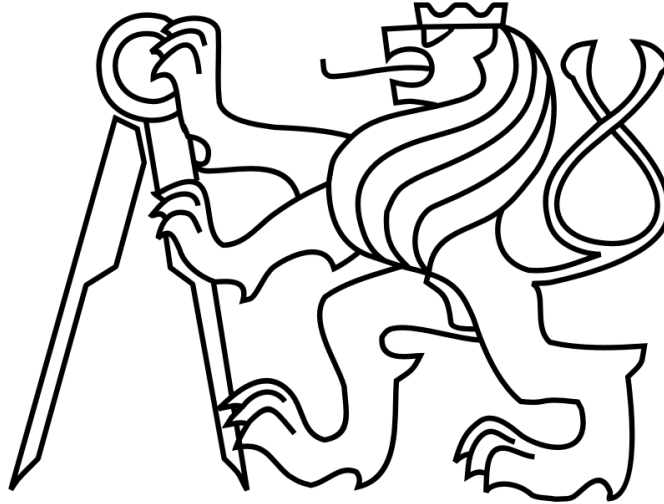


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



KATEDRA ŘÍDICÍ TECHNIKY

**Modul pro řízení podlahového vytápění**

Student: Bc. Martin Kašpárek

Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 – Řídicí technika

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Němeček

Praha 2009

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Martin Kašpárek**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (magisterský), strukturovaný  
Obor: Kybernetika a měření, blok KM1 - Řídicí technika

Název tématu: **Modul pro řízení podlahového vytápění**

### Pokyny pro vypracování:

Jedná se o modul, který bude součástí většího systému inteligentní regulace vytápění. Konkrétně bude určen pro spínání až osmi hlavíc s termopohonem. S dalšími částmi systému bude jednotka komunikovat prostřednictvím sběrnice uLAN (RS485). Alternativně může být modul modifikován také pro použití bezdrátové komunikace ZigBee (bude upřesněno). Jádrem bude procesor z řady LPC21XX. Součástí práce by mělo být i řešení mechanické konstrukce.

1. Seznamte se s procesory ARM z řady LPC21XX.
2. Navrhňte a realizujte jednotku s následujícími vlastnostmi
  - napájení 12-24V AC/DC
  - rozhraní RS485 (uLAN)
  - 8x reléový výstup 230V
  - 4x digitální vstup
  - možnost připojení externího čidla teploty PTC nebo digitálních čidel na sběrnici Dallas 1-wire
3. Prostudujte dostupné zdrojové kódy pro sběrnici uLAN a implementujte základní FW pro jednotku, který umožní demonstrovat funkčnost.
4. Na základě doplňujících pokynů případně proveďte modifikaci i pro použití bezdrátové komunikace.

### Seznam odborné literatury:

Dodá vedoucí práce

Vedoucí: Ing. Pavel Němeček

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2009/10

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Boris Šimák, CSc.  
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

## **ANOTACE**

Tato práce se zabývá návrhem modulu pro řízení podlahového vytápění, které je součástí většího systému inteligentního vytápění budov. V teoretické části jsou popsány výhody a nevýhody podlahového vytápění, komunikační protokol uLAN, mikrokontrolér LPC2148, teplotní senzory a IRC regulace. Praktická část se zabývá popisem jednotlivých částí schématu, návrhem desky plošných spojů a frézováním krabičky. Součástí práce je také implementace základního software. Aplikace je navržena pro řízení osmi termoelektrických hlavic na základě informací z teplotních senzorů a dalších informací získaných od ostatních zařízení komunikující po sběrnici RS-485 pomocí komunikačního protokolu uLAN.

### **Klíčová slova:**

IRC, LPC2148, ARM7TDMI-S, uLAN, 1-wire, RS-485, podlahové vytápění

## **ANNOTATION**

Project deals with designing of floor heating management unit which is part of more complex intelligent heating management system used in buildings. Advantages and disadvantages of floor heating, communication uLAN protocol, microcontroller LPC2148, heat sensor and IRC regulation are described in the theoretical part. The practical part describes each single part of the scheme, printed circuit board design and milling of the box. Project also includes implementing of basic software. The application is designed to manage eight telemetric heads based on the information received from heat sensors and other information acquired from devices communicating on RS-485 BUS using uLAN protocol.

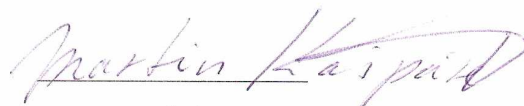
### **Keywords:**

IRC, LPC2148, ARM7TDMI-S, uLAN, 1-wire, RS-485, underfloor heating

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne 22.5.2009

  
podpis

## **Poděkování:**

Chtěl bych vyjádřit své poděkování panu Ing. Pavlu Němečkovi za odborné konzultace a cenné připomínky v průběhu zpracování mé diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1. VSTUP DO PROBLEMATIKY.....</b>	<b>2</b>
1.1 Popis projektu a IRC regulace.....	2
1.2 Blokové schéma systému.....	3
1.2 Termoelektrické hlavice a rozdělovač .....	4
1.3 Podlahové vytápění .....	5
1.4 Podlahové vytápění z hlediska hygieny .....	6
1.5 Způsob regulace.....	7
1.6 Požadavky na modul .....	7
<b>2. HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>8</b>
2.1 Blokové schéma modulu .....	8
2.2 Výběr součástek.....	8
2.2.1 Mikrokontrolér LPC2148.....	8
2.2.1.1 Základní charakteristika .....	8
2.2.1.2 Adresace paměti .....	9
2.2.1.3 Využití periferie.....	10
2.2.3.3 Watchdog .....	10
2.2.1.4 Blokové schéma mikrokontroléru .....	11
2.2.1.5 Jádro ARM7TDMI-S .....	11
2.2.2 Senzory teploty .....	13
2.2.2.1 Digitální čidlo teploty DS18B20.....	13
2.2.2.2 Popis sběrnice Dallas 1-wire .....	17
2.2.2.3 Teplotní PTC senzor typu KTY81-120 .....	19
2.3 Popis jednotlivých částí schématu .....	21
2.3.1 Napájecí zdroj 5V .....	21
2.3.2 Zdroj napětí 3,3 V .....	21
2.3.3 Vstupní obvod pro připojení teplotních senzorů.....	22
2.3.4 Obvod pro digitální vstup.....	22
2.3.6 Obvod pro spínání výstupů .....	23
2.3.5 Obvod pro komunikaci po sběrnici RS-485.....	23
2.4 Sběrnice RS-485.....	24

<b>3. SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ .....</b>	<b>25</b>
3.1  Obecně .....	25
3.2  Komunikační protokol uLAN .....	26
3.2.1  uLAN – obecně .....	26
3.2.2  Formát dat .....	26
3.2.3  Datový rámec .....	26
3.2.4  Řídicí znaky .....	27
3.2.5  Přenos zprávy .....	28
3.2.6  Arbitrace přístupu k médiu.....	29
3.3  ISO/OSI model.....	29
3.4  Popis použitých knihoven .....	30
3.4.1  Knihovna DEBOUNCE pro ošetření zákmitů.....	30
3.4.2  Knihovna pro obsluhu digitálního senzoru DS18B20.....	31
3.4.3  Knihovna KEYVAL pro práci s pamětí FLASH .....	31
3.4.4  Knihovna komunikačního protokolu uLAN.....	31
3.5  Inicializace programu .....	32
3.6  Hlavní smyčka programu .....	33
<b>4. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>34</b>
4.1  Návrh desky plošných spojů a krabičky .....	34
4.2  Držák krabičky .....	37
4.2  Potisk krabičky .....	37
<b>Závěr.....</b>	<b>38</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk .....</b>	<b>41</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>42</b>

# ÚVOD

Při současné rychlosti zdražování cen energií jsou kladeny stále vyšší požadavky na úsporu těchto energií nejen při vytápění ale celkově. Zvyšují se také požadavky uživatelů na komfort při vytápění svých objektů. Ať jsou to veřejné budovy, školy, nemocnice ale především rodinné domy. Stále více se nejen do nových ale i rekonstruovaných budov zavádí podlahové vytápění, jehož výhodou je rovnoměrné rozložení teploty v místnosti a tepelné pohody je tak dosaženo přibližně o 2 °C nižší teplotě než u radiátorového topení. Tím lze dosáhnout úspor na vytápění až 20%. Dalších úspor lze dosáhnout zavedením systému IRC (Individual Room Control). Ten spočívá v tom, že nastavuje pro každou místnost požadovaný průběh teploty v závislosti na denní době a dni v týdnu. Průběh teploty v místnosti závisí na typu a použití dané místnosti a denní době, ve kterou je místnost využívána. Je tedy zbytečné vytápět místnosti na ideální teplotu, když nejsou v danou denní dobu využívány.

**Cílem této diplomové práce je vytvoření modulu pro řízení podlahového vytápění a tím získání praktických zkušeností s vytvářením aplikací s procesory ARM z řady LPC21xx.**



# 1. VSTUP DO PROBLEMATIKY

## 1.1 Popis projektu a IRC regulace

Modul pro řízení podlahového vytápění je součástí většího systému inteligentní regulace vytápění, který je založen na principech IRC regulace. Modul je určen pro spínání termoelektrických hlavice. Tyto hlavice jsou namontovány na rozdělovači podlahového vytápění a díky tomu lze regulovat teplotu podlahy v jednotlivých místnostech. Přitom celý systém je propojen a nastavení je tedy možné provést globálně z jednoho místa. Dále je zde vazba na zdroj tepla (kotel). Nejedná se tedy o použití samostatných termostatů, kde na každém se nastaví individuální režim. Blokové schéma systému je na obrázku 1.1.

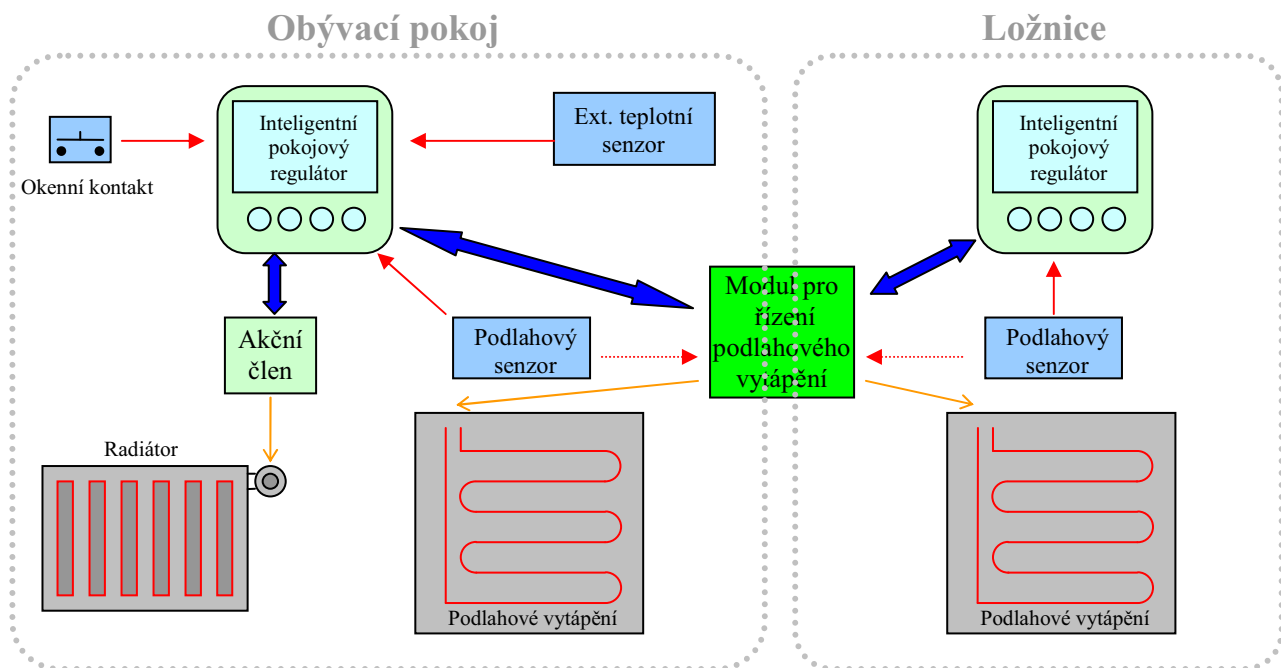
Výhody systému:

- Úspory energie
- Možnost nastavení teplotních požadavků pro každou místnost
- Možnost komfortního centrálního nastavení
- Možnost vazby na zdroj tepla (kotel, apod.)
- Možnost sledování topných nákladů na jednotlivé místnosti
- Možnost ukládání průběhů teplot pro další analýzu
- Možnost centrálního hlášení poruchových stavů
- Možnost kompletního ovládání na dálku (GSM, Internet ...)

Nevýhody:

- Vyšší pořizovací náklady na systém
- Složitější instalace
- Větší požadavky na inteligenci uživatele

## 1.2 Blokové schéma systému



Obr. 1.1 Blokové schéma systému

Systém inteligentního vytápění budov se skládá z několika regulačních okruhů. Ačkoli pojem regulační okruh často koresponduje s místnostmi, neměly by se oba pojmy zaměňovat. Běžně se totiž vyskytuje případ, že některé místnosti mají společný regulátor a někdy i společný zdroj tepla. V nejjednodušším případě může být regulační okruh tvořen jen jedním akčním členem a inteligentním pokojovým regulátorem. Nastavením žádané teploty v závislosti na čase a dni v týdnu, případně nastavení parametrů regulátoru (P, I, D konstanty atd.) může začít okruh fungovat. Okruh ale může být i složitější, např. máme v místnosti podlahové topení i radiátor a chceme upřednostňovat podlahové topení atd. Obecně může tedy jeden regulační okruh znamenat měření několika teplot na různých místech a nastavování několika akčních členů.

**Inteligentní pokojový regulátor** – nástěnná jednotka s displejem, která měří teplotu v místnosti a na základě svého nastavení ovládá akční člen, případně modul pro řízení podlahového vytápění. Vstupní informací do jednotky také může být stav okenního kontaktu.

**Akční člen** - prvek, který je schopen spínat proud případně nastavovat analogovou veličinu. Dle druhu vytápění se pak na jeho výstup připojí termopohon, servopohon, přímotopný panel atd.

**Modul pro řízení podlahového vytápění** – je určen pro spínání termoelektrických hlavice podlahového vytápění. Může ale také vzhledem k jeho univerzálnosti posloužit stejně jako akční člen. Podlahové topení je spínáno na základě pokynů od inteligentního pokojového regulátoru. Může však regulovat podlahové topení samostatně na základě informací z podlahového senzoru tak, aby nedošlo k přetopení či zamrznutí podlahového topení například v nouzovém režimu při výpadku komunikace.

## 1.2 Termoelektrické hlavice a rozdělovač

Termoelektrické hlavice slouží pro řízení radiátorového nebo podlahového vytápění, které se na základě požadavku řídicí jednotky otevrou nebo zavřou. Doba pro změnu stavu se pohybuje od 3 do 15 minut. Vyrábí se ve dvou provedení – s uzavřenou nebo otevřenou hlavici v klidové poloze (bez napětí). Změnu stavu provádí topný člen, který je tvořen tepelně roztažnou látkou. Při zahřátí se látka roztahuje v pružném vlnovci a tlačí na kuželku ventilu uzavírajícího průtok otopného média nebo naopak. Vyrábějí se také s různým napájecím napětím. Buď na stejnosměrné napětí 24 V, nebo na střídavé 230 V. Pro využití pro podlahové topení se termoelektrické hlavice montují na rozdělovač, kde otvírají a zavírají přívody do jednotlivých místností. [2]



Obr. 1.2 Termoelektrická hlavice COTERM a rozdělovač podlahového vytápění [2]

### 1.3 Podlahové vytápění

Vytápění je činnost, která má za úkol udržovat vnitřní teplotu obytných a jiných prostorů na úrovni tepelné pohody. Tato činnost bezprostředně souvisí s existencí člověka a neustálou snahou zlepšovat své životní podmínky. Mezi ně také patří i potlačování nepříznivých klimatických podmínek.

Podlahové vytápění zaručuje energeticky úsporný provoz. Je zabudované v podlaze a proto nenarušuje architektonické řešení a design interiéru. Patří mezi velkoplošné sálavé topné systémy. Z vytápěné podlahy se teplo šíří rovnoměrně do celého prostoru. Nejvyšší teplota v místnosti je v úrovni podlahy, tím je zaručena tepelná pohoda přibližně o 2 °C nižší než u radiátorového topení. Podlahové topení umožňuje zvýšení vlhkosti vzduchu bez následné kondenzace par a vyrovnání teplot stěn. Teplota vody, která proudí trubkami v podlaze, je nižší než 50 °C, což představuje vysokou provozní úsporu energie a tím i šetrnost k životnímu prostředí. Úspora energie dosahuje až 20%.

Hlavní nevýhodou podlahového topení je vyšší pořizovací cena. Nevýhodou také může být velká tepelná setrvačnost. Nabývání prvotní teploty je zdlouhavé a naopak při teplých jarních dnech může docházet k přetápění místností vlivem setrvačnosti topné soustavy. Pro podlahové topení není vhodná každá podlahová krytina, také musíme při realizaci projektu znát rozmístění nábytku v místnostech. Neopomenutelnou nevýhodou také může být větší tloušťka podlahy, přibližně o 4cm. [3]

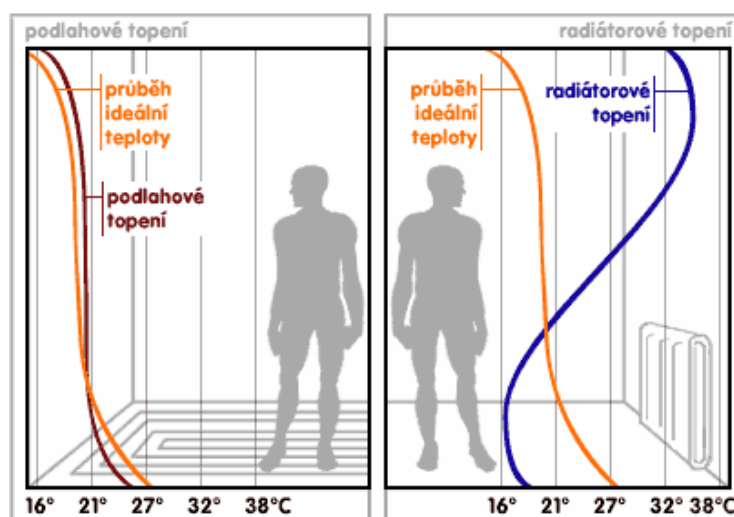
## 1.4 Podlahové vytápění z hlediska hygieny

Pověry o tom, že podlahové vytápění způsobuje zdravotní problémy jsou velice rozšířené, ale nepravdivé. Podlahové topení nevíří vzduch. Stěny a topné plochy neznečišťuje vířený prach. Nízká vlhkost stěn zabraňuje vzniku plísní a dalších mikroorganismů. Velice se tak snižuje riziko alergií. Při dodržení maximálních teplot nášlapných ploch nemůže nikdy dojít ke zdravotním problémům. Naopak rozložení teplot v místnosti s podlahovým vytápěním v závislosti na vzdálenosti od podlahy je daleko příznivější než při radiátorovém vytápění. Maximální povolené teploty nášlapné plochy jsou v následující tabulce. [4]

místnosti a prostory, v nichž se převážně stojí:	27 °C
obytné a kancelářské místnosti:	29 °C
koupelny a bazény:	33 °C
místnosti s malým provozem(okrajové zóny):	35 °C

Tab. 1.1 Maximální povolené teploty nášlapných ploch [4]

Tyto hodnoty se doporučuje dodržovat i z hlediska podlahových krytin.



Obr. 1.3 Rozložení teplot v místnosti při podlahovém a radiátorovém topení [5]

Na obrázku vlevo je vidět křivka rozložení teploty v místnosti u podlahového vytápění. Tato křivka se téměř blíží k ideální křivce. Nejvyšší teplota je v úrovni podlahy, zbytek prostoru místnosti je rovnoměrně vyhříván. Naopak u radiátorového vytápění se křivka rozložení teploty velice vzdaluje od ideální křivky. Nejvyšší teplota je v oblasti stropu.

## **1.5 Způsob regulace**

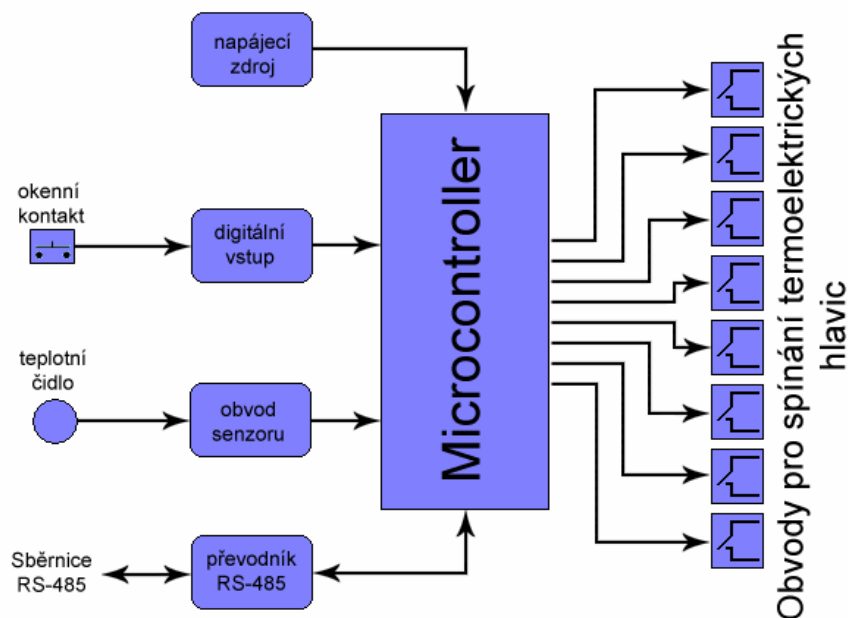
Regulace se provádí na základě změřené teploty v místnosti a teploty podlahy, která by neměla přesáhnout nastavenou mez. Další podmínkou regulace topení může být stav okenního kontaktu, protože při otevřeném okně nemá smysl vytápět místnost. Teplotní senzor může být využit pro měření teploty v místnosti případně pro měření teploty podlahy. Dále může sloužit jako nouzový senzor v případě výpadku komunikace, kdy modul by si sám hlídal interval teplot tak, aby například nedošlo k přetopení podlahy či případně zamrznutí otopného média.

## **1.6 Požadavky na modul**

Hlavním požadavkem modulu pro řízení podlahového topení bylo řízení osmi termoelektrických hlavic pomocí relé tak, aby nezáviselo na jejich napájecím napětí. Dalším požadavkem byly čtyři digitální vstupy, ale tento požadavek se po konzultaci s vedoucím práce zredukoval pouze na jeden digitální vstup. Nutností modulu byla komunikace po sběrnici RS-485 pomocí protokolu uLAN. Kvůli kontrole teploty v místnosti byla požadována možnost připojení externího teplotního senzoru PTC nebo digitálních senzorů na sběrnici Dallas 1-wire.

## 2. HARDWAROVÉ ŘEŠENÍ

### 2.1 Blokové schéma modulu



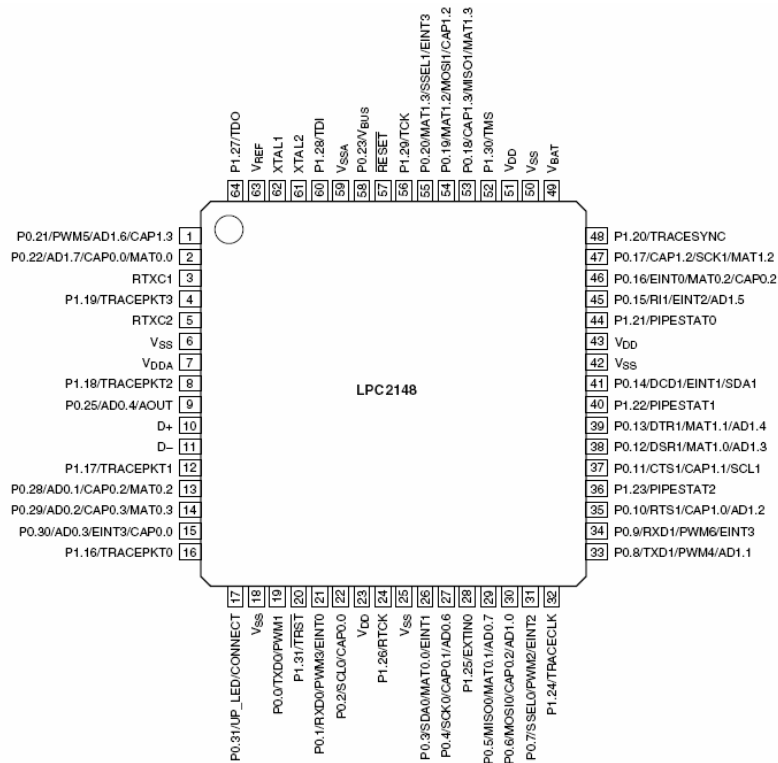
Obr. 2.1 Blokové schéma modulu podlahového vytápění

### 2.2 Výběr součástek

#### 2.2.1 Mikrokontrolér LPC2148

##### 2.2.1.1 Základní charakteristika

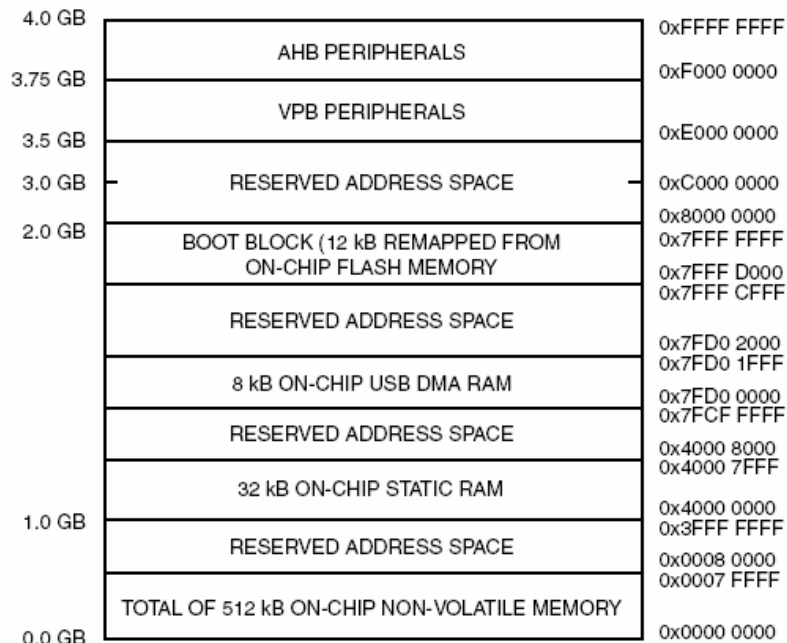
LPC2148 je 32-bitový RISC mikroprocesor s jádrem ARM7TDMI-S vyráběný v pouzdře LQFP64 s podporou emulace v reálném čase a podporou trasování. 128 bitů široké paměťové rozhraní a akcelerační architektura dovolují zpracovávat 32-bitový kód při maximální hodinové frekvenci 60 MHz. Pro aplikace s rozsáhlým kódem lze použít 16-bitový THUMB mód, který zredukuje kód až o 30% při minimální ztrátě výkonu. Napěťový operační rozsah je od 3,0 V do 3,6 V s 5 V tolerantními vstupně/výstupními piny, kde 45 z nich je typu GPIO. [6]



Obr. 2.2 Mikrokontrolér LPC2148 [6]

### 2.2.1.2 Adresace paměti

Mikrokontrolér disponuje 40 kB statickou pamětí RAM, kde 8 kB je primárně využito pro USB DMA, ale může být také využito pro uložení dat nebo kódu. Také má velmi rychlou interní paměť flash o velikosti 512 kB a 2 kB USB RAM.



Obr. 2.3 Rozvržení paměti mikrokontroléru LPC2148 [6]



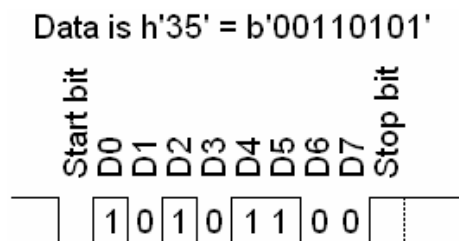
### 2.2.1.3 Využité periferie

#### ADC/DAC

Mikrokontrolér zahrnuje dva analogově digitální 10-bitové převodníky ADC0 a ADC1 s postupnou aproximací a jedním digitálně analogovým převodníkem DAC. ADC0 disponuje šesti kanály, ADC1 má osm kanálů. Maximální výstupní napětí DAC převodníku je hodnota referenčního napětí VREF.

#### UART

Jedná se o standardní komunikační rozhraní se sériovým asynchronním přenosem dat. Na pinu RXD se data přijímají a na pinu TXD jsou data vysílána. Přenos dat se zahájí startbitem, poté následuje osm datových bitů, kde jako první je odeslán nejnižší bit D0. Přenos dat se ukončí stopbitem.

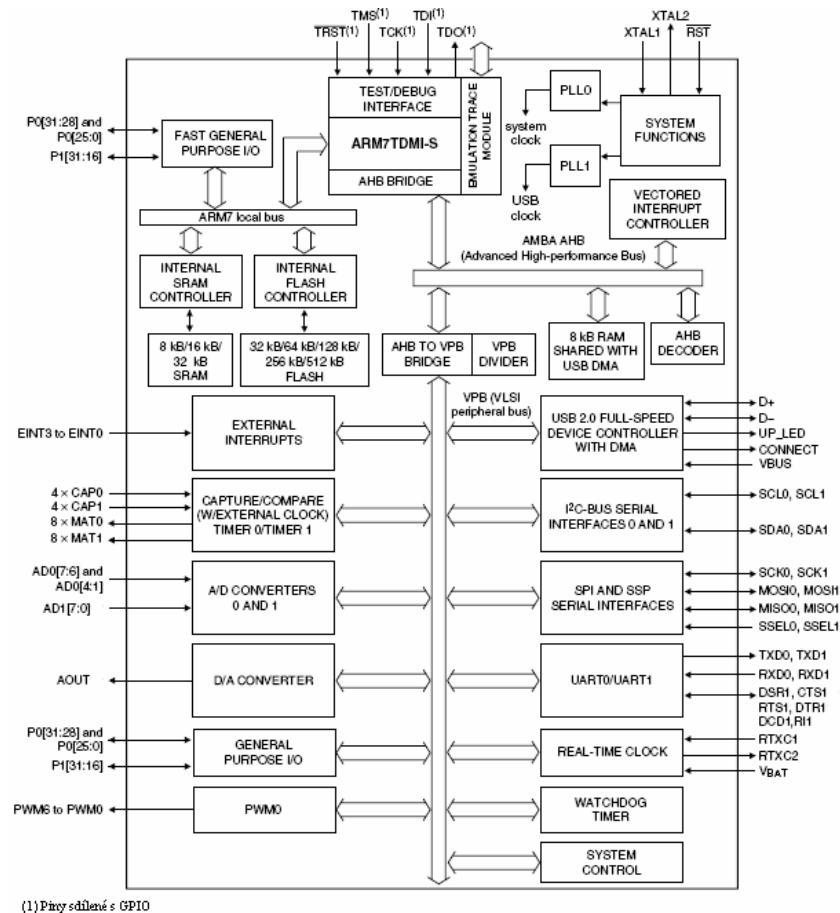


Obr. 2.4 Průběh přenosu jednoho znaku [16]

#### 2.2.3.3 Watchdog

Watchdog je periferie, která má za úkol sledovat chod mikrokontroléru. Watchdog je tvořen čítačem a není-li tento čítač do daného časového okamžiku vynulován, dojde k přetečení a tím se resetuje mikrokontrolér.

## 2.2.1.4 Blokové schéma mikrokontroléru



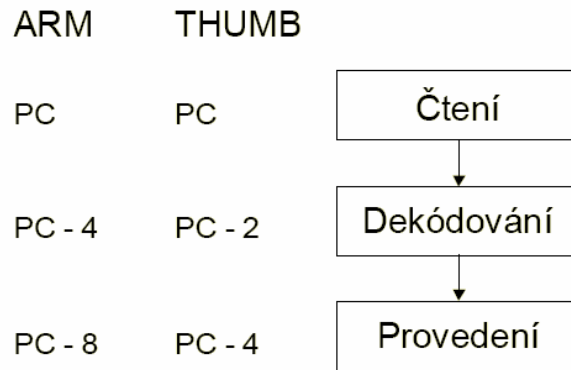
Obr. 2.5 Blokové schéma mikrokontroléru LPC2148 [6]

## 2.2.1.5 Jádro ARM7TDMI-S

Jádro ARM7TDMI-S představuje univerzální 32-bitový procesor, který nabízí velký výkon při nízké spotřebě. ARM architektura je založena na principech RISC (Reduced Instruction Set Computer), jejíž instrukční sada a dekodovací mechanismus je mnohem jednodušší než je tomu u CISC (Complex Instruction Set Computers). Toto zjednodušení přináší především vysokou propustnost instrukcí a výbornou real-time odezvu na přerušení. Procesor obsahuje von Neumannovu architekturu s jedinou 32-bitovou sběrnici pro data i instrukce. Využití tří stupňové pipeline techniky vede ke zvýšení toku instrukcí do procesoru, kde paměťové systémy a systémy pro zpracování instrukcí mohou pracovat současně. Program Counter (PC) nám ukazuje, že instrukce bude nejprve načtena a pak teprve vykonána. Při běžném provozu, kdy je jedna instrukce prováděna, se její následovník dekoduje a třetí instrukce je načítána z paměti. [8]

Procesor ARM7TDMI-S má dvě instrukční sady:

- 32-bitovou instrukční sadu ARM
- 16-bitovou instrukční sadu THUMB.



Obr. 2.6 ARM a THUMB mód procesoru [7]

THUMB instrukční soubor je subsoubor nejužívanějších 32-bitových ARM instrukcí. Každá THUMB instrukce je dlouhá 16 bitů a odpovídá 32-bitové ARM instrukci. THUMB instrukce operují se standardní konfigurací ARM registrů. Při vykonávání se 16-bitová THUMB instrukce dekoduje v reálném čase na plnou 32-bitovou instrukci bez ztráty výkonu.

Implementace 16-bitových THUMB instrukcí na 32-bitové architektuře přináší:

- větší výkon než typické 16-bitové architektury
- větší hustotu kódu než při 32-bitové architektuře

THUMB mód využívá všech výhod 32-bitového jádra:

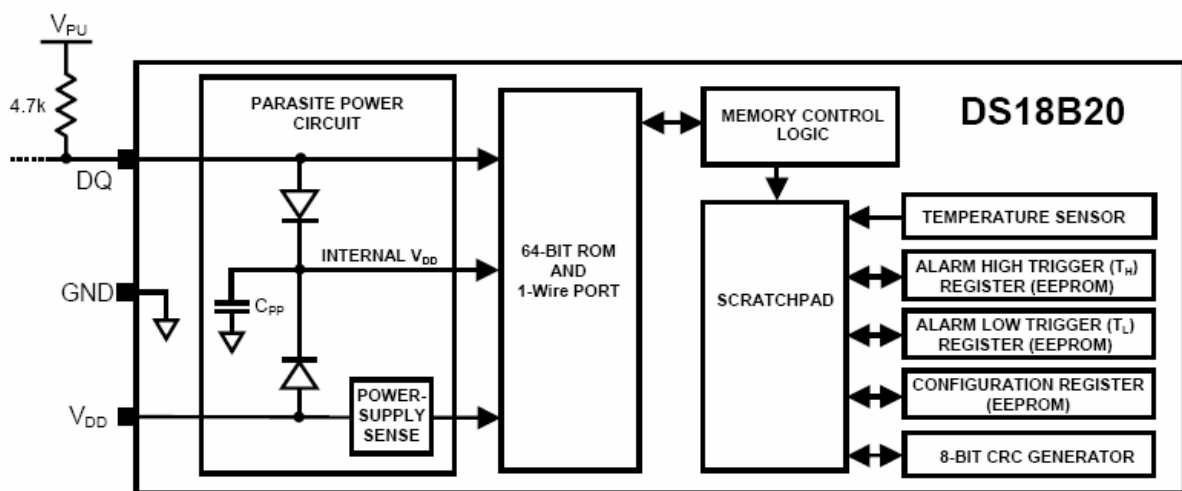
- 32-bitové adresování
- 32-bitové registry
- 32-bitový shifter a ALU
- 32-bitový paměťový prostor

THUMB mód má typicky 65% velikosti ARM kódu a 160% výkonu oproti srovnatelnému ARM procesoru s 16-bitovou architekturou. ARM7TDMI-S je ideální pro aplikace s omezeným paměťovým prostorem, kde je důležitá hustota kódu. [7]

## 2.2.2 Senzory teploty

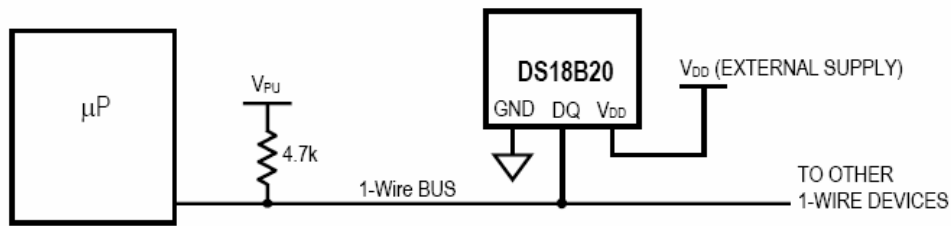
### 2.2.2.1 Digitální senzor teploty DS18B20

DS18B20 je digitální teploměr komunikující po sběrnici Dallas 1-wire. Maximální teplotní rozsah je od  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Přesnost měření v intervalu teplot od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Teplotní rozlišitelnost je uživatelsky volitelná od 9-bitové až po 12-bitovou s odpovídajícími kroky  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výchozím nastavením je 12-bitová rozlišitelnost. Každý teploměr typu DS18B20 má unikátní 64-bitový kód, který slouží pro identifikaci při zapojení více zařízení na sběrnici 1-wire a je uložen v interní paměti ROM.

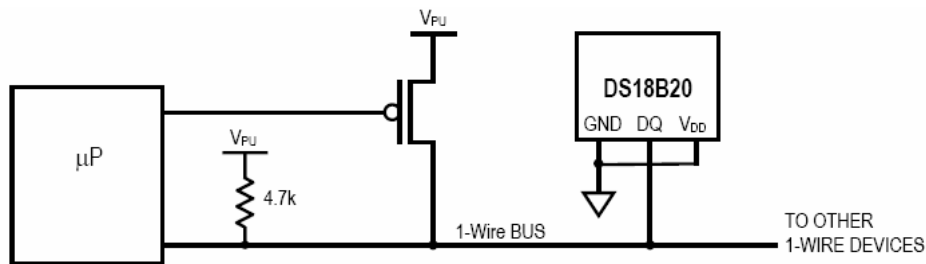


Obr. 2.7 Blokové schéma digitálního senzoru teploty DS18B20 [9]

Rozsah napájecího napětí je od  $+3\text{ V}$  do  $+5,5\text{ V}$ . DS18B20 umožňuje dva režimy napájení. Základním zapojením je napájení externím napětím, druhý je mód s parazitním napájením. V tomto módu je zapojen pin  $V_{DD}$  na společnou zem GND. Obvod je tak napájen jen pomocí sběrnice. Je-li však sběrnice ve stavu logické 0, energii do obvodu dodává interní kondenzátor  $C_{PP}$ . Mód s parazitním napájením se využívá zejména v aplikacích se snímáním teploty na velké vzdálenosti, má však řadu nevýhod. Pro měření teplot okolo  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  se tento mód nedoporučuje, protože může dojít ke ztrátě komunikace vlivem vyššího rozptylu proudů.



Obr. 2.8 Zapojení teplotního senzoru DS18B20 pomocí externího napájení [9]



Obr. 2.9 Zapojení teplotního senzoru DS18B20 s parazitním napájením [9]

K zahájení měření teploty musí zařízení typu master odeslat na sběrnici tzv. T příkaz (v hex kódu - 44h). Je-li senzor připojen na externí napájení, odešle na sběrnici po obdržení příkazu T logickou 0. Tento stav drží na sběrnici do té doby, dokud není ukončeno měření a uložení dat do dvou registrů LSB a MSB. Jakmile je tento proces ukončen, senzor uvolní sběrnici a pomocí pull-up odporu se na ní nastaví hodnota logické 1. Je-li však senzor napájen pomocí parazitního napájení, tento postup nelze použít. Sběrnice musí být po celou dobu měření ve stavu logické 1. Teplotní údaje jsou uloženy jako 16-bitové číslo. Nejvyšších 5 bitů je označeno symbolem S, který určuje kladnou nebo zápornou teplotu. Je-li  $S = 0$ , jedná se kladnou teplotu, je-li  $S = 1$ , měřeným výsledkem je teplota záporná. Používáme-li při měření 12-bitové rozlišení, jsou všechny údaje v registrech platné. Při měření s 11-bitovou rozlišitelností, je bit 0 nedefinovaný. Pro 10-bitovou rozlišitelnost jsou nedefinované bity 0 a 1. A pro 9-bitovou rozlišitelnost jsou nedefinované bity 0, 1 a 2.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	$2^6$	$2^5$	$2^4$

Obr. 2.10 Formát dat získaných z teplotního senzoru DS18B20 [9]

Pro nastavení rozlišitelnosti měření teploty se využívají bity 5 a 6 konfiguračního registru. V tabulce 2.1 jsou znázorněny hodnoty těchto bitů pro jednotlivé rozlišitelnosti s maximální dobou převodu teploty. Konfigurační registr se spolu s registry  $T_L$  a  $T_H$  ukládá do paměti typu EEPROM a jeho hodnota zůstává zachována i po vypnutí napájení. Výchozí nastavení konfiguračního registru je pro 12-bitovou rozlišitelnost.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Obr. 2.11 Formát konfiguračního registru [9]

R1	R0	Rozlišitelnost [ bit ]	Maximální doba převodu	
0	0	9	93.75ms	$(t_{CONV}/8)$
0	1	10	187.5ms	$(t_{CONV}/4)$
1	0	11	375ms	$(t_{CONV}/2)$
1	1	12	750ms	$(t_{CONV})$

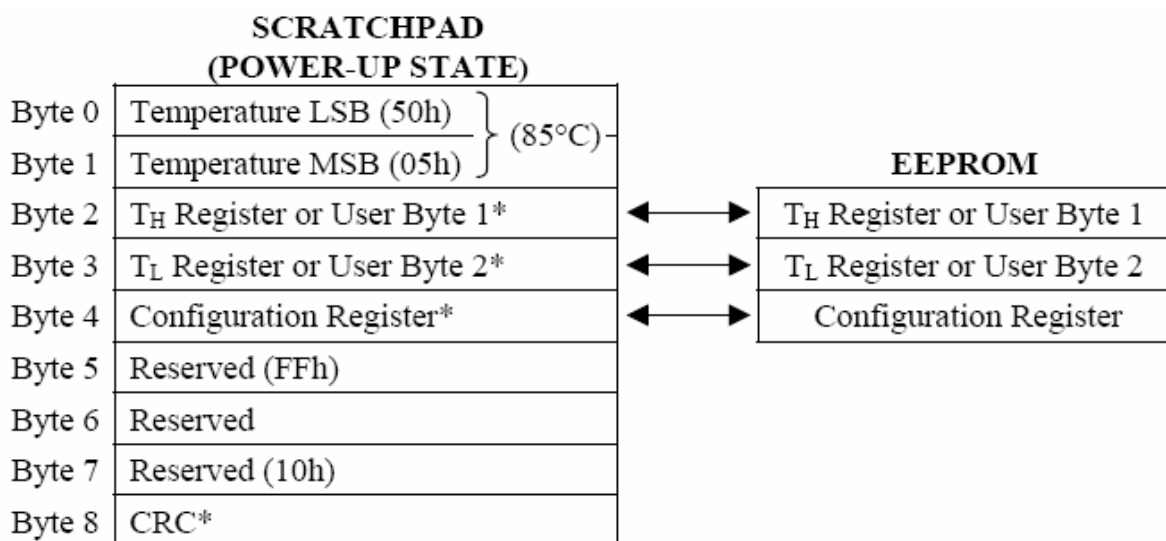
Tab. 2.1 Rozlišitelnost senzoru DS18B20 podle nastavení bitů R0 a R1 [9]

U senzoru DS18B20 lze využít funkci pro hlášení překročení námi nastavené teploty. Horní a dolní hranici teploty lze programově nastavit a uložit do interní paměti typu EEPROM v registrech  $T_L$  a  $T_H$ . Data jsou tedy uložena i v případě výpadku napájení. Formát těchto dvou registrů je na obrázku 2.12. Příznak S slouží pro rozeznání kladné a záporné teploty. Je-li příznak  $S=0$ , je teplota kladná. Jeli  $S=1$ , jedná se o teplotu zápornou. Pokud je změřená teplota menší nebo rovna hodnotě v registru  $T_L$  nebo je-li větší nebo rovna hodnotě v registru  $T_H$ , nastaví se příznaky hlášení o překročení nastavené teploty. Tyto příznaky se obnovují po každém měření. Stav těchto příznaků lze jednoduše zjistit pomocí příkazu Alarm Search (v hex kódu - ECh).

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
S	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$

Obr. 2.12 Formát  $T_L$  a  $T_H$  registrů [9]

Pro zjištění naměřených dat a dalších informací z paměti je nutné použít příkaz Čtení paměti (v hex kódu - BEh). Tento příkaz odešle po sběrnici 1-wire postupně všechny bajty v paměti začínajícími bajtem 0 – LSB a končícími bajtem 8 – CRC. Přenos dat lze v kterémkoliv časovém okamžiku ukončit. Potřebujeme-li zálohovat  $T_L$  a  $T_H$  registr či konfigurační registr, musíme použít příkaz Kopírování paměti (v hex kódu – 48h). Data se uloží do paměti EEPROM a jsou zálohována i při vypnutí napájení. Podrobnější schéma paměti je na obrázku 2.13. [9]



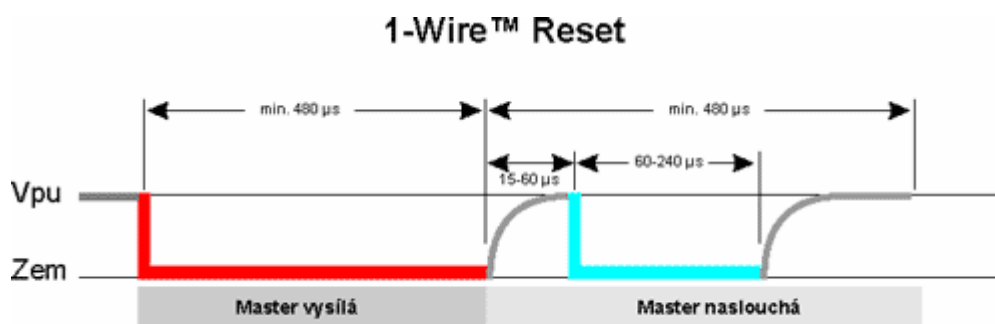
Obr. 2.13 Schéma paměti teplotního senzoru DS18B20 [9]

### 2.2.2.2 Popis sběrnice Dallas 1-wire

Sběrnice Dallas 1-wire je typu master-slave. Sběrnice má tedy jeden řídicí obvod (master) a jeden nebo více ovládaných zařízení (slave). Všechny zařízení jsou připojeny jednak na společnou zem (GND), jednak na společný datový vodič. Tento datový vodič je připojen přes pull-up rezistorem k napájecímu napětí.

Komunikaci vždy zahajuje master tzv. resetovacím pulsem. Master uvede datový vodič na úroveň logické 0 a drží ho na této úrovni minimálně 480  $\mu\text{s}$ . Pak sběrnici uvolní a naslouchá. Pull-up rezistor vrátí sběrnici na úroveň logické 1. Pokud je na sběrnici připojené nějaké 1-wire zařízení, detekuje tuto vzestupnou hranu a po prodlevě 15-60  $\mu\text{s}$  vynuluje sběrnici na 60-240  $\mu\text{s}$  na úroveň logické 0 (tzv. Presence puls). Pokud se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data. Data se vysílají v tzv. time slotech. Slot je dlouhý 60-120  $\mu\text{s}$ . V jednom slotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace. Mezi jednotlivými sloty musí být minimálně 1  $\mu\text{s}$  prodleva, kdy je sběrnice v klidu.

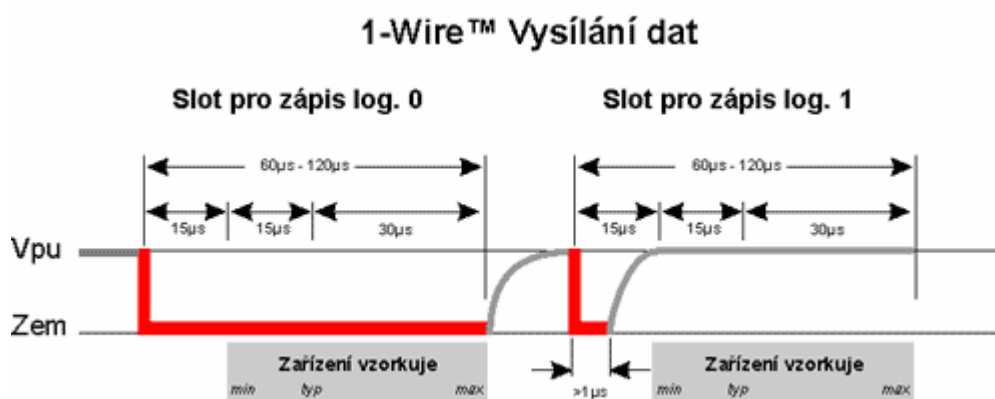
Komunikace mezi masterem a zařízením probíhá po bajtech a vždy se nejdříve vysílá bit 0 (LSB) a jako poslední se vysílá bit 7 (MSB).



Obr. 2.14 Průběh resetovacího pulsu [10]

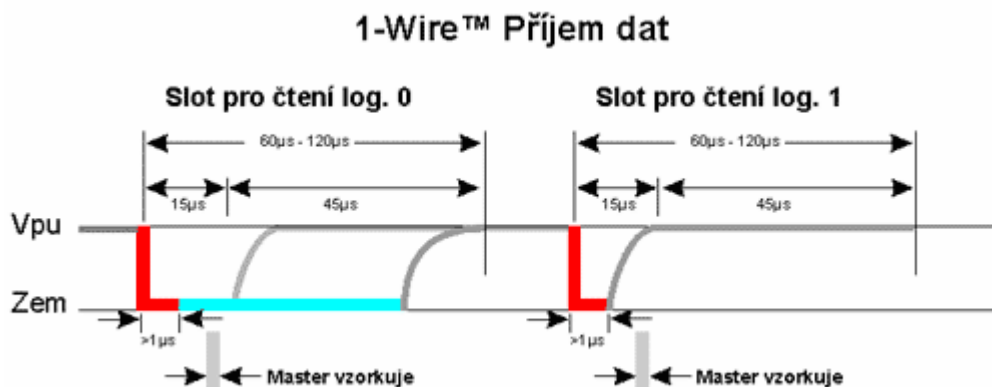


Vysílací sloty slouží k tomu, aby master mohl poslat data do zařízení. Vysílání logické 0 provede tak, že master vynuluje sběrnici a ponechá ji v tomto stavu minimálně 60  $\mu\text{s}$ . Vysílání logické 1 se provádí tak, že master vynuluje sběrnici minimálně na 1  $\mu\text{s}$  a nejpozději do 15  $\mu\text{s}$  od začátku slotu ji opět uvolní. Zařízení vzorkuje stav sběrnice přibližně za 30  $\mu\text{s}$  od začátku slotu.



Obr. 2.15 Průběh vysílání logické 0 a logické 1 [10]

Příjem dat ze zařízení se provádí tak, že master vynuluje sběrnici minimálně na 1  $\mu\text{s}$  a opět ji uvolní. Poté zařízení může vyslat jeden bit buď tím, že ponechá sběrnici v klidu (logická 1), nebo ji vynuluje (logická 0). [10]

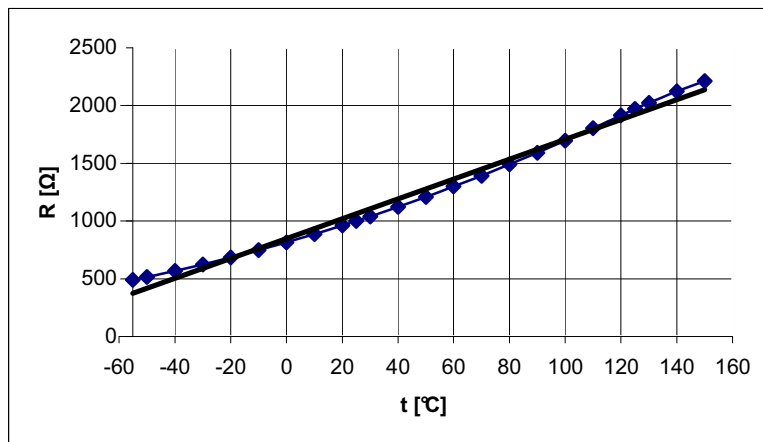


Obr. 2.16 Průběh příjmu logické 0 a logické 1 [10]

### 2.2.2.3 Teplotní PTC senzor typu KTY81-120

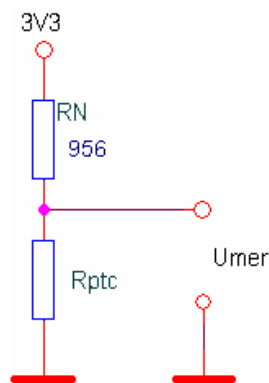
PTC senzor, neboli termistor patří do skupiny odporových senzorů, kde se změnou teploty roste i elektrický odpor. Největší nevýhodou termistorů je jejich silně nelineární charakteristika.

Maximální teplotní rozsah senzoru KTY81-120 je od  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hodnota odporu termistoru při teplotě  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  je  $1000\ \Omega$ . Tolerance měření se udává  $\pm 2\%$  při teplotě  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [11]



Obr. 2.17 Převodní charakteristika PTC senzoru KTY81-120 proložená lineární přímkou

K měření teploty pomocí PTC senzoru je využito A/D převodníku, který však měří pouze napětí. Změnu odporu v závislosti na teplotě převedeme na změnu napětí pomocí jednoduchého odporového děliče. Referenční napětí A/D převodníku je  $3,3\text{ V}$ . Odpor  $R_N$  je zvolen tak, aby při teplotě  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  byl přibližně stejný jako odpor PTC senzoru, který je  $1000\ \Omega$ . Paralelní kombinací rezistorů  $R_{18}$  a  $R_{21}$  získáme rezistor  $R_N$ , jehož přesná hodnota je  $956\ \Omega$ .



Obr. 2.18 Zapojení PTC senzoru v odporovém děliči

Rozlišovací schopnost  $r$  je dána hodnotou referenčního napětí a počtem úrovní A/D převodníku.

$$r = \frac{U_{ref}}{AD} = \frac{3,3}{1024} = 3,22 \text{ mV / LSB}$$

Měřené napětí na děliči je dáno vztahem:

$$U_{mer} = U_{ref} \frac{R_{PTC}}{R_{PTC} + R_N} \quad [V]$$

Napětí na děliči při teplotě 25 °C:

$$U_{mer} = 3,3 \frac{1000}{1000 + 956} = 1,68 \text{ V}$$

Pro zjištění přibližné převodní konstanty spočteme, jak se změní odpor na jednom LSB A/D převodníku.

$$U_{mer} + \Delta U = U_{ref} \frac{R_{PTC} + \Delta R_{PTC}}{R_{PTC} + \Delta R_{PTC} + R_N} \quad [V]$$

kde  $\Delta U$  je změna napětí o LSB tedy rozlišovací schopnost  $r$ . Po vyjádření  $\Delta R_{PTC}$  dostaneme:

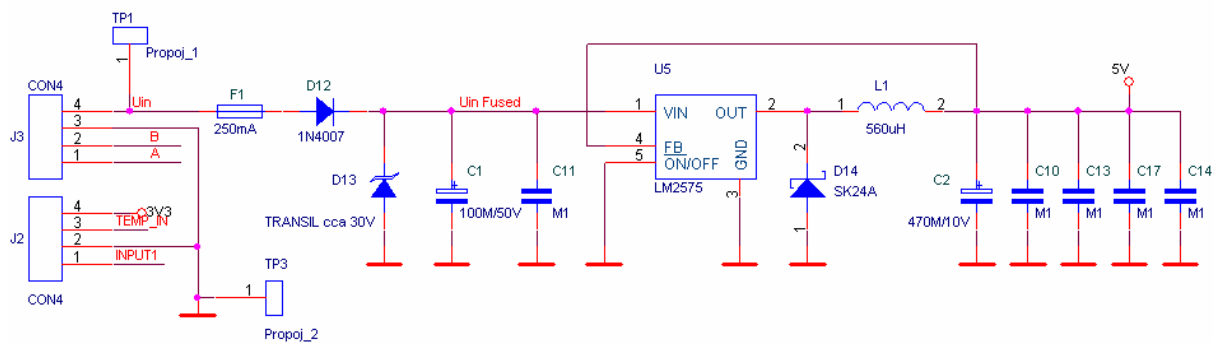
$$\Delta R_{PTC} = \frac{(R_{PTC} + R_N)\Delta U}{U_{mer} - \Delta U} = \frac{(1000 + 956) \cdot 3,2 \cdot 10^{-3}}{1,68 - 3,2 \cdot 10^{-3}} = 3,73 \text{ } \Omega / \text{LSB}$$

Z tabulky hodnot pro teplotní senzor KTY81-120 můžeme zjistit, že při změně teploty o 1 °C se změní elektrický odpor senzoru přibližně o 8,5  $\Omega$ . Z této hodnoty a z vypočtených hodnot můžeme usoudit, že změříme-li A/D převodníkem údaj špatně o jeden LSB, dopustíme se chyby přibližně o 0,5 °C.

## 2.3 Popis jednotlivých částí schématu

### 2.3.1 Napájecí zdroj 5V

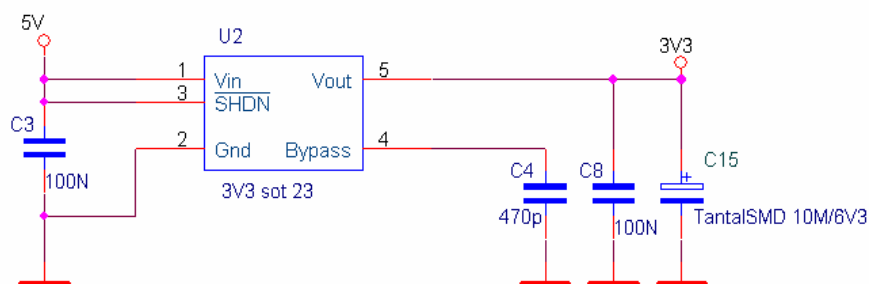
Zapojení napájecího zdroje vychází z doporučeného zapojení pro spínaný stabilizátor LM2575. Maximální proudové zatížení je 1 A. Vstupní napětí do zdroje může být v rozmezí 6 až 29 V. Ochranu proti přepětí na vstupu tvoří transil, který při napětí vyšší než 30 V svede potenciál k zemi a dojde k přerušení pojistky F1. Ochranu na vstupu zdroje proti přepólování zajišťuje dioda D<sub>12</sub> zapojená v sérii. Drátové propojky TP1 a TP3 se propojí s propojky TP2 a TP4 při využití napájení pro termostatické hlavice 24VDC. Tyto propojky nelze využít při napájení termoelektrických hlavice 230VAC!!!



Obr. 2.19 Schéma zapojení zdroje napětí 5V

### 2.3.2 Zdroj napětí 3,3 V

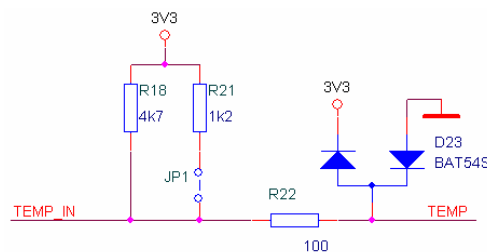
Napětí 3,3 V které je potřeba pro napájení mikrokontroléru, je vytvořeno stabilizováním napětí 5 V pomocí lineárního stabilizátoru TC1017 – 3,3VLT.



Obr. 2.20 Schéma zapojení zdroje napětí 3,3V

### 2.3.3 Vstupní obvod pro připojení teplotních senzorů

Tento obvod umožňuje připojení digitálního senzoru DS18B20 nebo PTC senzoru KTY81-120. Zvolíme-li digitální senzor, necháme jumper JP1 rozpojený, tím bude zapojený jako pull-up jen rezistor  $R_{18}$ . Při použití PTC senzoru, musí být jumper JP1 spojený a paralelní kombinací rezistorů  $R_{18}$  a  $R_{21}$  vznikne rezistor s odpovídající hodnotou pro PTC senzor KTY81-120. Dioda  $D_{23}$  slouží k ochraně vstupu mikrokontroléru. Připojíme-li na vstup obvodu vyšší napětí než 3,6 V nebo záporné napětí, dioda  $D_{23}$  svede toto napětí a nedojde k porušení vstupu mikrokontroléru. Může ale dojít k nevratnému přerušení rezistoru  $R_{22}$ , kde jeho hodnota nemůže být příliš velká, kvůli funkčnosti digitálního senzoru. Mezní hodnota vstupního napětí 3,6 V je dána napájecím napětím 3,3 V a úbytkem napětí 0,3 V na PN přechodu Schottkyho diody  $D_{23}$ . Vstupní proudy mikrokontroléru jsou tak malé, že hodnotu rezistoru  $R_{22}$  můžeme při počítání s PTC senzorem zanedbat.

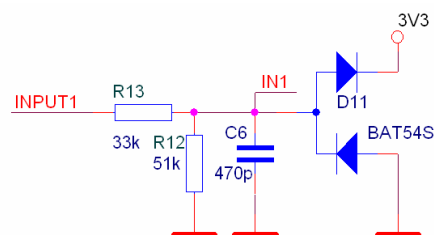


Obr. 2.21 Schéma zapojení vstupního obvodu teplotních senzorů

### 2.3.4 Obvod pro digitální vstup

Na digitální vstup se připojuje kontakt, který je spínaný proti napětí 24 V, proto je obvod digitálního vstupu tvořen napěťovým děličem, který upraví vstupní napětí na hodnoty logicých stavů mikrokontroléru. Případné zákmity jsou odfiltrovány kondenzátorem  $C_6$ .

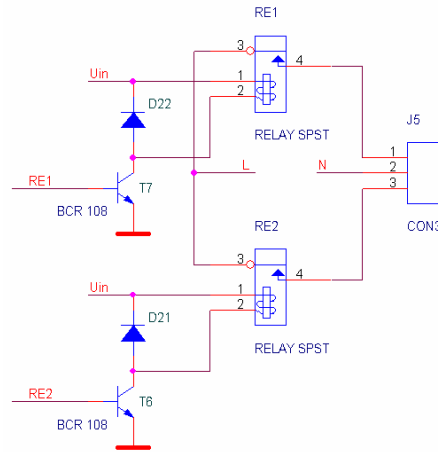
Tento vstup může být využit pro kontrolu stavu okenního kontaktu, stavu oběhového čerpadla či jiných zařízení.



Obr. 2.22 Schéma zapojení digitálního vstupu

### 2.3.6 Obvod pro spínání výstupů

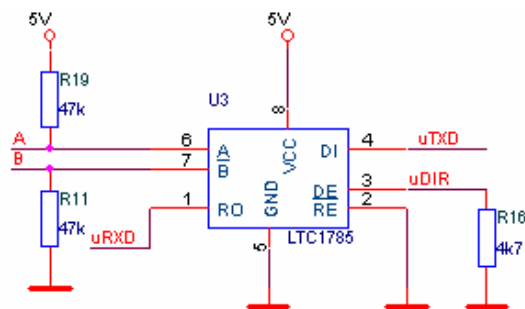
Termostatické hlavice jsou spínány pomocí relé, které jsou ovládány přes digitální NPN tranzistory BCR108. K řídicím pinům každého relé jsou připojeny diody. Tyto diody zabraňují vzniku napěťových špiček, které vznikají při spínání a rozepínání indukčnosti. Báze tranzistorů jsou připojeny přímo k mikrokontroléru. K výstupní tří pinové svorkovnici jsou připojeny 2 kontakty od relé pro spínání termostatických hlavice a jeden společný vodič.



Obr. 2.23 Schéma zapojení pro spínání výstupů

### 2.3.5 Obvod pro komunikaci po sběrnici RS-485

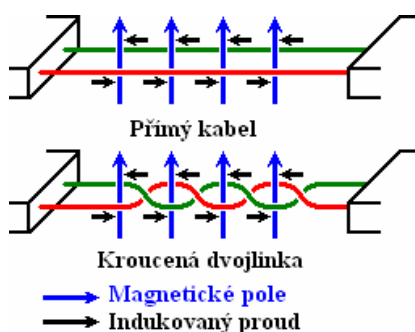
Tento obvod vychází z doporučeného zapojení obvodu MAX485, který představuje signálový převodník mezi sběrnici RS-485 a sériovým rozhraním UART a naopak. Při zapojování modulu k systému se může lehce stát, že na svorkovnice pro sběrnici RS-485 se omylem připojí vodiče s napájecím napětím, byl proto zvolen jako budič sběrnice obvod LTC1785. Tento obvod je odolný proti trvalému napětí na komunikačních linkách až  $\pm 60$  V. Kladnější vodič A je připojen přes rezistor  $47\text{ k}\Omega$  k napětí  $+5$  V. Zápornější vodič B je připojen přes rezistor  $47\text{ k}\Omega$  ke společné zemi. Tyto vodiče se dále připojí na sběrnici RS-485. Vodiče uTXD a uRXD jsou připojeny přímo k mikrokontroléru a slouží pro příjem a odesílání dat na sběrnici. Signál uDIR je připojen také k mikrokontroléru a slouží k ovládní sběrnice.



Obr. 2.24 Schéma zapojení převodníku sběrnice RS-485

## 2.4 Sběrnice RS-485

RS-485 je standard pro dvoudrátové poloduplexní spojení mezi více jednotkami. Tento standard se používá především v průmyslu pro přenos dat na větší vzdálenosti, kde délka sběrnice může být až 1200m, přičemž přenosová rychlost může být až 10Mbit/s. Sběrnice však vyžaduje připojení na oba konce linky terminály – rezistory s hodnotou 120  $\Omega$ . Datová komunikace mezi jednotkami se provádí po stíněném kabelu typu twisted pair (kroucený pár), kde jednotlivé logické stavy jsou reprezentovány rozdílovým napětím mezi oběma vodiči. Rozdílové napětí je výhodné zejména kvůli eliminaci naindukovaného rušivého napětí vztáženého k nulovému potenciálu země. Vodiče se označují písmeny A a B, kde za kladnější vodič je považován vodič A. Logický stav “1” (H) je dán rozdílovým napětím  $A - B < -300$  mV. Logický stav “0” (L) je dán rozdílovým napětím  $A - B > +300$  mV. Vysílač by měl na výstupu generovat napětí +2 V, případně -2 V. Přijímač by měl na vstupu rozlišovat napětí +200 mV, případně -200 mV.



Obr. 2.25 Směr indukovaného proudu u přímého kabelu a kroucené dvojlinky [12]

Veškeré řízení přenosu dat je prováděno programově, většinou pomocí softwarového handshakingu. Aby nedošlo k chybě přenosu rámce, musí přijímač i vysílač pracovat na stejné frekvenci. K této chybě dochází, vzorkujeme-li na přechodu mezi dvěma bity. [13]

## 3. SOFTWAREVÉ ŘEŠENÍ

### 3.1 Obecně

Jak již bylo zmíněno výše, tato diplomová práce je součástí většího systému inteligentní regulace vytápění, na kterém se podílí mnoho lidí. A díky jejich dlouholeté práci jsou vytvořeny různé knihovny, které byly využity i při psaní firmwaru pro modul řízení podlahového vytápění při dodržení licenčních podmínek společnosti Pikron s.r.o, jejichž autory jsou Ing. Pavel Píša a Ing. Petr Smolík. Dalším spoluautorem některých knihoven a definováním tzv. Objektového slovníku pro systém inteligentního vytápění je Ing. Pavel Němeček.

Objektový slovník je specifikace pro přímou komunikaci mezi zařízeními na sběrnici. Je využit např. pro ovládání výstupu jiného zařízení, zjišťování stavu vstupů, čtení teploty, případně dalších možností specifikovaných daným zařízením.

Celý program modulu je prováděn ve třech základních smyčkách. V hlavní smyčce programu se provádí například čtení teploty ze senzoru, vyhodnocování stavu vstupů, či zjišťování nové zprávy přes uLAN. Další smyčka je tvořena přerušením od časovače 1. V tomto časovači je každou 1 ms inkrementována proměnná `sys_timer_tics`, která se využívá pro časování některých knihoven. Poslední základní smyčkou je přerušení od UARTu1. Při obsluze tohoto přerušení se provádí kompletní ovladač uLANu.



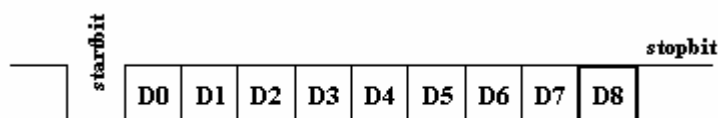
## 3.2 Komunikační protokol uLAN

### 3.2.1 uLAN – obecně

uLan je 9-bitový asynchronní komunikační protokol. Přenos dat se provádí sériově, podobně jako u RS-232 s tím rozdílem, že paritní bit neslouží ke kontrole správnosti přenosu, ale je využit k rozeznávání dat a informačních zpráv. Fyzickou vrstvu protokolu uLAN tvoří dvoudrátová sběrnice RS-485 a komunikační rozhraní UART. [15]

### 3.2.2 Formát dat

Komunikační protokol uLAN používá 9-bitový přenos dat. Protože se jedná o asynchronní přenos, každý znak začíná startbitem a končí stopbitem. Průběh přenosu je na obr. 3.1. Nejvýznamnější bit přenášeného znaku je bit D8. Znaky, které mají D8=1, jsou speciální znaky, které se v datovém rámci objevují jen na určitých pozicích a ohraničují přenášená data. [14]



Obr. 3.1 Průběh přenosu jednoho znaku [14]

### 3.2.3 Datový rámec

Datový rámec protokolu uLAN se skládá z posloupnosti 9-bitových znaků. Prvním znakem je adresa příjemce *DAdr* nebo znak neadresného počátku rámce *uL\_Beg* s nastaveným bitem D8. Tento znak přijmou všechny přístroje na sběrnici a podle něj se rozhodnou, zda-li jsou pro něj určeny další znaky, které jsou již bez nastaveného bitu D8. Následují znaky s adresou odesílatele *SAdr* a číslo služby, pro kterou je rámec určen. Společně s daty se neodesílá i jejich délka, která může být nula až maximální povolené délka dat *MaxBlock*. Tato maximální délka dat závisí na konkrétní aplikaci v níž uvažujeme nejdelší možnou délku odezvy, rychlost komunikace a počet aktivních přístrojů. Aby se zbytečně



Kódy těchto znaků kromě cílové adresy jsou voleny tak, aby jejich Hammingova vzdálenost byla rovna 2. Nastane-li chyba při přenosu znaku pouze v jednom bitu, je tato chyba rozpoznána a přenos je považován za chybný.

Při potvrzení datového rámce je využito definovaných kódů s Hammingovou vzdáleností rovnou 4. Tyto kódy mají nulový bit D8. [14]

Název	Hodnota v hex	Popis
uL_ACK	019h	potvrzení rámce
uL_NAK	07Fh	negativní potvrzení rámce
uL_WAK	025h	nepotvrzeno a bude potřeba čekat

Tab. 3.2 Znaky pro potvrzení rámce [14]

### 3.2.5 Přenos zprávy

Každý přístroj, který chce poslat zprávu na sběrnici, musí počkat na její uvolnění. Jakmile se sběrnice uvolní, provede připojení na sběrnici. Proběhlo-li připojení úspěšně, přístroj odešle datový rámec. Pokud to služba vyžaduje, provede se kontrola potvrzení rámce a případně přenos dalších datových rámců. Poté je sběrnice uvolněna. Nedetekuje-li se chyba, je zpráva označena jako doručená. V opačném případě se zvýší počet neúspěšných případů. Při dosažení předdefinované hodnoty je zpráva označena za nedoručenou a pokus o vyslání se již neopakuje.

Aby přístroj mohl přijímat zprávy, musí mít přidělenou vlastní adresu, musí rozeznat znaky s nastaveným bitem D8 a musí trvale sledovat obsazenost sběrnice. Přejme-li přístroj znak s nastaveným bitem D8 a nulovým bitem D7 se svojí nebo všeobecnou adresou, přejde do stavu naadresovaný a přijme datový rámec. Není-li datový rámec úspěšně přijat, je ignorován a v případě *uL\_ARQ* nebo *uL\_AAP* (žádosti o potvrzení) je vysláno *uL\_NAK* (negativní potvrzení). V opačném případě je datový rámec uložen do paměti. Po příjmu *uL\_ARQ* nebo *uL\_AAP* je rámec okamžitě předám příslušné službě, která provede požadovanou akci a může čekat na další jí určený datový rámec nebo jej vyslat. Po přijetí dalšího datového rámce ve stavu naadresovaný jsou rozšířeny rozpoznávané adresy o adresu *uL\_Beg*. Do počátečního čekání na datový rámec bez příznaku naadresovaný se přístroj vrátí po příjmu znaku s nastavenými bity D8 a D7. Pro některé služby může být počátek rámce s adresou *uL\_Beg* povinný. [14]

### 3.2.6 Arbitrace přístupu k médiu

Aby mohl přístroj vysílat na sběrnici, musí nejdříve proběhnout tzv. arbitrace, neboli definování přípravné fáze před získáním oprávnění vysílat. Arbitrace zaručí, že toto oprávnění získá pouze jeden přístroj, které je navíc doplněno o rotování priority vysílání. Toho je docíleno určením minimálního času, po který se nesmí přístroj připojit, v závislosti na adrese předchozího přístroje s oprávněním vysílat. Rotování priority je vytvořeno tak, že každý zná adresu přístroje, který jako poslední uvolnil sběrnici ( $LAdr$ ) a vlastní adresy  $Adr$  vypočítá dobu, po kterou testuje klid na sběrnici, podle vzorce:

$$(LAdr - Adr - 1) \bmod 16 + 4.$$

Tato doba se měří v době přenosu jednoho znaku. Pokud není známa adresa  $LAdr$  nebo nastane-li chyba na sběrnici, musí tato doba odpovídat minimálně přenosu 20 znaků. Je-li přijat libovolný znak nebo je detekována nízká úroveň na sběrnici, je sběrnice prohlášena za obsazenou a přístroj musí čekat na uvolnění sběrnice. [14]

### 3.3 ISO/OSI model

Celou komunikaci můžeme zahrnout do tří vrstev ISO/OSI modelu. Fyzická vrstva představuje dvoudrátové spojení sběrnice RS-485 a komunikační rozhraní UART. Linková a transportní vrstva je reprezentována komunikačním protokolem uLAN a komunikací mezi zařízeními pomocí Objektového slovníku.



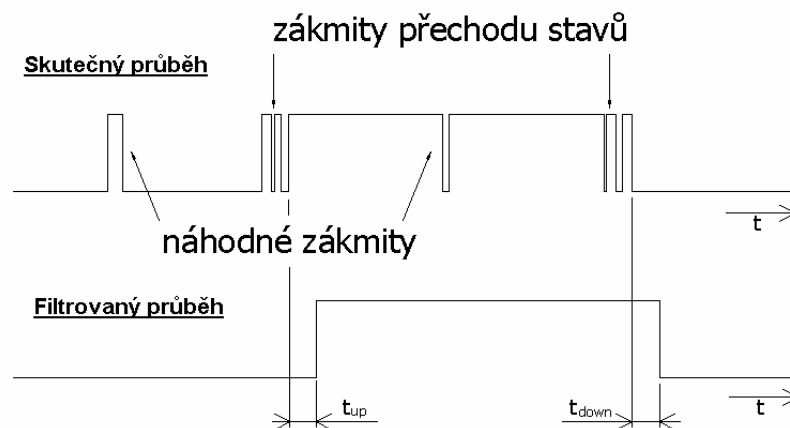
Obr. 3.3 ISO/OSI model protokolu uLAN

## 3.4 Popis použitých knihoven

### 3.4.1 Knihovna DEBOUNCE pro ošetření zámků

Knihovna slouží pro ošetření zámků, které se mohou vyskytnout na vstupu. Zámky mohou vzniknout dvojího typu. Náhodné zámky vznikají většinou vlivem různých typů rušení. Zámky přechodu stavů vznikají například při přepínání přepínače z jedné polohy do druhé.

Knihovna Debounce je neblokující. To znamená že při zjištění změny stavu na vstupu se pro ošetření zámků nezablokuje hlavní smyčka programu, ale jen se uloží hodnota proměnné `sys_timer_ticks`, která se inkrementuje každou 1 ms. Při dalším průchodu hlavní smyčkou se zjistí, zda-li se změnil stav vstupu od minulého průchodu. Změnil-li se tento vstup, hodnota proměnné se znovu uloží. Pokud vstup ale zůstal nezměněn, porovná se předem definovaná hodnota  $t_{up}$  (případně  $t_{down}$ ) s rozdílem aktuální hodnoty proměnné `sys_timer_ticks` a uložené hodnoty. Je-li výsledek větší než hodnota  $t_{up}$  (případně  $t_{down}$ ), je brán stav vstupu jako platný.



Obr. 3.4 Skutečný a filtrovaný průběh přechodu stavů

### **3.4.2 Knihovna pro obsluhu digitálního senzoru DS18B20**

Tato knihovna implementuje komunikaci po sběrnici 1-Wire s externím senzorem teploty DS18B20. Knihovna zahrnuje několik funkcí, které slouží od odesílání a příjem jednotlivých bitů až po samostatný převod a přečtení teploty.

Knihovna je částečně blokovácí. To znamená, že při vysílání dat se zakáže přerušení a povolí se až po odeslání daného bitu. Přejde-li požadavek na přerušení mezi jednotlivými bity, přerušení se obslouží. Po vykonání se přerušení opět zakáže a pokračuje se v odesílání dalšího bitu. Příjem dat funguje podobně. Veškeré časování přenosu dat po sběrnici 1-wire je znázorněno a popsáno v kapitole 2.2.2.2 Popis sběrnice 1-wire.

### **3.4.3 Knihovna KEYVAL pro práci s pamětí FLASH**

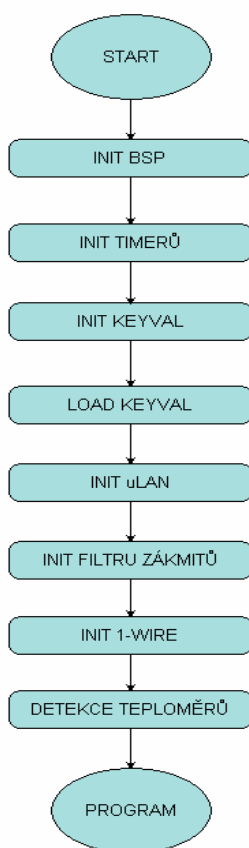
Velkou nevýhodou pamětí FLASH je jejich omezený počet přepisovacích cyklů, které se pohybují v řádech desítek až stovek tisíců. Proto byla napsána knihovna KeyVal, která zapisuje data ve tvaru klíč/hodnota. Je optimalizována tak, že minimalizuje počet mazání FLASH paměti. Pro KeyVal je vyhrazena určitá část paměti FLASH, do které se data zapisují odspodu. Při zapsání nové hodnoty, se tato hodnota zapíše na začátek volného prostoru, provede se kontrolní součet a kontrola zápisu a teprve se zneplatní původní hodnota. Tímto postupem je zaručena ochrana při výpadku napájení. Při zaplnění všech vyhrazených bloků, se vymaže nejstarší blok.

### **3.4.4 Knihovna komunikačního protokolu uLAN**

Knihovna komunikačního protokolu uLAN je kompletně realizována na rozhraní UART1 a je řízena přerušením od UARTu1. Komunikační protokol je sám o sobě hodně složitý a podrobnější popis funkčnosti této knihovny by byl zbytečný. Komunikační protokol uLAN byl popsán v kapitole 3.2.

### 3.5 Inicializace programu

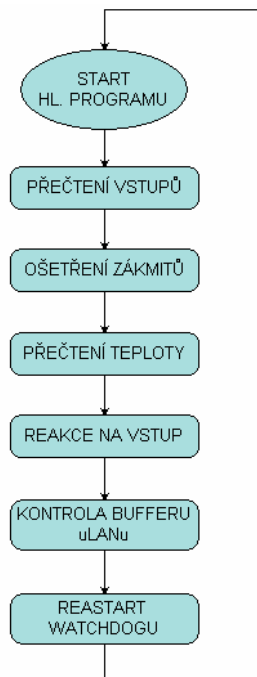
Každý procesor při zapnutí napájení potřebuje nejprve provést inicializaci. Jako první se musí provést inicializace BSP, což je v podstatě sada inicializačních souborů, které provádí inicializaci procesoru, přerušovacího systému, hodin, sběrnic, RAM apod. Díky BSP je umožněna přenositelnost výchozího nastavení na jiný procesor či jinou desku plošných spojů. Po provedení inicializace BSP se provede inicializace časovačů a KeyVal paměti, ze které se načtou informace o adrese zařízení pro komunikaci pomocí protokolu uLAN. Dále se načte sériové číslo jednotky a případně vlastní nastavení jednotky. V dalším kroku se provede inicializace komunikačního protokolu uLAN, kde se provede vlastní inicializace driveru, nastaví se komunikační adresa, identifikační řetězec a filtr přijímaných zpráv. Dále se nastaví objektový interface a služba dynamické adresace. Poté následuje inicializace filtru pro odstranění zákmitů, který eliminuje zákmity na vstupech. Dále je nutné provést inicializaci sběrnice 1-wire s detekcí připojených teplotních čidel. Průběh inicializace je na obrázku 3.5.



Obr. 3.5 Vývojový diagram inicializační smyčky

### 3.6 Hlavní smyčka programu

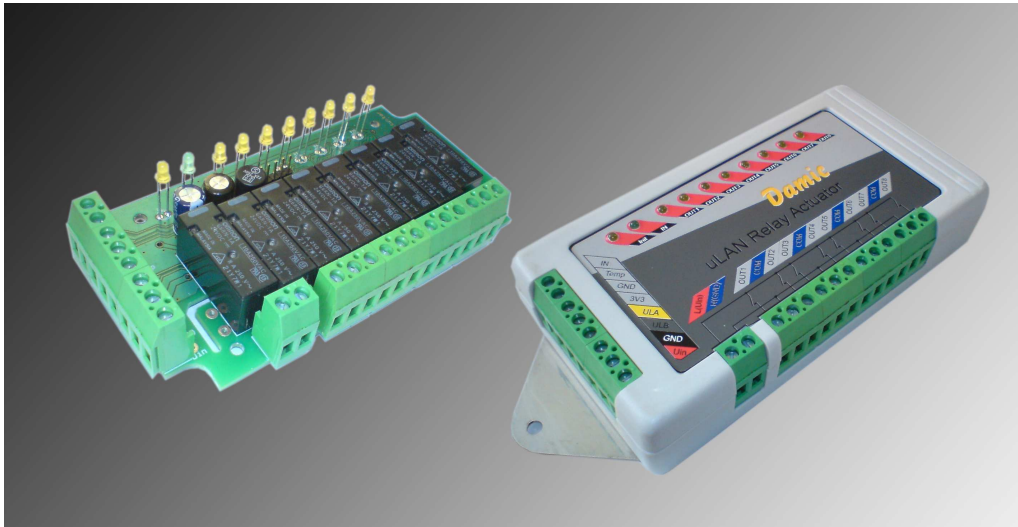
Hlavní smyčka programu se provádí v nekonečném cyklu. Na začátku se přečtou vstupní hodnoty a provede se ošetření zákmitů. Dále se přečte teplota z teplotních čidel. Při identifikaci jakékoliv změny stavu na vstupu, se provede reakce podle nastavení objektového slovníku. V dalším kroku se provede kontrola bufferu uLANu. Je-li v bufferu zpráva, tak se z něj vybere a provede se reakce na danou zprávu, například se odešle informace o teplotě. Na konci hlavní smyčky programu se provede restart watchdogu.



Obr. 3.6 Vývojový diagram hlavní smyčky programu



## 4. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

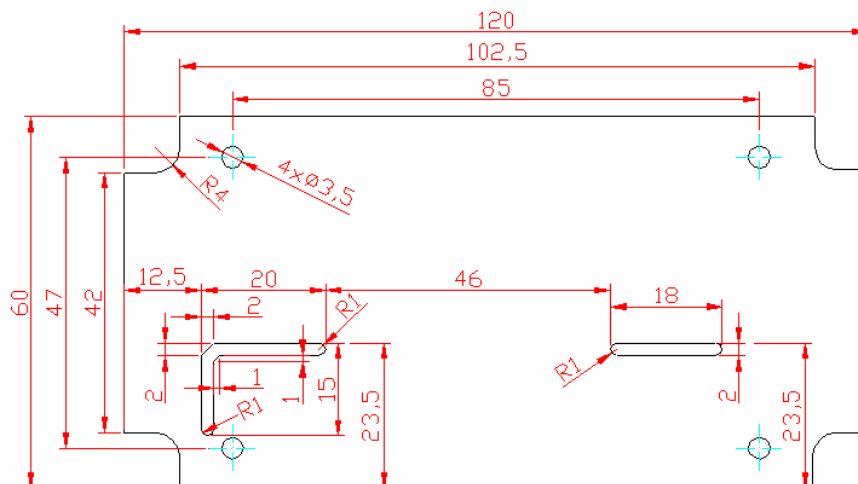


Obr. 4.1 Modul pro řízení podlahového vytápění

### 4.1 Návrh desky plošných spojů a krabičky

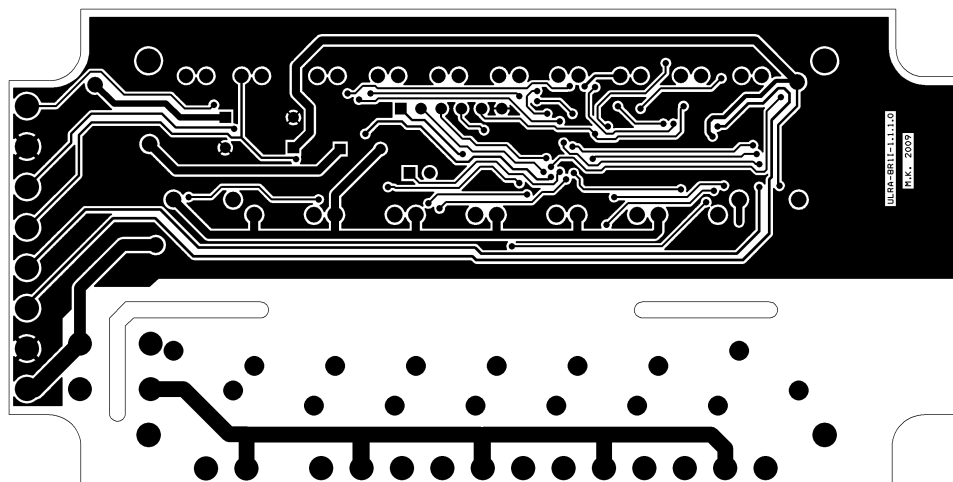
Pro návrh desky plošných spojů bylo využito prostředí OrCAD Layout s předchozím návrhem schématu v prostředí OrCAD Capture CIS.

Plošný spoj byl navržen tak, aby se dal lehce vložit a přišroubovat do zvolené krabičky KP24. Rohy plošného spoje jsou odfrézovány kvůli konstrukci krabičky. Dále jsou vyfrézovány čtyři montážní otvory pro uchycení desky plošných spojů v krabičce a dva otvory pro zvětšení izolační vzdálenosti. Okótovaný výkres je na obrázku 4.2.

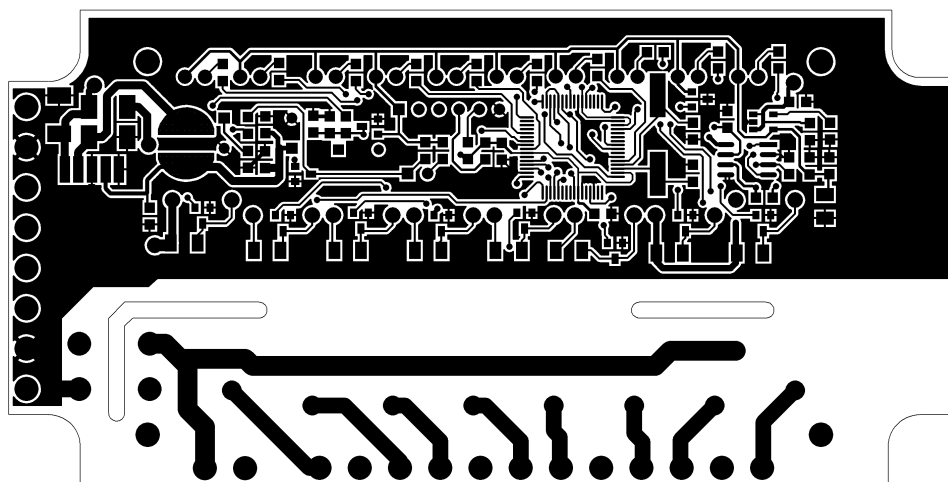


Obr. 4.2 Výkres plošného spoje

Návrh desky plošných spojů byl volen tak, aby vzniklo co největší oblast pro galvanické oddělení signálové části od výstupní části, kde můžou spínat relé i 230 V. Deska plošných spojů je osazena jednak SMD součástkami, ale i klasickými. DPS se navrhovala tak, aby na horní straně byly jen klasické součástky a na spodní straně jen součástky SMD. Na obrázku 4.3 je znázorněn obrazec plošných spojů z horní strany TOP a na obrázku 4.4 je obrazec plošných spojů spodní strany BOTTOM.

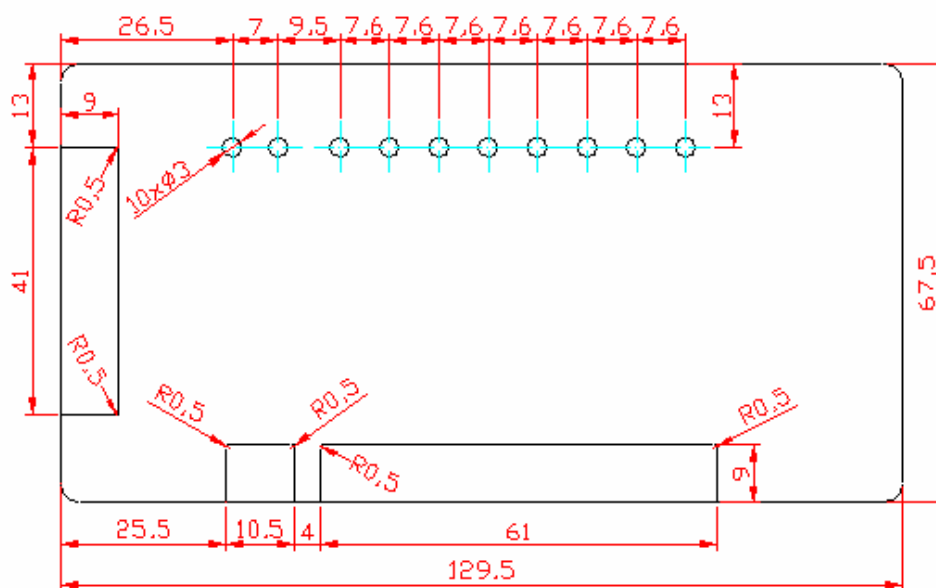


*Obr. 4.3. Obrazec plošných spojů ze strany TOP*



*Obr. 4.4 Obrazec plošných spojů ze strany BOTTOM*

Na obrázku 4.5 lze vidět výkres pro frézování krabičky. V krabičce jsou vyfrézovány kruhové otvory pro LED diody a otvory pro svorkovnice. Hloubka frézování od horní strany je 18,5 mm.



Pzn.: Hloubka frézování 18,5 mm

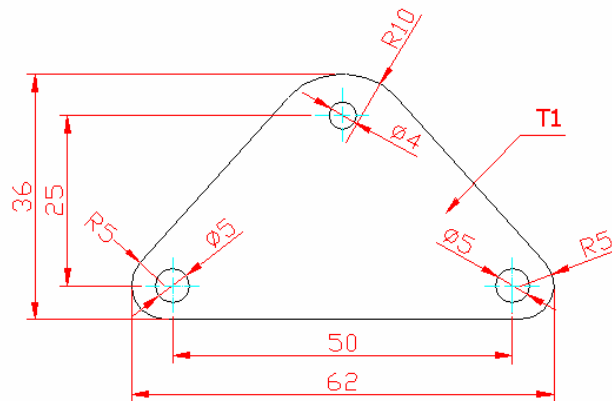
*Obr. 4.5 Výkres pro frézování krabičky*



*Obr. 4.6 Vyfrézovaná krabička KP24*

## 4.2 Držák krabičky

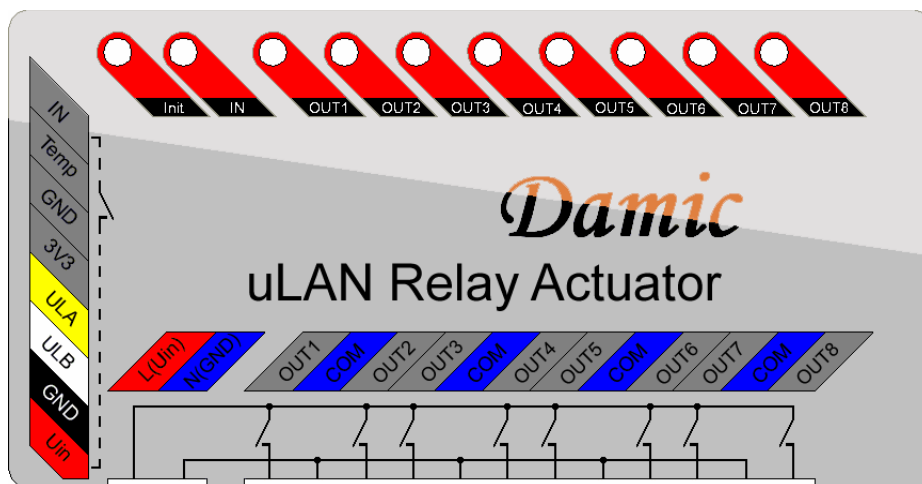
Aby bylo možno přichytit krabičku přímo v zabudované krabici rozdělovače podlahového vytápění, byl navržen držák, který se připevní pod šrouby ze spodní strany krabičky modulu na každé straně. Držák je vypálen pomocí laseru z nerez oceli o tloušťce 1mm. Okótovaný výkres držáku je na obrázku 4.7.



Obr. 4.7 Výkres držáku krabičky

## 4.2 Potisk krabičky

Potisk krabičky byl vytvořen v programu AutoCad a následně v grafickém programu Photoshop.



Obr. 4.7 Potisk krabičky

## Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření modulu pro řízení podlahového vytápění. Od začátku bylo záměrem vytvoření co nejlevnější aplikace pro uživatele, proto byly zvoleny jednoduché teplotní senzory s menší přesností měření. Těžištěm celé práce bylo navržení schématu zapojení s výrobou desky plošných spojů, výrobou krabičky a popisky. Dále byl vyroben držák pro možnost uchycení modulu v zabudované krabici s rozdělovačem podlahového vytápění. Softwarové řešení představuje jednoduchou aplikaci s využitím dostupných knihoven, které byly napsány při realizaci jiných zařízení pro systém inteligentního vytápění budov.

Při realizaci tohoto projektu vzniklo několik komplikací. Největší komplikací bylo špatné navržení schématu zapojení, kde signál pro nahrávání firmware byl zapojen na špatném pinu mikrokontroléru. Tato chyba se jednoduše opravila přemostěním signálů na desce plošných spojů. A pro další výrobu plošných spojů je nutné tuto chybu opravit.

Výsledkem této práce je kompletní modul pro řízení podlahového vytápění, který vzhledem k jeho univerzálnosti a charakteru by se dal použít i pro jiné aplikace. Modul by se také dal doplnit o bezdrátovou komunikaci, čímž by odpadlo drátové propojení modulu se systémem a výrazně by se tak zjednodušila instalace.

## Seznam použité literatury

- [1] M.E.R.. *IRC regulace* [online]. c2007 [cit. 2009-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.mer.cz/index.php?page=irc-regulace#main>>.
- [2] M.E.R.. *Termoeletrické hlavice* [online]. c2007 [cit. 2009-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.mer.cz/index.php?page=termoelektricke-hlavice>>.
- [3] ORNAMIC. *Výhody podlahového topení | Podlahové topení.cz* [online]. c2007 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.podlahovetopeni.cz/vyhody-podlahoveho-topeni/>>.
- [4] REHAU S.R.O.. *FAQ - podlahové vytápění* [online]. 2009 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.rehau.cz/F99C9E61BCD8553BC12571DA002E8893.shtml>>.
- [5] ORNAMIC. *Porovnání průběhu ideální teploty v místnosti vůči podlahovému a klasickému vytápění* [online]. 2007 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.podlahovetopeni.cz/porovnani-prubehu-idealni-teploty-v-mistnosti-vuci-podlahovemu-a-klasickemu-vytapeni.html>>.
- [6] KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.. *LPC2141/42/44/46/48 : Single-chip 16-bit/32-bit microcontrollers; up to 512 kB flash with ISP/IAP, USB 2.0 full-speed device, 10-bit ADC and DAC* [online]. 2005 , 7 September 2005 [cit. 2009-04-14]. PDF. Dostupný z WWW: <[http://www.keil.com/dd/docs/datashts/philips/lpc2141\\_42\\_44\\_46\\_48.pdf](http://www.keil.com/dd/docs/datashts/philips/lpc2141_42_44_46_48.pdf)>.
- [7] FLEGR, Miroslav. *Mikrokontroléry LPC2119/LPC2129*. [s.l.], 2007. 16 s. FEL ČVUT v Praze. Semestrální práce. Dostupný z WWW: <[http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2007/arm\\_LPC21x9/LPC21x9.pdf](http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2007/arm_LPC21x9/LPC21x9.pdf)>.
- [8] *ARM7TDMI-S : Technical Reference Manual* [online]. 2001 [cit. 2009-04-27]. PDF. Dostupný z WWW: <<http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0234b/DDI0234.pdf>>.

- [9] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. *DS18B20 : Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. 2008 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>>.
- [10] REDAKCE HW SERVERU. *Sběrnice 1-Wire* [online]. 17. Listopad 2004 - 1:00 [cit. 2009-05-03]. Dostupný z WWW: <<http://hw.cz/rozhrani/art1215-sbernice-1-wire.html>>.
- [11] PHILIPS ELECTRONICS N.V.. *KTY81-1 series : Silicon temperature sensors* [online]. 2000 Aug 25 [cit. 2009-05-09]. Dostupný z WWW: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/530/530-015/dsh.530-015.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/530/530-015/dsh.530-015.1.pdf)>.
- [12] BÍLEK, Jan. *Komunikace*. [s.l.], [2008]. 17 s. FEL ČVUT v Praze. Přednášky z předmětu X35NAZ. Dostupný z WWW: <<http://support.dce.felk.cvut.cz/pub/bilekj/NAZ/01/komunikace.pdf>>.
- [13] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: RS-485* [online]. 31. 12. 2008 [cit. 2009-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/RS-485>>.
- [14] PÍŠA, Pavel. *Komunikační protokol* [online]. 1998 , 7. července 1998 [cit. 2009-05-07]. Dostupný z WWW: <[http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/dipl\\_kom.html](http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/dipl_kom.html)>.
- [15] PÍŠA, Pavel. *Ul\_drv - uLan RS-485 Communication Driver* [online]. 2002 , 2. prosince 2002 [cit. 2009 05 07]. Dostupný z WWW: <[http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/ul\\_drv.html](http://cmp.felk.cvut.cz/~pisa/ulan/ul_drv.html)>.
- [16] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: UART* [online]. 18. 4. 2009 [cit. 2009-05-08]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/UART>>.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

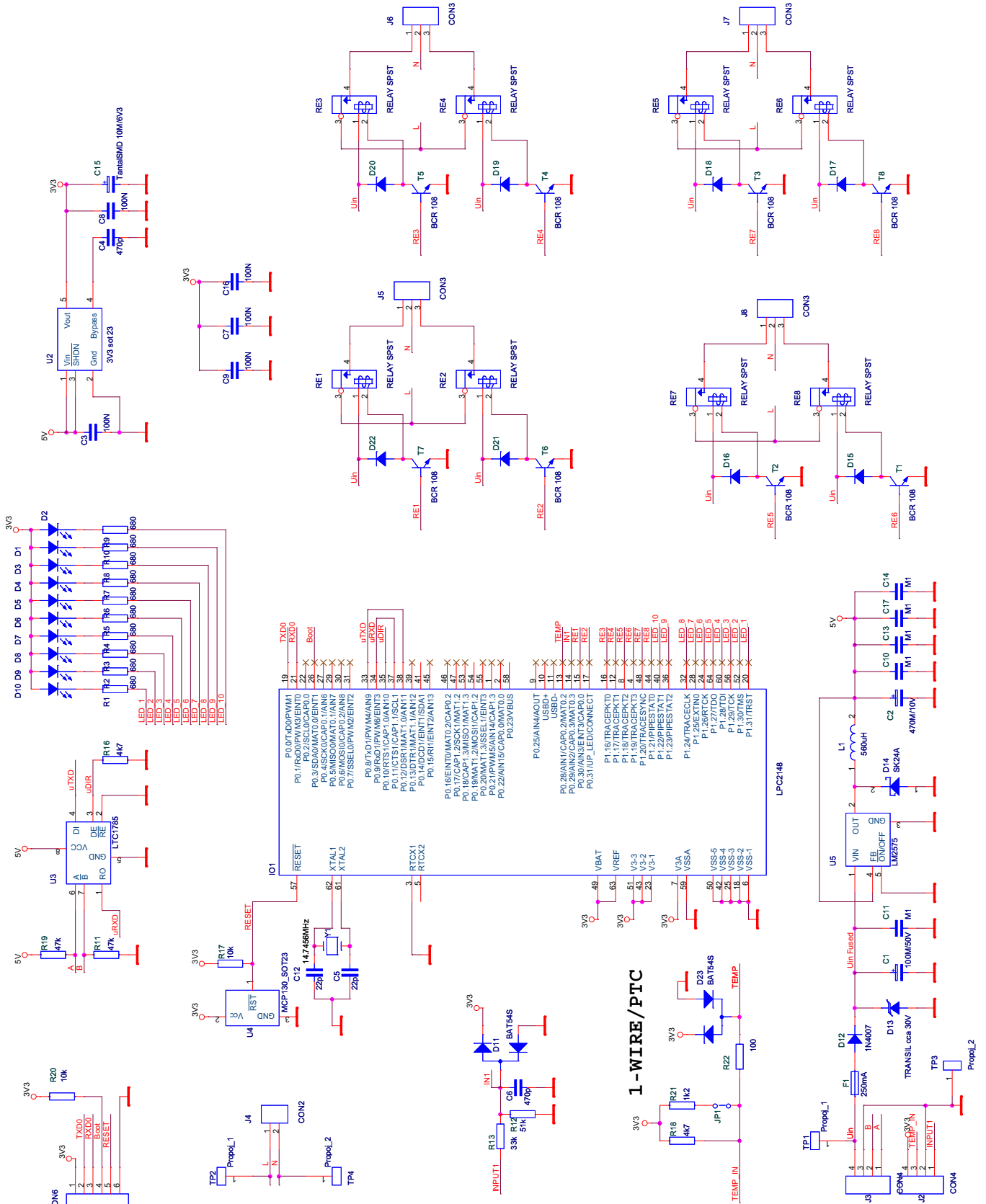
IRC	– Individual Room Control
PTC	– Positive Temperature Coefficient resistivity
RISC	– Reduced Instruction Set Computer
CISC	– Complex Instruction Set Computer
GPIO	– General Purpose Input/Output
RAM	– Random Access Memory
USB	– Universal Serial Bus
DMA	– Direct Memory Access
UART	– Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
ADC/DAC	– Analog to Digital Converter/Digital to Analog Converter
ALU	– Arithmetic Logic Unit
ROM	– Read Only Memory
EEPROM	– Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
LSB	– Least Significant Bit/Byte
MSB	– Most Significant Bit/Byte
BSP	– Board Support Package



## Seznam příloh

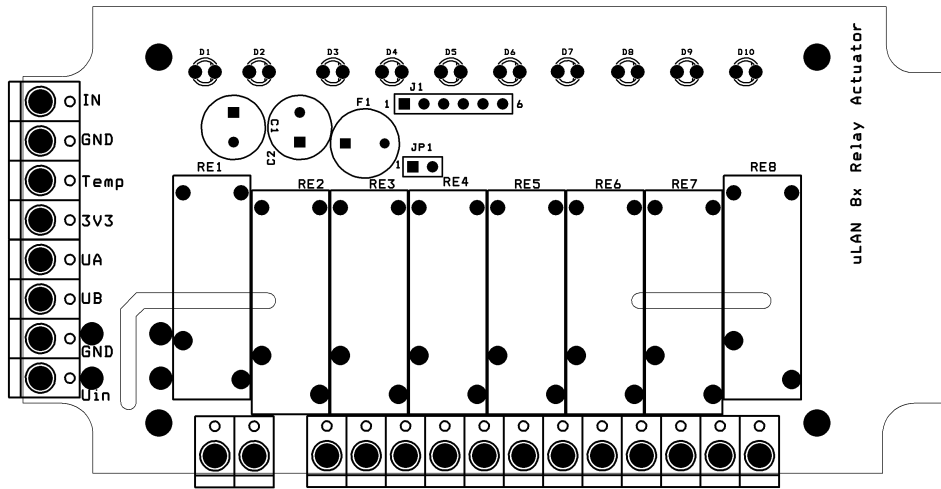
- Příloha 1 Schéma zapojení
- Příloha 2 Osazovací výkresy
- Příloha 3 Rozpiska součástí
- Příloha 4 Obsah přiloženého CD

# Príloha 1: Schéma zapojení

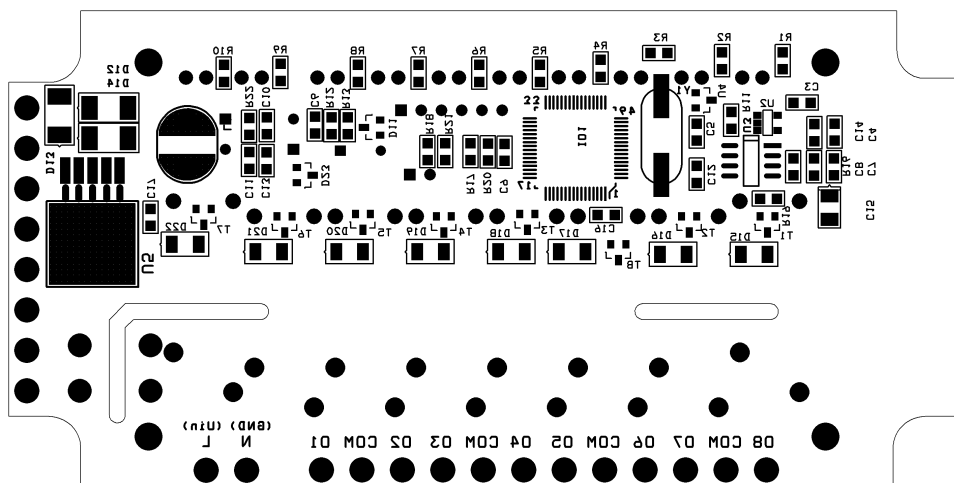


## Příloha 2: Osazovací výkresy

Osazovací výkres ze strany TOP:



Osazovací výkres ze strany BOTTOM:



### Příloha 3: Rozpiska součástek

Počet	Označení	Hodnota + popis
1	C1	100M/50V
1	C2	470M/10V
5	C3,C7,C8,C9,C16	100N
2	C4,C6	470p
2	C5,C12	22p
5	C10,C11,C13,C14,C17	M1
1	C15	TantalSMD 10M/6V3
10	D1,D2,D3,D4,D5,D6,D7,D8, D9,D10	LN1271/SM
2	D11,D23	BAT54S
9	D12,D15,D16,D17,D18,D19, D20,D21,D22	1N4007
1	D13	TRANSIL 30V
1	D14	SK24A
1	F1	250mA
1	IO1	LPC2148
1	JP1	JUMPER
1	J1	CON6
2	J2,J3	CON4
1	J4	CON2
4	J5,J6,J7,J8	CON3
1	L1	560uH
8	RE1,RE2,RE3,RE4,RE5,RE6, RE7,RE8	RELAY SPST
10	R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8, R9,R10	680
2	R11,R19	47k
1	R12	51k
1	R13	33k
2	R16,R21	4k7
2	R17,R20	10k
1	R18	1k2
1	R22	100
2	TP1,TP2	Propoj_1
2	TP3,TP4	Propoj_2
8	T1,T2,T3,T4,T5,T6,T7,T8	BCR 108
1	U2	TC1017-3,3VLT
1	U3	LTC1785
1	U4	MCP130_SOT23
1	U5	LM2575
1	Y1	HC49SUB-18.432MHZ_0

#### Příloha 4: **Obsah přiloženého CD**

- /codes/** - zdrojové kódy programu
- /hardware/** - schéma zapojení, plošný spoj, výkresy, potisk
- /text/** - dokumentace diplomové práce