází na sběrnici. V případě kladné odezvy se vyšle příkaz pro změření teploty. Tento proces trvá určitý časový interval v závislosti na nastavené přesnosti měření (primárně je nastavená maximální). Poté se opět kontroluje zda-li se čidlo nachází na sběrnici a v případě, že ano dojde k vyčtení naměřené teploty.

6.2.1.3 Regulace

Nejjednodušším typem regulátoru, který je často používán v systémech vytápění je On/Off regulátor a je použit i zde. Jeho praktická realizace je velmi jednoduchá. V případě, že je teplota nižší než požadovaná, dojde k sepnutí výstupu. V okamžiku kdy teplota přesáhne žádanou teplotu dojde k vypnutí výstupu. Pro zamezení oscilací o vysokém kmitočtu kolem žádané teploty, což by mělo za následek přetěžování topného systému (zejména rychlejší opotřebování akčního členu), je v regulátoru zavedena hystereze. Regulovaná veličina pak kmitá v pásmu hystereze. Tento fakt platí pouze u soustav prvního řádu. Jelikož však reálný systém vytápění je řádu vyššího, dochází k překmitům a podkmitům teploty. Hystereze zde tedy pouze udává teploty při kterých regulátor zapíná a vypíná.

Ideální by bylo použití například PSD regulátoru a adaptabilní algoritmus pro přenastavení parametrů regulátoru v závislosti na vlastnostech soustavy. Použití akční členu je možné budit PWM signálem a spolu s nafázováním na síťový kmitočet 50 Hz, kdy by měl systém minimální akční zásah například jednu periodu (přesné sepnutí a rozepnutí v nule zajistí řídicí obvod triaku) by bylo možné regulovat na přesnou hodnotu bez kmitání.

Jelikož jsem neměl k dispozici přímo termoelektrické hlavice, ověřoval jsem funkčnost na modelu místnosti, kde topným prvkem byl výkonový rezistor a místnost představovala krabice. Na překmit teplot měl velký vliv poměr časových konstant modelu.

7 ZÁVĚR

V teoretické části této práce jsem popsal princip IRC vytápění a bezdrátovou technologii ZigBee, která je využita pro komunikaci mezi jednotlivými prvky systému vytápění. Bezdrátová komunikace je výhodná z důvodu snadné a rychlé instalace do vytápěného objektu s nulovými nároky na distribuci komunikačních vodičů.

V další části jsem provedl samotný návrh koncepce řídicího systému, jehož kompletní schéma je na Obr. 3.1. Hlavní úlohu systému má řídicí jednotka. Podřazenými prvky jsou termostaty a jednotka ovládající kotel. V návrhu jsem se dále zabýval řídicí jednotkou (jak požaduje zadání) a termostatickou jednotkou. Bloková schémata jsou uvedeny na Obr. 3.2 a Obr. 3.3.

Při výběru komponent a součástek pro jednotky byla klíčovou volbou volba bezdrátových modulů a to jak typ provedení tak samotný výrobce. Zvolil jsem kompaktní provedení výrobce MaxStream, které disponuje plnohodnotným ZigBee stackem a konfigurace těchto modulů je možná přes sériovou linku PC s využitím konfiguračního programu výrobce a převodníku USB - UART. Mezi další prvky řídicí jednotky patří monochromatický grafický displej s rozlišením 128 na 64 pixelů a RTC obvod pro informaci o čase. Jako hlavní mikrokontrolér byl vybrán 8 bitový Atmel ATmega32.

U termostatické jednotky byl použit totožný bezdrátový modul, nakonfigurovaný jako koncové zařízení. Klíčovou volbou zde byla volba ovládaného akčního členu a výběr výkonového prvku, které by případně mohly pracovat v režimu PWM. Jako akční člen jsem vybral termostatické hlavice, které jsou řízeny triakem spolu se speciálním obvodem pro spínání v nule. Jako čidlo teploty bylo zvoleno inteligentní čidlo DS18B20 komunikující s mikrokontrolérem po sběrnici One-Wire. Mikrokontrolér je zde zastoupen opět 8 bitovým typem výrobce Atmel a to ATmega8L, který se od mikrokontroléru řídicí jednotky liší zejména kapacitou paměti, počtem portů a cenou.

Napájení obou jednotek je závislé na napájecí síti a je řešeno lineárním zdrojem se síťovým transformátorem.

Poslední část se zabývá softwarovým vybavením jednotek. Pro řídicí jednotku byl vytvořen program pro komunikaci s koncovými prvky ZigBee sítě, kdy se

koncovým prvkům rozesílají aktuální žádané teploty dle přednastavených otopových křivek a koncové prvky na tyto zprávy odpovídají aktuální teplotou místnosti. Rozesílá se i nastavená hystereze On/Off regulátoru. Samozřejmostí je vyhodnocování chybových provozních stavů, kdy se například neohlašují koncové prvky. Dále bylo vytvořeno uživatelské grafické prostředí pro nastavování otopových křivek, hystereze, času a sledování aktuálního průběhu vytápění. Otopové křivky jsou kvůli uchování dat i při výpadku napájení ukládány do paměti EEPROM.

Software termostatu obsahuje knihovnu pro komunikaci s čidlem teploty a zajišťuje regulaci na základě požadované teploty obdržené od řídicí jednotky.

V příloze jsou uvedeny kompletní schémata a podklady pro výrobu plošných spojů. Řídicí jednotka byla realizována na oboustranný plošný spoj z důvodu větší složitosti systému. Termostatická jednotka je navrhována na jednostrannou DPS. Příloha také obsahuje kompletní soupisku součástek a fotografie hotových výrobků.

Cílem této práce bylo vytvoření řídicí jednotky IRC systému vytápění s využitím technologie ZigBee. I přes některé nepříznivé okolnosti v průběhu práce se podařilo úkol splnit. Navíc jsem realizoval termostatickou jednotku, která je také funkční, ale k úplné autorově spokojenosti by zde bylo nutné navrhnout lepší způsob regulace.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANONYM.: *Individuálně řízené vytápění budovy* [online], Dostupné z: <http://www.regulace.info/irc.html>
[citováno 2010-11-20].
- [2] Ing. Václav Matz, Ph.D.: *Zónové regulační systémy a jejich využití při úsporném efektivním vytápění* [online], Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6203-zonove-regulacni-systemy-a-jejich-vyuziti-pri-uspornem-efektivnim-vytapeni>
[citováno 2010-11-20].
- [3] ANONYM.: *ZigBee specification overview* [online], Dostupné z: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>
[citováno 2010-11-21].
- [4] ANONYM.: *IEEE 802.15 WPAN* [online], Dostupné z: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
[citováno 2010-11-21].
- [5] ANONYM.: *ZigBee* [online], Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
[citováno 2010-11-21].
- [6] ANONYM.: *EmberZNet Application Developer's Reference Manual* [online], Ember, Dostupné z: www.ember.com/pdf/120-3021-000_App_Dev_Ref_Manual.pdf
[citováno 2010-11-22].
- [7] J. Koton, P. Číka, V. Křivánek.: *Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee* [online], VUT Brno, Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006032001>
[citováno 2010-11-23].
- [8] M. Kovahakka, M. Kuorilehto, M. Hännikäinen, T. D. Hämäläinen: *Performance analysis of IEEE 802.15.4 and ZigBee for large-scale wireless sensor network applications* [online], Tampere University of Technology, Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1163619>
[citováno 2010-11-24].

- [9] ANONYM.: *Katalogový list XBee* [online], MaxStream, Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf>
[citováno 2010-11-25].
- [10] Burkhard Mann, *C pro mikrokontroléry*, 1. české vydání, Nakladatelství BEN, Praha 2003. ISBN 80-7300-077-6
- [11] ANONYM.: *Katalogový list DS18B20* [online], Dallas Semiconductor, Dostupné z: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
[citováno 2010-11-26].
- [12] ANONYM.: *Katalogový list ATM12864D* [online], Dostupné z: www.hebeiltd.com.cn/lcm.datasheet/ATM12864D.pdf
[citováno 2010-11-28].
- [13] ANONYM.: *Katalogový list MOC3063* [online], Motorola, Dostupné z: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/5043/MOTOROLA/MOC3063/520/2/MOC3063.html>
[citováno 2010-11-29].
- [14] ANONYM.: *Katalogový list TO8-6A* [online], ST Microelectronics, Dostupné z: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/T/0/8/-/T08-6A.shtml
[citováno 2010-11-29].
- [15] PATOČKA M.: *Vybrané statě z výkonové elektroniky*, Svazek I, VUT Brno: 2005
[citováno 2010-11-29].
- [16] ANONYM.: *Katalogový list PCF8563* [online], Philips, Dostupné z: www.pira.cz/pdf/PCF8563.pdf
[citováno 2010-12-1].
- [17] ANONYM.: *Katalogový list ATmega32* [online], Atmel, Dostupné z: www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf
[citováno 2010-12-3].
- [18] ANONYM.: *Katalogový list ATmega8* [online], Atmel, Dostupné z: www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf
[citováno 2010-12-3].
- [19] ANONYM.: *Katalogový list GM* [online], GM Electronic, Dostupné z: <http://www.gme.cz/dokumentace/dokumenty/610/610-752/kgm.610-752.1.pdf>

[citováno 2010-12-4].

[20] ANONYM.: *Katalogový list LM1117* [online], National Semiconductor,

Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/78049.pdf>

[citováno 2010-12-4].

[21] SKOPAL, M. *Knihovna grafických prvků pro mikrokontroléry Atmel AVR a grafické displeje*. VUT Brno: 2008, 47 s.

[22] ANONYM.: *Katalogový list STA21* [online], Siemens, Dostupné z:

[http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/49990_N4877C\\$STA21\\$71\\$\\$\\$.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/49990_N4877C$STA21$71$$$.pdf)

9 SEZNAM ZKRATEK

IRC Individual Room Control

MAC Vrstva ISO/OSI modelu

PHY Fyzická vrstva ISO/OSI modelu

RAM Random Access Memory

EEPROM Electronicaly Erasable Programmable Read Only Memory

FLASH Programová paměť

USART Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter

UART Universal Asynchronous serial Receiver and Transmitter

TWI Two Wired Interface

SPI Serial Peripheral Interface

10 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: Soupiska součástí

PŘÍLOHA 2: Kompletní schémata

PŘÍLOHA 3: DPS řídicí jednotky

PŘÍLOHA 4: Rozložení součástí na DPS řídicí jednotky

PŘÍLOHA 5: DPS termostatické jednotky

PŘÍLOHA 6: Rozložení součástí na DPS termostatické jednotky

PŘÍLOHA 7: Fotografie hotových výrobků

PŘÍLOHA 1:

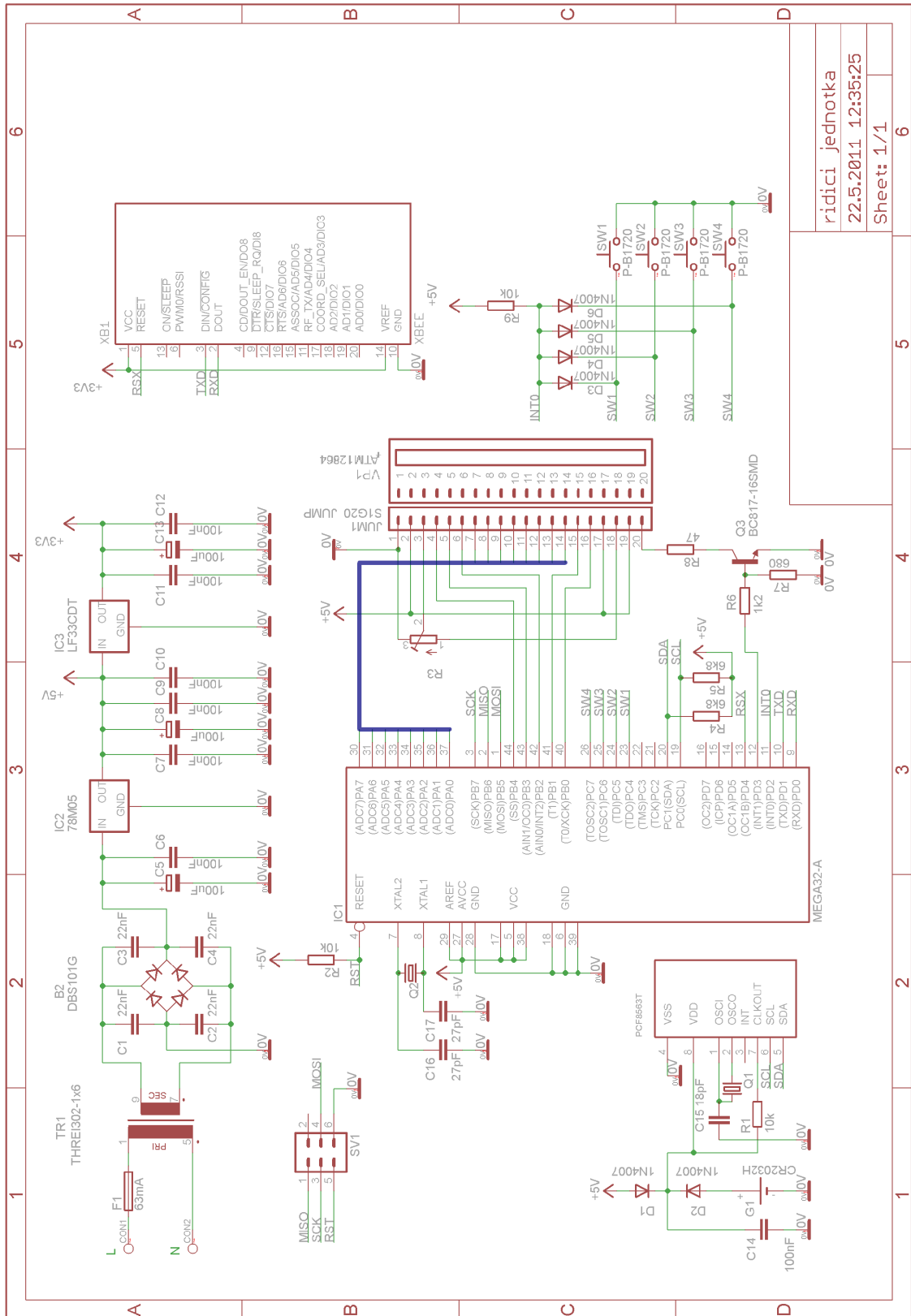
Počet	Označení	Hodnota	Typ	Název	Dodavatel
1	B2	-	DBS1206	Graetzův můstek	Farnell
2	R1, R2	10k	R1206	Rezistor	Farnell
2	R3, R4	6k8	RTRIM64P	Trimr	Farnell
1	R5	6k8	R1206	Rezistor	Farnell
1	R6	1k2	R1206	Rezistor	Farnell
1	R7	680	R1206	Rezistor	Farnell
1	R8	47	R1206	Rezistor	Farnell
1	R9	10k	R1206	Rezistor	Farnell
4	C1, C2, C3, C4	22nF	C1206	Kondenzátor	Farnell
3	C5, C8, C13	100uF	UD-6, 3X7	Kondenzátor	Farnell
6	C6, C7, C9, C10, C11, C12	100nF	C1206	Kondenzátor	Farnell
1	C14	100nF	C1206	Kondenzátor	Farnell
1	C15	18pF	C1206	Kondenzátor	Farnell
1	C16	27pF	C1206	Kondenzátor	Farnell
1	C17	27pF	C1206	Kondenzátor	Farnell
6	D1, D2, D3, D4, D5, D6	1N4148	DO214AC	Dioda	Farnell
2	CON1, CON2		WAGO256	Svorka	Farnell
1	F1	63mA	19560	Pojistka	Farnell
1	G1	-	CR2032H	Baterie	Farnell
1	IC1	-	MEGA32-A	Mikrokontrolér	Farnell
1	IC2	-	78M05	Stabilizátor	Farnell
1	IC3	-	LF33CDT	Stabilizátor	Farnell
1	JUM1	-	S1G20	Dutinková lišta	Farnell
1	Q1	32,768kHz	HC49	Krystal	Farnell
1	Q2	7,3728MHz	HC49	Krystal	Farnell
1	Q3	-	BC817-16SMD	Tranzistor	Farnell
1	SV1	-	ML6	Konektor	Farnell
4	SW1, SW2, SW3, SW4	-	P-B1720	Tlačítko	Farnell
1	TR1	-	THREI302-1x6	Transformátor	Farnell
1	U1	-	PCF8563-T	RTC obvod	Farnell
1	XB1	-	XBEE S2	Bezdrátový modul	Farnell
1	VP1	-	ATM12864	Displej	GM electronic

Tab. 10.1 Soupiska součástek řídicí jednotky

Počet	Označení	Hodnota	Typ	Název	Dodavatel
1	B1	-	DBS1206	Graetzův můstek	Farnell
1	R1	560R	R1206	Rezistor	Farnell
2	R2, R3	360R	R1206	Rezistor	Farnell
1	R4	39R	R1206	Rezistor	Farnell
1	R5	4K7	R1206	Rezistor	Farnell
1	R6	8K2	R1206	Rezistor	Farnell
4	R7, R8, R9, R10	0R	R1206	Rezistor	Farnell
4	C1, C2, C3, C4	22nF	C1206	Kondenzátor	Farnell
2	C5, C8	100uF	UD-6, 3X7	Kondenzátor	Farnell
4	C6, C7, C9, C10	100nF	C1206	Kondenzátor	Farnell
2	C11, C12	27pF	C1206	Kondenzátor	Farnell
1	C13	10nF	C1206		Farnell
4	CON1, CON2, CON3, CON6	-	WAGO256	Svorka	Farnell
1	F2	63mA	19560	Pojistka	Farnell
1	IC1	-	LF33CDT	Stabilizátor	Farnell
1	IC5	-	MEGA8-AI	Mikrokontrolér	Farnell
1	OK1	-	MOC3063	Ř. obvod. Triaku	Farnell
1	Q1	7,3728MHz	HC49S	Krystal	Farnell
1	SV2	-	ML6	Konektor	Farnell
1	TR1	-	EE20-1	Trnasformátor	Farnell
1	U1	-	T08-6A	Triak	Farnell
1	XB2	-	XBEE S2	Bezdrátový modul	Farnell

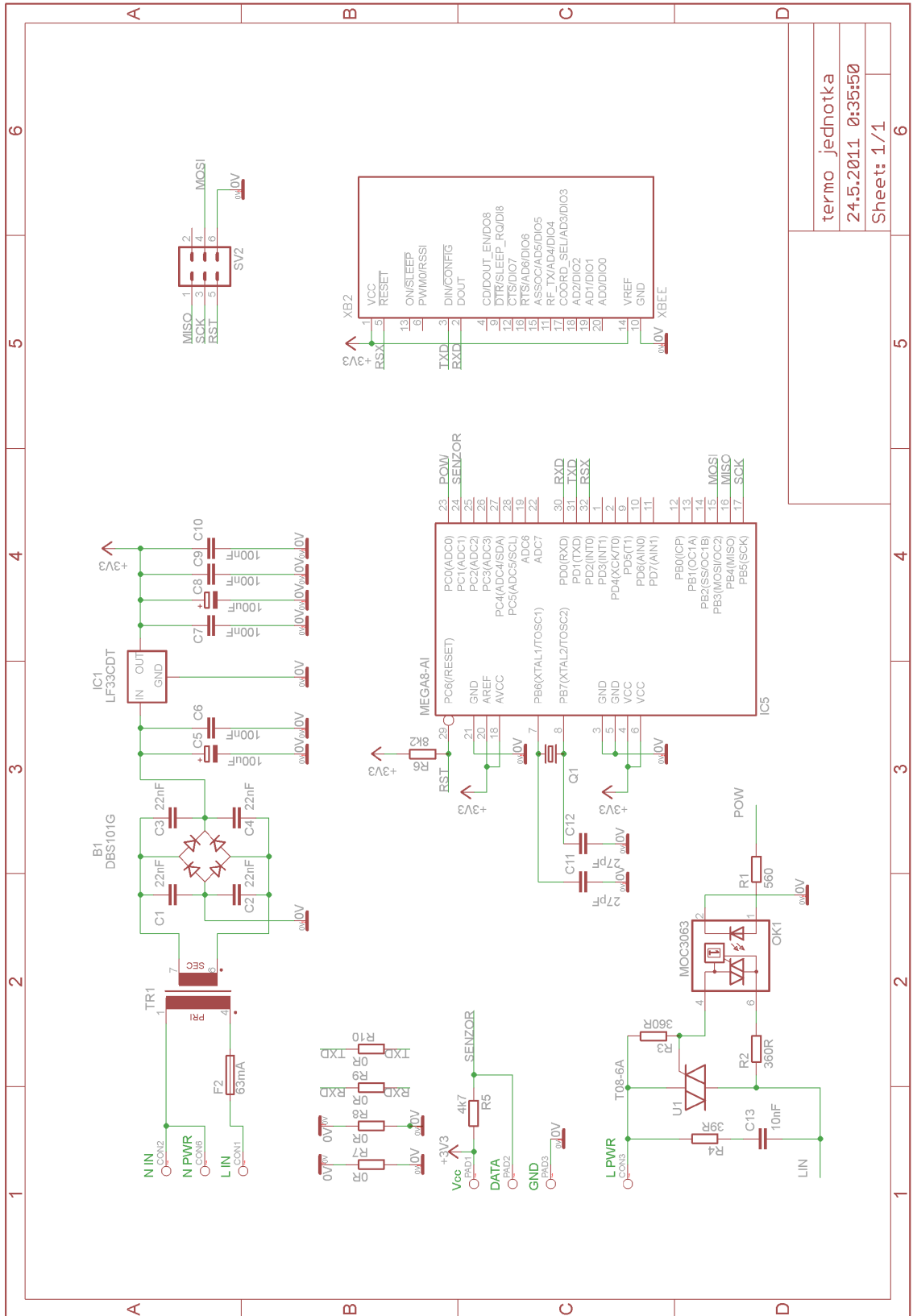
Tab. 10.2 Soupiska součástek termostatické jednotky

PŘÍLOHA 2:



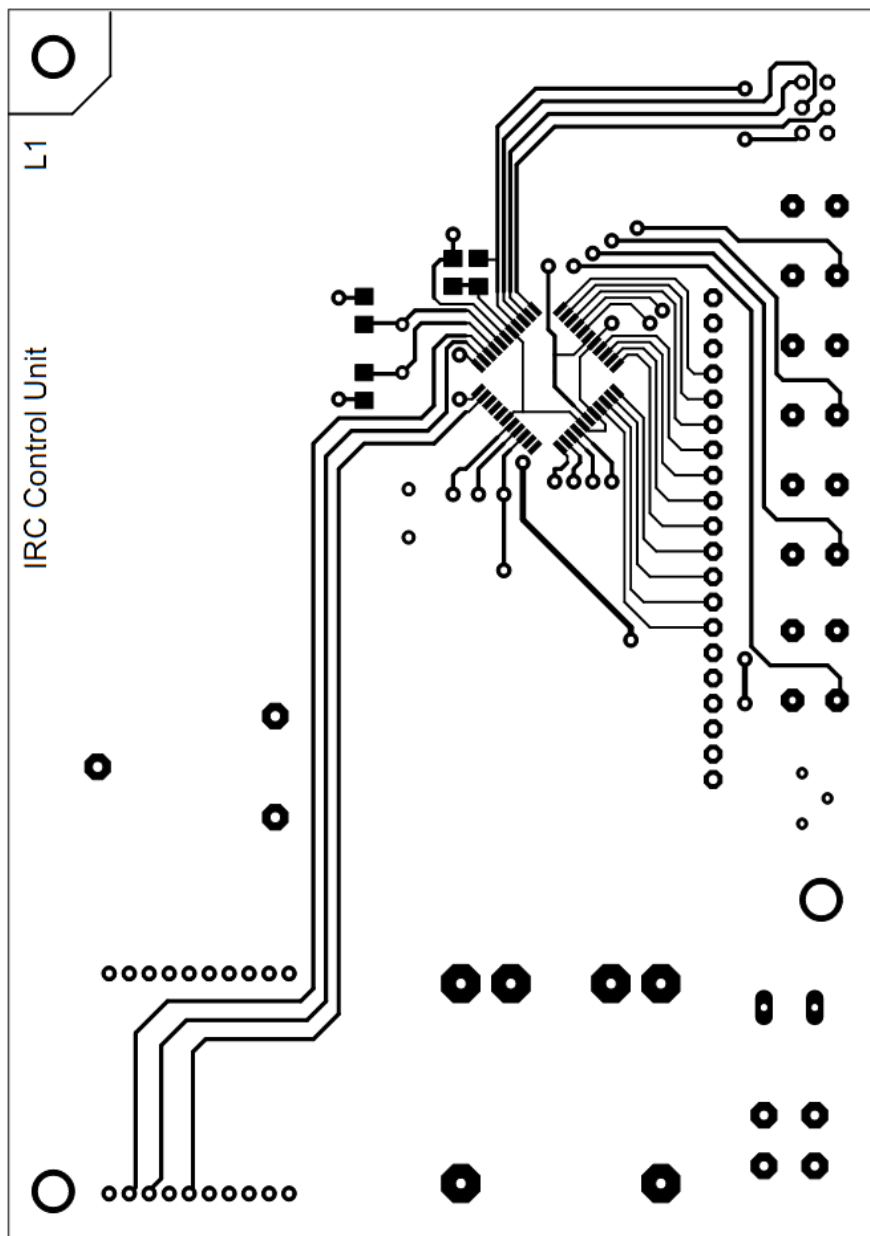
řidičí jednotka
22.5.2011 12:35:25
Sheet: 1/1

Obr. 10.1 Kompletní schéma řídicí jednotky

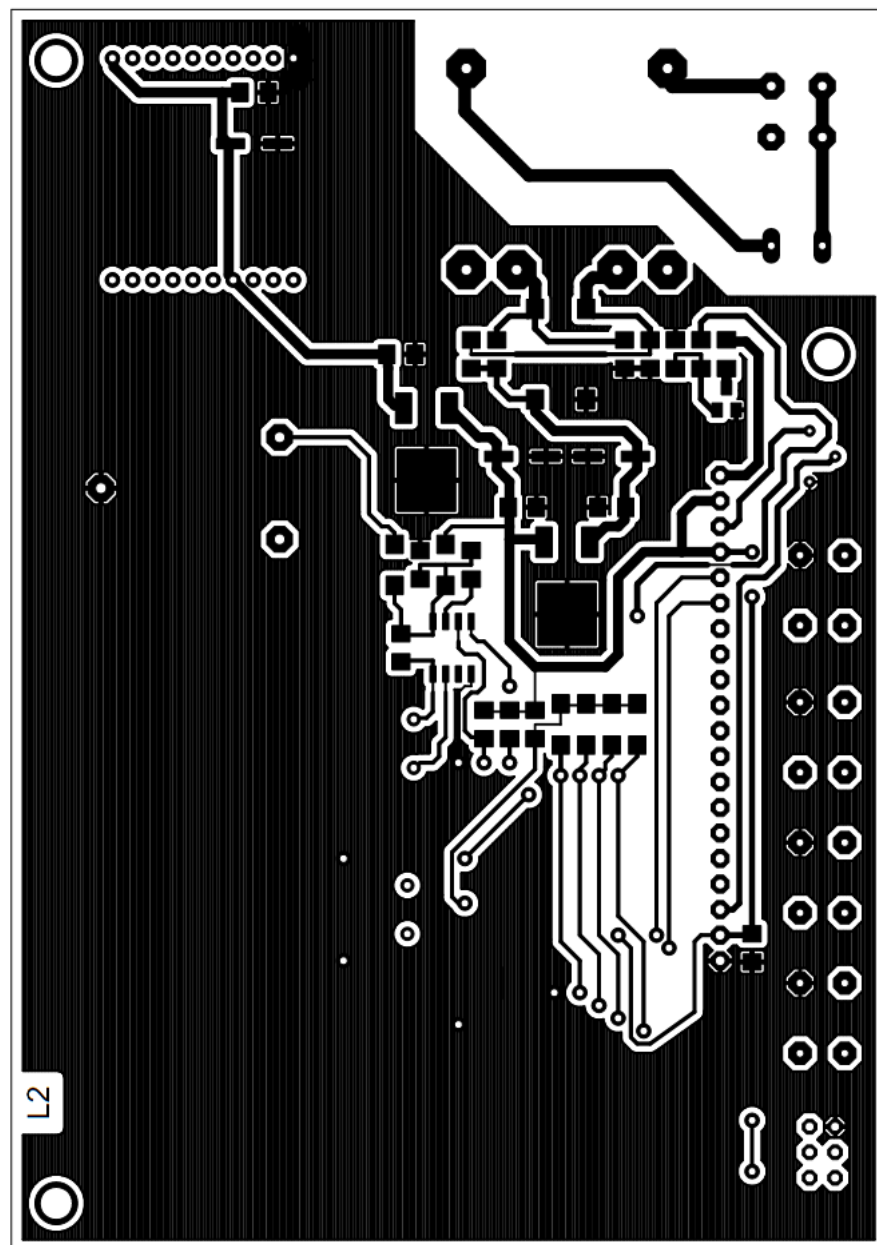


Obr. 10.2 Kompletní schéma termostatické jednotky

PŘÍLOHA 3:

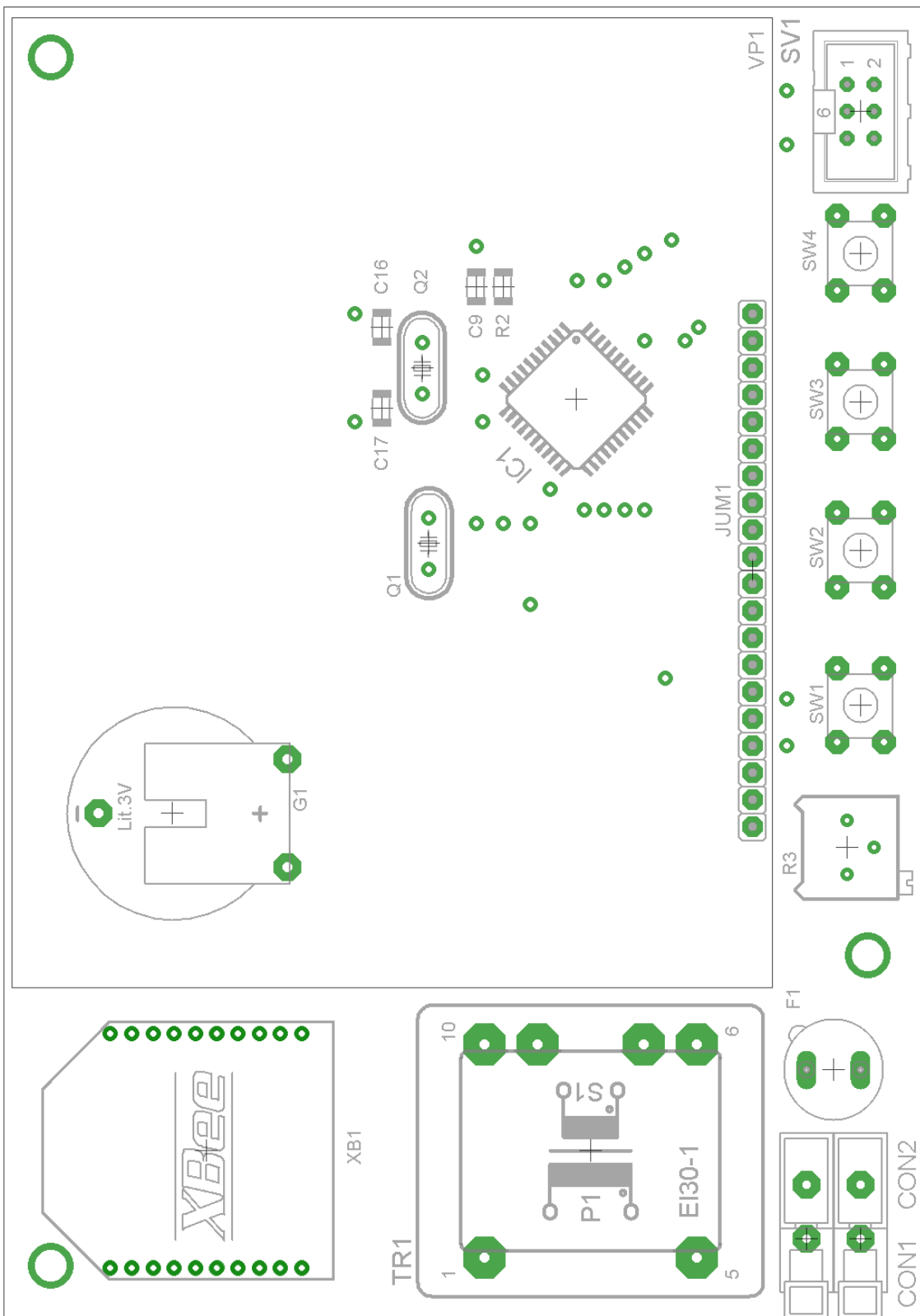


Obr. 10.3 DPS řídicí jednotky – strana TOP (125 x 87 mm)

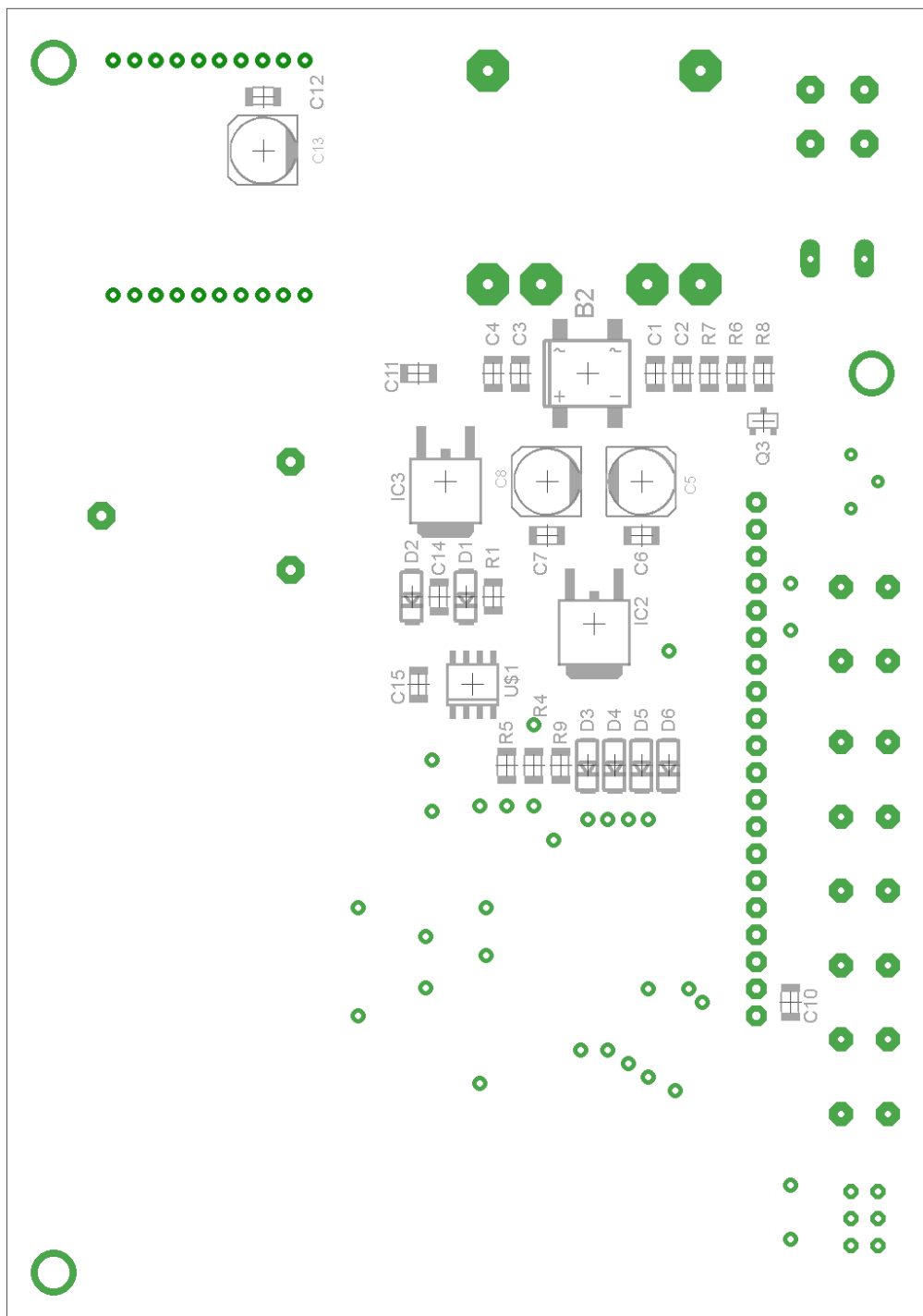


Obr. 10.4 DPS řídicí jednotky – strana BOTTOM (125 x 87 mm)

PŘÍLOHA 4:

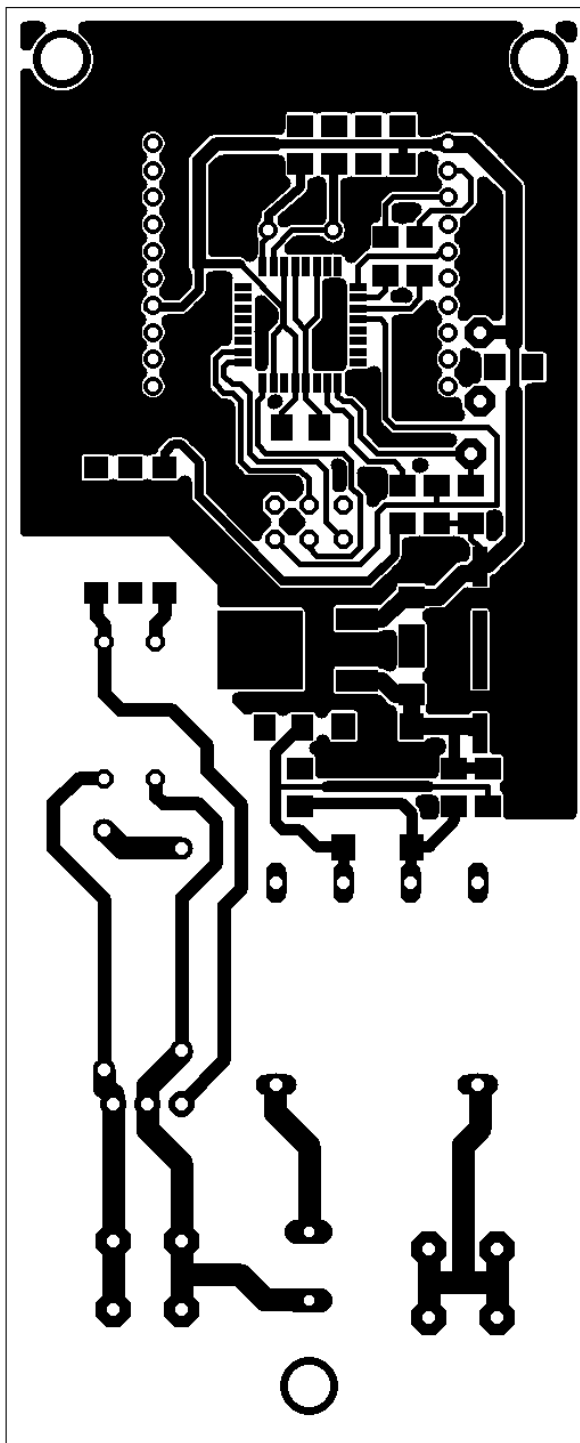


Obr. 10.5 Rozložení součástek na DPS řídicí jednotky – strana TOP



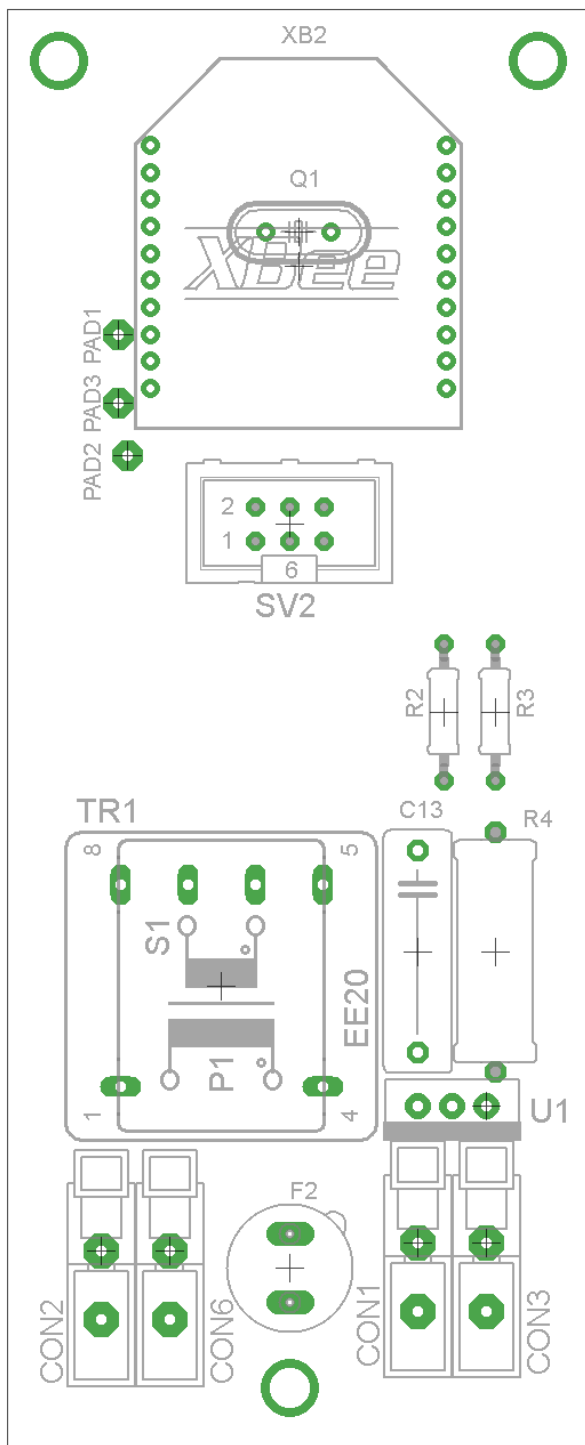
Obr. 10.6 Rozložení součástek na DPS řídicí jednotky – strana BOTTOM

PŘÍLOHA 5:

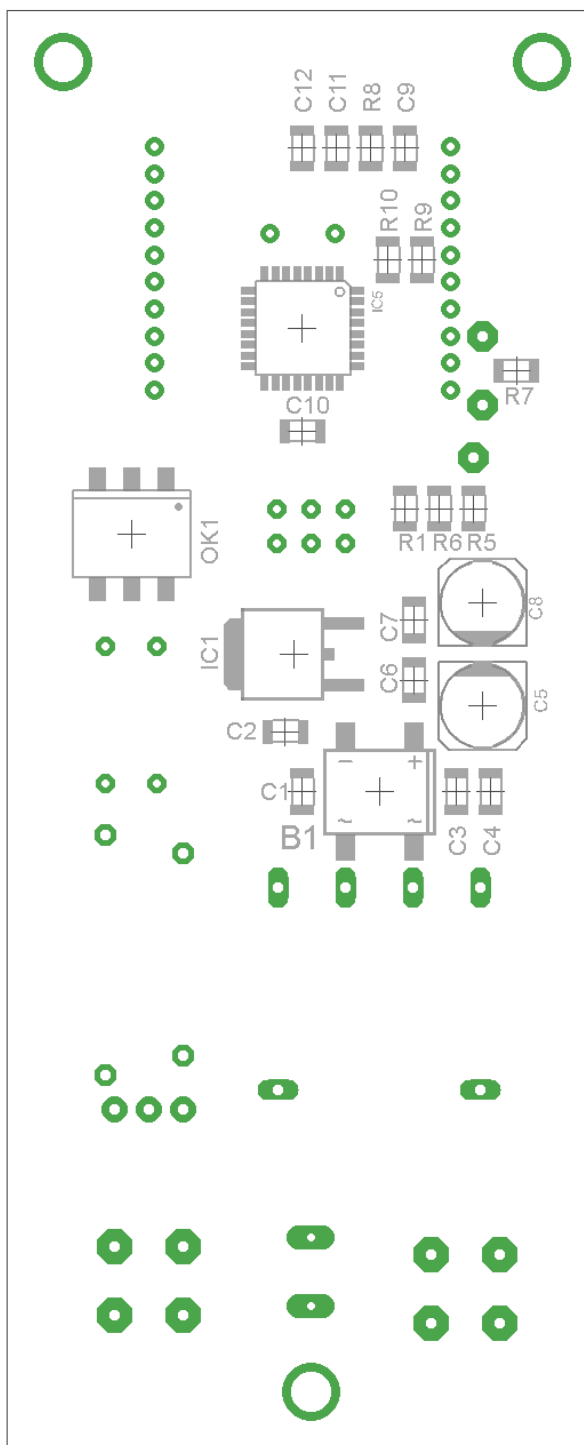


Obr. 10.7 DPS termostatické jednotky (107 x 44 mm)

PŘÍLOHA 6:

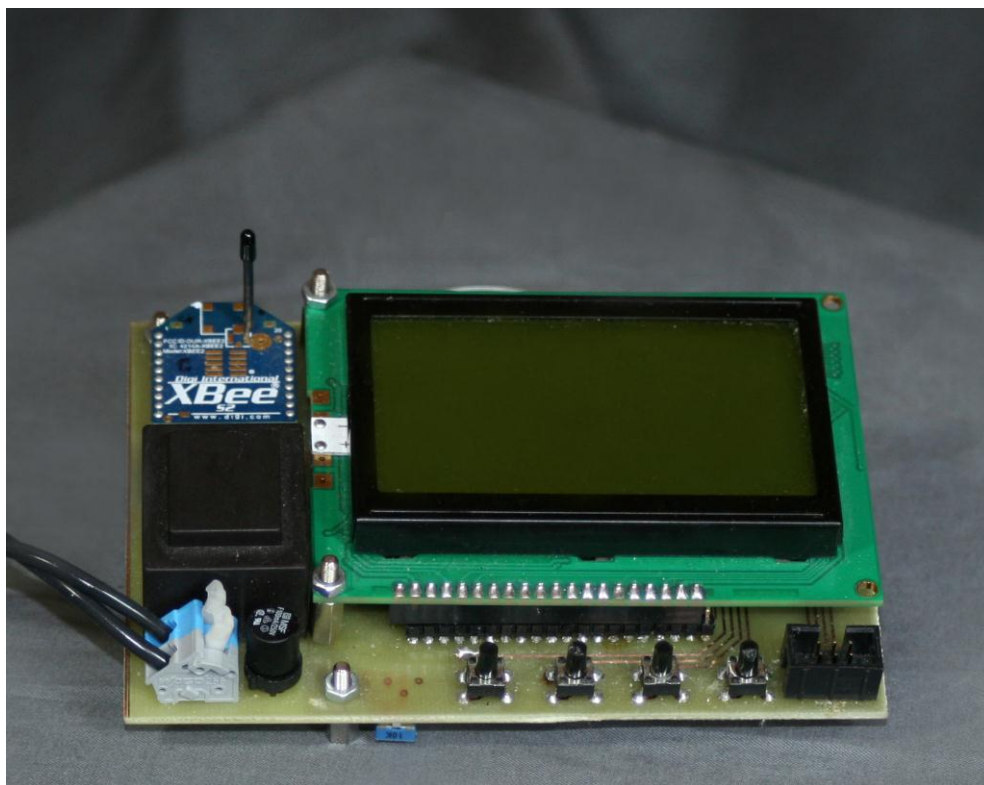


Obr. 10.8 Rozložení součástek na DPS termostatické jednotky – strana TOP



Obr. 10.9 Rozložení součástek na DPS termostatické jednotky – strana BOTTOM

PŘÍLOHA 7:



Obr. 10.10 Fotografie hotového výrobku řídicí jednotky



Obr. 10.11 Fotografie hotového výrobku termostatické jednotky