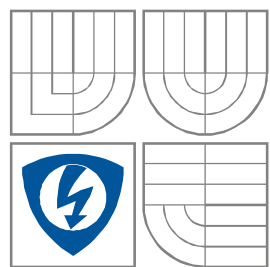


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

BEZDRÁTOVÝ TERMOSTAT PRO ŘÍZENÍ KOTLE WIRELESS THERMOSTAT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MAGISTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN KRÁLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK KINCL

BRNO, 2011

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá bezdrátovým termostatem pro řízení kotle. Cílem práce je návrh a realizace celého projektu včetně programového vybavení. Systém se skládá ze dvou základních jednotek, hlavní jednotka a měřicí a regulační jednotka.

Projekt nejprve pojednává o samotné regulaci topných systémů pro rodinné domy i větší budovy jako jsou třeba školy atd. V dalších částech jsou popsány samotné řídicí a regulační jednotky, možnosti jejich rozšíření pro efektivnější a ekonomičtější regulaci.

Obě jednotky jsou vybaveny mikrokontrolérem, který realizuje veškeré jejich funkce. Komunikace mezi jednotkami zajišťuje bezdrátové rozhraní ve volném ISM pásmu. Uživatelské rozhraní pro nastavování regulačního procesu má pouze hlavní řídicí jednotka. Měřicí a regulační jednotka umožňuje pouze přepínání mezi manuálním a automatickým režimem řízení otopné soustavy.

Abstract:

The Master's thesis discusses wireless thermostat for a control boiler. In order to complete the project we have to design and realise the whole project with software design. The system contains two units, a master control and a measurement of regulation units.

The project initially talks about regulation of heating systems for family houses and larger buildings like schools and stores for example. Next, the project describes the control and regulation units and their potential extension for effective and economical operation.

Both units are equipped with microcontrollers, which these control each of function. The communication between both units is provided by wireless interface in free radio band ISM. There is a user interface for the master control unit's regulation process. The measurement and regulation unit has only the possibility to switch between manual and automatic control for regulation of heating system.

Klíčová slova:

měření a regulace, otopný systém, ventil, kotel, teplota, ovladač, bezdrátová komunikace, čerpadlo, mikrokontrolér

The key words:

measure and control, heating system, valve, boiler, temperature, driver, wireless, pump, microcontroller

KRÁLÍČEK, M. *Bezdrátový termostat pro řízení kotle*: Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 64s., 12s příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Kincl

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Bezdrátový termostat pro řízení kotle“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 20. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne 20. května 2011

.....
podpis autora

Obsah:

1	Úvod.....	9
1.1	Minimální požadavky.....	9
1.2	Maximální požadavky.....	9
2	Grafické znázornění WiTh-01.....	10
3	Blokové schéma WiTh – 01.....	11
3.1	Blokové schéma Hlavní jednotky.....	12
3.2	Blokové schéma Měřicí a regulační jednotky.....	13
4	Moderní způsoby regulace.....	14
4.1	Regulace podle vnitřní teploty.....	14
4.2	Regulace podle venkovní teploty.....	15
4.3	Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou.....	16
4.4	Regulace podle zátěže.....	17
4.5	Ekvitermní regulace s vlivem zátěže.....	17
4.6	Regulační prvky.....	18
4.6.1	Termostatické regulační ventily.....	18
4.6.2	Vícecestné ventily.....	18
4.7	Způsoby regulace a regulační prvky využité v WiTh-01.....	19
5	Měřicí a regulační jednotka.....	20
5.1	Hardwarová část.....	21
5.1.1	Uživatelské rozhraní.....	21
5.1.2	Schéma programového vybavení.....	24
5.1.3	Akční členy.....	25
5.1.4	Teplotní senzory.....	27
5.1.5	Bezdrátová komunikace.....	29
5.1.6	Mikrokontrolér a jeho periférie.....	31
5.1.7	Paměť EEPROM.....	33
5.1.8	Napájení měřicí a regulační jednotky.....	34
5.1.9	Fyzické řešení sběrnice IIC.....	35
	Softwarová část.....	36
5.1.10	Hlavní část programu.....	36
5.1.11	Ovladač sedmisegmentového displeje.....	38
5.1.12	Ovladač servomotoru.....	38
5.1.13	Ovladač tlačítek.....	38
5.1.14	Ovladač relé.....	38
5.1.15	Ovladač analogových teplotních senzorů.....	38
5.1.16	Ovladač digitálních teplotních senzorů.....	39
5.1.17	Ovladač paměti EEPROM.....	39
5.1.18	Ovladač ISM modulu.....	39
5.1.19	Sériová komunikace IIC.....	40
5.1.20	Sériová komunikace SPI.....	40
6	Hlavní jednotka.....	42
6.1	Hardwarová část.....	43
6.1.1	Uživatelské rozhraní.....	43
6.1.2	Napájecí blok.....	45
6.1.3	Teplotní senzor.....	48
6.1.4	Obvod reálného času.....	48
6.1.5	Paměť EEPROM.....	49

6.1.6	Bezdrátová komunikace	50
6.1.7	Mikrokontrolér a jeho periférie	51
6.1.8	Zvuková signalizace	53
6.1.9	Měření napětí baterie.....	54
6.1.10	Realizace IIC sběrnice.....	54
6.2	Softwarová část	55
6.2.1	Schéma programového vybavení	56
6.2.2	Hlavní část programu	57
6.2.3	Ovladač periférií.....	58
6.2.4	Ovladač grafického LCD	59
6.2.5	Zobrazování stránek na LCD	59
6.2.6	Ovladač ISM modulu	60
6.2.7	Ovladač teplotního senzoru	60
6.2.8	Ovladač paměti EEPROM	60
6.2.9	Ovladač obvodu reálného času.....	60
6.2.10	Ovladač touch panelu	60
7	Závěr.....	61
8	Seznam literatury.....	62
9	Přílohy měřicí a regulační jednotka	64
9.1	Schéma zapojení.....	64
9.2	Deska plošného spoje	66
9.3	Osazovací plán	67
9.4	Ukázka osazené desky.....	68
9.5	Tabulka rozložení pinů konektoru pro externí součásti	69
9.6	Seznam součástek.....	70
10	Přílohy hlavní jednotky	71
10.1	Schéma zapojení.....	71
10.2	Deska plošného spoje	73
10.3	Osazovací plán	74
10.4	Ukázka osazené desky.....	75
10.5	Seznam součástek.....	76

Seznam obrázků:

Obr. 2.1	Grafický model bezdrátového termostatu	10
Obr. 3.1	Blokové schéma Hlavní jednotky	12
Obr. 3.2	Blokové schéma Měřicí a regulační jednotky.....	13
Obr. 4.1	Příklad regulace podle vnitřní teploty s kompenzací [3]	14
Obr. 4.2	Vliv nastavení otopné křivky - a) změna sklonu; b) změna úrovně - posun [3].....	15
Obr. 4.3	Paralelní posun otopné křivky [3]	16
Obr. 4.4	Křivky zátěže [3].....	17
Obr. 4.5	a) Řez termostatickým ventilem [4] b) Termostatická hlavice [4]	18
Obr. 4.6	Průtok kapaliny přes 3-cestný ventil [5]	19
Obr. 5.1	Měřicí a regulační jednotka.....	20
Obr. 5.2	Zapojení sedmi segmentového displeje	22
Obr. 5.3	Zapojení budičů paralelní sběrnice pro displej	22
Obr. 5.4	Zapojení signalizačních LED.....	23
Obr. 5.5	Zapojení tlačítek.....	23
Obr. 5.6	Schéma programového vybavení	24
Obr. 5.7	Servomotor.....	25

Obr. 5.8 Časový průběh RC signálu.....	25
Obr. 5.9 Připojení servomotoru k mikrokontroléru.....	26
Obr. 5.10 Připojení relé k mikrokontroléru.....	26
Obr. 5.11 Připojení analogových senzorů	28
Obr. 5.12 Připojení termistoru.....	28
Obr. 5.13 ISM Transciever [8]	29
Obr. 5.14 Připojení ISM modulu.....	30
Obr. 5.15 Zapojení mikrokontroléru	32
Obr. 5.16 Připojení paměti EEPROM.....	33
Obr. 5.17 Zapojení napájecího bloku	34
Obr. 5.18 Pull-up rezistory IIC a svorka pro externí připojení	35
Obr. 5.19 Blokový diagram hlavní smyčky programu.....	37
Obr. 5.20 Signály IIC komunikace [14]	40
Obr. 5.21 Časový průběh SPI sběrnice [13].....	41
Obr. 6.1 Hlavní jednotka	42
Obr. 6.2 Grafický LCD EADOG	44
Obr. 6.3 Připojení touch panelu	45
Obr. 6.4 Konektor mini USB	45
Obr. 6.5 Napájecí blok	47
Obr. 6.6 Teplotní senzor.....	48
Obr. 6.7 Zapojení obvodu reálného času.....	49
Obr. 6.8 Připojení paměti EEPROM.....	50
Obr. 6.9 Připojení transcieveru	50
Obr. 6.10 Zapojení mikrokontroléru s perifériemi	53
Obr. 6.11 Zapojení speakru	54
Obr. 6.12 Dělič napětí pro měření stavu baterie	54
Obr. 6.13 Realizace sběrnice IIC	55
Obr. 6.14 Schéma programového vybavení	56
Obr. 6.15 Blokový diagram hlavní smyčky programu.....	58
Obr. 9.1 Schéma měřicí a regulační jednotky 1/2	64
Obr. 9.2 Schéma měřicí a regulační jednotky 2/2	65
Obr. 9.3 Deska plošného spoje strana TOP 139x63 1:1.....	66
Obr. 9.4 Deska plošného spoje strana BOTTOM 139x63 1:1	66
Obr. 9.5 Osazovací plán desky strana TOP.....	67
Obr. 9.6 Osazovací plán desky strana BOTTOM	67
Obr. 9.7 Fotografie osazené desky strana TOP	68
Obr. 9.8 Fotografie osazené desky strana BOTTOM.....	68
Obr. 9.9 Cannon konektor	69
Obr. 10.1 Schéma hlavní jednotky 1/2	71
Obr. 10.2 Schéma hlavní jednotky 2/2	72
Obr. 10.3 Deska plošného spoje strana TOP 83x53 1:1.....	73
Obr. 10.4 Deska plošného spoje strana BOTTOM 83x53 1:1	73
Obr. 10.5 Osazovací plán desky strana TOP.....	74
Obr. 10.6 Osazovací plán desky strana BOTTOM	74
Obr. 10.7 Fotografie osazené desky strana TOP	75
Obr. 10.8 Fotografie osazené desky strana BOTTOM.....	75

Seznam tabulek:

Tab. 5.1 Funkce pinů ISM modulu	30
Tab. 5.2 Rozložení dat v EEPROM	33
Tab. 6.1 Rozložení dat v EEPROM	49
Tab. 9.1 Zapojení konektoru pro externí součásti	69
Tab. 9.2 Seznam součástek měřicí a regulační jednotky.....	70

Použité zkratky:

A/D	Analogově digitální převodník	Analog to digital convertor
CRC	Cyklická redundantní kontrola	Cyclic Redundancy Check
EEPROM	Elektricky přepisovatelná paměť	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FLASH	Nevolatelní elektronicky programovatelná paměť	Non-volatile computer storage
ISM	Průmyslové, vědecké rádiové pásmo	Industrial, scientific and medical
KBI	Přerušení od tlačítka	Keyboard Interrupt
PID	Proporcionální Integrační Derivační složky	Proportional Integral Droop
PWM	Pulzně šířková modulace	Pulse Width Modulation
RAM	Náhodně přístupná paměť	Random access memory
RTC	Obvod reálného času	Real Time Counter
RTI	Přerušení od reálného čítače	Real Time Interrupt
TRV	Termostatické regulační ventily	
WiTh-01	Bezdrátový termostat pro řízení kotle	Wireless thermostat verze 01

1 Úvod

V následující diplomové práci byl řešen problém efektivního bezdrátového termostatického řízení otopné soustavy. Projekt je realizován dvěma základními jednotkami, které umožňují bezdrátové připojení několika jednotek podpůrných. Správa systému je realizována přes hlavní jednotku a její uživatelské rozhraní. Hlavní jednotka obsahuje grafický LCD displej, na kterém jsou zobrazeny měřené veličiny dle přání uživatele např.: teploty jednotlivých větví systému, čas či datum. Základní nastavení otopného systému umožňuje uživatelské rozhraní hlavní jednotky. Podrobné nastavení otopného systému bude umožňovat propojení řídicí jednotky se stolním počítačem pomocí rozhraní USB, do budoucna i webové rozhraní. V hlavní jednotce lze především nastavit teploty, které mají být udržovány otopným systémem během týdenního cyklu. Dále je zde možno nastavit hodnoty teplot pro spínání oběhového čerpadla, jednotlivé složky regulace PID, hraniční teploty v jednotlivých větvích a samozřejmě základní nastavení hlavní jednotky, mezi které patří datum, čas, jas, kontrast a další. Při nastavených hraničních teplotách jednotka upozorňuje uživatele na jejich překročení zvukovou signalizací. Měřicí a regulační jednotka je umístěna nejbližší zdroji energie pro otopný systém, nejčastěji kotle. Při uložení nastavení v hlavní jednotce jsou data vyslána rádiovou cestou do měřicí jednotky, která v závislosti na přijatých datech a naměřených hodnotách řídí otopný systém. Naměřené hodnoty jsou na vyžádání odesílány pomocí rádiového kanálu do hlavní jednotky.

Bezdrátový termostat pro řízení kotle jsem si vybral z důvodu úspornějšího a efektivnějšího řízení otopného systému v našem rodinném domě.

1.1 Minimální požadavky

- Měření teploty otopného systému.
- Regulace kotle na základě naměřené teploty.
- Bezdrátové nastavení referenčních hodnot teploty
- Možnost manuálního ovládání kotle.

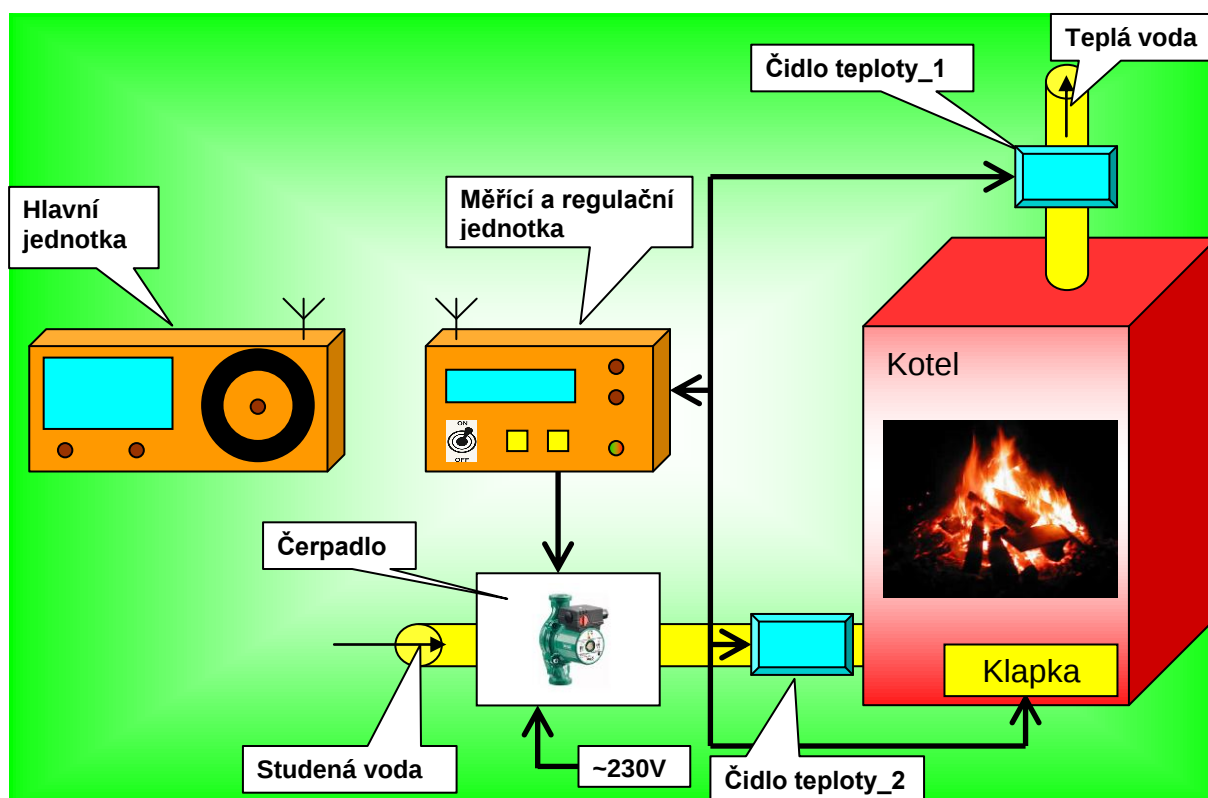
1.2 Maximální požadavky

- Měření teploty ve zvolených větvích otopného systému.
- Zobrazování aktuální teploty na displeji měřicí a regulační jednotky.
- Uživatelsky příjemná a mobilní hlavní řídicí jednotka.
- Jednoduché, přehledné a variabilní menu pro nastavení systému.
- Nastavení připojených jednotek a čidel.
- Komunikaci s počítačem přes USB.
- Možnost ukládání naměřených údajů ze senzoru pro případné vyčítání.
- Udržení přesnosti nastavených úkolů v závislosti na reálném čase a ošetření při výpadku energie.
- Jednoduchá konstrukce, snadné a estetické připojování senzorů a akčních členů.
- Akustická signalizace při nežádoucích stavech systému a v případě hrozícího nebezpečí.
- Snadné připojení do rozvodné sítě 230V.
- Oprava a eliminace nežádoucích chyb.

2 Grafické znázornění WiTh-01

Na níže uvedeném obrázku je graficky znázorněna aplikace samotného zařízení WiTh-01. Zařízení WiTh-01 se skládá ze dvou jednotek. Nejdůležitější jednotkou a samotným mozkem zařízení je měřicí a regulační jednotka, která na základě přijatého nastavení od hlavní jednotky řídí otopný systém. V hlavní jednotce lze nastavit pomocí touch panelu a grafického displeje jednotlivé položky menu jako jsou referenční teploty jednotlivých větví, požadovaná teplota v obytných prostorech atd. Jak je vidět na Obr. 2.1 hlavní jednotka je propojena s měřicí a regulační jednotkou rádiovým kanálem. Přes obousměrný rádiový kanál jsou posílány instrukce z hlavní jednotky do měřicí a regulační jednotky a naměřená data opačným směrem. Měřicí a regulační jednotka zajišťuje příjem dat z hlavní jednotky, na jejichž základě ovládá oběhové čerpadlo a klapku kotle. Nadále zajišťuje snímání teploty z jednotlivých senzorů, jejich bufferování a následné odesílání do hlavní jednotky. Měřicí a regulační jednotka umožňuje i manuální režim regulace, kdy si veškeré hodnoty musí hlídat sám uživatel. Tento režim lze využít v případě poruchy automatického regulačního systému, aby nemusel být otopný systém odstaven obzvláště v zimních měsících. Ale také jej lze využít při roztápění kotle či jiných nestandardních zásazích do otopného systému.

Jednotlivé jednotky budou podrobně popsány v následujícím textu.



Obr. 2.1 Grafický model bezdrátového termostatu

3 Blokové schéma WiTh – 01

Blokové schéma znázorňuje rozložení celého zařízení WiTh-01 a komunikaci mezi samotnými bloky. Srdcem hlavní jednotky je mikrokontrolér rodiny MC9S08JM od firmy Freescale. Mikrokontrolér je hardwarově vybaven veškerými bloky potřebnými pro realizaci hlavní jednotky. Dále vyniká vysokým výpočetním výkonem, který zde není využíván na maximum. Firmware implementovaný do mikrokontroléru je složen z ovládacích prvků pro externí bloky jednotky a samotného jádra. Uživatelsky nejvyužívanějším blokem je grafický displej LCD připojený sériově k mikrokontroléru. K ovládání je využívána knihovna obsahující znakové sady, grafické podklady a další funkce pro samotné zobrazování. Ostatní jednotky jsou k mikrokontroléru připojeny dalšími sériovými sběrnici. Tato varianta je výhodná po hardwarové stránce, návrh DPS, i softwarové stránce, kdy je využívána jedna knihovna obsluhující sériovou sběrnici. K mikrokontroléru jsou připojeny následující bloky:

- **Realtime** – nebo-li obvod reálného času, který zajišťuje přesný čas a datum. Obvod je zálohován hlavní baterií.
- **Teplotní čidlo** – je využíváno pro měření okolní teploty hlavní jednotky. Teplota je využívána pro regulaci otopného systému.
- **Paměť EEPROM** – zde je uloženo veškeré uživatelské nastavení pro případ vybití baterie. Lze zde ukládat i měřené hodnoty pro pozdější zpracování.
- **Grafický LCD** – zde jsou zobrazovány veškeré naměřené hodnoty. Dále uživateli umožňuje nastavení celého systému
- **Touch panel** – pomocí rezistivního touch panelu uživatel nastavuje systém. Pro snadnější ovládání je jednotka vybavena stylusem.
- **RF modul** – umožňuje bezdrátovou komunikaci s ostatními jednotkami
- **Speaker** – vybaví se v případě problému na regulačním systému, tím si vyžádá zásah uživatele. Dále signalizuje stisknutí touche.
- **Nabíječka** – při návratu jednotky do dokovací stanice automaticky nabije baterii Li-pol na její maximální kapacitu. Stav nabíjení či nabití jsou signalizovány uživateli.

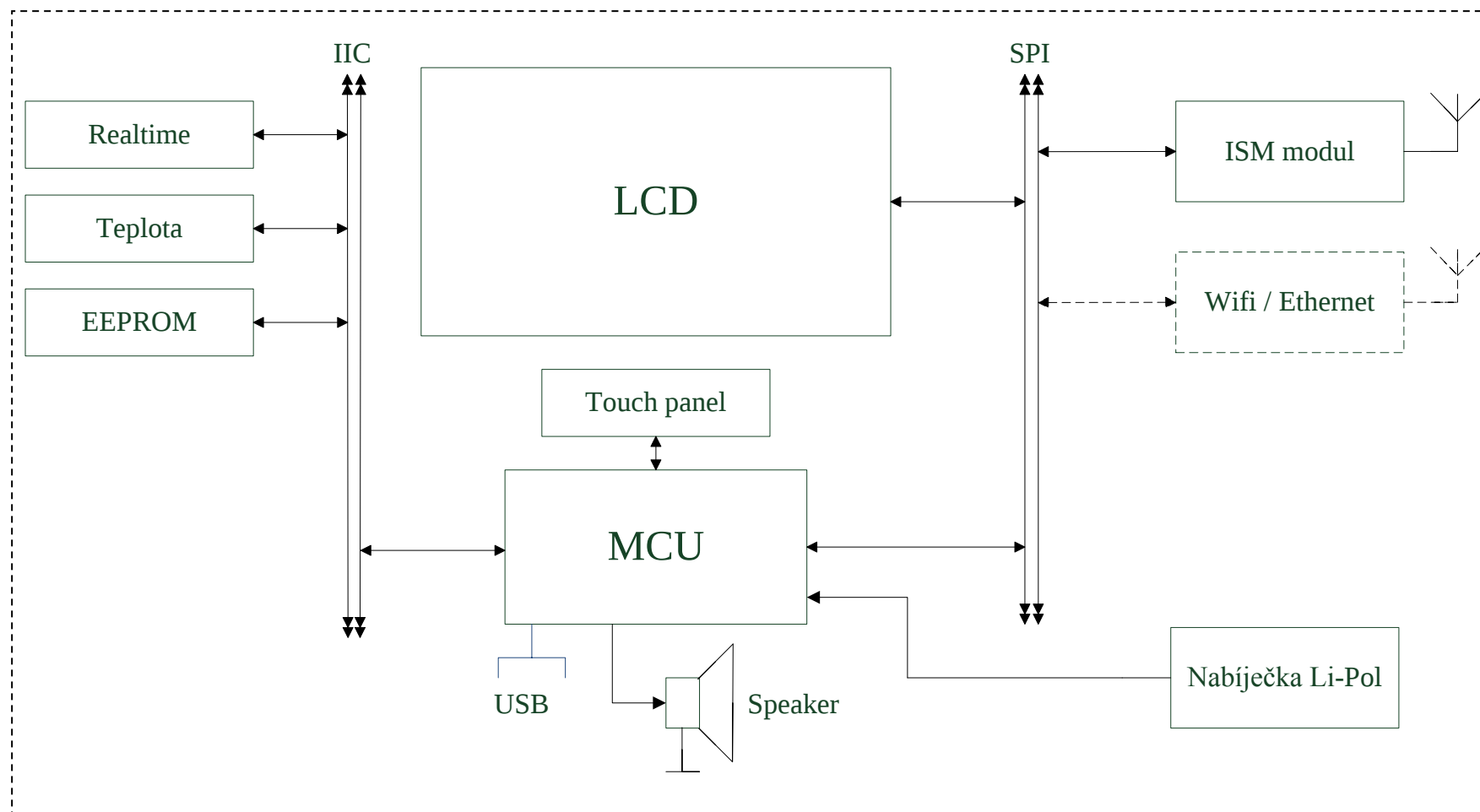
Srdcem měřicí a regulační jednotky je mikrokontrolér, který obsluhuje ostatní části jednotky. Mikrokontrolér je vybaven hardwarovými sériovými perifériemi, které jsou využívány k obsluze některých bloků.

K mikrokontroléru jsou připojeny následující bloky:

- **Teplotní senzor 1,2...** - senzory snímají aktuální teplotu na jednotlivých větvích otopného systému
- **RF modul** – umožňuje bezdrátovou komunikaci s hlavní jednotkou
- **Relé** – je určeno pro spínání oběhového čerpadla, případně více čerpadel nebo jiných silových komponent
- **Servo** – řídí vzduchovou klapku kotle
- **LED** – signalizují, který režim řízení otopné soustavy je vybrán a některá stavy jednotky
- **Displej** – zobrazuje aktuální teplotu na jednotlivých senzorech
- **Tlačítka** – umožňují listovat mezi teplotami jednotlivých senzorů
- **EEPROM** – slouží pro uchování dat při úplném odpojení napájení

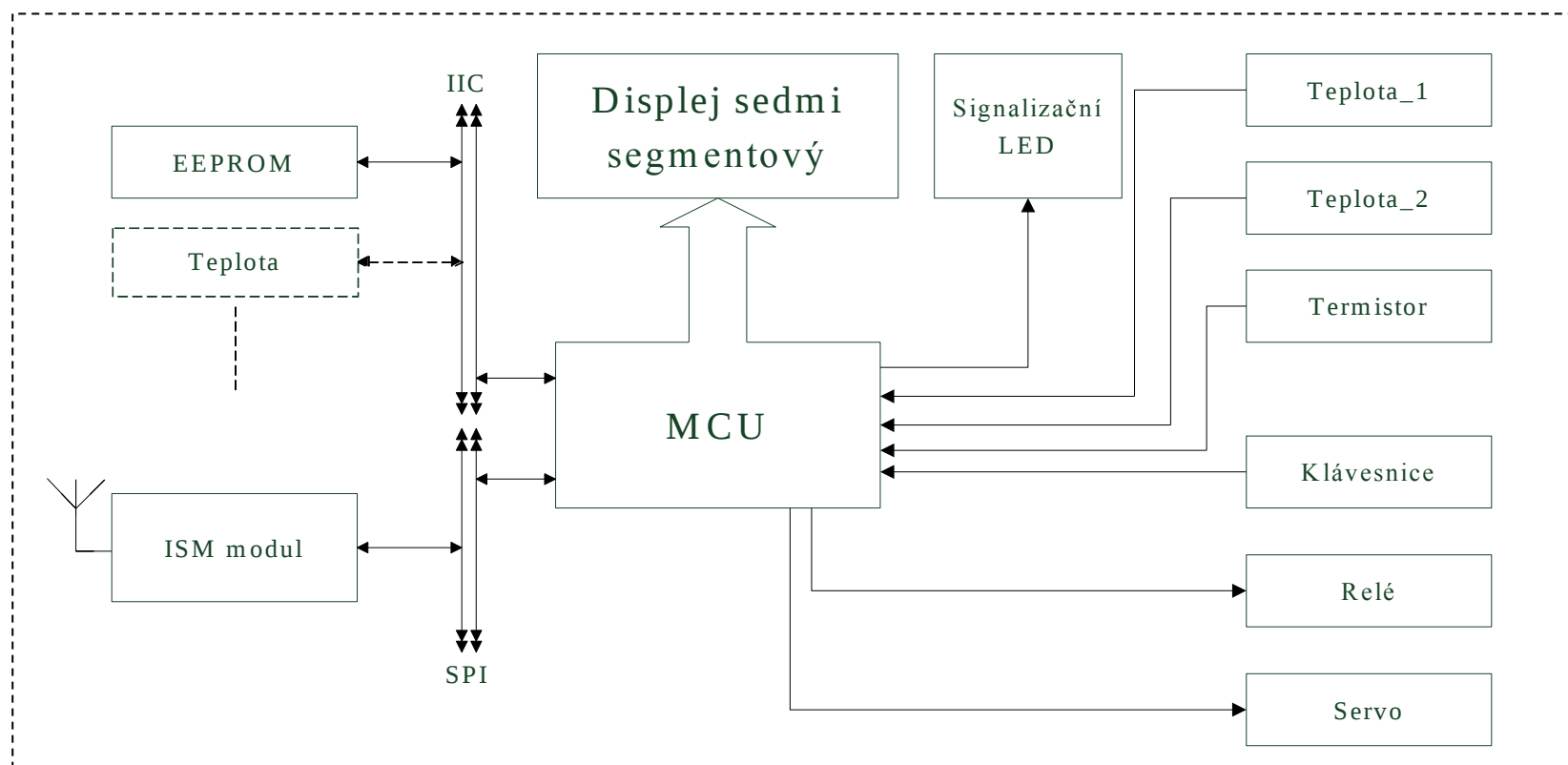
V blokovém schématu jsou znázorněny všechny bloky, které jsou obsaženy v jednotkách. Bloky znázorněné plnými čarami jsou v souladu se zadáním diplomové práce a bloky znázorněné čárkovaně jsou nad rámec zadání – případné rozšíření.

3.1 Blokové schéma Hlavní jednotky



Obr. 3.1 Blokové schéma Hlavní jednotky

3.2 Blokové schéma Měřící a regulační jednotky



Obr. 3.2 Blokové schéma Měřící a regulační jednotky

4 Moderní způsoby regulace

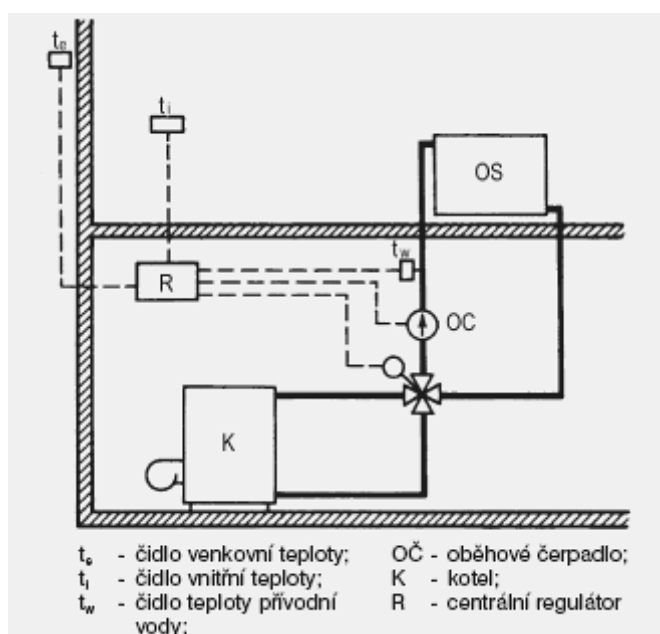
Zajišťují efektivní a hospodárné dodávky tepla. Využití regulace je závislé na technickém vybavení kotlen a na regulačních prvcích použitých v otopném systému.

Ve vytápěných objektech lze uplatnit následující typy regulací:

- Regulace podle vnitřní teploty
- Regulace podle venkovní teploty
- Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou
- Regulace podle zátěže
- Ekvitermní regulace s vlivem zátěže

4.1 Regulace podle vnitřní teploty

Zde je snímána vnitřní teplota referenční místnosti, kde je umístěna jednotka snímající teplotu a ovlivňující zdroj tepla. Referenční místnost musí být vhodně vybrána, aby snímaná teplota nebyla ovlivňována okolními zdroji tepla. U rodinných domů se obvykle vybírá obývací pokoj. Vzniklá teplotní výchylka v referenční místnosti způsobí navýšení teploty přívodní vody do otopného systému. Avšak teplota vody je navýšena pro celý objekt i do místností, kde tomu není třeba nebo je navýšení teploty nežádoucí. Pro zefektivnění se tento systém doplňuje termostatickými regulačními ventily (TRV). TRV jsou instalovány do všech místností kromě referenční místnosti. TRV potom lze nastavit teplotu každé místnosti zvlášť a vyloučí se zde i možnost přetopení některé z místností. Tento systém umožňuje i udržování různé teploty pro denní a noční hodiny. Při snížení teploty vytápění v nočních hodinách není potřeba přenastavovat TRV, protože na dům nepůsobí žádné jiné zdroje tepla jako je sluneční svit do některých místností. Regulace podle vnitřní teploty se obtížně využívá ve větších objektech jako jsou například dvougenerační domy atd. [2] [3]



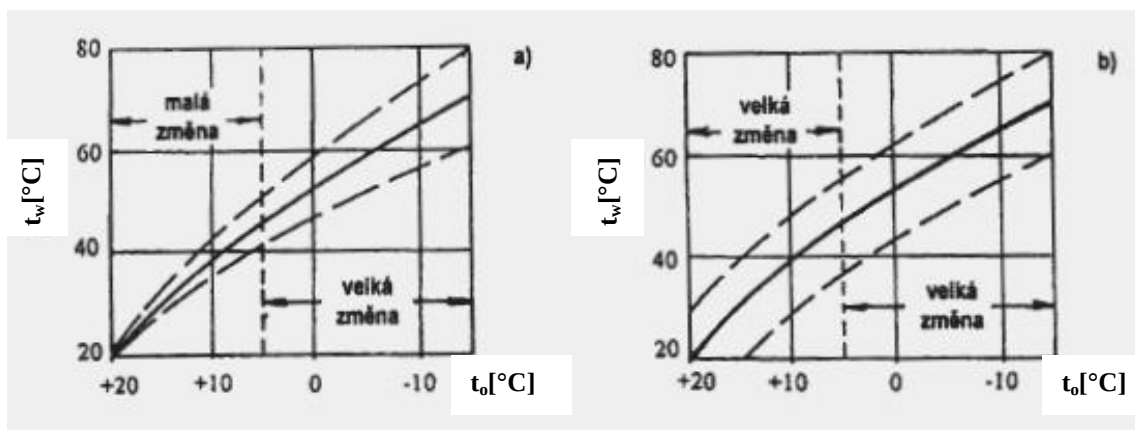
Obr. 4.1 Příklad regulace podle vnitřní teploty s kompenzací [3]

4.2 Regulace podle venkovní teploty

Zde regulujeme teplotu přívodní teplé vody do otopného systému. Teplota přívodní vody je závislá na venkovní teplotě. Měřením určíme venkovní teplotu a podle tzv. otopné křivky systém nastaví teplotu přívodní vody. Prohnutí křivky závisí na velikosti otápené budovy, použitých tělesech, u kterých záleží na druhu a teplotním spádu jednotlivých těles. Dále musíme vzít v úvahu umístění teplotního čidla na fasádě a další vlivy působící na objekt. Křivka má exponenciální charakter. Přesné určení otopné křivky nelze stanovit výpočtem. Nejprve křivku nastavíme podle předběžně odhadnutých parametrů [3]. Pro vyšší komfort obyvatel a zefektivnění vytápění je potřeba křivku přizpůsobit danému objektu. Přizpůsobení lze provést experimentováním s křivkou. Tato metoda je časově náročná a majitel objektu musí být poučen jak systém obsluhovat v nastavovacím módu. Další možností jak přizpůsobit systém k určitému objektu je sklánění a posouvání otopné křivky. Zde je křivka nastavena do výchozí polohy např. pro vyšší teploty okolo 20°C. Po překročení určité hranice venkovní teploty např. +5 nebo 0 °C se křivka začne naklánět, protože je potřeba s nadále se snižující teplotou větších změn přívodní teploty. Křivku lze i posouvat nebo přepínat mezi více otopnými křivkami [3]. Jaká metoda nebo kombinace metod bude zvolena záleží na výrobcí řídicí soustavy (viz. Obr. 4.2). Paralelní posuv křivky se ještě využívá pro nastavení teploty, na kterou má být objekt vytápěn (viz. Obr. 4.3). Tato regulace se využívá současně s řízením hořáků v kotlech nebo s řízením vícecestných ventilů, které umožňují nastavit libovolnou teplotu přívodní vody. Dále se doplňuje ještě o TRV pro zvýšení efektivity a také aby se zabránilo přetopení jednotlivých místností při jejich oslunění nebo působení jiného zdroje tepla.

Mezi výhody regulace patří malé dopravní zpoždění přívodní vody. Nevýhodou je však závislost na přesném nastavení otopné křivky. Další nevýhodou je, že otopná křivka nepočítá s tepelnými zisky jiných zařízení.

Tento princip regulace je velice rozšířen a nadále nabízen. Za jeho rozšíření a další nabízení jsou odpovědní především výrobci kotlů. Další příčinou je však velká složitost systému pro řízení tepla do jednotlivých místností.

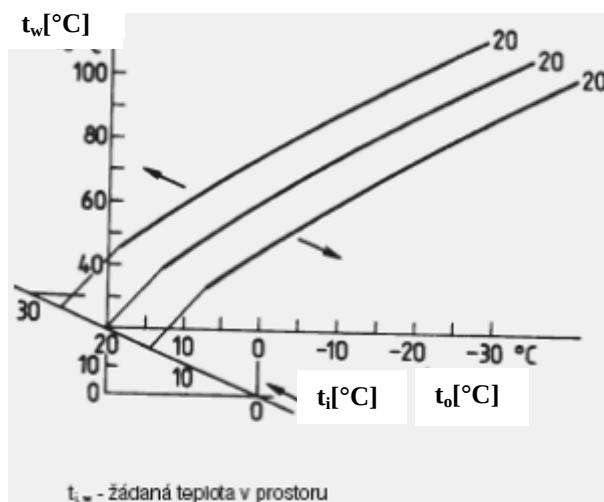


Obr. 4.2 Vliv nastavení otopné křivky - a) změna sklonu; b) změna úrovně - posun [3]

Legenda:

t_w – teplota otopného systému

t_o – venkovní teplota



Obr. 4.3 Paralelní posun otopné křivky [3]

Legenda:

t_w – teplota otopného systému

t_o – venkovní teplota

t_i – vnitřní požadovaná teplota

4.3 Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou

Vzhledem k vnějším a vnitřním ziskům tepla vstupuje do ekvitermní regulace zpětná vazba z vnitřního prostoru. Pro nastavení teploty v otopném systému je tedy uvažována vnější i vnitřní teplota vzduchu. Tento způsob regulace se chová obdobně jako předchozí, ale navíc je systém ještě ovlivňován již zmiňovanou zpětnou vazbou. Vliv teploty prostoru na otopný systém dělíme na dlouhodobý a krátkodobý. Dlouhodobě vnitřní teplota ovlivňuje otopnou křivku, kterou je systém řízen. Křivka je upravována dle potřeb vytápěného objektu. Díky tomuto vlivu se systém přesně přizpůsobí k danému objektu. Systém tedy nazýváme adaptivní. Krátkodobě senzor vnitřní teploty kompenzuje pouze odchylky v prostoru podle následujícího vzorce (4.1) [3] [2].

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{K}{2} \cdot (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad (4.1)$$

$t_{i,w}$ - žádaná teplota v prostoru

$t_{i,wk}$ - korigovaná žádaná teplota v prostoru

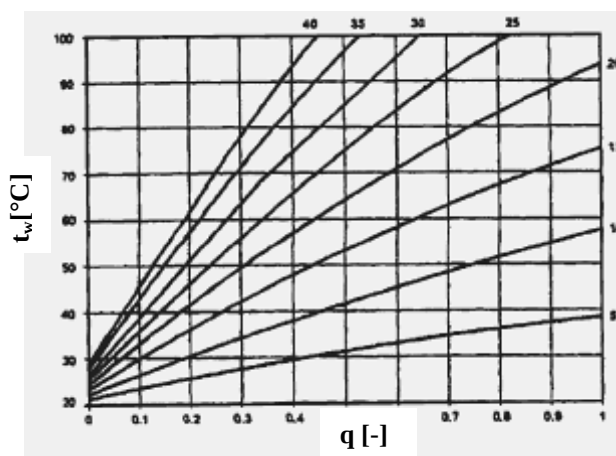
$t_{i,x}$ - aktuální teplota v prostoru

K - faktor vlivu prostorové teploty

Je-li $t_{i,wk} = t_{i,w}$ rovná se i skutečná teplota nastavené teplotě. Nejsou-li však tyto veličiny rovny, je křivka posunuta, tak aby se teploty vyrovnaly. Velikost posunutí křivky je závislá na rozdílu obou veličin. Největší výhodou této regulace je rovnováha mezi spotřebou a výrobou tepla. Rovnováha je však podmíněna vyladěnou otopnou křivkou.

4.4 Regulace podle zátěže

Je využívána u moderních dobře zateplených budov. U těchto budov je předpokládán velmi malý vliv venkovní teploty na spotřebu tepla. Regulace spotřeby tepla závisí na spotřebě objektu a je řízena dle tzv. křivky zátěže. Zde se již nesnímají venkovní ani vnitřní teploty objektu. Na základě stanovených hodnot se systém pohybuje po křivkách zátěže (viz. Obr. 4.4). Mezi výhody takovéto regulace patří rychlá odezva na potřebu tepla, snaha využít tepelných zisků z cizích zdrojů, přímé připojení k otopnému okruhu a produkce pouze potřebného množství tepla. Nevýhodou systému je nutnost místní regulace pomocí TRV.



Obr. 4.4 Křivky zátěže [3]

Legenda:

t_w – teplota otopného systému

q – aktuální zátěž kotle

4.5 Ekvitermní regulace s vlivem zátěže

U nynější regulace je zohledněna aktuální potřeba tepla. Zde je potřeba přísunu teplé vody ovlivněna samotnou ekvitermní regulací a je zde počítáno i s vlivem zátěže. Požadovaná teplota přívodní vody se počítá jako střední hodnota z otopné a zátěžové křivky podle vztahu (4.2) [3].

$$t_{k,w} = \frac{t_{k,w,ekv} + t_{k,w,zat}}{2} \quad (4.2)$$

$t_{k,w}$ - žádaná teplota kotlové vody

$t_{k,w,ekvk}$ - žádaná teplota kotlové vody podle čistého ekvitermního řízení

$t_{k,w,zat}$ - žádaná teplota kotlové vody podle čistého zátěžového řízení

K zajištění optimální regulace je třeba znát dynamický a statický model řízené soustavy. Pro efektivní řízení objektu je potřeba vypracovat přesný matematický model soustavy, který je nejlépe přizpůsoben otápěnému objektu. Z modelu je vytvořen adaptivní systém řízení objektu.

4.6 Regulační prvky

Regulační prvky jsou části systému, které lokálně upravují průtok přívodní vody do jednotlivých těles nebo větví soustavy. Nejčastěji využívanými prvky jsou již zmiňované TRV a vícecestné ventily.

4.6.1 Termostatické regulační ventily

TRV se skládají ze dvou částí. Samotného termostatického ventilu, který je vřazen přímo do okruhu před otopné těleso a termostatické hlavice, která je na ventil našroubována.

Termostatický ventil se skládá z těla ventilu a kuželovité vložky (viz. Obr. 4.5a). Vložka je zašroubována do těla ventilu. Vložky se liší provedením kuželky, která má vliv na průtok otopného média. Kuželkou lze také pohybovat nahoru a dolů, čímž je regulován průtok otopného média do otopného tělesa. Zdvih kuželky je regulován termostatickou hlavicí. V dnešní době je vyráběno několik provedení termostatických ventilů. Dělíme je podle průměru domácího rozvodu otopné soustavy ($1/2''$, $3/4''$, $3/8''$). Dále také podle provedení - přímé, rohové, úhlové a axiální. Jednou z výhod ventilu je možnost výměny vložky bez nutnosti vypuštění otopné soustavy [4].

Termostatická hlavice je určena pro regulaci teploty okolního vzduchu (viz. Obr. 4.5b). Na základě požadované teploty reguluje hlavice průtok otopného média za pomoci termostatického ventilu. Hlavice fungují na principu tepelné dilatace kapaliny, plynu nebo pevné látky. Zvyšuje-li se teplota v prostoru, dochází k roztahování látky a tím ke stlačení kuželu a následně snížení průtoku otopné kapaliny. Uživatel si na hlavici nastaví požadovanou teplotu nejčastěji od 1 do 5, tato hodnota je nadále udržována automaticky. Některé z hlavic umožňují nastavení tzv. zámrazové teploty značené hvězdičkou, pohybující se okolo 5°C . Termostatické hlavice se vyrábí v několika provedeních. Kromě designu můžeme zakoupit hlavice s teplotním senzorem či ovládáním umístěným mimo samotnou hlavici.



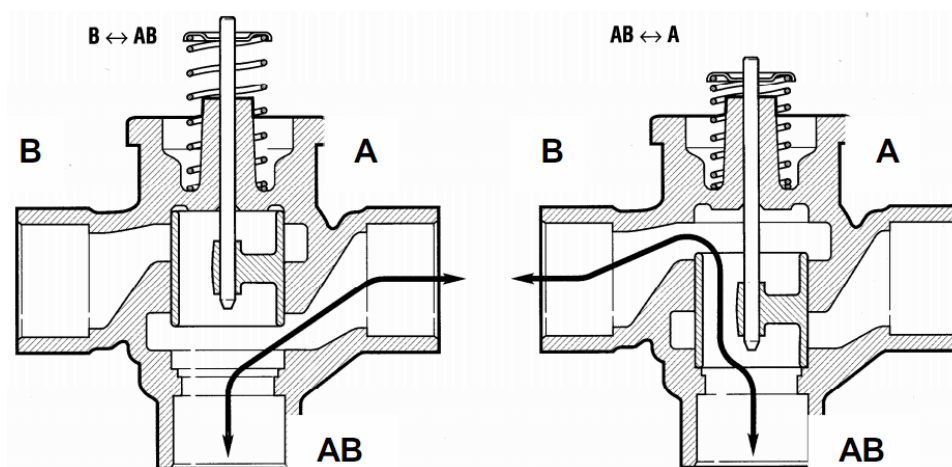
Obr. 4.5 a) Řez termostatickým ventilem [4] b) Termostatická hlavice [4]

4.6.2 Vícecestné ventily

Vícecestné ventily se skládají ze dvou částí samotného ventilu a jeho elektrického pohonu. Tento regulační prvek se nejčastěji využívá u prostor vytápěných podlahovým topením a nízkou teplotou otopného média. Například máme v prostoru umístěný snímač teploty, který ovládá připouštění teplé vody do okruhu podlahového topení s vlastním oběhovým čerpadlem. Pro ukázkou bude v následujícím textu popsán princip činnosti třícestného ventilu. Vícecestné ventily mají obdobný princip činnosti.

Třícestný ventil pracuje na principu připouštění kladného otopného média do otopného okruhu (viz. Obr. 4.6). Při výchozím stavu ventilu je vstup A maximálně otevřen do výstupu AB. Budeme-li pohonem působit na vložku, začne se vstup A uzavírat a vstup B otevírat směrem k výstupu AB. Tímto dochází ke směšování dvou vstupních kapalin do jednoho

výstupu. Regulace ventilu může být skoková, kdy máme k výstupu připojen pouze jeden vstup nebo lineární, kdy dochází ke směšování dvou kapalin podle potřeby systému [5].



Obr. 4.6 Průtok kapaliny přes 3-cestný ventil [5]

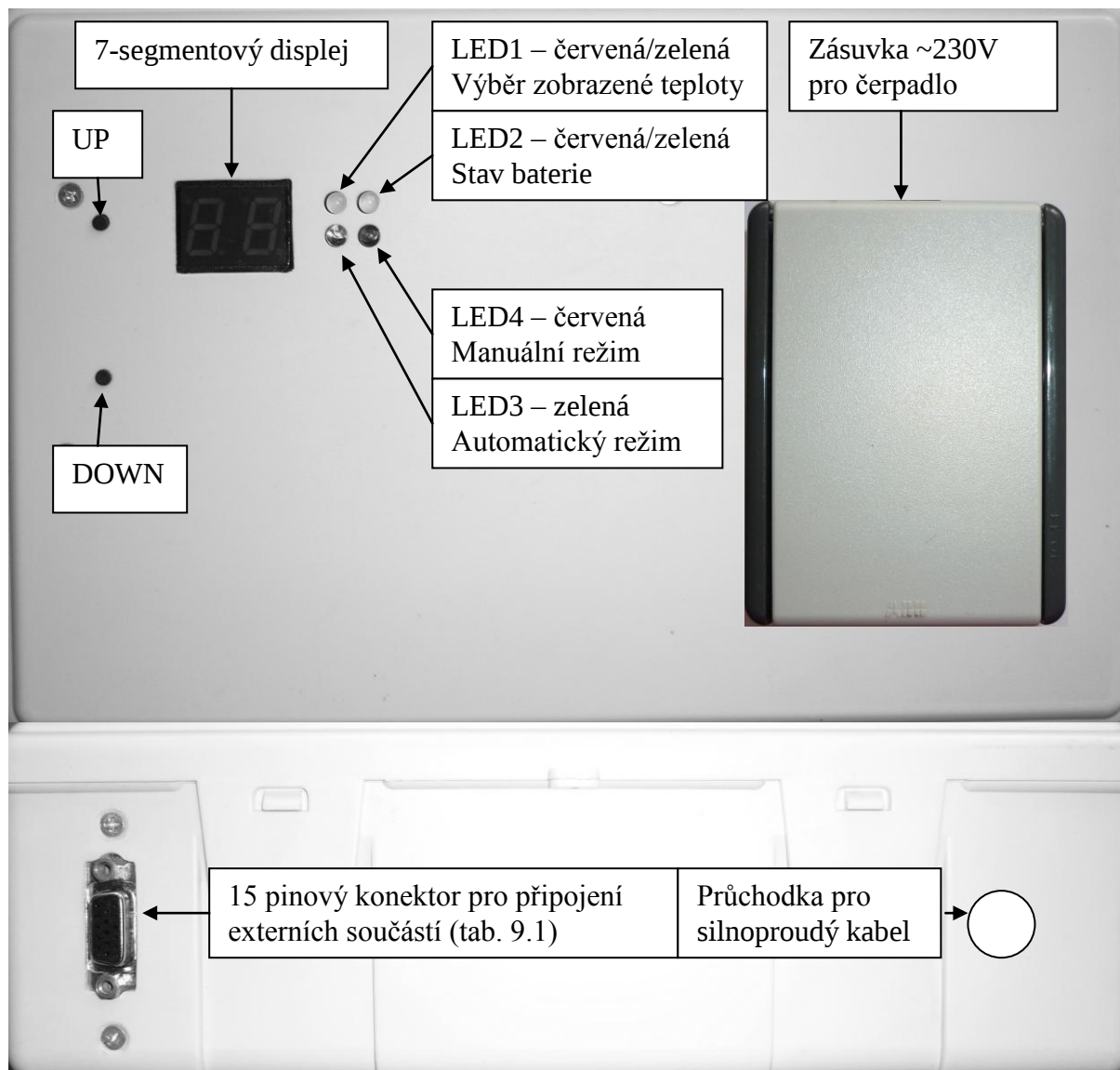
4.7 Způsoby regulace a regulační prvky využití v WiTh-01

Zařízení WiTh-01 snímá teplotu otopného média jdoucího do otopného systému a také teplotu otopného média vracejícího se zpět. Na základě rozdílu mezi těmito teplotami se reguluje výkon kotle. Dále regulaci může ovlivňovat teplota v referenční místnosti domu. Protože se zařízení skládá ze dvou jednotek, tak můžeme měřit teplotu médií v kotelně, ale i teplotu ovzduší v místnosti, kde se nachází řídicí jednotka. Na základě naměřených teplot lze řídit výkon kotle. Priority měřených teplot ovlivňujících výkon lze nastavit řídicí jednotkou. Způsob jakým je uskutečněna regulace pro obytnou jednotku vychází z regulace podle vnitřní teploty. Náš systém není založen na vypočítaných křivkách určujících tepelnou ztrátu objektu. Systém měří aktuální teploty média a na základě naměřených hodnot reguluje výkon kotle. Proto u tohoto systému vzniká časová latence při nárazovém požadavku na zvýšení teploty otopného média. Latence je částečně potlačena vytvořením jednoduché křivky znázorňující spotřebu tepla.

Pro dosažení komfortní a efektivní regulace otopného systému musí být domovní jednotka osazena termostatickými regulačními ventily. TVR zajišťují komfortní teplotu v jednotlivých obytných prostorech a také zabráňují přetopení místností. Zařízení WiTh-01 nepočítá s využitím vícecestných ventilů pro domovní regulaci.

5 Měřicí a regulační jednotka

Jednotka je určena pro obsluhu otopného systému přímo v technickém zázemí domu. Je vybavena několika měřicími senzory a možností připojení akčních členů. Nadále obsahuje bezdrátové rozhraní, přes které je spojena s hlavní jednotkou. Je primárně určena pro rodinné domy vybaveny jedním kotlem. Jestliže by uživatel měl požadavek na řízení více kotlů, musela by se jednotka modifikovat jak po hardwarové, tak i softwarové stránce.



Obr. 5.1 Měřicí a regulační jednotka

5.1 Hardwarová část

5.1.1 Uživatelské rozhraní

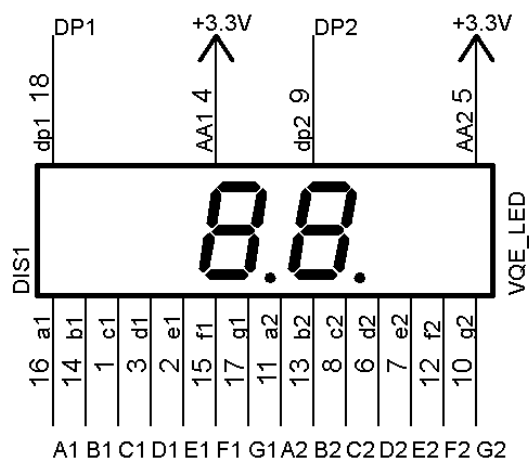
Rozhraní se skládá ze dvou tlačítek, dvou segmentů sedmisegmentového displeje, čtyř led, silnoproudé zásuvky a konektoru pro připojení externích součástí (viz. Obr. 5.1).

Funkce jednotlivých částí:

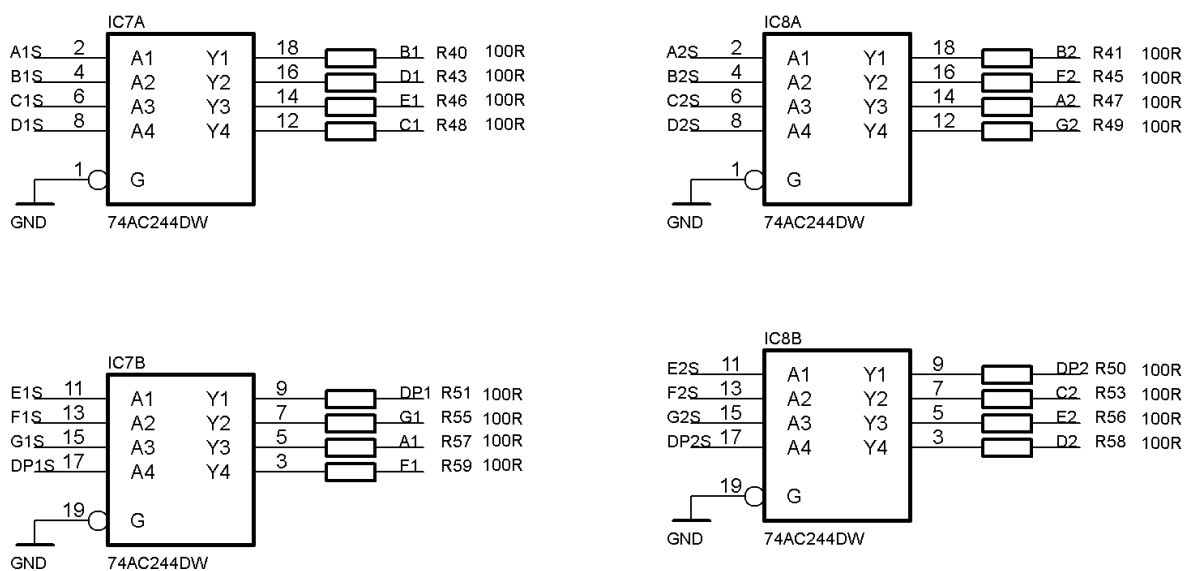
- **Sedmisegmentový displej** – zde jsou zobrazovány naměřené teploty na jednotlivých senzorech. Mezi teplotami lze listovat tlačítky. Po stisku obou tlačítek se uživatel dostane do menu, kde má možnost přepínat mezi automatickým, manuálním a startovacím režimem. Dále zde nalezneme aktuální napětí na zálohovací baterii. Jestliže uživatel přejde do manuálního režimu, displej zobrazuje procenta otevření klapky kotle. V režimu start je na výběr mezi teplotou teplé vody a otevřením klapky.
- **Panel s LED**
 1. zelená barva – displej zobrazuje teplotu studené vody vracující se do kotle
červená barva – displej zobrazuje teplotu teplé vody jdoucí z kotle
oranžová barva – displej zobrazuje teplotu komínové roury
 2. zelená barva – signalizuje zařízení je napájeno ze sítě
oranžová barva – signalizuje zařízení je napájeno z baterie
červená barva – signalizuje vybitou baterii
 3. zelená LED – signalizuje automatický režim regulace
 4. červená LED – signalizuje manuální režim regulace
- **Tlačítka** – jednotka je osazena dvěma tlačítky „UP“ a „DOWN“. Jak již názvy napovídají, lze jimi listovat nahoru a dolů. V automatickém režimu uživatel listuje mezi naměřenými teplotami, v manuálním režimu otevírá či zavírá klapku vzduchu u kotle a v menu mění jednotlivé režimy. Z jakéhokoli režimu se do menu uživatel dostane stisknutím obou tlačítek dohromady, nalistuje režim, který potřebuje a opět stiskem obou tlačítek potvrdí jeho výběr.
- **Silnoproudá zásuvka** – je určena pro připojení oběhového čerpadla. Lze do zásuvky připojit zátěž s maximálním příkonem 500W při napětí 250V AC.
- **Konektor pro připojení externích součástí** – konektor je osazen patnácti piny. Lze zde připojit dva analogové senzory teploty, termistor, digitální senzory teploty a v neposlední řadě servomotor, které zajišťuje pohyb vzduchové klapky kotle. Rozložení jednotlivých pinů je rozepsáno v příloze (Tab. 9.1), (Obr 9.9).

Fyzické řešení jednotlivých částí:

- **Sedmisegmentový displej** – pro tento projekt byl vybrán sedmisegmentový displej s označením VQE 24, který má dvě plnohodnotné zobrazovací pole zelené barvy. Displej je zapojen se společnými anodami, proto se segmenty rozsvěčují na nízkou úroveň signálu. Protože displej je starší výroby, tak jednotlivé segmenty mají odběr okolo 10mA. Z tohoto důvodu musel být mezi mikrokontrolér a displej vřazen budič paralelní sběrnice s označením 74HC244, který je vidět na obrázku (Obr. 5.3). Každý segment displeje musí mít svůj budič, protože obvod umožňuje připojit jen osm paralelních kanálů. Díky budičům lze na displeji zobrazovat naměřené hodnoty. Více informací o samotných budičích naleznete v literatuře [11].



Obr. 5.2 Zapojení sedmi segmentového displeje



Obr. 5.3 Zapojení budičů paralelní sběrnice pro displej

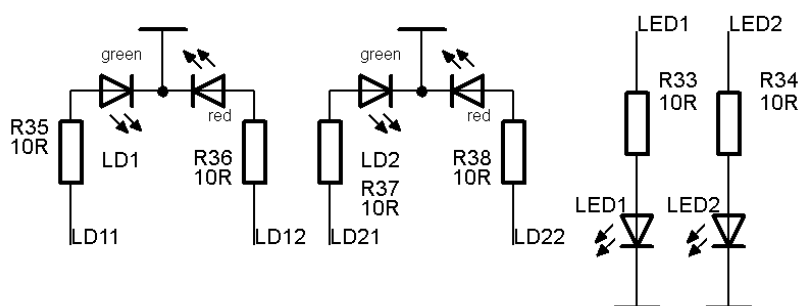
- **Panel s LED** – všechny LED jsou zapojeny s uzemněnou katodou a anodou připojenou k mikrokontroléru. Mezi mikrokontrolérem a LED jsou vřazeny rezistory, pro každé jádro jeden rezistor. Hodnoty rezistoru byly vypočítány podle vztahu (5.1). Protože každá barva má jiné otevírací napětí, musel by být každý rezistor jiné hodnoty. Avšak podle vypočítaných hodnot byl vybrán nejbližší z řady hodnot, který je možné využít u všech barev, protože vypočítané hodnoty se od sebe liší pouze nepatrně. Samotné zapojení je znázorněno na obrázku (Obr. 5.4).

$$R = \frac{U}{I} [\Omega] \quad (5.1)$$

Příklad výpočtu:

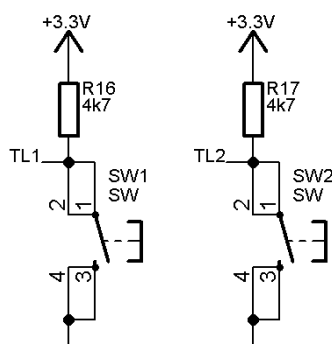
- Pro zelenou LED $R_{35} = \frac{U_{cc} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3.3 - 3.1}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{10 R}}$
- Pro červenou LED $R_{36} = \frac{U_{cc} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3.3 - 2.9}{20 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{20 R}} \Rightarrow \underline{\underline{10 R}}$

Z důvodu nízkého jasu červené LED byla hodnota rezistoru R36 snížena na stejnou hodnotu jako má rezistor R35.



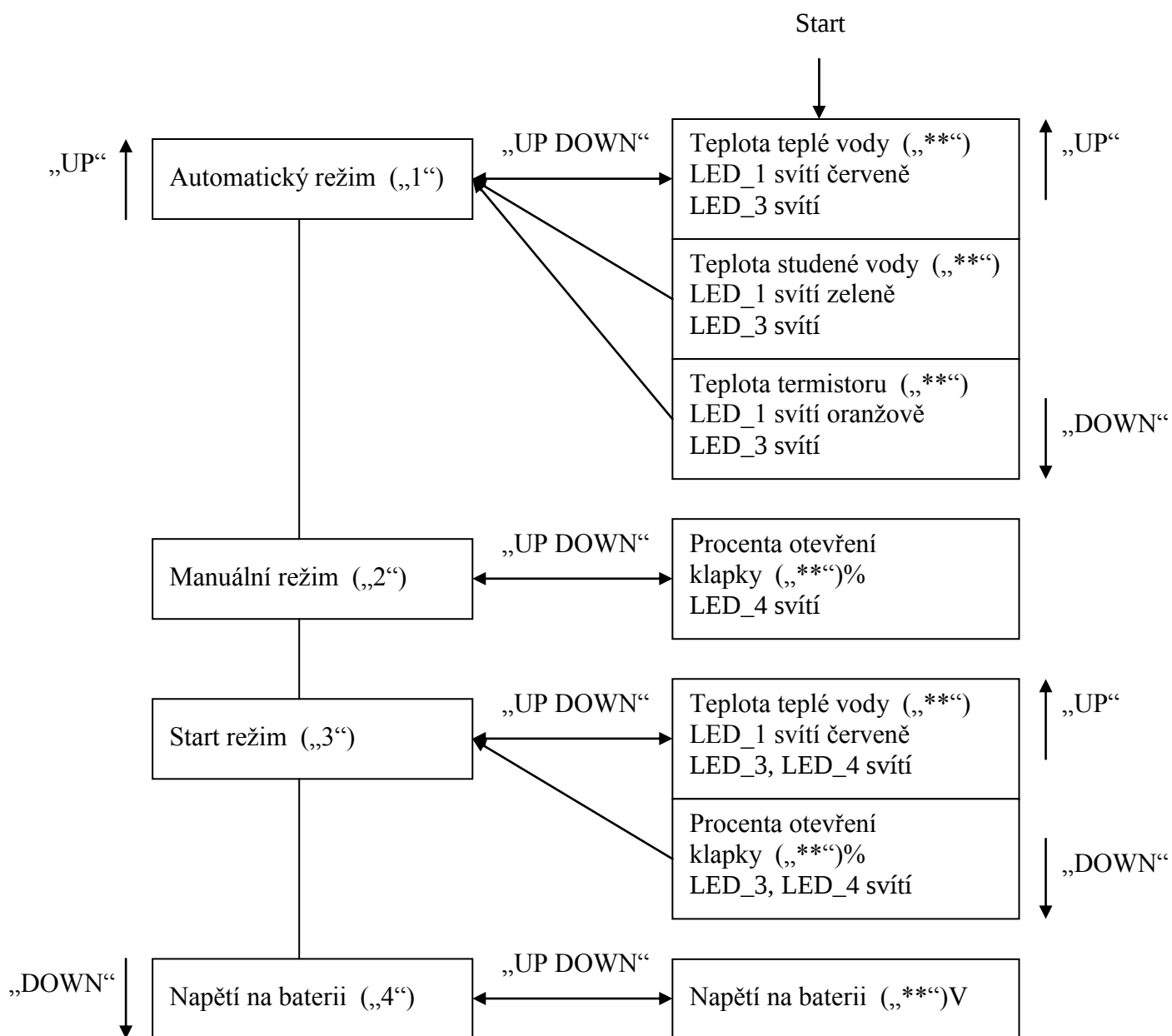
Obr. 5.4 Zapojení signalizačních LED

- **Tlačítka** – zapojení tlačítek je znázorněno na Obr. 5.5. Je zde využito typické připojení tlačítek k mikrokontroléru s předřazeným pull-up rezistorem. Hodnota rezistoru byla vypočítána dle vztahu (5.1), kde byl určen velmi nízký proud při jeho stisku.



Obr. 5.5 Zapojení tlačítek

5.1.2 Schéma programového vybavení

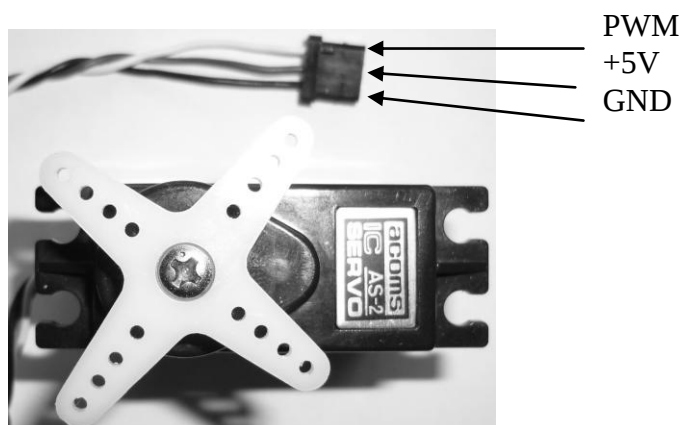


Obr. 5.6 Schéma programového vybavení

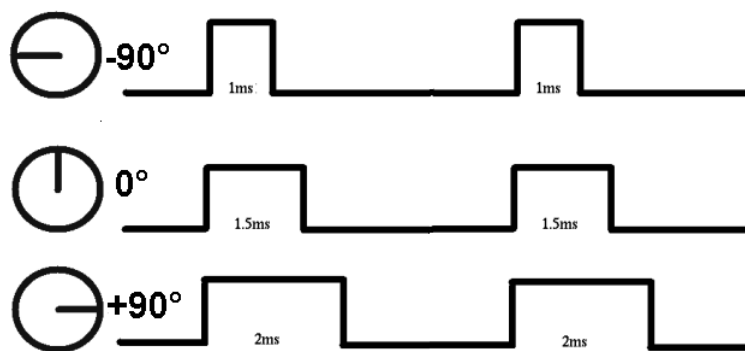
5.1.3 Akční členy

Jednotka má možnost připojení dvou servomotorů a tří externích zařízení, které budou spínány relátky. Jednotka je osazena pouze jedním servomotorem, který pohybuje vzduchovou klapkou kotle. Dále je využito jedno relé, které spíná obhospodňovací čerpadlo v otopném systému.

Připojený modelářský servomotor byl vybrán s ohledem na váhu vzduchové klapky. Poloha servomotoru je nastavována modulací PWM. Připojení servomotoru k mikrokontroléru je realizováno přes tranzistor (viz. Obr. 5.8). Frekvence signálu modulovaného PWM je nastavena na kmitočet 50Hz. Střída signálu se pohybuje od 1ms do 2ms. Tento čas je rozdělen do sta kroků.



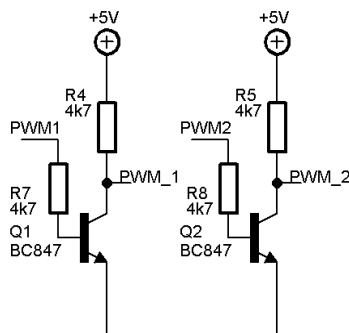
Obr. 5.7 Servomotor



Obr. 5.8 Časový průběh RC signálu

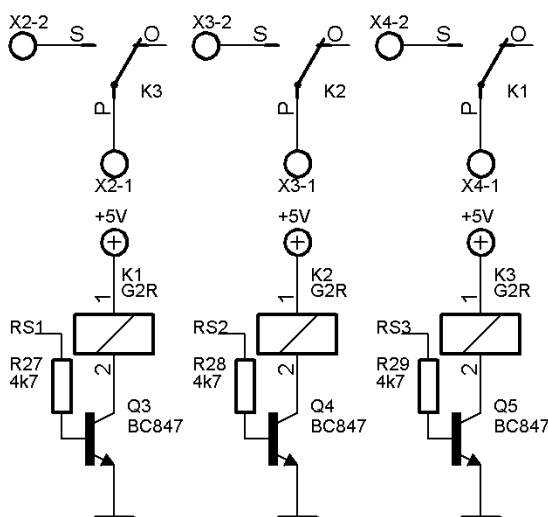
Připojení servomotoru k mikrokontroléru je řešeno dle Obr. 5.9. Jelikož mikrokontrolér je napájen napětím 3,3V je nutno logiku PWM převést na vyšší napětí 5V, protože servomotory jsou napájeny napětím 5V. Nejjednodušší způsob navýšení napětí je zapojení bipolárního NPN tranzistoru jako převodníku napěťových úrovní, kdy je signálový vodič pro servomotor připojen na kolektor tranzistoru. Zapojení má však jednu nevýhodu, invertuje vstupní signál. Proto je nutné signál přivádět již invertovaný. Tento problém je řešen softwarově. Rezistor v kolektoru tranzistoru byl vypočítán dle rovnice (5.1) a následně vybrán z odporové řady. Proud tranzistorem je volen nízký, aby tranzistor nebyl zbytečně zatěžován. Rezistor mezi bází tranzistoru a mikrokontrolérem byl vypočítán dle vztahu (5.2) tak, aby tranzistor při otevření dosáhl saturace.

$$R_B = \frac{h_{21e} \cdot (U - U_{BE})}{I_C} [\Omega] \quad (5.2)$$



Obr. 5.9 Připojení servomotoru k mikrokontroléru

Relé jsou k mikrokontroléru připojena podobným způsobem. Zapojení je znázorněno na Obr. 5.10. Zde je spínací cívka relé zapojena do kolektoru bipolárního NPN tranzistoru. Tranzistor je nadále spínán mikrokontrolérem. Mezi tranzistor a mikrokontrolér je vřazen rezistor, jehož hodnota byla stanovena dle rovnice (rov. 5.2).



Obr. 5.10 Připojení relé k mikrokontroléru

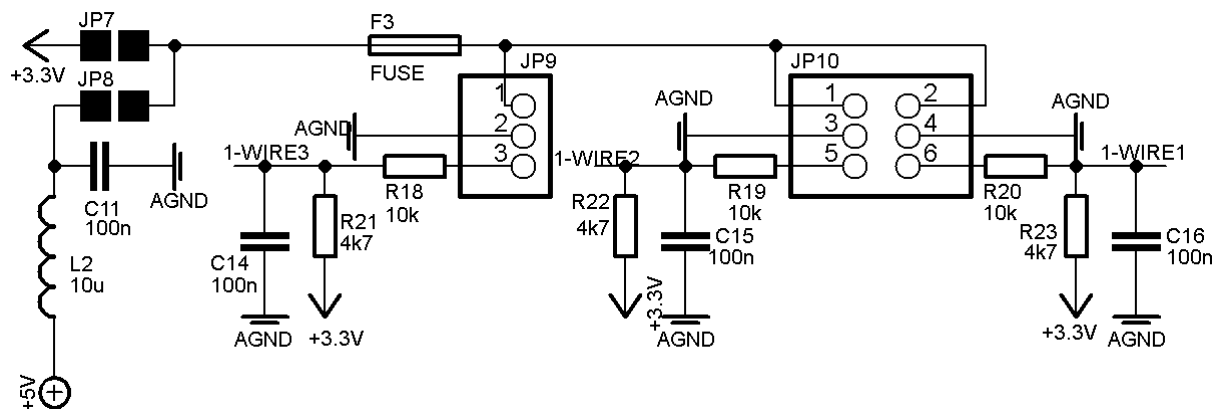
Příklad výpočtu R27:

- Odpor cívky $R_{G2} = 47R$
- Zesilovací činitel tranzistoru $h_{21E} = 180$

$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_{G2}} = \frac{5 - 0,35}{47} = \underline{\underline{98 \text{ mA}}}$$

$$R_{27} = \frac{h_{21E} \cdot (U_{CC} - U_{BE})}{I_C} = \frac{180 \cdot (5 - 0,7)}{98 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{7,9 \text{ k}\Omega}}$$

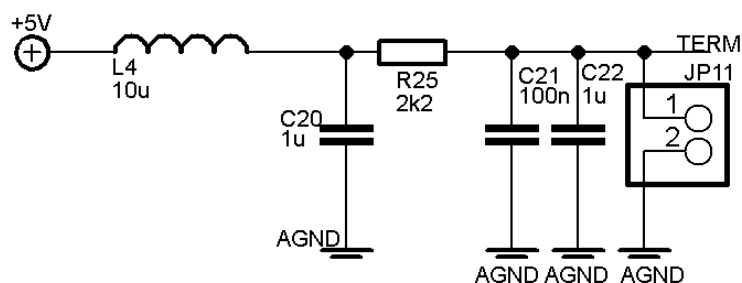
Pro zaručení saturačního stavu tranzistoru byla hodnota rezistoru snížena z $7,9 \text{ k}\Omega$ na $4,7 \text{ k}\Omega$.



Obr. 5.11 Připojení analogových senzorů

Připojení termistoru k mikrokontroléru je znázorněno na Obr. 5.12. Zde je opět využito LC filtračního článku, který plní stejnou funkci jako v předchozím případě. Následuje rezistor R25, jehož hodnota byla vypočítána dle rovnice (rov. 5.4). Plní zde funkci odporového děliče. Dosazením minimální a maximální hodnoty odporu termistoru byly vypočítány hodnoty rezistoru R25. Vhodnou volbou byla vybrána níže uvedená hodnota tak, aby přesnost byla co nejvyšší. Současně nesmí měřené napětí překročit nastavenou napěťovou referenci mikrokontroléru, která je nastavena na 2,51V.

$$U_2 = U_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \Rightarrow R_1 = \frac{U_1 \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{U_2}{U_1} \right)}{U_2} [\Omega] \quad (5.4)$$



Obr. 5.12 Připojení termistoru

Výpočty:

- Stanovení maximálního kmitočtu LC fitru:

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}} = \underline{\underline{50 \text{ kHz}}}$$

- Stanovení hodnoty rezistoru R25:

- Minimální teplota komínové roury 20°C => 560Ω => U_{TMIN} = 1V
- Maximální teplota komínové roury 250°C => 2166 Ω => U_{TMAX} = 2,5V

$$U_{TMAX} = U_1 \cdot \frac{R_{TMAX}}{R_{25} + R_{TMAX}}$$

$$U_{TMIN} = U_1 \cdot \frac{R_{TMIN}}{R_{25} + R_{TMIN}}$$

$$U_{TMIN} \cdot \frac{R_{TMAX}}{R_{25} + R_{TMAX}} = U_{TMAX} \cdot \frac{R_{TMIN}}{R_{25} + R_{TMIN}}$$

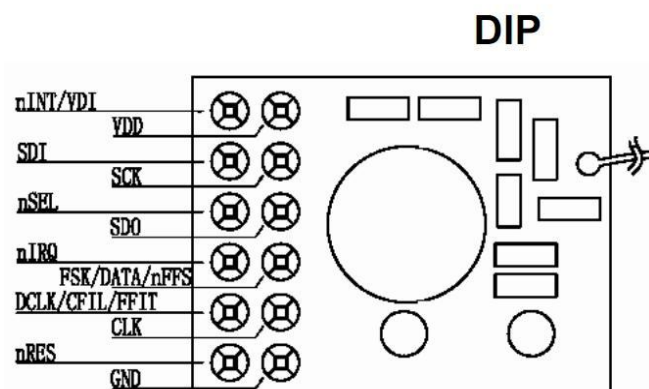
$$R_{25} = \frac{R_{TMIN} \cdot R_{TMAX} \cdot (U_{TMIN} - U_{TMAX})}{U_{TMAX} \cdot R_{TMIN} - R_{TMAX} \cdot U_{TMIN}} = \frac{560 \cdot 2166 \cdot (1 - 2,5)}{2,5 \cdot 560 - 2166 \cdot 1} = 2,375 \text{ k}\Omega \Rightarrow \underline{\underline{2,2 \text{ k}\Omega}}$$

5.1.5 Bezdrátová komunikace

Pro bezdrátový přenos dat mezi jednotkami byl vybrán ISM modul RFM12B/868D, který pracuje v nelicencovaném pásmu 868MHz. Modul je typu transciever a obsahuje tedy jak vysílací tak i přijímací část. Vysílací výkon rádiového stupně je 7dBm a citlivost přijímače dosahuje až -102dBm. Modul byl testován na maximální dosah, který je cca 200m ve volném prostředí. Tento dosah vyhovuje požadavkům projektu. V projektu je bezdrátový přenos využíván pro přenos řídicích dat z hlavní jednotky do měřicí a regulační jednotky. V hlavní jednotce si uživatel nastaví parametry a ty jsou následně odeslány do regulační jednotky. Opačným směrem putují naměřená data. Měřicí a regulační jednotka sbírá měřená data do vyrovnávací paměti. Po naplnění paměti jsou data odeslána do hlavní jednotky, kde jsou ukládána a nadále zpracovávána.

Technické parametry modulu RFM12B/868D:

- Modulace FSK
- Maximální uváděná přenosová rychlost až 115kbps
- 16 bitový buffer pro odesílání dat a druhý pro příjem dat
- Napájecí rozsah 2,2 – 3,8V
- Komunikační rozhraní SPI

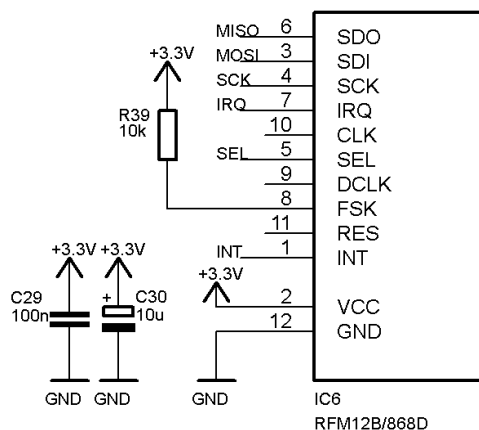


Obr. 5.13 ISM Transciever [8]

Název pinu	Definice funkce
nINT/VDI	Přerušení při příchodu dat (aktivní v nízké úrovni)
VDD	Kladné napájecí napětí (+3,3V)
SDI	SPI vstupní data
SCK	SPI hodinový signál – generovaný mikrokontrolérem
nSEL	Výběr zařízení (aktivní v nízké úrovni)
SDO	SPI výstupní data
nIRQ	Přerušení na přenos dalších dat (aktivní v nízké úrovni)
FSK/DATA/nFFS	Piny nejsou v projektu využity. Umožňují přenos dat bez využití vnitřní paměti FIFO a také další funkce. Více o těchto funkcích (viz. [1])
DCLK/CFIL/FFIT	
CLK	Hodinový signál pro externí mikrokontrolér
nRES	Reset (aktivní v nízké úrovni)
GND	Zemnicí vodič
ATN	Anténní výstup (50Ω)

Tab. 5.1 Funkce pinů ISM modulu

Bezdrátový ISM modul je s mikrokontrolérem spojen sériovou SPI sběrnici, samotné zapojení je znázorněno na Obr. 5.14. Modul byl připojen k mikrokontroléru podle návodu v katalogovém listu [8]. Pro samotnou komunikaci se využívají piny MISO, MOSI a SCK. Co možná nejbližší jsou paralelně k modulu připojeny dva kondenzátory, které filtrují zákmitý a rušení napájecího napětí. Poslední součástí bloku je pull-up rezistor R39, který slouží udržení druhého datového vstupu na vysoké úrovni.



Obr. 5.14 Připojení ISM modulu

5.1.6 Mikrokontrolér a jeho periférie

Srdcem celé jednotky je mikrokontrolér od firmy Freescale rodiny MC9S08AC. Mikrokontrolér řídí a kontroluje celý otopný systém. Byl vybrán tak, aby vyhovoval všem potřebám pro řízení otopného systému.

Parametry mikrokontroléru:

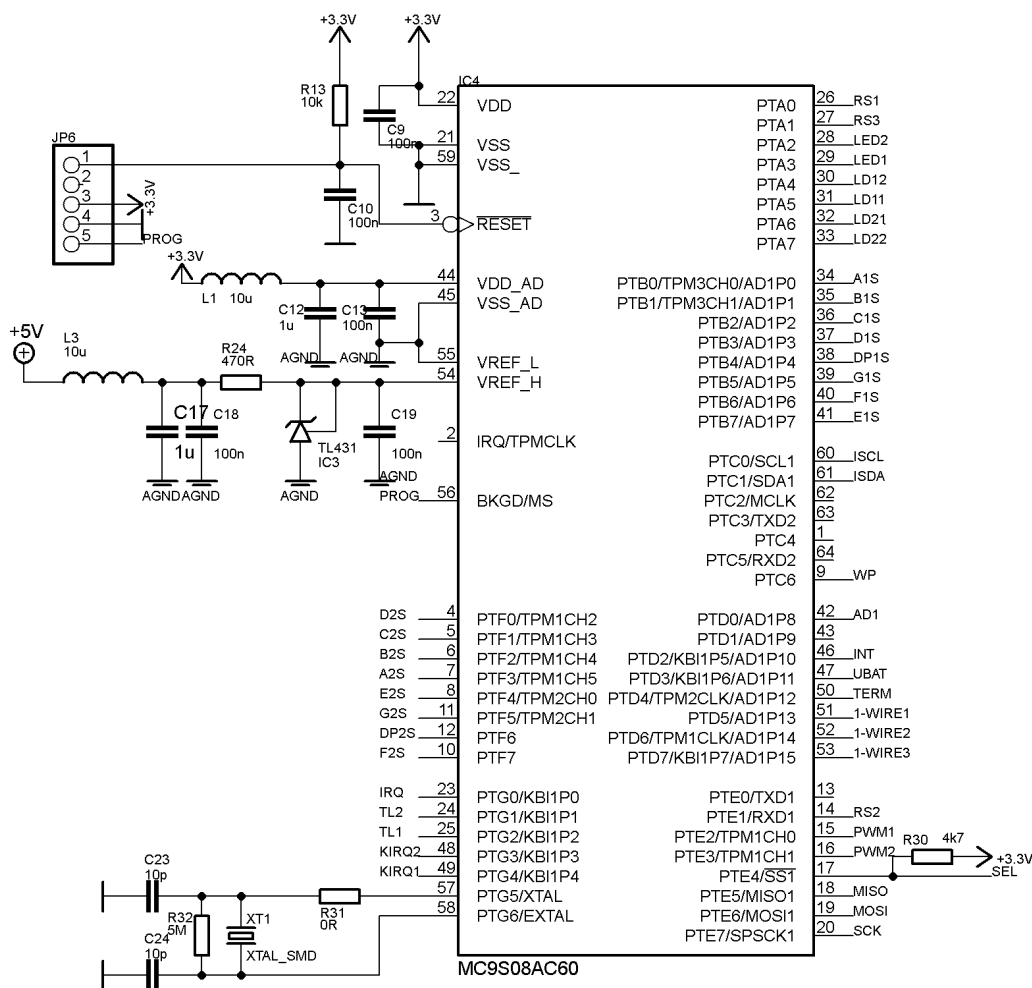
- 60KB programové paměti FLASH
- 2KB operační paměti RAM
- Maximální výpočetní frekvence 20MHz
- Pouzdro 64-QFP

Periférie mikrokontroléru:

- **16kanálový 10bitový A/D převodník** – u převodníku je využito pět kanálů. První tři kanály jsou využívány pro převod napětí z teplotních senzorů již dříve uvedeného typu. Čtvrtý kanál je použit pro měření napětí na termistoru, kterým je měřena teplota komínové roury. Poslední kanál je využit pro měření napětí na záložní baterii. Převodník je využíván v režimu „Single Conversion“. Po uplynutí nastavené časové prodlevy procesor vyčte všechny využívané kanály A/D a hodnoty zpracuje dle požadavků. A/D převodník využívá externí napěťovou referenci. Jedná se o řízenou napěťovou referenci TL431. Reference je zapojena tak, že napětí na referenčním pinu mikrokontroléru odpovídá hodnotě 2,51V. Rozsah pro A/D převodník je tedy 0 – 2,51V.
- **2x sériová komunikace SCI** – není v projektu využita
- **Sériová komunikace SPI** – je využívána pro předávání dat mezi mikrokontrolérem a bezdrátovým modulem ISM. Součástky jsou spojeny dvěma datovými vodiči, každý z nich přenáší data jedním směrem. Díky tomu je dosaženo celkem vysokých přenosových rychlostí. Následně je ještě použito několik řídicích vodičů pro řízení přenosu dat mezi jednotkami. Jako je hodinový signál CLK, výběrový signál CS, přerušení INT atd.
- **Sériová komunikace IIC** – jednotka ji využívá pro ukládání naměřených a řídicích dat do externí paměti EEPROM. Dále ji lze využít pro připojení externích senzorů teploty. Její datové vodiče jsou vyvedeny na konektor pro připojení externích součástek. Výhodou komunikace jsou jen dva datové vodiče potřebné pro komunikaci mezi zařízeními.
- **Časovače/čítače** – mikrokontrolér je vybaven, dvěma dvoukanálovými a jedním šesti kanálovým, šestnáctibitovými čítači/časovači. Jednotka využívá hned dva z nich. První z nich je nastaven jako generátor PWM signálu, pro řízení servomotoru. Software zde mění pouze komparační registr určující střídu PWM signálu. Druhý časovač je nastaven na hodnotu 5ms, po uplynutí tohoto času provede A/D převod z vybraného senzoru. Je aktivován pouze při požadavku na aktuální hodnoty teploty.
- **Externí přerušení KBI** – tohoto přerušení samozřejmě využívají již dříve zmiňovaná tlačítka pro ovládání jednotky. Dále jsou na piny KBI připojeny dva signály od ISM modulu, které signalizují změnu stavu v modulu. Například příjem dat.
- **CRC generátor** – není v projektu využit
- **Přerušení od reálného časovače (RTI)** – je využíván pro buzení mikrokontroléru z režimu spánku. Časovač je nastaven na jednu sekundu. Po uplynutí času se mikrokontrolér automaticky vzbudí a vykoná požadované úkoly.

Zapojení samotného mikrokontroléru s nezbytnými součástkami

Připojení pasivních součástek je znázorněno na Obr. 5.15. Kondenzátor C9 připojený paralelně k napájecím pinům mikrokontroléru plní funkci blokovacího kondenzátoru proti rychlým únikům napájecího napětí. Resetovací pin je připojen přes externí pull-up rezistor na vysokou úroveň napětí. V tomto stavu je mikrokontrolér v pracovním režimu. Restartovat jej lze pouze z programovacího konektoru JP6. Programovací konektor obsahuje piny reset, VCC, GND a programovací pin BDM, přes který lze mikrokontrolér programovat i krokovat program na čipu. Následuje napájení A/D převodníku. A/D je napájen přes LC filtr prvního řádu dolní propusti. Maximální kmitočet filtru byl stanoven podle vztahu (5.3) na hodnotu 48kHz. Filtr je sestaven z jedné cívky L1 a dvou paralelně řazených kondenzátorů C12 a C13. Napájení vysoké referenční úrovně A/D převodníku je realizováno pomocí řízené reference TL431. Nejprve je zde umístěn stejný LC filtr jako pro napájení A/D převodníku, následuje rezistor R24, který je zapojen s IC3 jako dělič napětí. Hodnota rezistoru byla vypočítána dle rovnice (5.4). Jelikož IC3 má v tomto zapojení úbytek napětí 2,51V tak, jsou referenční hodnoty A/D převodníku v mezích 0 až 2,51V. Více informací ohledně IC3 naleznete v [12]. Poslední částí připojené k mikrokontroléru je krystal, jehož zapojení je realizováno přesně podle katalogového listu [9]. Na desce však není osazen, protože pro funkci jednotky dostačuje interní oscilátor.



Obr. 5.15 Zapojení mikrokontroléru

5.1.7 Paměť EEPROM

Paměť typu EEPROM je osazena v jednotce z důvodu uchování dat při výpadku napětí a odpojení záložní baterie nebo restartu jednotky. Jsou zde uložena data potřebná pro regulaci otopného systému. Jestliže hlavní jednotka vyšle řídicí data, jsou uložena právě sem. V případě potřeby si je mikrokontrolér načte a použije podle potřeby. Dále jsou zde uloženy regulační konstanty, které si mikrokontrolér sám modifikuje. Je-li jednotka restartována z dříve neuvedeného důvodu díky hodnotám uloženým zde, bez problému pokračuje v řízení systému.

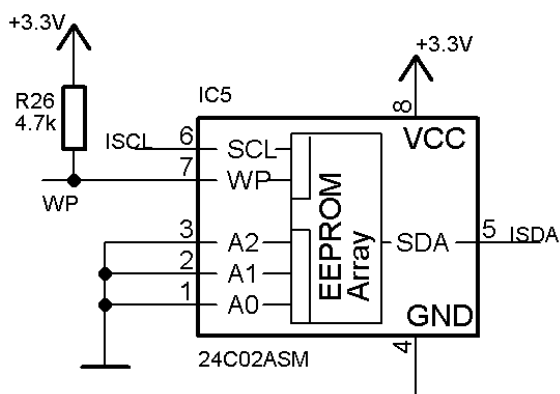
V další části paměti jsou uložena naměřená data určená, pro transport do hlavní jednotky. Je zde vytvářen buffer s naměřenými hodnotami, který je po naplnění odeslán do hlavní jednotky. Hlavní jednotka nadále data zálohuje v paměti stejné technologie, kde jsou připravena pro pozdější zpracování, například grafické.

Rozložení dat v paměti:

Adresa Hex	Uložená data	Poznámka
0x00	Řídicí data	
0x10		
0x20		
:	Naměřená data	Buffer pro odesílání hodnot
0x60		
0x70		
:	Naměřená data	Buffer pro naměřená data při selhání odesílání
0xB0		

Tab. 5.2 Rozložení dat v EEPROM

Připojení paměti k mikrokontroléru je znázorněno na Obr. 5.16. Paměť je připojena k mikrokontroléru sériovou sběrnici IIC, jejíž stručný popis naleznete v kapitole 5.1.9. Pin WP je také připojen k mikrokontroléru. Při požadavku na zápis do paměti musí mikrokontrolér WP připojit na GND potenciál. Jestliže je WP připojen na potenciál 3,3V, je paměť uzamčena proti zápisu a lze z ní data pouze číst. Při startu jednotky je WP primárně připojen na potenciál 3,3V přes pull-up rezistor R26, tím jsou data chráněna před nechtěným zápisem do paměti. Všechny adresovací piny paměti A0 – A2 jsou připojeny na potenciál GND. Podle dokumentace má tedy paměť následující IIC adresu 1010000b. Paměť je napájena stejným napětím jako mikrokontroler a tj. 3,3V.



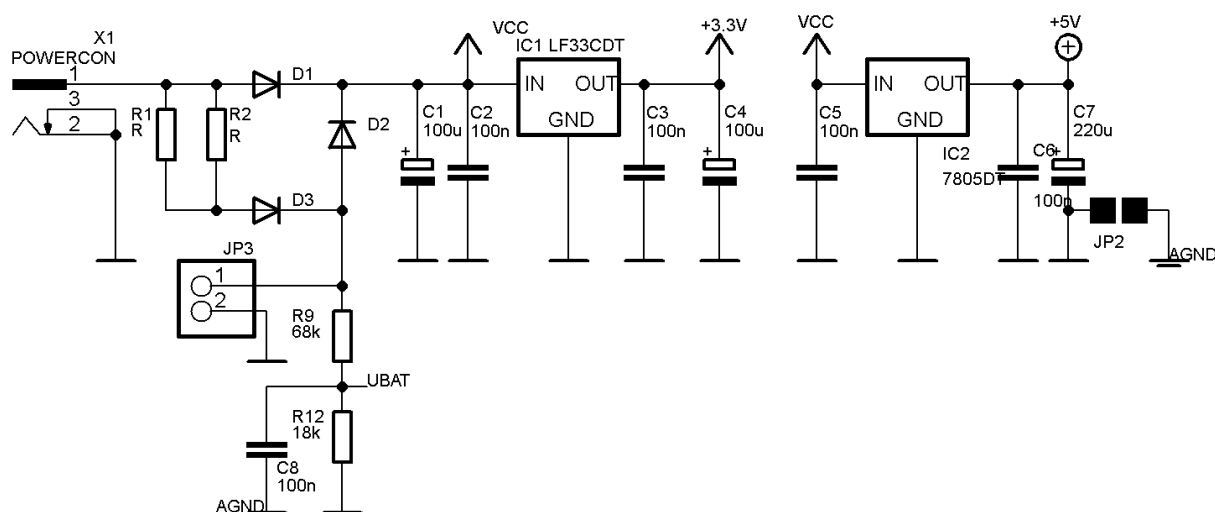
Obr. 5.16 Připojení paměti EEPROM

5.1.8 Napájení měřící a regulační jednotky

Zapojení napájecí části je znázorněno na Obr. 5.17. Jednotka je napájena externím stabilizovaným spínaným zdrojem. Zdroj je připojen k jednotce pomocí power konektoru. Následuje blok nabíjení záložní baterie a dva bloky pro stabilizaci napětí na úrovně 5V a 3,3V. Blok nabíjení baterie nabíjí záložní baterii přes rezistory R1 (R2) a diodu D3, v případě připojeného externího zdroje. Při výpadku napájení zdroje blok automaticky začne napájet jednotku z baterie přes diodu D2. Pro připojení baterie slouží konektor JP3. Jestliže je jednotka připojena ke zdroji, tak záložní baterii protéká konstantní nabíjecí proud, který je volen hodnotou rezistorů R1 (R2). Hodnoty rezistorů jsou vypočítány podle vztahu (5.1). Proud nadále protéká diodou D3 směrem do baterie. Jestliže nastane výpadek napájení, tak jednotka je napájena přes diodu D2. Diody D1 a D3 brání vybíjení záložní baterie přes nabíjecí rezistory. Paralelně k baterii je připojen dělič napětí, přes který mikrokontrolér měří napětí baterie. Hodnoty jednotlivých rezistorů byly vypočítány podle vztahu (5.4). Stabilizační bloky se skládají z lineárních integrovaných stabilizátorů na 5V a 3,3V. Stabilizátor IC1 s označením LF33CDT napájí větší část jednotky, proto byl dimenzován na maximální proud 1A. Jednotka dosahuje maximálního příkonu 1W (5.5). Jelikož je jednotka napájena spínaným zdrojem se jmenovitým napětím 12V je ztrátový výkon na stabilizátoru 2,61W (5.5). Dokumentace stabilizátoru uvádí zvýšení teploty pouzdra 8°C/W, proto není nutné stabilizátor chladit externím chladičem. Druhý stabilizátor IC2 s výstupním napětím 5V je od stejného výrobce. Konstantní příkon jednotky z IC2 je nižší než z IC1. Proto ani zde nemůže nastat problém s vysokou teplotou integrovaného obvodu.

Jednotka je vybavena baterií Ni-MH se jmenovitým napětím 9V a kapacitou 200mAh. Pokud přejde jednotka do stavu napájení z baterie, automaticky odpojí displej a stavy jsou signalizovány pouze LED. V takovém stavu její příkon z baterie klesne na 0,72W. Proud odebíraný z baterie se pohybuje okolo 80mA. Při plně nabité baterii jednotka dokáže překlenout výpadek napájení více než dvou hodin.

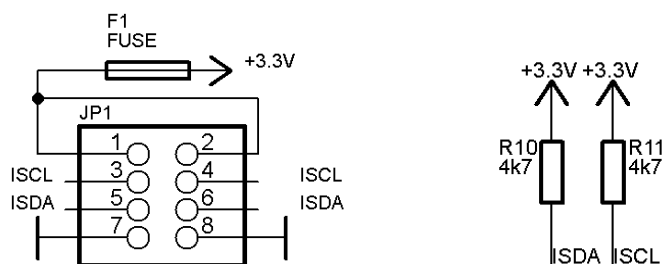
$$P = U \cdot I [W] \quad (5.5)$$



Obr. 5.17 Zapojení napájecího bloku

5.1.9 Fyzické řešení sběrnice IIC

Sběrnice je tvořena dvojicí vodičů, které spojují všechna zařízení připojená na sběrnici. Vodič SCL přenáší hodinový signál a vodič SDA přenáší data. Oba vodiče musí nabývat v klidném stavu vysoké logické hodnoty. Proto je každý z nich připojen přes pull-up rezistor k napájecí svorce Obr. 5.18. Jednotka dále nabízí možnost připojení externích součástek ke sběrnici, jako jsou například teplotní senzory. Deska tedy obsahuje konektor s oběma datovými vodiči a s napájecími svorkami jištěnými přes pojistku, která je zde opět umístěna z bezpečnostního hlediska.



Obr. 5.18 Pull-up rezistory IIC a svorka pro externí připojení

Softwarová část

Software pro měřicí a regulační jednotku se skládá z hlavní smyčky programu, ve které jsou volány veškeré funkce. Na konci hlavní smyčky přejde mikrokontrolér do režimu spánku. Probouzen je periférií RTI, která je nastavena na jednu sekundu. Po uplynutí tohoto času vyvolá přerušení a mikrokontrolér se vzbudí. Hlavní smyčka řeší veškeré měření a regulaci celého systému. Všechny externí zařízení připojené k mikrokontroléru mají vytvořen vlastní ovladač s funkcemi pro jejich maximální využití.

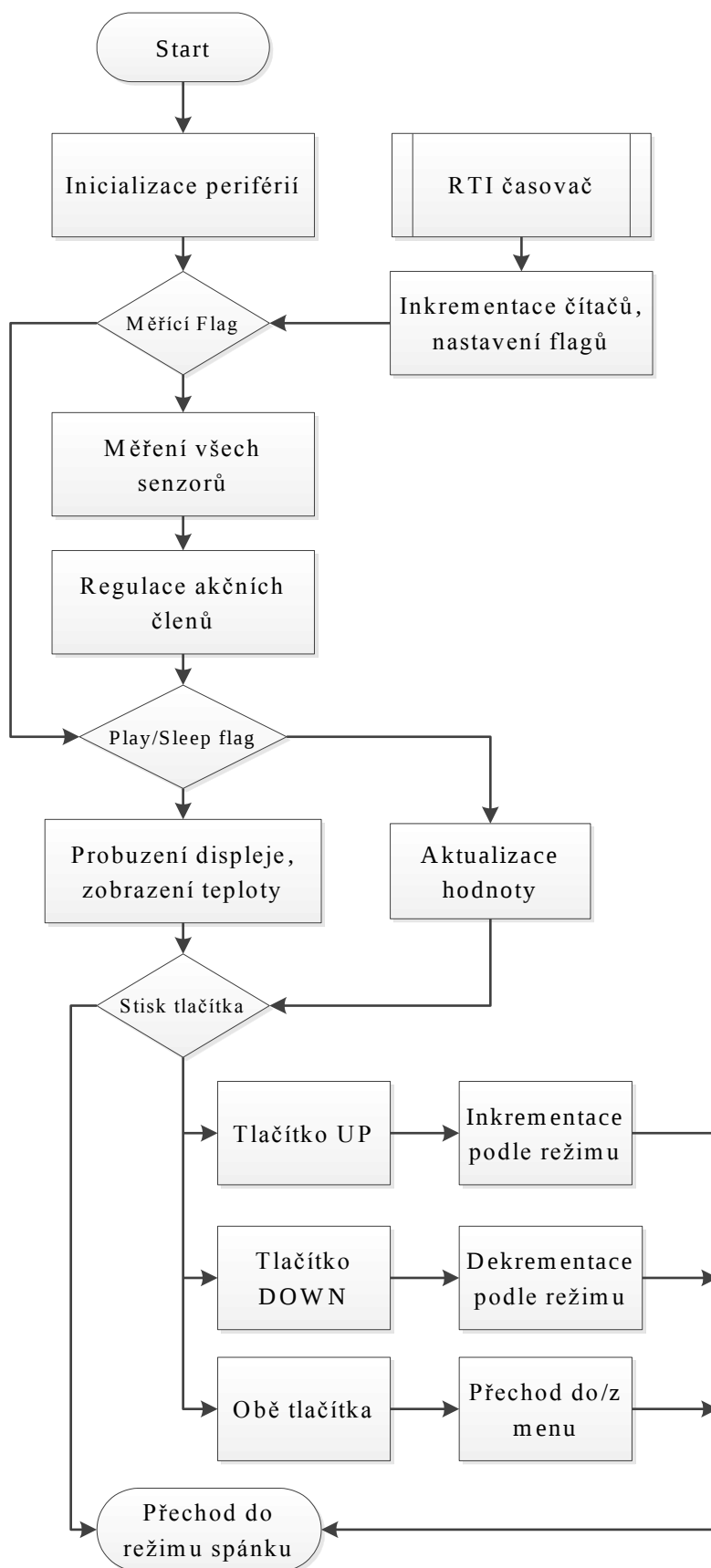
5.1.10 Hlavní část programu

Hlavní část programu se skládá z několika funkcí. Vývojový diagram programu je znázorněn na Obr. 5.19. První nebo-li hlavní funkce „main“ zajišťuje obsluhu všech ostatních ovladačů. Nejprve inicializuje samotný mikrokontrolér a dále všechny níže uvedené ovladače potřebné pro práci. Následuje uvítací logo na sedmisegmentovém displeji. Potom program přejde do nekonečné smyčky. V nekonečné smyčce je každý blok programu podmíněn vlajkou. Je zde realizováno vyčtení naměřených hodnot ze všech senzorů, tato část programu je podmíněna vlajkou pro měření. Následuje část programu reagující na stisk tlačítka. Jestliže jednotka byla po delší dobu bez stisku, je displej v režimu spánku, proto na první stisk se displej jen rozsvítí s posledním zobrazovaným údajem. Dalšími stisky tlačítek můžeme listovat teplotami, listovat v menu, nastavovat klapku a tak dále viz. schéma programového vybavení (viz. Obr. 5.6). Další vlajka zobrazí na displeji požadovanou hodnotu a rozsvítí příslušné LED podle režimu, v kterém se jednotka nachází. Následuje vlajka odesílání dat do bezdrátového modulu. V neposlední řadě je tu i blok programu pro samotnou regulaci a řízení akčních členů. Na konci nekonečné smyčky přechází jednotka do režimu spánku.

Další funkcí v hlavním souboru je „print_value(screen)“, která vypíše na displej požadované hodnoty. V proměnné screen je uložena hodnota obrazovky, kterou chceme zobrazit. Obrazovky jsou definovány v datovém typu enum.

Následuje funkce „save_temperature(status, value, old)“, která je určena pro ukládání a vyčítání teplot z polí naměřených hodnot. Vstupní proměnná „status“ může nabývat pouze hodnot „LOAD, SAVE“, které určí čtení či zápis hodnot. Druhá vstupní proměnná „value“ určí, z jakého pole naměřených teplot bude čteno. Například naměřené hodnoty teplého média, studeného média atd. Poslední vstupní proměnná „odl“ určí stáří měřené hodnoty v poli.

Poslední částí souboru je vektor přerušení od již zmiňovaného RTI čítače. Podprogram přerušení obsahuje několik proměnných, které se inkrementují. Každá z proměnných zajišťuje nastavení vlajky, která signalizuje hlavní smyčce co je potřeba vykonat. Například měření se vykonává jednou za dvacet sekund.



Obr. 5.19 Blokový diagram hlavní smyčky programu

5.1.11 Ovladač sedmisegmentového displeje

Ovladač se skládá z pěti funkcí, které obsluhují sedmisegmentový displej. Nejprve je potřeba displej inicializovat. K tomu slouží funkce „segment_init()“, která nastaví všechny procesorové piny do výstupního módu a nastaví je do vysoké úrovně. V tomto stavu na displeji nic nesvítí. Další funkcí, která je volána po startu zařízení, je „load_logo(repeat)“. Funkce zobrazí uvítací logo. Vstupní proměnnou lze zvolit počet opakování loga. Nezbytnou funkcí je samozřejmě zobrazování číselné hodnoty. Zobrazování je řešeno ve třech funkcích. Nejprve voláme „print_segments(value)“. Proměnná value je naplněna číslem, které bude zobrazeno. Číslo je rozděleno na jednotky a desítky. Hodnoty jsou následně předány další funkci „seven_segment(number, dot, pin_out)“. Funkce je volána dvakrát, jednou s desítkami a podruhé s jednotkami požadované hodnoty. Mezi vstupní proměnné patří „number“, kam je vkládána zobrazovaná hodnota, „dot“, může nabývat pouze dvou hodnot (TRUE, FALSE), určují zobrazení desetinné tečky a poslední proměnná „pin_out“, která určuje, na který segment odešleme hodnotu. Na konci funkce seven_segment je volána poslední z pěti funkcí „print_screen(segment, pin_out)“. Do ní je předána zobrazovaná hodnota a segment, na který má být odeslána. Následně je hodnota odeslána.

V header file ovladače jsou nadefinovány v datovém typu enum názvy číslic a segmenty, které lze využívat při volání funkce print_segments. Definice doplňujeme do proměnných number a pin_out.

5.1.12 Ovladač servomotoru

Ovladač se skládá pouze ze dvou funkcí. První z funkcí je samozřejmě inicializace „timer_init()“, která nastaví čítač/časovač jedna. Čítač je nastaven do módu PWM s výstupní frekvencí 50Hz. Inicializace také obsahuje nastavení servomotoru do minimální polohy. Druhá funkce „set_servo_1(value)“ nastavuje samotnou pozici servomotoru. Polohu servomotoru lze nastavovat ve sto krocích.

5.1.13 Ovladač tlačítek

Ovladač tlačítek se skládá ze dvou funkcí. První funkce „kbi_init()“ zajišťuje inicializaci jednotlivých pinů a nastavení přerušení na sestupnou hranu příchozího signálu. Druhou funkcí je podprogram přerušení. Jakmile je stisknuto jakékoli tlačítko skočí se do podprogramu, který vyhodnotí, jaká kombinace tlačítek byla stisknuta. Hodnota je předána do globální proměnné a dále nastavena vlajka informující nový stisk klávesy.

5.1.14 Ovladač relé

Ovladač relé obsahuje pouze funkci inicializace „rele_init()“. Funkce zajišťuje nastavení pinů do výstupního stavu a také všechny relé jsou deaktivovány. Pro spínání jednotlivých relé není potřeba žádná speciální funkce.

5.1.15 Ovladač analogových teplotních senzorů

Ovladač obsahuje tři funkce, potřebné ke zjištění naměřených teplot. První funkce „adc_init()“ zajišťuje nastavení A/D převodníku, všech pinů potřebných k A/D převodu a časovač/čítač dvě, který určuje periodu mezi převody. Následuje funkce „get_a_t(sensor)“, která navrací naměřenou hodnotu z analogového teplotního senzoru. Proměnná sensor určuje kanál, z kterého bude hodnota vzorkována. Poslední částí je podprogram přerušení od časovače. Zde je realizován samotný převod dat. Podprogram zajišťuje načtení deseti hodnot s časovou prodlevou 5ms. Hodnoty jsou následně zprůměrnovány a uloženy do globální proměnné. Podprogram ještě zastaví časovač a nastaví vlajku převodu. Na základě vlajky je funkcí get_a_t navracena zprůměrnovaná hodnota teploty.

5.1.16 Ovladač digitálních teplotních senzorů

Ovladač pro digitální senzory je poměrně jednodušší než pro analogové. Skládá se pouze ze dvou funkcí. První funkce zajistí inicializaci samotného teplotního senzoru „dig_sens_init()“. Tímto je senzor aktivován a dále už jen stačí využívat funkci „get_d_t(sensor)“. Funkce navrácí načtenou hodnotu ze senzoru. Vstupní proměnnou je adresa senzoru. Funkce celého ovladače je však podmíněna přítomností knihovny pro IIC komunikaci, která obsahuje funkce pro odesílání a příjem dat po sběrnici.

5.1.17 Ovladač paměti EEPROM

Ovladač EEPROM obsahuje pět funkcí. První z nich „eeprom_init()“ inicializuje piny připojené k paměti. Následují dvě funkce pro zápis dat do paměti a dvě pro čtení dat z paměti. Funkce „eeprom_write_byte(data, address)“ slouží pro zapsání jedno bajtu do paměti na specifikovanou adresu. Proměnná data obsahuje zapisovaný byte a proměnná address obsahuje adresu, kam budou data v paměti uložena. Druhá funkce pro zápis dat „eeprom_write_page(*pointer, address, size)“ slouží pro zápis celého bloku dat. Velikost bloku dat je určena proměnnou size. Maximální velikost současně ukládaných dat je specifikována výrobcem paměti [16]. Proměnná address je stejná jako u výše uvedené funkce, ale proměnná *pointer obsahuje ukazatel na pole dat, které má být do paměti zapsáno. Druhá dvojice funkcí se chová stejně akorát opačným směrem. Funkce „eeprom_read_byte(address)“ navrácí hodnotu umístěnou na zadané adrese. Druhá funkce „eeprom_read_page(*pointer, address, size)“ vyčte data od uvedené adresy o velikosti určené proměnnou size. Data jsou uložena na místo, které je specifikováno pointrem. Funkce ještě navrátí hodnotu chybového hlášení v případě selhání čtení.

5.1.18 Ovladač ISM modulu

Ovladač ISM modulu obsahuje třináct funkcí, které jsou napsány tak, aby využívání modulu bylo pro programátora jednoduché a současně datový přenos byl bezpečný. První dvě funkce „Start_SPI() a Init_RF()“ realizují nastavení sériové sběrnice SPI a nastavení samotného modulu. Inicializace modulu nastaví modul na vysílací kmitočet 860.32MHz, šířku přijímaného pásma na 200kHz, frekvenční zdvih na 90kHz, maximální vysílací výkon a přenosovou rychlost 4,8kb/s. Funkce „Low_power()“ deaktivuje oscilátor modulu a převede modul do režimu spánku. Funkce „Write_FSK(data_m)“ zapisuje data do registru, odkud jsou modulována a vysílána. Dále funkce testuje příznak zaneprázdněnosti modulu před zápisem do registru. Vstupní proměnná „data_m“ obsahuje data, která mají být odeslána rádiovým kanálem. Vysílání se realizuje po jednom byte. Funkce „FIFO_reset()“ restartuje vyrovnávací paměť modulu například před vysíláním dat. Funkce „receive_mode()“ nastaví modul pro příjem dat a funkcí „transmit_mode()“ je přepnut modul do vysílacího módu. Funkce „Clr_VDI()“ maže příznaky validních dat v modulu po jejich vyčtení. Funkcí „Write_cmd(cmd)“ je realizována softwarová SPI sběrnice a odesílání/přijem dat přes sběrnici. Vstupní proměnná cmd obsahuje data, která mají být vyslána na sběrnici. Návrátová hodnota funkce obsahuje data, která byla po sběrnici přijata. Funkce „Rx_FIFO(*data_rcv)“ realizuje příjem jednoho bytu dat z modulu. Vstupní proměnná je ukazatel ukazující na místo v paměti, kam má být přijatý byte uložen. Následují dvě funkce pro odesílání dat „Send_paked(N_ROTE_paket *Paket_out) a Send_data(*pointer, len)“. První funkce odesílá data pomocí struktury paketu N_ROTE, které obsahují hlavičku popisující vysílače i přijímače, data a v posledním bytu nesou informaci CRC kontroly. CRC součet je realizován samotnou funkcí, která sečte všechny byte paketu a následně je CRC hodnota oříznuta na velikost jednoho bytu. Druhá funkce odešle pouze data, která jsou uložena v paměti, kam ukazuje ukazatel a jejich délka je určena proměnnou len. Obě funkce mají i svůj protějšek pro příjem

dat „Receiv_paket(N_ROTÉ_paket *Paket_in), Receiv_data(*pointer, len)“. První z funkcí uloží přijatá data do struktury stejného paketu jako při odesílání. Po kontrole adresy příjemce a CRC součtu jsou data pokládána za platná. Druhá funkce uloží přijatá data do paměti, jejíž adresa je určena hodnotou ukazatele.

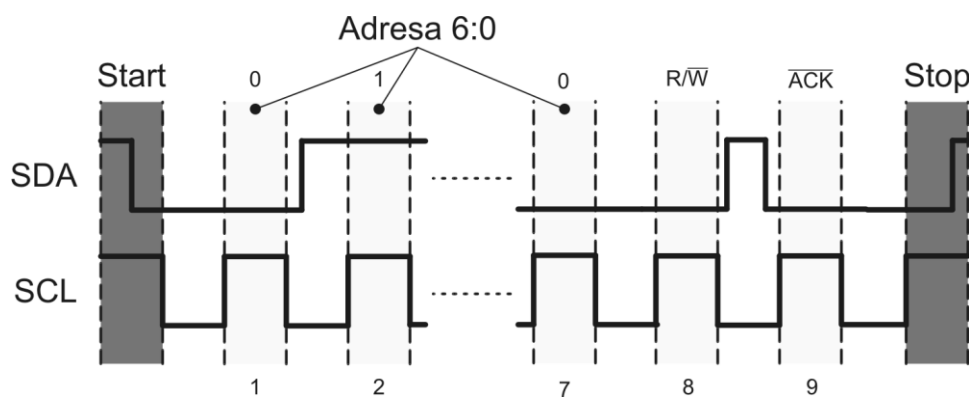
5.1.19 Sériová komunikace IIC

IIC komunikace neumožňuje duplexní přenos dat v jednom časovém okamžiku data vysílat a zároveň přijímat. Má však několik verzí, které se liší kmitočtem na vodiči SCL. Nyní existují tři verze rychlosti komunikace a to: 100kHz, 400kHz a 3,4MHz. Záleží jen na uživateli, kterou rychlost zvolí a na podpoře rychlosti zařízeními. IIC komunikace umožňuje připojit na sběrnici až 128 zařízení. Každé zařízení má sedmibitovou nebo desetibitovou adresu, která je dána většinou z části pevně výrobcem a z části nastavitelná uživatelem.

Komunikaci na sběrnici začíná i končí obvod master. Tento obvod generuje i hodinový signál na vodiči SCL. Perioda signálu je určena nastavením komunikační rychlosti sběrnice. Komunikace na sběrnici se začíná tzv. START bitem a ukončuje se tzv. STOP bitem, oba stavy jsou vidět na Obr. 5.20 [14].

Všechny adresové pakety jsou na IIC sběrnici posílány v devíti bitových slovech. V prvních sedmi bitech je vysílána adresa zařízení, se kterým chce master komunikovat. Všechna zařízení připojená na tuto sběrnici porovnávají adresu s vlastní adresou. Osmý bit určuje, zda se bude z vybraného zařízení číst $R/W = 1$ nebo se bude do zařízení zapisovat $R/W = 0$. Devátým bitem potvrzuje slave komunikaci s mastrem na základě shody vysílané adresy. Tento bit se nazývá ACK a je vysílán v úrovni H. Přijímaná stanice přenos potvrdí tím, že jej stáhne na hodnotu L.

Dále jsou po sběrnici odesílány pakety dat, které jsou opět tvořeny devíti bity. Prvních osm bitů tvoří data. Směr toku dat určil již dříve zmiňovaný bit R/W . Přenos paketu je potvrzen devátým bitem ACK od přijímacího zařízení.

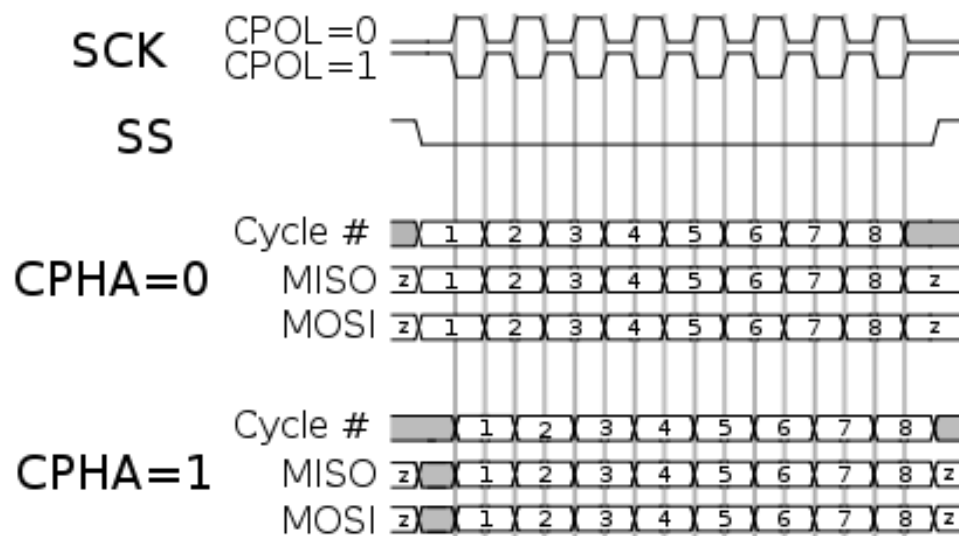


5.1.20 Sériová komunikace SPI

SPI komunikace umožňuje současný nebo-li duplexní přenos dat oběma směry. Duplexní přenos dat je zajištěn dvěma datovými vodiči a jedním vodičem pro hodinový signál. Rychlost komunikace je omezena pouze nejpomalejším článkem na sběrnici.

Komunikaci na sběrnici začíná i končí obvod master. Tento obvod generuje i hodinový signál a také vybírá slave obvod, s kterým bude komunikovat. Výběr slave zařízení je realizován pinem chip select. Počet připojených zařízení na sběrnici je omezen maximálním počtem chip selectů, které lze k master zařízení připojit. Jednotlivé datové průběhy lze spatřit na Obr. 5.21 [13].

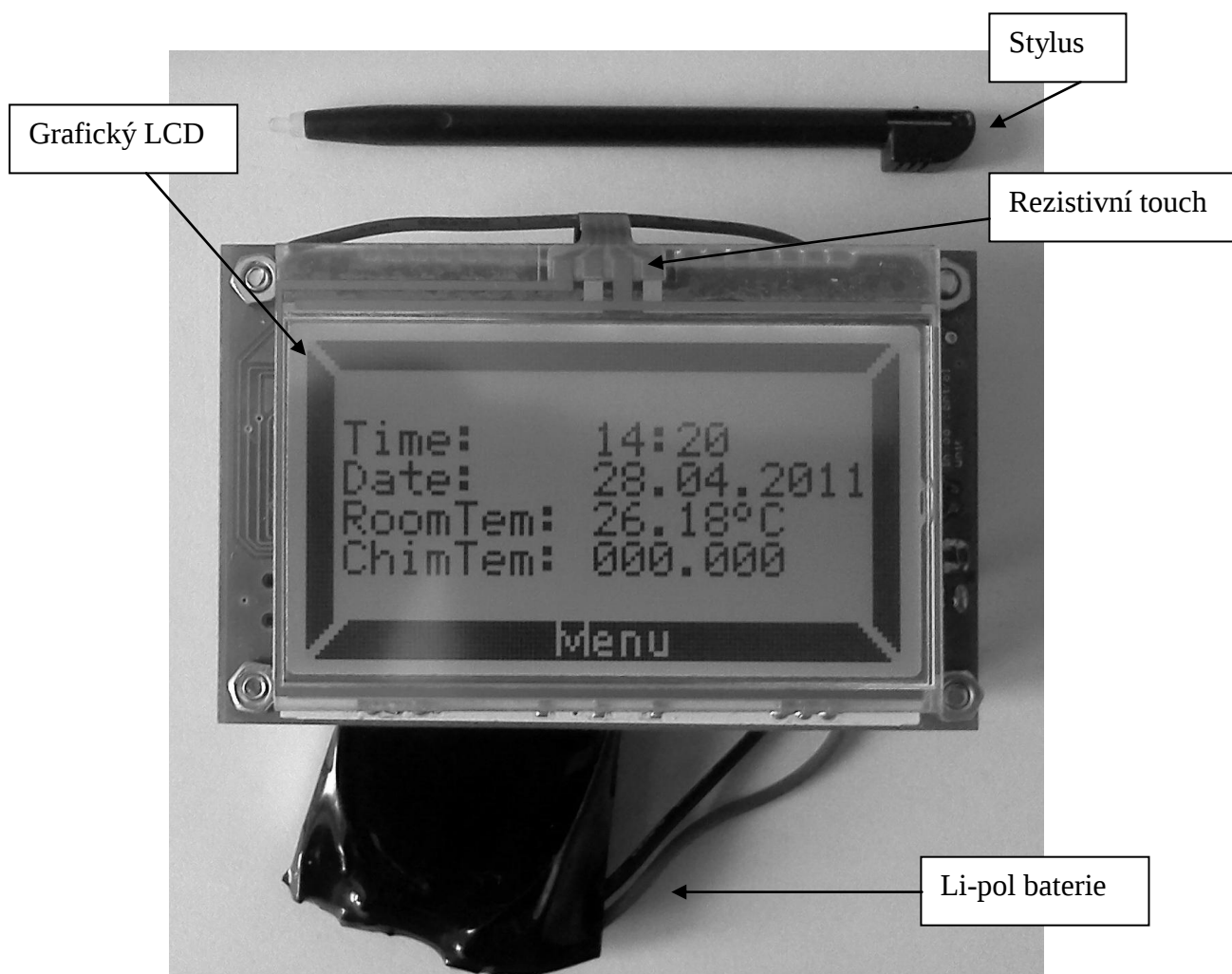
SPI se od IIC liší vyšší přenosovou rychlostí, která je způsobena duplexním přenosem dat. Avšak její nevýhodou je vyšší počet vodičů.



Obr. 5.21 Časový průběh SPI sběrnice [13]

6 Hlavní jednotka

Jednotka je určena k umístění v obytných prostorách domu, kde umožňuje uživateli pohodlné nastavení celého otopného systému. Jednotka je primárně umístěna v dokovací stanici. Zde se udržuje nabitý stav interní baterie. V případě výpadku elektrické energie či vytažení jednotky ze stanice je jednotka napájena z baterie. Díky baterii si může uživatel celý systém nastavovat a kontrolovat v pohodlí svého obývacího pokoje. Jestliže uživatel změní nastavení otopného systému, tak po jeho uložení, jsou data odeslána do Měřicí a regulační jednotky, která si je uchovává. Tak může systém pracovat nezávisle na Hlavní jednotce. Jednotky jsou spojeny rádiovým kanálem v bezlicenčním pásmu, který může být krátkodobě rušen jinými zařízeními.



Obr. 6.1 Hlavní jednotka

6.1 Hardwarová část

6.1.1 Uživatelské rozhraní

Rozhraní se skládá z monochromatického grafického LCD s rozlišením 128x64pixelů. Na displej je přilepen analogový rezistivní touch panel, který uživatel obsluhuje přiloženým stylusem. Dále je zde napájecí konektor dokovací stanice a konektor mini USB pro připojení k PC.

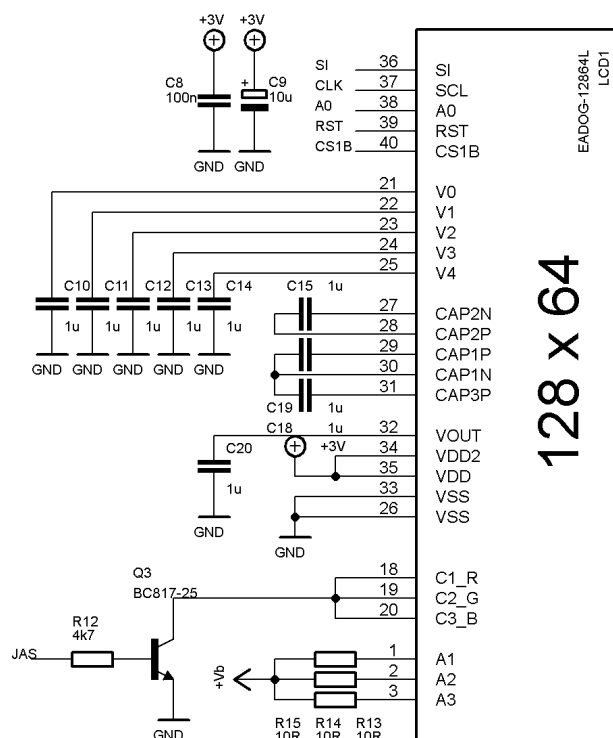
Funkce jednotlivých částí:

- **Grafický LCD** – informuje uživatele o naměřených hodnotách v celém systému. Hlavní obrazovka umožňuje zobrazovat až čtyři veličiny. Zde záleží na uživateli, které informace jej zajímají. Například teploty otopných médií, teplota vzduchu v místnosti či datum a čas. Dále informuje uživatele o jeho nastavení systému. V nabídce menu si uživatel vybírá z následujících parametrů, které chce nastavovat.
 - **Informace na hlavní obrazovce** – zde si uživatel nastaví až čtyři již zmiňované informace zobrazované ve čtyřech řádcích na hlavní obrazovce.
 - **Jas / Kontrast displeje** – zde uživatel jednoduchou formou nastavuje jas a kontrast grafického LCD.
 - **Datum a čas** – umožňuje nastavení aktuálního data a času, který je následně nahrán do obvodu reálného času. Obvod je resetován, jen když uživatel odpojí baterii.
 - **Maximální teploty na senzorech** – záložka skrývá nastavení maximálních teplot připojených senzorů, jejichž překročení je zvukově signalizováno speakrem.
 - **Teplota v závislosti na čase** – nastavuje teplotu, která má být udržována v sedmidenní periodě.
 - **Konstanty PID** – zde si uživatel může aktivovat regulátor PID a nastavit jeho konstanty. Konstanty je třeba ladit v závislosti ke konkrétní stavbě.
 - **Teplota média** – zde si uživatel může aktivovat funkci teplota média, kdy je systém regulován na nastavenou teplotu otopného média vstupující do otopného systému.
 - **Teplota vzduchu** – zde si uživatel může aktivovat funkci pro regulaci výkonu na základě rozdílu naměřené a nastavené teploty ovzduší v budově.
- **Rezistivní touch panel** – rezistivní analogový touch panel je nalepen na grafickém LCD. Pomocí stylusu uživatel ovládá jednotku přes virtuální tlačítka zobrazované na LCD. Díky této technologii je nastavování velmi jednoduché a intuitivní.
- **Konektor mini USB** – je určen pro spojení jednotky s počítačem. Jednotka se hlásí jako nový hardware na sběrnici USB. Pro správnou komunikaci jsou vygenerovány i specifické ovladače pro operační systém Windows.

Fyzické řešení jednotlivých částí:

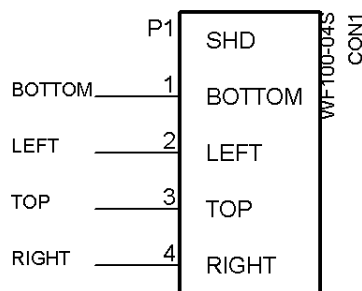
- **Grafický LCD** – pro přehledné zobrazování informací byl vybrán monochromatický grafický LCD displej s rozlišením 128x64 pixelů s označením EADOGL128E-6. Displej je vybaven možností připojení na sériovou směrnicí SPI, přes kterou jsou přenášena data z mikrokontroléru na displej. Samotné zobrazování zajišťuje řadič integrovaný v displeji. Při zapojení Low Power specifikované v dokumentaci dostává displej napájení 3V. Na Obr. 6.2 je k vidění zapojení displeje. Kondenzátory C10 – C20 jsou připojeny k integrované nábojové pumpě, která zajišťuje vyšší napětí potřebné pro samotnou funkci displeje. Kondenzátory C8, C9

slouží jako blokovací a jsou umístěny co nejbližže napájecích svorek displeje. Samotný LCD neobsahuje podsvícení, proto je nutné jej dokoupit samostatně. Zde bylo využito podsvícení oranžové barvy s označením EALED68x51-A. Podsvícení se skládá ze tří větví LED. Anody LED jsou připojeny přes rezistory R13 – R15 přímo na baterii, protože při maximálním jasu teče větve proud 180mA, na který není dimenzován stabilizátor. Hodnoty rezistorů R13 – R15 byly stanoveny podle rovnice (rov. 5.1). Katody LED jsou připojeny na potenciál GND přes tranzistor Q3. Jas displeje nebo-li intenzita podsvícení je regulována PWM modulací z mikrokontroléru přes již zmiňovaný tranzistor Q3. Hodnota rezistoru R12 byla stanovena podle rovnice (5.2).



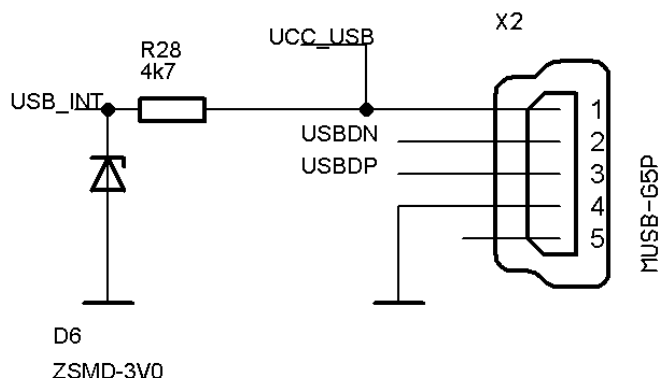
Obr. 6.2 Grafický LCD EADOG

- **Rezistivní touch panel** – pro ovládání a nastavování hlavní jednotky byl zvolen analogový rezistivní touch panel od výrobce EADOG s označením EATOUCH128-2. Panel je přilepen na grafický displej. K mikrokontroléru je připojen čtyřmi vodiči pomocí svorkovnice EAWF100-04S. Panel se chová jako potenciometr. Jestliže je přiveden kladný potenciál na svorku BOTTOM a záporný potenciál na svorku TOP, při stisku stylusem naměříme na svorkách LEFT či RIGHT hodnotu napětí odpovídající vertikální souřadnicí stisknutého bodu. Pro měření horizontální souřadnice je přiveden potenciál na svorky LEFT, RIGHT a na TOP, BOTTOM měřeno napětí. Odpor touch panelu se pohybuje okolo 400R a pro správnou funkci musí panelem protékat minimální proud 5mA. Ostatní technické informace naleznete v technické dokumentaci touch panelu [17].



Obr. 6.3 Připojení touch panelu

- **Konektor mini USB** – umožňuje komunikaci mezi počítačem a hlavní jednotkou přes sériovou sběrnici USB. Mikrokontrolér je vybaven rozhraním USB, proto není potřeba žádného dalšího hardwaru k připojení jednotky. Datové vodiče jsou připojeny k mikrokontroléru přes rezistory R22 a R23 s hodnotou 27R předepsané normou. Konektor dále umožňuje nabíjení baterie a napájení celé jednotky. Vodič UCC_USB je připojen k napájecímu bloku jednotky. Poslední částí zobrazené na Obr. 6.4 je rezistor R28 jehož hodnota byla stanovena podle rovnice (5.1) a Zenerova dioda D6, která zajišťuje maximální hodnotu napětí 3V na vodiči USB_INT. Blok je připojen k mikrokontroléru na pin s možností vyvolání přerušení. Může sloužit na příklad pro změnu pracovního kmitočtu mikrokontroléru z důvodu úspory energie. Kdy při komunikaci na sběrnici USB je požadován vysoký pracovní kmitočet.



Obr. 6.4 Konektor mini USB

6.1.2 Napájecí blok

Napájecí blok se skládá z částí zobrazených na Obr.6.5. Kulatý napájecí konektor s označením power conector o průměru 2,1mm. Diody D1, D2 určují směr napájecího proudu. Jednotka může být napájena dvěma způsoby přes power konektor nebo přes konektor mini USB. Kondenzátor C6 slouží jako filtrační. Následuje trojice rezistorů R1-R3 zapojené v sérii s trojicí zenerových diod se jmenovitým napětím 3V. Slouží pro omezení maximálního napětí na signalizačních vodičích připojených k mikrokontroléru. První část signalizuje připojení napájecího napětí INT_P. Druhá část signalizuje nabitý stav baterie GREEN. Poslední část signalizuje nabíjení baterie RED. Hodnoty rezistorů R1 – R3 byly stanoveny podle rovnice (5.1), tak aby diodami protékal jen malý offsetový proud. Nabíjení jednoho článku baterie Li-pol zajišťuje integrovaný obvod MC34674 od firmy Freescale. Pracovní napětí obvodu je

omezeno od 5V do 11V, tímto je i omezeno vstupní napětí na napájecím konektoru. Výstupní napětí obvodu se mění v závislosti na stavu baterie. Integrovaný obvod sám udržuje nabíjecí proud baterii, jestliže je baterie nabitá, výstup obvodu se odpojí. Jakmile napětí na baterii klesne, pod hodnotu stanovenou výrobcem, opět je připojí a baterie se začne nabíjet. Zapojení pinů VREF a TEMP je realizováno podle doporučení výrobce. Na konektor JP2 je připojen termistor NTC640-100K, který signalizuje nabíjecímu obvodu teplotu baterie. Konektor JP1 je zde umístěn pro připojení baterie. Následují filtrační kondenzátory C1, C2 a za nimi stabilizátor s označením MCP1801 od firmy Microchip. Stabilizátor udržuje výstupní napětí na hodnotě 3V. Maximální výstupní proud stabilizátoru je 150mA. Na potenciál 3V jsou připojeny veškeré integrované obvody. Rezistor R7 slouží jako pull-up pro aktivaci stabilizátoru, který je stále aktivní. Kondenzátory C3 – C5 zde slouží opět jako filtrační. Tranzistor Q1 je zde umístěn pro možnost odpojování napájecího napětí větší části obvodu. Primárně je uzavřen uvedením svorek G a S na stejný potencionál přes rezistor R4. Otevření Q1 zajišťuje bipolární tranzistor Q2, který je spínán mikrokontrolérem. Velikost rezistoru R6 byla stanovena podle rovnice (5.2). Možnost odpojení velké části jednotky je zde implementována z důvodu ochrany baterie před vybitím baterie pod bezpečnou úroveň.

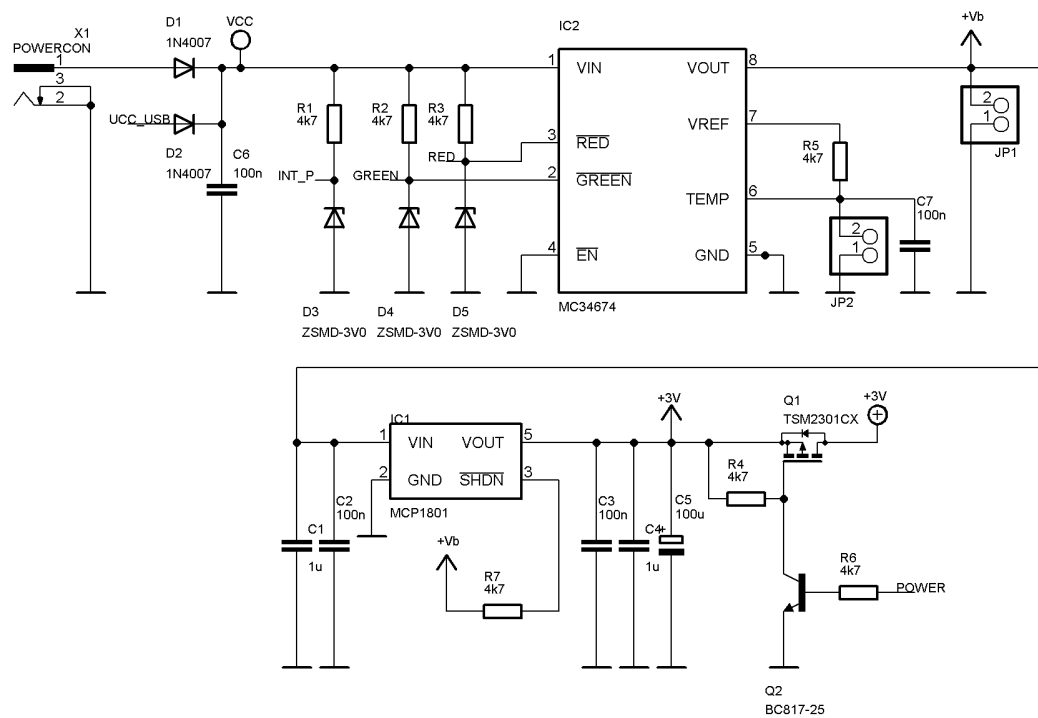
Jednotka je vybavena jedním článkem Li-pol baterie s kapacitou 900mAh. Průměrný odebíraný proud z baterie při aktivním podsvícení displeje se pohybuje okolo 90mA. Jestliže jednotka podsvícení deaktivuje, sníží se odběr na 30mA. Z naměřených hodnot je vidět, že jednotka s aktivním podsvícením vydrží na baterii okolo desíti hodin. Avšak maximální doba jednotky bez napájení se pohybuje okolo třiceti hodin.

Příklad výpočtu rezistoru R1 – R3:

- Maximální proud 1,6mA
- Maximální vstupní napětí 11V
- Minimální vstupní napětí 6V

$$R_{1-3} = \frac{U_{MAX} - U_Z}{I_{MAX}} = \frac{11 - 3}{1,6 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{5k\Omega}} \Rightarrow \underline{\underline{4,7k\Omega}}$$

$$I_{MIN} = \frac{U_{MIN} - U_Z}{R_{1-3}} = \frac{6 - 3}{4700} = \underline{\underline{6,4mA}}$$



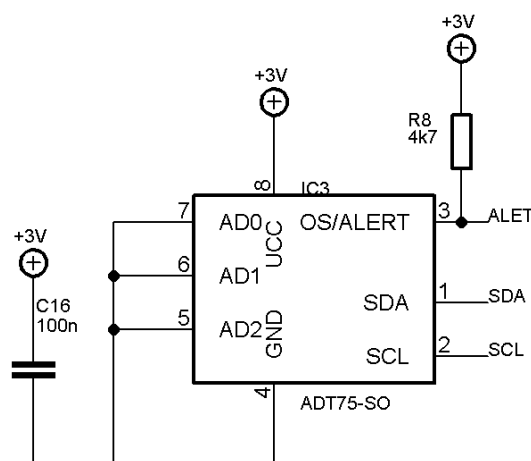
Obr. 6.5 Napájecí blok

6.1.3 Teplotní senzor

Teplotní senzor je umístěn v hlavní jednotce z důvodu regulace systému v závislosti na vnitřní teplotě domu. Byl zde vybrán digitální senzor s označením ADT75 od firmy Analog Devices, který měří s rozlišením dvanácti bitů. Komunikace s mikrokontrolérem probíhá po sériové lince IIC. Mikrokontrolér si žádá o naměřenou hodnotu a obratem dostává data odpovídající teplotě okolí. Samotný senzor je realizován v pouzdře SO-08, kde tři piny specifikují poslední tři bity IIC adresy senzoru. Piny byly připojeny na potenciál GND. Následná adresa senzoru je tedy 1001000b. Pin OS/ALERT je připojen přes pull-up rezistor na kladný potenciál napětí, podle doporučení výrobce. Výstup je aktivní v přerušovacím či komparačním mód teplotního senzoru. Tyto funkce však nejsou v projektu využity [19]. Kondenzátor C16 je umístěn nejbližše integrovanému obvodu, kde plní funkci blokovacího kondenzátoru. Umístění teplotního senzoru bylo zvoleno na okraji desky z důvodu lepšího kontaktu s okolím a lepší odolnosti proti parazitnímu teplu jednotky.

Parametry senzoru:

- Pouzdro SO-08
- Rozmezí teplot -55 až 125°C
- Přesnost měření je 0.0625°C
- Napájecí napětí 3 – 5V
- IIC komunikační rozhraní



Obr. 6.6 Teplotní senzor

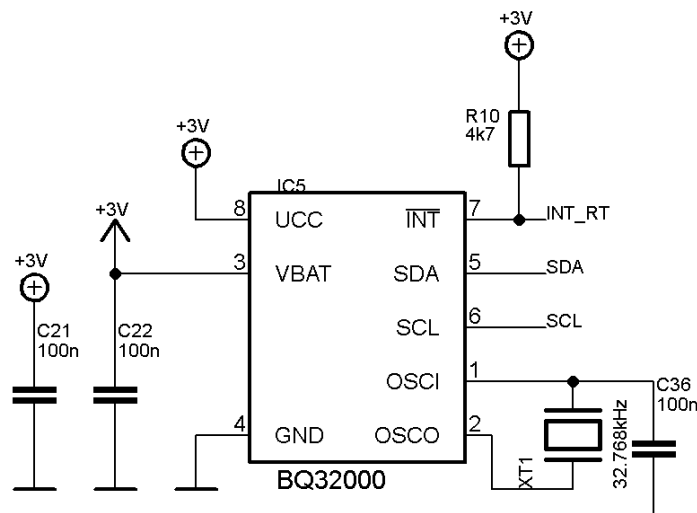
6.1.4 Obvod reálného času

Obvod reálného času je zde osazen z důvodu udržení přesného čítání času. Obvod obsahuje vlastní oscilátor kalibrovaný pro takovou funkci. Díky tomuto obvodu nemusí být mikrokontrolér zatěžován touto funkcí ve svém programu. Samotné zapojení v obvodu je znázorněno na Obr. 6.7. Nejbližše napájecímu napětí je umístěn blokovací kondenzátor C21 o hodnotě 100nF. Stejný blokovací kondenzátor je připojen na napájecí vstup z baterie. V případě vybité baterie se odpojí napájení obvodu tranzistorem Q1, ale bateriový napájecí vstup je připojen na baterii přímo, tímto je zajištěn běh obvodu se zanedbatelnou spotřebou řádově nW. Výstup INT je připojen přes pull-up rezistor na kladný potenciál napětí, protože vnitřní zapojení v obvodu je realizováno otevřeným kolektorem. Výstup lze využít při kalibraci interního oscilátoru. Následují datové vodiče sériové komunikace IIC, které spojují obvod s mikrokontrolérem. Poslední součástí připojenou k obvodu je krystal naladěný na

kmitočet 32,768kHz. Krystal udržuje přesný kmitočet interního oscilátoru potřebný pro přesnou funkci integrovaného obvodu.

Parametry obvodu:

- Automatické přepínání na záložní napětí
- Komunikační rozhraní IIC
- Pouzdro SO-08
- Programovatelná kalibrace od -63ppm do 126ppm
- Napájecí napětí od 3 do 3,6V



Obr. 6.7 Zapojení obvodu reálného času

6.1.5 Paměť EEPROM

Paměť typu EEPROM je osazena v jednotce z důvodu uchování dat při odpojení baterie nebo restartu jednotky. Jsou zde uloženy hodnoty veškerého uživatelského nastavení systému a jednotky, naměřené hodnoty určené pro pozdější zpracování například v počítači. Je zde osazena paměť o velikosti 16KB, proto jednotka může uchovávat naměřená data celkem dlouhou dobu.

Informační výpočet doby ukládání naměřených dat při následujících parametrech.

- 5B naměřené teploty + 5B datum a čas
- Ukládací perioda 10 minut

$$\text{Počet uložených vzorků} = \frac{15 \cdot 10^3}{10} = 1500$$

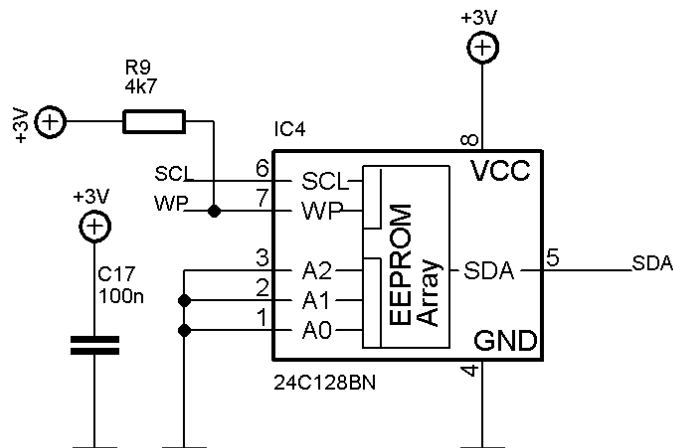
$$\text{Čas ukládání } 1500 \cdot 10 = \underline{15000 \text{ min}} \Rightarrow \underline{250 \text{ hodin}} \Rightarrow \underline{10,4 \text{ dne}}$$

Rozložení dat v paměti:

Adresa Hex	Uložená data	Poznámka
0x0000	Nastavená data uživatelem	1KB
:		
0x03FF		
0x0400	Naměřená data	15KB
:		
0x3FFF		

Tab. 6.1 Rozložení dat v EEPROM

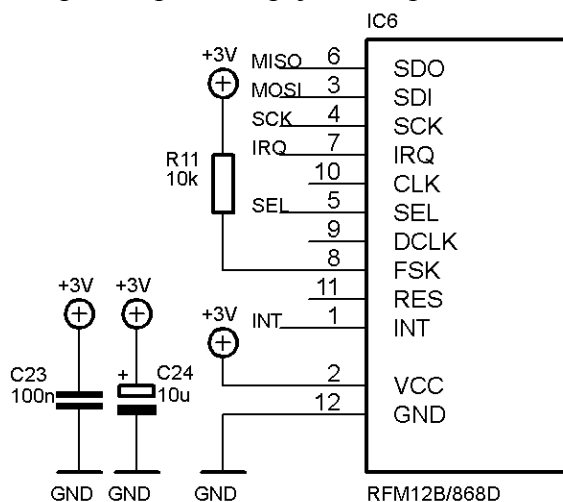
Připojení paměti k mikrokontroléru je znázorněno na Obr. 6.8. Realizace zapojení je již popsána v kapitole 5.1.7. Rozdíl mezi jednotkami je pouze v napájení integrovaného obvodu. Zde je napájen napětím 3V.



Obr. 6.8 Připojení paměti EEPROM

6.1.6 Bezdrátová komunikace

Realizace připojení bezdrátového ISM modulu RFM12B/868D je již popsána v kapitole 5.1.5. Blok zapojení se zde opět liší pouze napájecím napětím modulu, které je 3V.



Obr. 6.9 Připojení transcieveru

6.1.7 Mikrokontrolér a jeho periférie

Srdcem celé jednotky je mikrokontrolér od firmy Freescale rodiny MC9S08JM. Mikrokontrolér zajišťuje veškeré funkce hlavní jednotky a obsluhuje všechny připojené komponenty. Byl vybrán tak, aby vyhovoval všem potřebám, které jsou kladeny na hlavní jednotku.

Parametry mikrokontroléru:

- 60KB programové paměti FLASH
- 4KB operační paměti RAM
- 256B USB RAM
- Maximální výpočetní frekvence 24MHz
- Pouzdro 64-QFP

Periférie mikrokontroléru:

- **12kanálový 12bitový A/D převodník** – u převodníku je využito pět kanálů. Čtyři kanály jsou využívány pro snímání souřadnic z analogového touch panelu. Kdy se výstupní piny mikrokontroléru mění z digitálních na analogové a zpět podle osy měřených souřadnic. Poslední kanál je využit pro měření napětí na baterii. Převodník je využíván v režimu „Single Conversion“. Po uplynutí nastavené časové prodlevy procesor vyčte všechny využívané kanály A/D a hodnoty zpracuje dle požadavků. A/D převodník využívá externí napěťovou referenci. Jedná se o řízenou referenci TL431, která je zapojena tak, že napětí na referenčním pinu mikrokontroléru dosahuje 2,51V. Rozsah pro A/D převodník je tedy 0 – 2,51V.
- **2x sériová komunikace SCI** – není v projektu využita
- **2x sériová komunikace SPI** – první SPI komunikace zajišťuje přenos dat mezi mikrokontrolérem a grafickým LCD. Součástky jsou spojeny jedním datovým vodičem, který přenáší data směrem k displeji. Opačný směr dat není potřebný. Díky tomu je dosaženo celkem vysokých přenosových rychlostí. Dále je ještě využito několik řídicích vodičů jako hodinový signál, výběrový signál chip select atd. Druhá SPI komunikace je využívána pro předávání dat mezi mikrokontrolérem a bezdrátovým modulem ISM. Zde jsou součástky spojeny dvěma datovými vodiči, každý z nich přenáší data jedním směrem. Následně je ještě použito několik řídicích vodičů pro řízení přenosu dat mezi jednotkami. Jako je hodinový signál CLK, výběrový signál CS, přerušení INT atd.
- **Sériová komunikace IIC** – mikrokontrolér ji využívá pro komunikaci se třemi bloky jednotky. Teplotním senzorem, který měří interní teplotu budovy. Obvodem reálného času, který udržuje přesný čas. Externí paměť EEPROM, kde jsou ukládány naměřené a nastavené hodnoty. Výhodou tohoto typu komunikace jsou pouze dva vodiče potřebné pro komunikaci mezi zařízeními. Díky tomu se zjednoduší návrh desky hlavní jednotky. Data přenášená mezi mikrokontrolérem a připojenými bloky probíhá na kmitočtu 100kHz.
- **Sériová komunikace USB** – jednotka ji používá pro komunikaci s počítačem. Linka je nastavena na komunikační rychlost 12Mb/s a pro komunikaci se využívají dva endpointy v režimu přerušení. Mezi mikrokontrolérem a portem mini USB, který je určen pro připojení linky, jsou zapojeny jen dva rezistory R22, R23 v hodnotě 27R, který jsou doporučeny výrobcem i normou.
- **Časovače/čítače** – mikrokontrolér je vybaven dvěma šestnáctibitovými čítači/časovači jedním dvoukanálovým a jedním šestikanálovým. Jednotka využívá hned oba z nich. První z nich je nastaven jako generátor PWM signálu o kmitočtu 2kHz, pro buzení piezo speakru. Softwarově lze měnit střidu obdélníkového signálu.

Druhý časovač je nastaven na kmitočet 1kHz. Pro jeden kanál je zde aktivní opět PWM modulace jejíž střída určuje jas displeje. Druhý kanál vyvolává interní přerušeni jednou za 1ms. Tento vektor plní funkce, které jednotka vykonává s nastaveným časovým intervalem. Například A/D převod z vybraného kanálu, kde se průměruje několik naměřených hodnot.

- **Externí přerušeni KBI** – tohoto přerušeni se využívá při změnách v jednotce. Například připojení napájení, nabitý stav baterie, připojení USB kabelu atd. Dále jsou na piny KBI připojeny signály od ISM modulu, které signalizují změnu stavu v modulu. Například příjem dat.
- **Přerušeni od reálného časovače (RTC)** – je využíván pro buzení mikrokontroléru z režimu spánku. Časovač je nastaven na sto milisekund. Po uplynutí času se mikrokontrolér automaticky vzbudí a vykoná požadované úkoly.

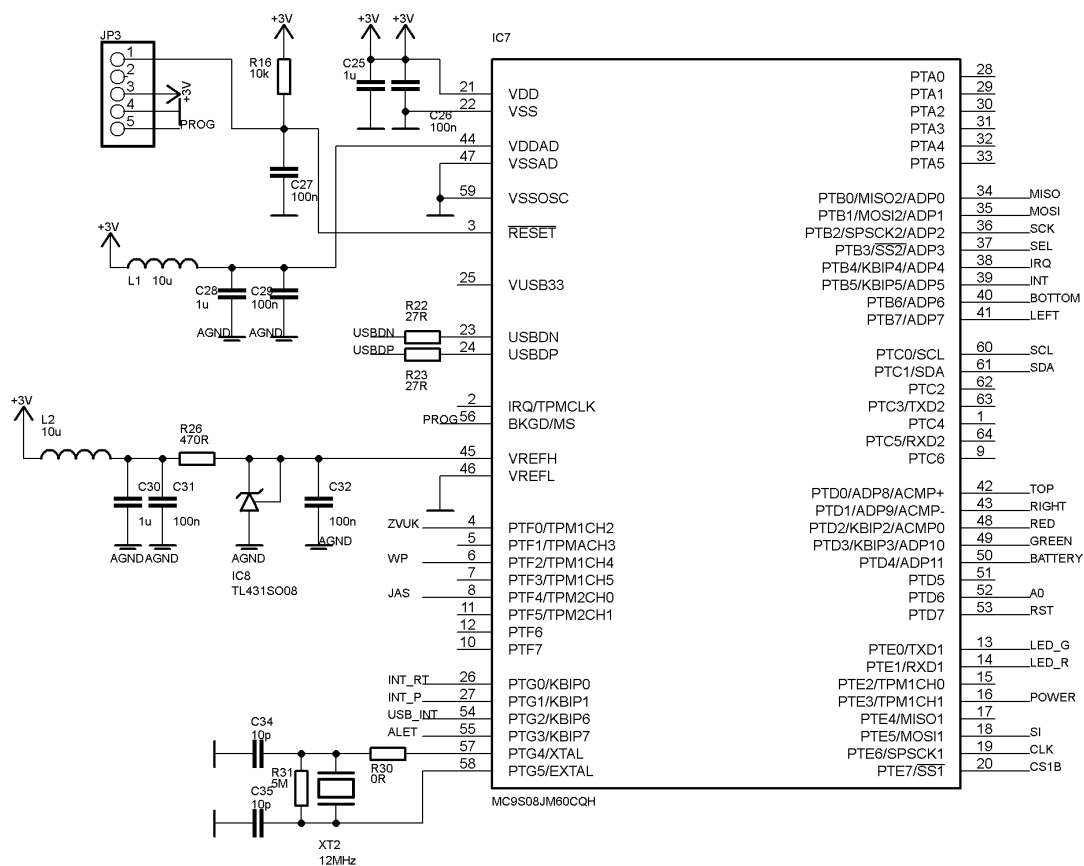
Zapojení samotného mikrokontroléru s nezbytnými součástkami

Připojení pasivních součástek je znázorněno na Obr. 6.10. Kondenzátory C25, C26 připojené paralelně k napájecím pinům mikrokontroléru plní blokovací funkci proti rychlým změnám napájecího napětí. Resetovací pin je připojen přes externí pull-up rezistor na kladný potenciál napětí. V tomto stavu je mikrokontrolér v pracovním režimu. Restartovat jej lze pouze z programovacího konektoru JP3. Programovací konektor obsahuje piny reset, VCC, GND a programovací pin BDM, přes který lze mikrokontrolér programovat i krokovat program přímo čipu. Následuje napájení A/D převodníku. A/D převodník je napájen přes LC filtr z důvodu filtrace nežádoucích zákmitů na potenciálu 3V. Jednoduchý popis LC filtru prvního řádu je v kapitole 5.1.6. Vysoká referenční úroveň pro A/D převodník je realizována pomocí řízené reference TL431. Nejprve je zde umístěn stejný LC filtr jako u napájení A/D převodníku, následován rezistorem R26, který je zapojen s IC8 jako dělič napětí. Hodnota rezistoru byla vypočítána dle rovnice (5.4). Jelikož IC8 má v tomto zapojení úbytek napětí 2,51V, tak může A/D převodník vzorkovat napětí pouze v rozsahu 0 až 2,51V. Více informací ohledně IC8 naleznete v [12]. Funkce rezistorů R22 a R23 byla již několikrát zmiňována v předešlém textu. Poslední částí připojené k mikrokontroléru je krystal XT2, jehož zapojení je realizováno přesně podle katalogového listu dodávaného výrobcem [15]. Pro jednotku byl vybrán krystal s referenčním kmitočtem 12MHz, lze však k mikrokontroléru připojit krystal od 1MHz až do 16MHz. Samotný kmitočet interní sběrnice je nutné nastavit pomocí integrovaných děliček a násobiček na libovolnou hodnotu do 24MHz.

Příklad výpočtu rezistoru R26:

- Proud referencí 1mA

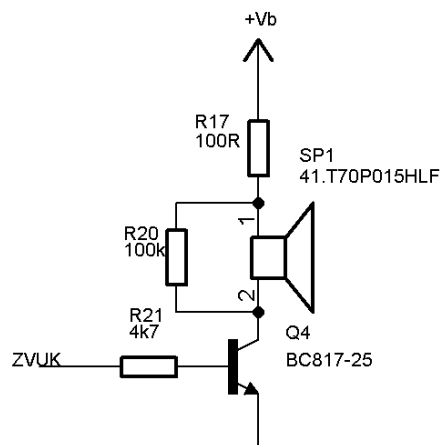
$$R_{26} = \frac{U_{cc} - U_{ref}}{I_{ref}} = \frac{3 - 2,5}{1 \cdot 10^{-3}} = 500 \, \Omega \Rightarrow \underline{\underline{470 \, \Omega}}$$



Obr. 6.10 Zapojení mikrokontroléru s perifériemi

6.1.8 Zvuková signalizace

Zvuková signalizace se skládá především z piezo rezonátoru v rezonančním pouzdře a z několika součástek. Celé zapojení je znázorněno na Obr. 6.11. Rezonátor je napájen přímo z baterie, protože má krátkodobě vysoké odběry, které by způsobily nepřiměřenou ztrátu na lineárním stabilizátoru. Do série s rezonátorem je zapojen rezistor R17 jehož hodnota byla stanovena podle rovnice (5.1). Sériově je zde i řazen tranzistor Q4, který je buzen PWM modulací z mikrokontroléru. Frekvenci buzení speakru si určí sám programátor. Rezistor R21 je řazen sériově mezi mikrokontrolérem a tranzistorem Q4 a jeho hodnota byla stanovena podle rovnice (5.2). Poslední součástkou umístěnou ve schématu je rezistor R20, který je zapojen paralelně k rezonátoru. Hodnota rezistoru byla určena tak, aby se kapacita rezonátoru přes něj vybíjela při vypnutí tranzistoru Q4.

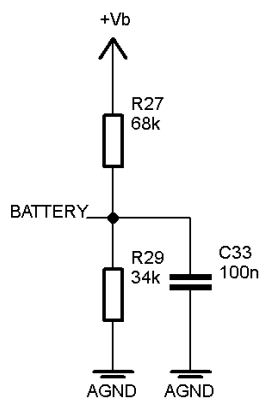


Obr. 6.11 Zapojení speakru

6.1.9 Měření napětí baterie

Měření stavu jednočládkové Li-pol baterie je realizováno A/D převodníkem mikrokontroléru. Protože mikrokontrolér může měřit jen do napětí 2,51V (viz. kapitola 6.1.7) je mezi baterií a mikrokontrolérem realizován dělič s dělicím poměrem 1/3. Hodnoty samotných rezistorů byly stanoveny podle rovnice (5.4). Kondenzátor C33 je zapojen paralelně s rezistorem R29 a slouží jako blokovací. Mezní kmitočet dolní propusti realizované rezistorem R27 a kapacitou C33 je 147Hz (6.1).

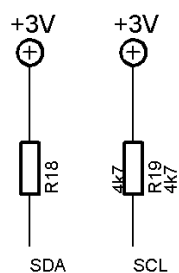
$$f_{\max} = \frac{1}{R \cdot C} [Hz] \quad (6.1)$$



Obr. 6.12 Dělič napětí pro měření stavu baterie

6.1.10 Realizace IIC sběrnice

Sběrnice je tvořena dvojicí vodičů, které spojují všechna zařízení připojená na sběrnici. Vodič SCL přenáší hodinový signál a vodič SDA přenáší data. Oba vodiče musí nabývat v klidném stavu vysoké logické hodnoty. Proto je každý z nich připojen přes pull-up rezistor na potenciál pracovního napětí (Obr. 6.13).

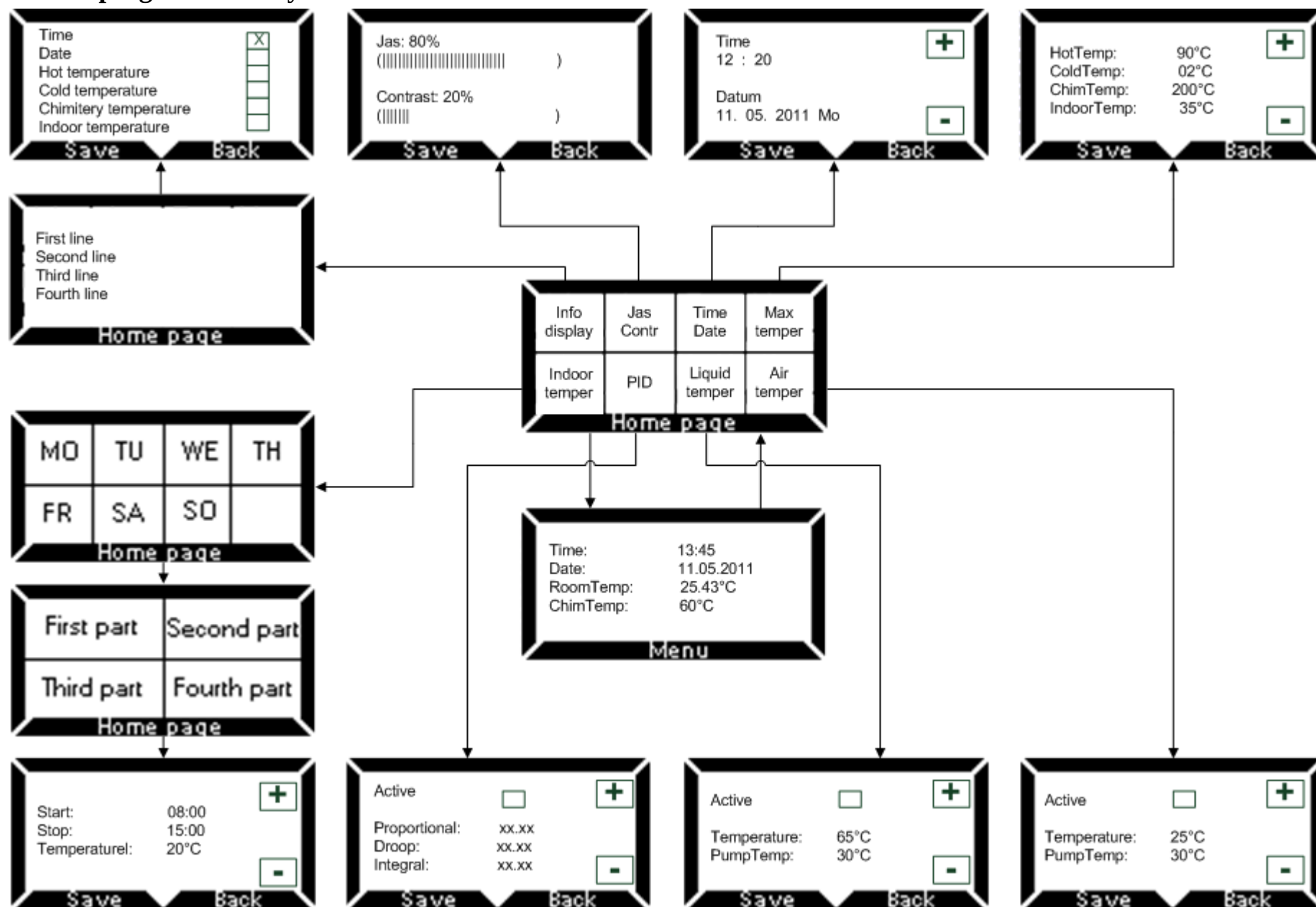


Obr. 6.13 Realizace sběrnice IIC

6.2 Softwarová část

Software pro hlavní jednotku je složen z hlavní smyčky programu a několika podprogramů přerušení. V hlavní smyčce programu jsou vykonávány veškeré funkce, které má jednotka plnit. Každá z funkcí je podmíněna takzvanou vlajkou, jejíž stav je nastavován po zvoleném časovém intervalu. Časový interval udržuje blok real time counter (RTC), který vyvolává přerušení každých 100ms. Některé vlajky jsou nastavovány na základě vyvolání přerušení od různých zařízení. Veškeré součástky osazené v hlavní jednotce mají vytvořen svůj specifický ovladač pro jejich maximální využití.

6.2.1 Schéma programového vybavení



Obr. 6.14 Schéma programového vybavení

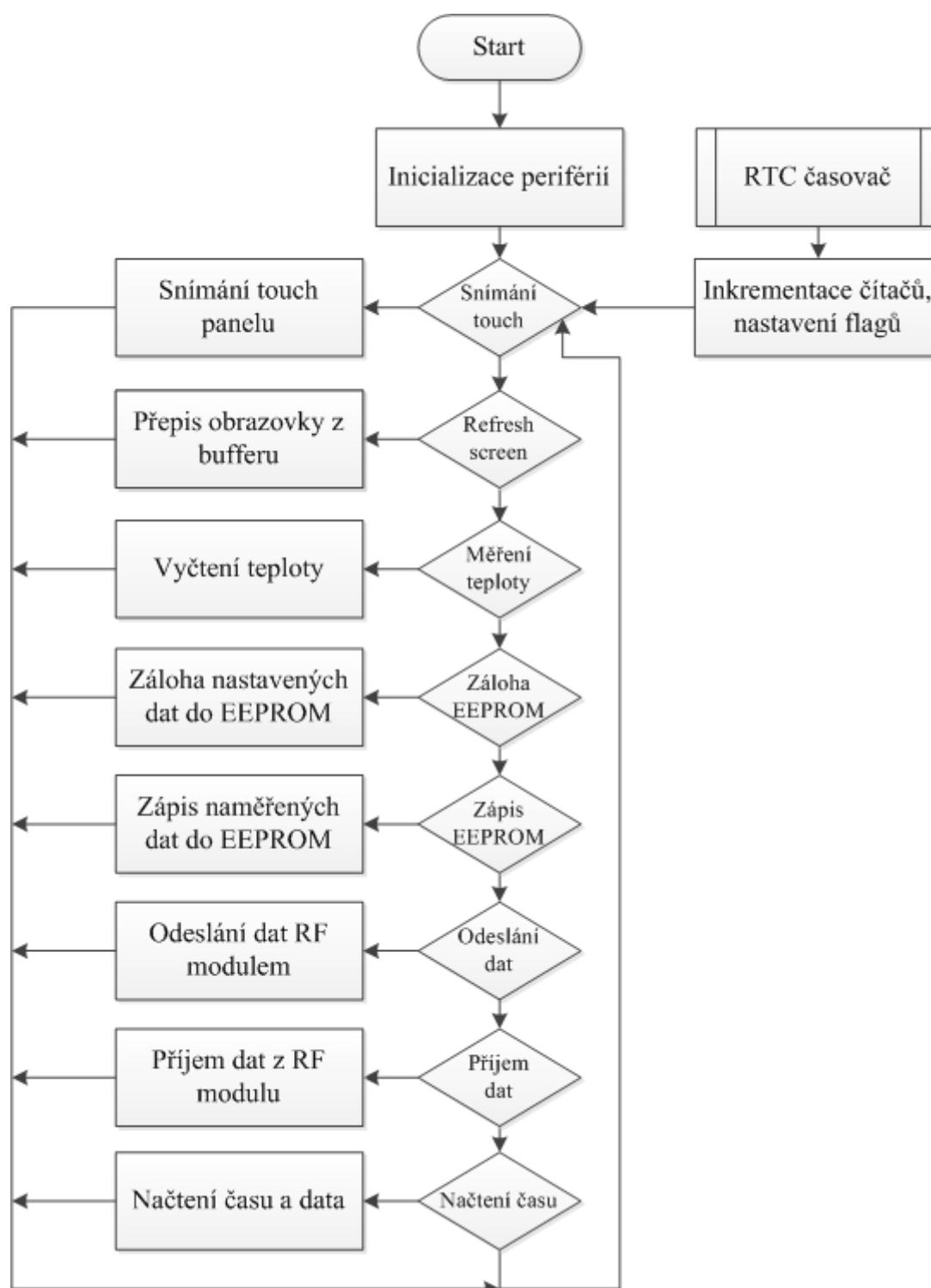
6.2.2 Hlavní část programu

Hlavní smyčka programu je znázorněna na Obr. 6.15. Hlavní část programu nebo-li knihovna main obsahuje několik funkcí a deklaruje několik globálních proměnných. Mezi hlavní proměnné patří vlajky na všechny úkony vykonávané v hlavní smyčce programu a dvě struktury. Struktura „setting“ obsahuje veškeré nastavení hlavní jednotky a struktura „values“ obsahuje veškeré naměřené hodnoty.

Hlavní smyčka programu „main“ nejprve provede inicializaci všech periférií a zařízení připojených k mikrokontroléru. Následuje vyčtení uživatelského nastavení z paměti EEPROM a načtení aktuálních časových údajů z obvodu reálného času. Před skokem do nekonečné smyčky je ještě sestavena hlavní stránka, která bude zobrazena na displeji. Nekonečná smyčka vykonává jednotlivé části programu na základě nastavených vlajek. Smyčka obsahuje následující bloky programu. Obnovu displeje, kde je načtena do bufferu příslušná stránka, která má být zobrazena. Následně je volána funkce pro výpis na displej. Snímání touch panelu, které volá funkci pro skenování panelu. Jestliže naměřená hodnota neodpovídá výchozí hodnotě je volána funkce pro rozlišení stisku virtuálního tlačítka na displeji. Snímání teploty, volá funkci pro načtení aktuální naměřené hodnoty. Záloha uživatelského nastavení do paměti EEPROM. Tato část programu je aktivní pouze při provedení změny nastavení v jednotce. Zápis naměřených hodnot do externí paměti EEPROM. Odesílání nastavených a naměřených hodnot do Měřicí a regulační jednotky přes rádiový kanál. Blok programu pravidelně odesílá naměřenou hodnotu na teplotním senzoru a současně žádá o naměřené hodnoty na ostatních senzorech. Blok příjmu dat přes rádiové pásmo. Obnova data a času z obvodu reálného času.

Funkce „touch_true“ nejprve určí, na které stránce se uživatel aktuálně nachází pomocí switche. Samotná třída switche obsahuje podmínky, které rozlišují virtuální tlačítka zobrazená na obrazovce. Na základě naměřených souřadnic se určí tlačítko, které uživatel stisknul a následně se vykoná operace pro něj určená.

Funkce „flag_counter“ je funkce volaná na základě přerušení od real time counteru. Zde se inkrementují veškeré countery pro jednotlivé bloky programu, které se vykonávají s určitou časovou periodou.



Obr. 6.15 Blokový diagram hlavní smyčky programu

6.2.3 Ovladač periférií

Knihovna ovladače periférií obsluhuje ovladače pro všechny bloky mikrokontroléru. Samozřejmostí je jejich nastavení a smyčky podprogramů přerušení. Mezi takové bloky patří externí přerušení, kde smyčka podprogramu rozlišuje pin, na kterém přerušení nastalo. Na základě určeného pinu je nastaven příznak, který určuje jaká část programu se má vykonána. Dalším podprogramem přerušení je obsluha real time counteru, kde se na přerušení volá funkce obsluhující country jednotlivých částí programu. Přerušení je vyvoláváno jednou za 100ms. Následuje nastavení a obsluha čítačů časovačů. Zde první čítač časovač jen generuje

PWM, která nepoužívá žádný vektor přerušení. Druhý čítač časovač s periodou 1ms generuje přerušení při přetečení. Ve smyčce přerušení jsou vykonávány například funkce „touch_scannig, shoutdown_light, voice_beep“ a další. Následuje ovladač A/D převodníku, který obsahuje nastavení A/D a funkci get_ad(device), která vrací hodnotu A/D převodníku a její vstupní proměnná „device“ vybírá kanál, na kterém se má měřit. Dále ovladač obsahuje nastavení a funkce pro ovládání IIC komunikace. Jako jsou „InitSend, SendByte, StopSend“ a další.

6.2.4 Ovladač grafického LCD

Ovladač grafického LCD se skládá z devíti základních funkcí uložených v knihovně „ealog.c“. První z nich „spi1_init()“ inicializuje sériovou sběrnici SPI a nastaví její komunikační rychlost. Pro tento projekt byla zvolena přenosová rychlost 6Mb/s. Následuje funkce „SPI1_Write(data)“, která zapisuje data na sběrnici. Obsahuje vstupní proměnnou o velikosti jednoho bytu, do které jsou vložena data určená k odeslání po sběrnici. Funkce nahraje data do příslušného registru a čeká na příznak odeslání, následně se ukončí. Funkce „lcd_init()“ inicializuje samotný displej. Nejprve je displej restartován pinem reset a následně je nastaven tak, aby ukládal přijímaná data do instrukční paměti. Do displeje je odesláno nastavení doporučené výrobcem [18]. Mezi které patří spuštění displeje, aktivace integrovaného měniče, nastavení kontrastu atd. Funkce „lcd_set_contrast(contr)“ obsahuje jednu vstupní proměnnou, která udává kontrast displeje od 0 do 64. Umožňuje uživateli libovolně měnit kontrast při běhu programu bez nutnosti opětovné inicializace displeje. Funkce „lcd_show_fullscreen(*img)“ realizuje výpis dat na celou obrazovku. Při zavolání funkce je nutno udat do vstupní proměnné ukazatel na řetězec dat o velikosti 1024B, který má být vypsan. Funkce těmito daty přepíše celou obrazovku. Pro snadnější výpis dat na obrazovku byla v ovladači deklarována globální proměnná „lcd_buff“, kde jsou uložena data určená pro výpis na obrazovku. Funkce „clear_buff()“ je určena pro vynulování výše zmiňované proměnné. Funkce „fill_buff(fill_char)“ je určena pro naplnění již zmiňované proměnné konstantou, která je vložena jako vstupní proměnná. Následující dvě funkce obsluhují zobrazování znaků na LCD. Funkce „charakter(character, size, inversion)“ realizuje převod jednoho znaku z ASCII na data potřebná pro zobrazení znaku na LCD. Funkce má tři vstupní proměnné. První z nich obsahuje číslo ASCII znaku, které chce uživatel zobrazit. Druhá určuje šířku fontu, který chce uživatel využít. K dispozici jsou pouze dva fonty 5x7 a 3x5. Poslední proměnnou lze invertovat barvu znaku. Požadovaný znak se automaticky zapíše do proměnné „lcd_buff“ na souřadnice, které jsou určeny globální proměnnou „lcd_pointer“. Druhá funkce „characters(*s, size, inversion)“ umožňuje překládat celé řetězce znaků. Obsahuje stejné vstupní proměnné jako předešlá funkce, jediná změna je v první proměnné, která ukazuje na pole znaků. Funkce volá po jednom znaku funkci „charakter(character, size, inversion)“ a předává ji ostatní parametry. Poslední funkcí, kterou knihovna obsahuje, je „shutdown_light()“. Při zavolání funkce displej plynule sníží svůj jas na nulovou hodnotu.

6.2.5 Zobrazování stránek na LCD

Zobrazování obsahu stránek se skládá ze dvou knihoven. Knihovna image obsahuje obrázky zobrazované na displej, uložené jako konstanty v paměti flash. Dále ještě obsahuje dva fonty písma 5x7 a 3x5, které jsou využívány pro psaní textu na displeji. Knihovna screens obsahuje funkce pro zobrazování všech stránek. Funkce „homepage()“ nejprve načte do proměnné „lcd_buff“ pozadí hlavní stránky a následně část bufferu přepíše řádky, které mají být na hlavní stránce zobrazeny. Další funkcí je například funkce „jas_contrastpage()“, která opět načte do proměnné „lcd_buff“ své pozadí a následně je část bufferu přepsána grafickými či textovými hodnotami. Každá stránka má svoji specifickou funkci, která vytvoří její

grafický vzhled. Práce všech funkcí je podobná jako ve dvou uvedených příkladech. Rozložení stránek v menu je k vidění v kapitole 6.2.1 Schéma programového vybavení.

6.2.6 Ovladač ISM modulu

Ovladač ISM modulu je stejný jako v Měřicí a regulační jednotce. Jeho popis naleznete v kapitole 5.2.9. Ovladač ISM modulu.

6.2.7 Ovladač teplotního senzoru

Ovladač digitálního teplotního senzoru se skládá pouze ze dvou funkcí, které senzor obsluhují. První funkce „dig_sens_init(sensor)“ provede nastavení teplotního senzoru a aktivuje jej. Vstupní proměnná funkce specifikuje IIC adresu senzoru. Druhá funkce „get_d_t(sensor)“ realizuje vyčtení naměřené teploty ze samotného senzoru a jejich uložení do datové struktury „values“. Vstupní proměnná opět specifikuje IIC adresu senzoru.

6.2.8 Ovladač paměti EEPROM

Ovladač EEPROM je stejný jako v Měřicí a regulační jednotce. Jeho popis naleznete v kapitole 5.2.8. Ovladač paměti EEPROM.

6.2.9 Ovladač obvodu reálného času

Ovladač obvodu reálného času obsahuje tři funkce. První „realtime_init(address)“ provede prvotní inicializace samotného obvodu a jeho kalibraci. Vstupní proměnná address nese hodnotu IIC adresy obvodu. Druhá funkce „time_write(address)“ zapíše pomocí sériové sběrnice IIC do obvodu nastavené hodnoty času a data. Hodnoty data a času jsou specifikovány ve struktuře „setting“. Vstupní proměnná opět určuje adresu IIC. Poslední funkce „time_read(address)“ vyčte hodnoty času a data z obvodu a uloží je do struktury „setting“.

6.2.10 Ovladač touch panelu

Ovladač touch panelu obsahuje tři funkce, které jsou nutné pro získání souřadnic stisknutého bodu. Funkce „get_axis(page)“ zajišťuje měření hodnoty napětí na zadaném pinu. Pin je specifikován proměnnou page. Funkce nejprve předá hodnotu v proměnné page do globální proměnné „touch_page“ a následně spustí měření napětí. Po ukončení měření navrací hodnotu, která může nabývat velikosti od 0 do 1023. Měřicí cyklus se provádí na základě přerušení od čítače časovače, kde se volá funkce „touch_scannig()“. Funkce při každém zavolání vyčte hodnotu z A/D převodníku pomocí funkce „get_ad(touch_page)“. Konstanta „AVERAGE_ VALUE“ specifikuje počet měření. Při dosažení nastaveného počtu funkce zprůměruje všechny naměřené hodnoty a uloží průměrnou hodnotu do globální proměnné, následně je nastaven příznak konce měření. V případě špatného měření se funkce po určitém počtu opakování sama ukončí. Poslední funkce, kterou ovladač obsahuje, se jmenuje „touch_sceen()“. Obsluhuje veškeré piny, které je potřeba nastavit před samotným měřením souřadnic v jedné ose, následně přednastaví veškeré piny pro měření v druhé ose. Před ukončením ještě přepočítá naměřené hodnoty v závislosti na rozlišení displeje. Přepočítané hodnoty jsou uloženy do globálních proměnných „axis_Y“ a „axis_X“, zde jsou dostupné odkudkoli z programu.

7 Závěr

Diplomová práce pojednává o možnostech regulace otopného systému využívaného v obytných jednotkách. Cílem projektu byl teoretický rozbor jednotlivých způsobů regulace a výběr jednoho nebo kombinace způsobů regulace pro otopný systém. Na základě zadání diplomové práce byla vybrána regulace v závislosti na vnitřní teplotě. Tento typ regulace nejvíce odpovídá zadání práce. Aby bylo vyhověno zadání práce, je potřeba tento typ regulace mírně pozměnit. Regulace navíc počítá s naměřenými hodnotami teploty otopných médií.

Dále se projekt zabývá realizací otopné soustavy v obytných jednotkách a návrhem blokových schémat obou jednotek, které řídí otopný systém. Zařízení je jednoduché konstrukce a je hlavně určeno pro již užívané obytné jednotky. Proto nejsou kladeny velké nároky na změnu otopné soustavy. Avšak pro zvýšení efektivity a komfortu obytné jednotky je nutné osadit otopný systém termoregulačními ventily. TRV hlídají teplotu jednotlivých místností a jejich instalace do již užívaného otopného systému není nijak složitá. Lze je vyměnit za již používané obyčejné ventily.

V následující části je v projektu popsána měřicí a regulační jednotka. Popis jednotky je rozdělen do dvou částí hardwarová část a softwarová část. Hardwarová část popisuje jednotlivé komponenty, ze kterých je jednotka složena a jakým způsobem je využívá. Hardwarově je jednotka navržena tak, aby čelila prašným prostorům kotelen a byla uživatelsky jednoduše obsluhovatelná. Softwarová část je také podrobně rozebrána v textu projektu. Software je vytvořen, tak aby soustava byla řízena téměř za všech okolností a stavů systému. Umožňuje uživateli jednoduché přepínání mezi módy jednotky a snaží se uživateli signalizovat stavy otopného systému, popřípadě vlastní stavy.

Následuje část projektu, kde popsána hlavní jednotka. Popis je opět rozdělen do dvou částí hardwarová část a softwarová část. Hardwarová část je navržena tak, aby uživateli nabídla maximální komfort při nastavování otopného systému a jeho kontroly. Proto zde byl zvolen grafický LCD displej s rezistivním touch panelem. Softwarové vybavení jednotky je vytvořeno tak, aby nastavení systému bylo jednoduché a intuitivní. Software jednotky je možno kdykoli opravit či upravit a jednotku znovu naprogramovat.

Celý systém je ve fázi dokončování, proto zatím nebylo možné provést zkoušky v reálných podmínkách budov. Jednotlivé části však byly testovány simulacemi.

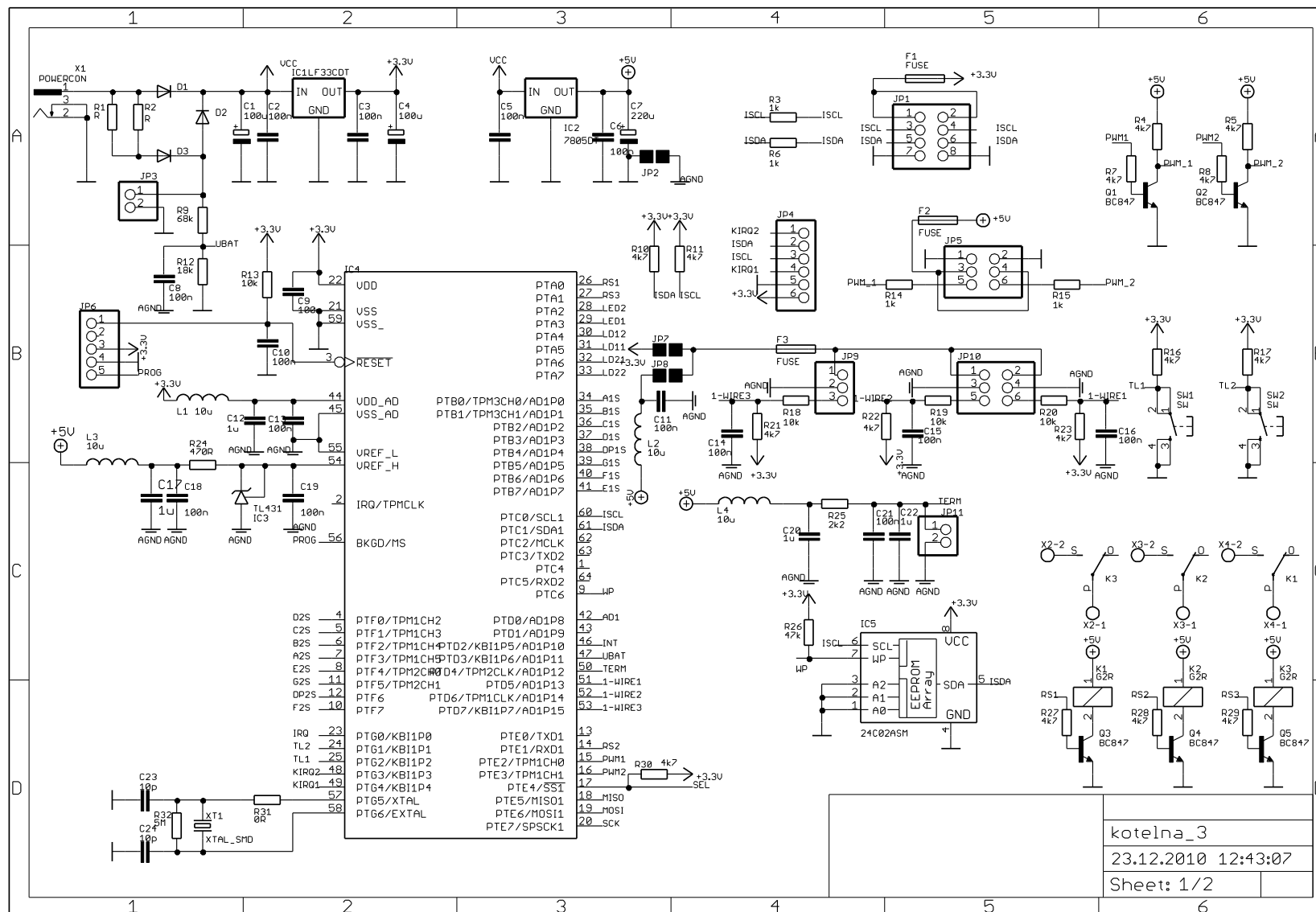
8 Seznam literatury

- [1] Bašta, J., Práce Otopné soustavy a jejich regulace za účelem úspor energie. Spotřeba tepla při ústředním vytápění obytných budov, cesty k úsporám., STP Praha, 1999
- [2] Obecně o regulaci vytápění [online]. 2010 [cit. 2010-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.etatherm.cz/cesky/obecne.htm>
- [3] Možnosti moderních způsobů regulace [online]. 2007 [cit. 2010-05-02]. Dostupný z WWW: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4360&h=54>
- [4] Využití termostatických ventilů a termostatických hlavice pro regulaci vytápění [online]. 2009 [cit. 2010-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5917>
- [5] VC ventily - Zónové a přepínací ventily [online]. 2007 [cit. 2010-05-02]. Dostupný z WWW: <http://www.centraline.com/uploads/ecat-cz/pdf/vcvalklcz01r0907.pdf>
- [6] Katalogový list analogového teplotního senzoru LM35DZ National Semiconductor [online]. 2000 [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/313/313-909/dsh.313-909.1.pdf
- [7] Katalogový list termistoru KTY84-130 Silicon temperature sensors [online]. 2008 [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/530/530-017/dsh.530-017.1.pdf
- [8] Katalogový list bezdrátového ISM modulu RFM12D Hope microelectronics [online]. 2006 [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: <http://zefiryn.tme.pl/dok/wd1/rfm12b.pdf>
- [9] Katalogový list mikrokontroléru MC9S08AC60 Freescale semiconductor [online]. 2008 [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08AC60.pdf?fp_sp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FOR_MAT=pdf&WT_ASSET=Documentation
- [10] Využití software pro vývoj firmware CodeWarrior for Microcontrollers Freescale [online]. [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=CW-MICROCONTROLLERS
- [11] Katalogový list budiče sběrnice 74HC244 Philips [online]. 1990 [cit. 2010-12-25]. Dostupný z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/951/951-040/dsh.951-040.1.pdf
- [12] Katalogový list řízené Zenerovy diody TL431 ST [online]. 2002 [cit. 2010-12-25]. Dostupné z WWW: http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/330/330-042/dsh.330-042.1.pdf

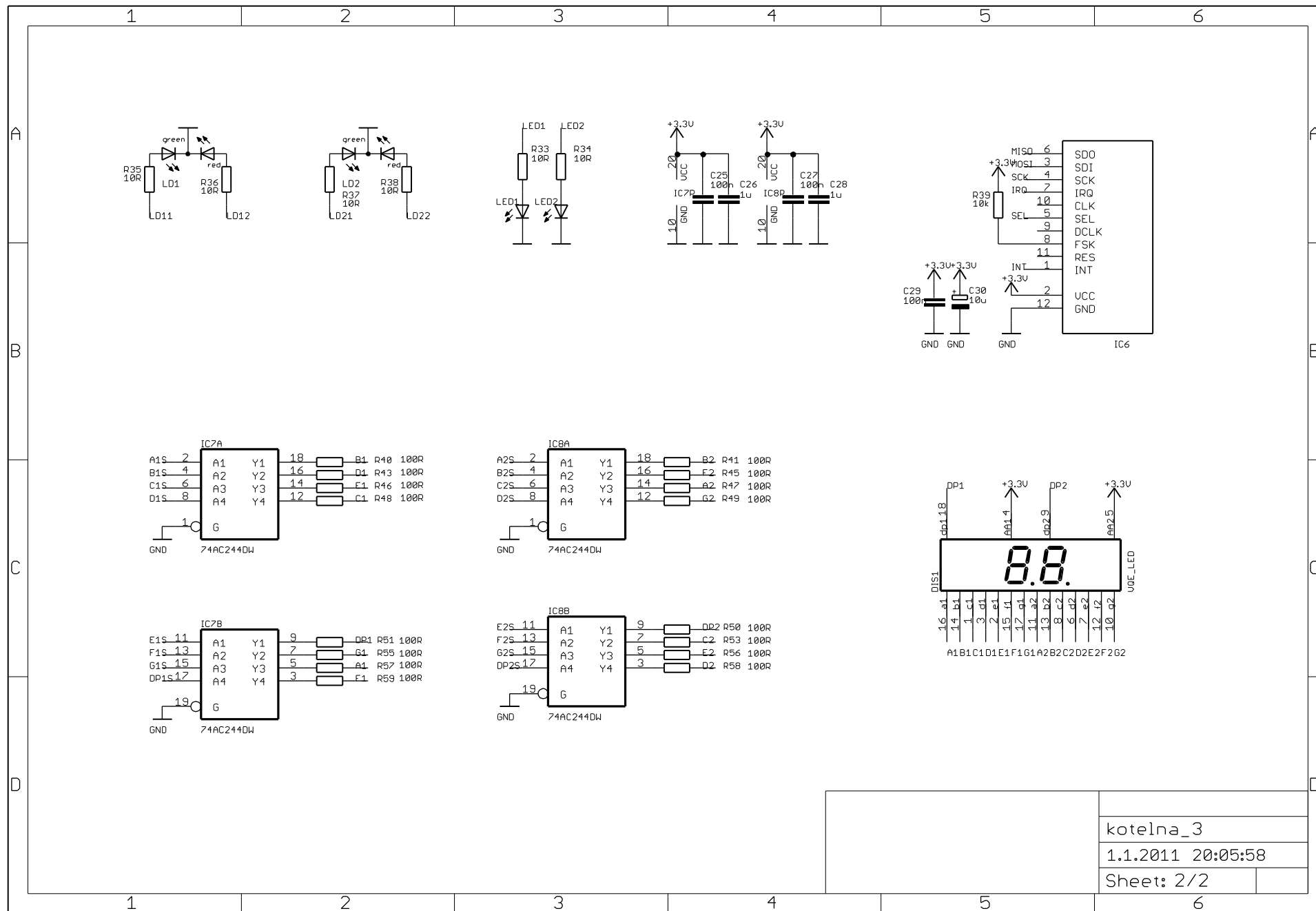
- [13] Wikipedie, otevřená encyklopedie [online] [cit. 2010-12-25] Dostupné na WWW:
<http://cs.wikipedia.org>
- [14] Přednášky předmětu BMPT vypracované Ing. Tomášem Frýzou, Ph.D. [online] 2008 [cit. 2010-12-25] Dostupné na WWW:
<https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=77077>
- [15] Katalogový list mikrokontroléru MC9S08JM60 Freescale semiconductor [online]. 2008 [cit. 2011-05-09]. Dostupný z WWW:
http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08JM60.pdf?fsp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FOR_MAT=pdf&WT_ASSET=Documentation
- [16] Katalogový list paměti EEPROM 24LC** Microchip Technology [online]. 2008 [cit. 2011-05-11]. Dostupný z WWW:
http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2697
- [17] Katalogový list touch panelu EATOUCH128-2 Eadog [online]. 2008 [cit. 2011-05-11]. Dostupný z WWW:
http://www.soselectronic.cz/a_info/resource/d/ea/dogl128-6e.pdf
- [18] Katalogový list grafického LCD EADOGL128E-6 Eadog [online]. 2008 [cit. 2011-05-12]. Dostupný z WWW:
http://www.soselectronic.cz/a_info/resource/d/ea/dogl128-6e.pdf
- [18] Katalogový list teplotního senzoru ADT75 Analog Devices [online]. 2005 [cit. 2011-05-12]. Dostupný z WWW:
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT75.pdf
- [19] Horowitz, P. The Art of Electronics, CB2 2RU Cambridge: Cambridge University Press 1980, 1989

9 Přílohy měřicí a regulační jednotka

9.1 Schéma zapojení

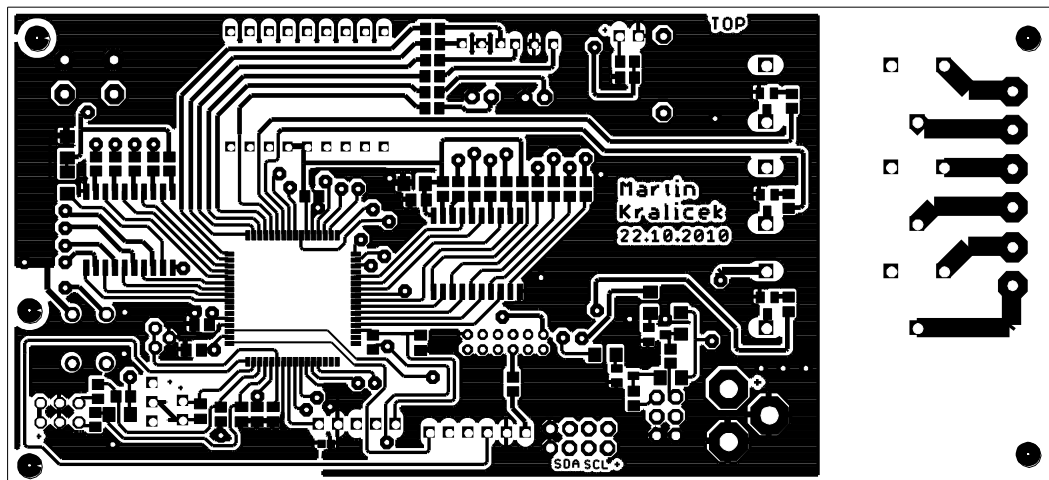


Obr. 9.1 Schéma měřicí a regulační jednotky 1/2

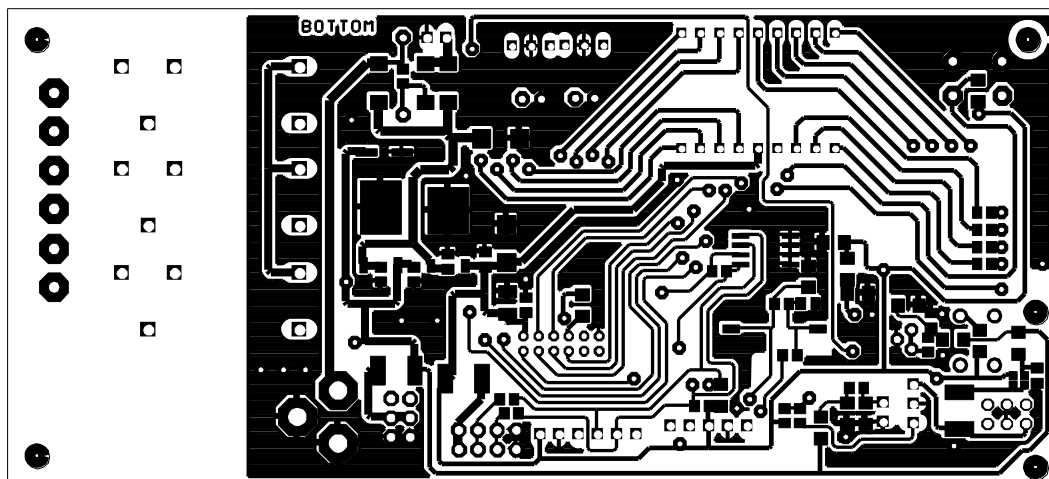


Obr. 9.2 Schéma měřicí a regulační jednotky 2/2

9.2 Deska plošného spoje

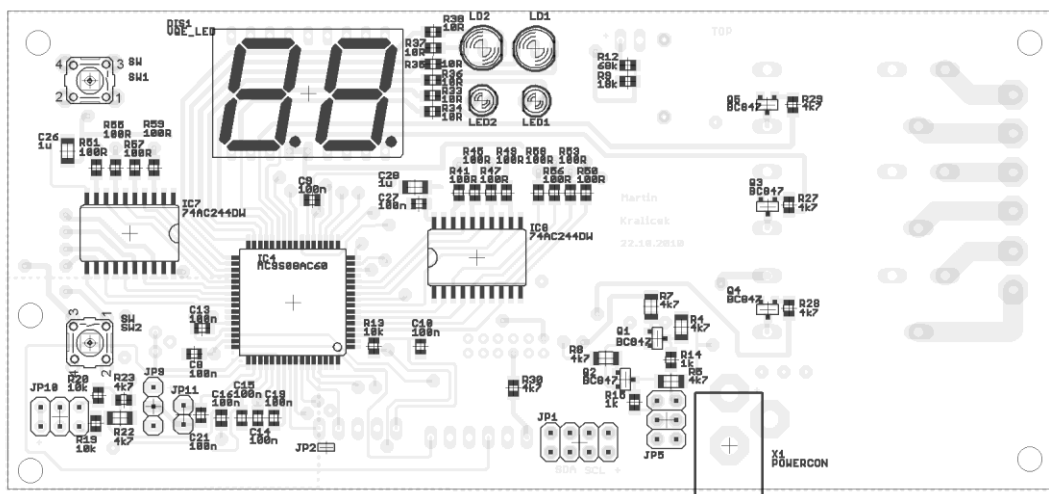


Obr. 9.3 Deska plošného spoje strana TOP 139x63 1:1

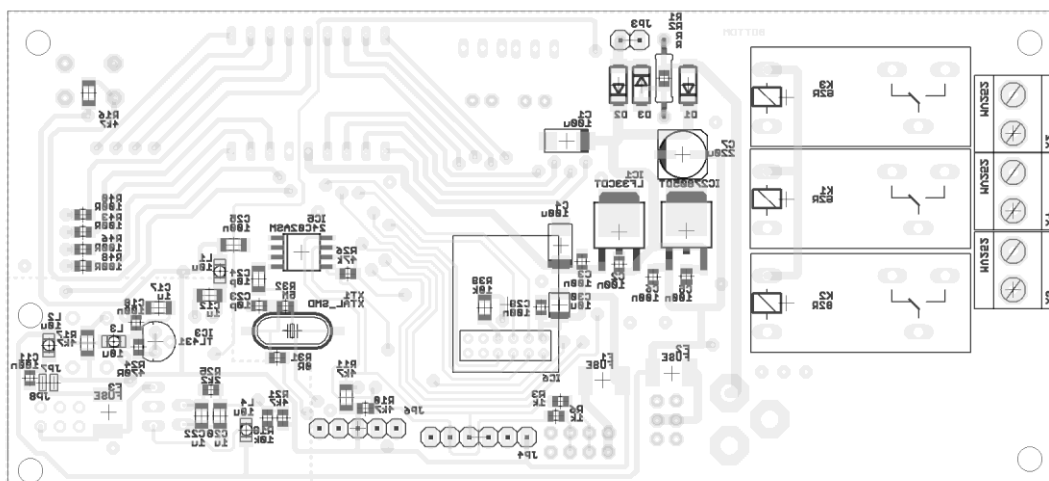


Obr. 9.4 Deska plošného spoje strana BOTTOM 139x63 1:1

9.3 Osazovací plán

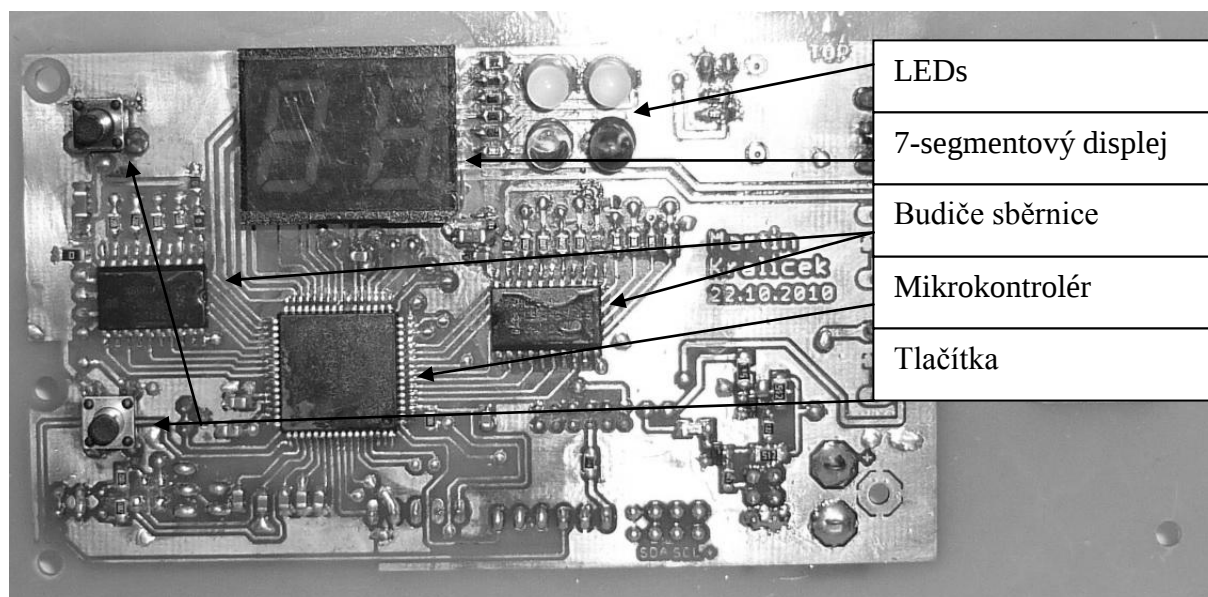


Obr. 9.5 Osazovací plán desky strana TOP

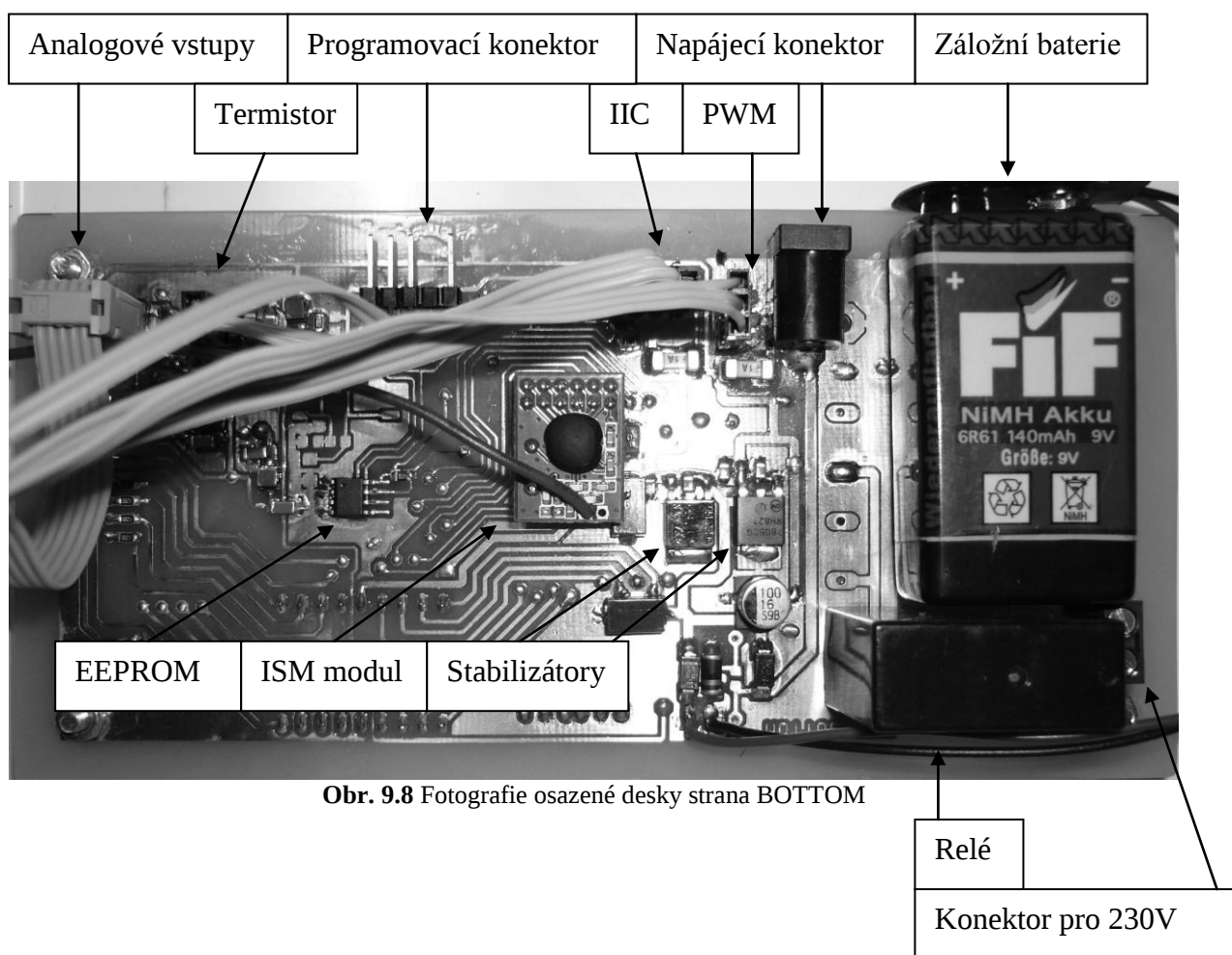


Obr. 9.6 Osazovací plán desky strana BOTTOM

9.4 Ukázka osazené desky



Obr. 9.7 Fotografie osazené desky strana TOP

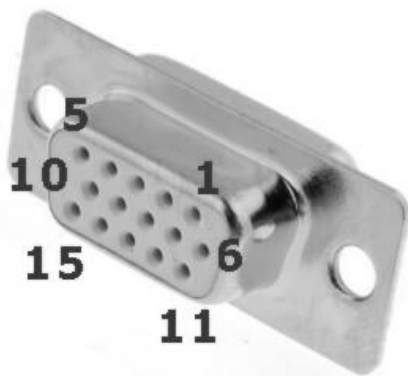


Obr. 9.8 Fotografie osazené desky strana BOTTOM

9.5 Tabulka rozložení pinů konektoru pro externí součásti

Číslo pinu	Zapojení pinu
1	+5V
2	+5V
3	AGND
4	AGND
5	Analogový senzor 1
6	+3,3V
7	SCL
8	SDA
9	GND
10	Analogový senzor 2
11	GND
12	+5V
13	PWM
14	Termistor
15	Termistor

Tab. 9.1 Zapojení konektoru pro externí součásti



Obr. 9.9 Cannon konektor

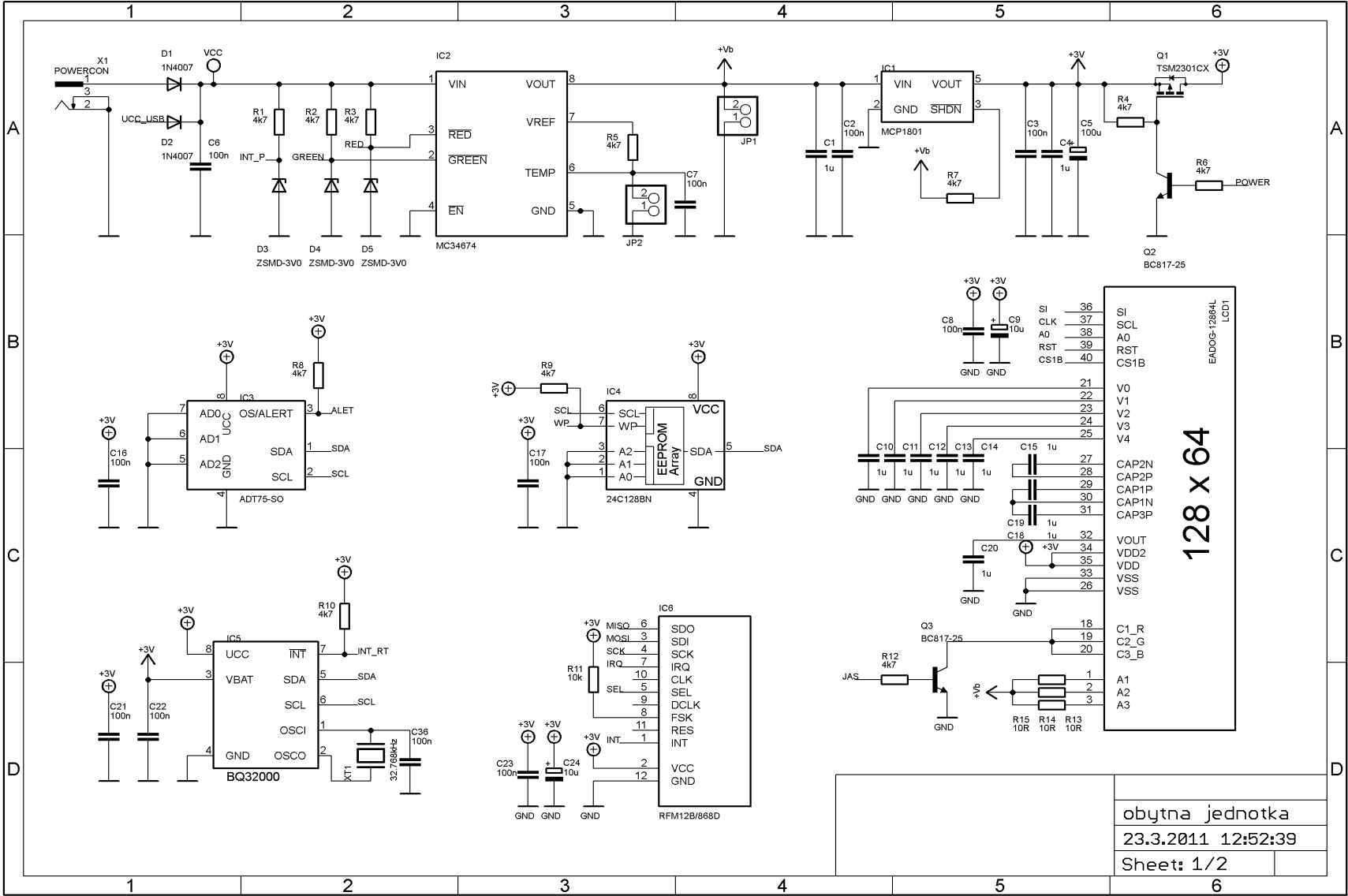
9.6 Seznam součástek

Označení	Typ	Pouzdro	počet kusů
C2, 3, 5, 6, 8 - 11, 13 - 16, 18, 19, 21, 27, 29	100nF	0805	17
C25,	100nF	1206	1
C1, 4	100uF/16V	SMC_C	2
C30	10uF/16V	SMD_B	1
C7	220uF/16V	6,3X7,7	1
C12, 17, 20, 22, 26, 28	1uF	1206	6
C23	10pF	0805	1
C24	10pF	1206	1
D1, 2, 3	1N4007	smd	3
DIS	7seg VQE		1
F1, 2, 3	FSF01	SMD	3
IC1	LF33CDG	TO252AA	1
IC2	L7805ACD2T	TO252AA	1
IC4	MC9S08AC60CFUE	QFP - 64	1
IC3	TL431	TO-92	1
IC6	RF12B		2
IC7, 8	74HC244	SO-20	2
IC5	24C02	SO-08	1
L1, 2, 3, 4	4,7uH /	1206	3
J1-11	pinhead		1
K1, 2, 3	relay 600W		1 (3)
LD1, 2	LED 3MM R/G		2
LED1, 2	LED 3MM		2
Q1 - 5	BC847	SOT23	3 (5)
R1, 2	R-nabij	0805	2
R9	R68k	0805	1
R12	R18k	0805	1
R33 - 38	R-LED,	0805	6
R10, 21, 23, 27 - 30, 42, 44, 52	R4k7	0805	10
R4, 5, 7,8, 11, 16, 17, 22, 54	R4k7	1206	9
R13, 18 - 20,	R10k	0805	4
R39	R10k	1206	1
R40, 41, 43, 45 - 51, 53, 55 - 59	R - 7seg	0805	16
R3, 6, 14, 15	R1k	0805	4
R24	R470	0805	1
R25	R2k2	0805	1
R26	R47k	0805	1
R31	R0	0805	1
R32	R5M	0805	1
SW1, 2	P-B1721B		2
X2-4	svorkovnice		1 (3)
X1	K3716A		1

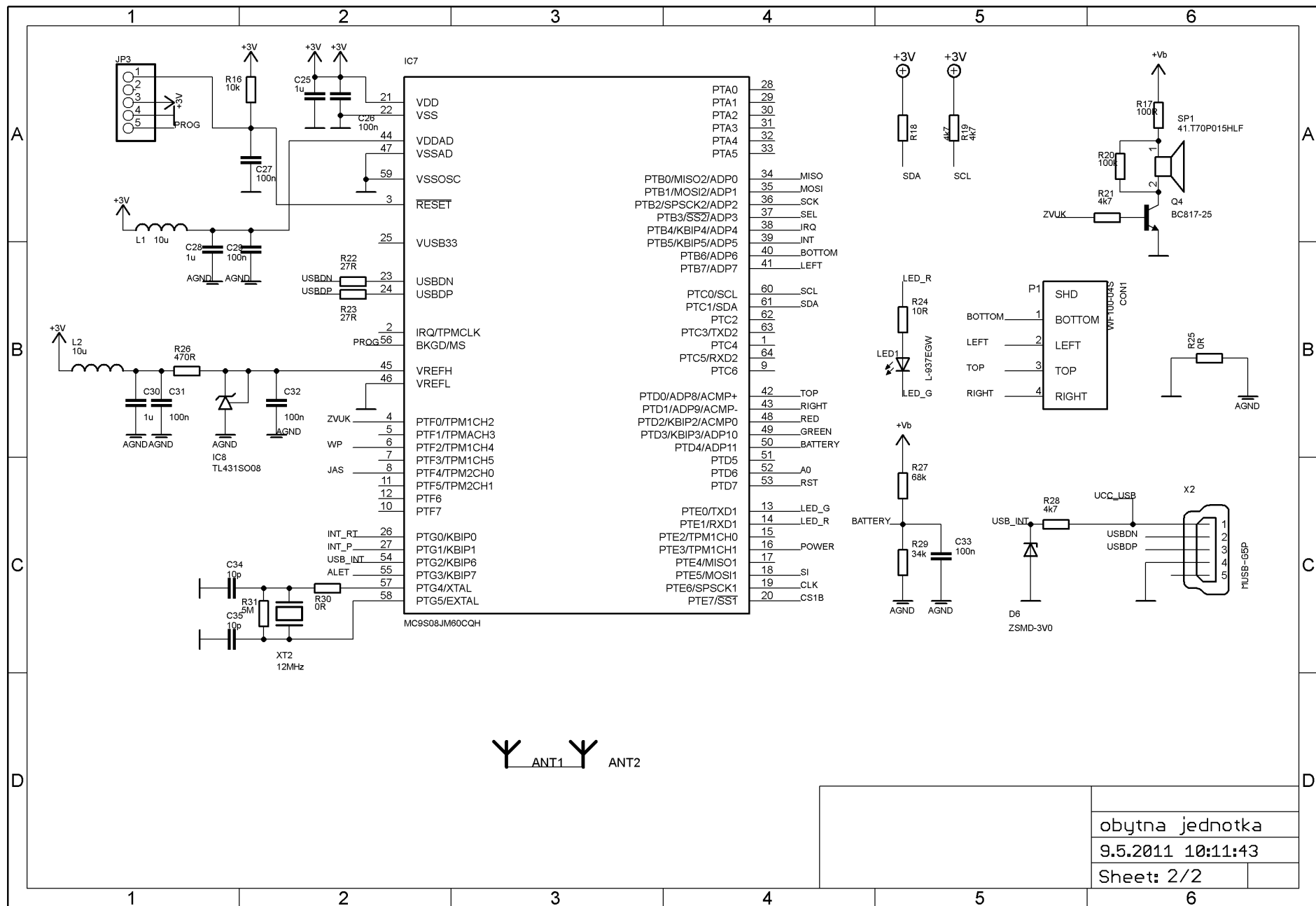
Tab. 9.2 Seznam součástek měřicí a regulační jednotky

10 Přílohy hlavní jednotky

10.1 Schéma zapojení

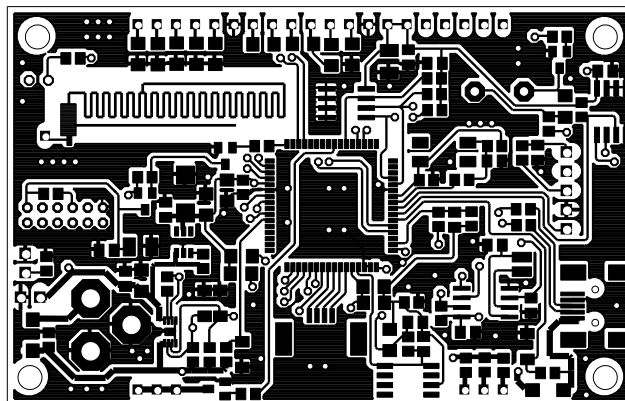


Obr. 10.1 Schéma hlavní jednotka 1/2

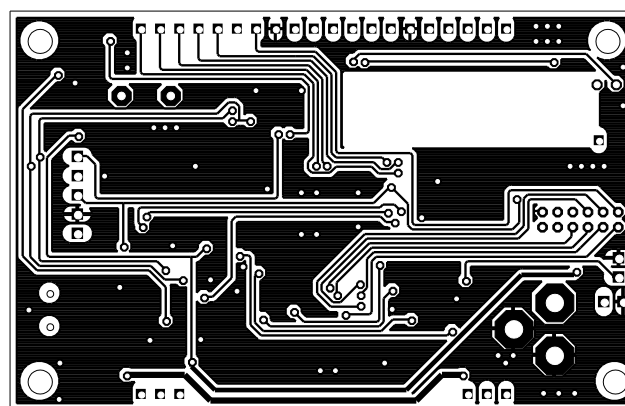


Obr. 10.2 Schéma hlavní jednotka 2/2

10.2 Deska plošného spoje

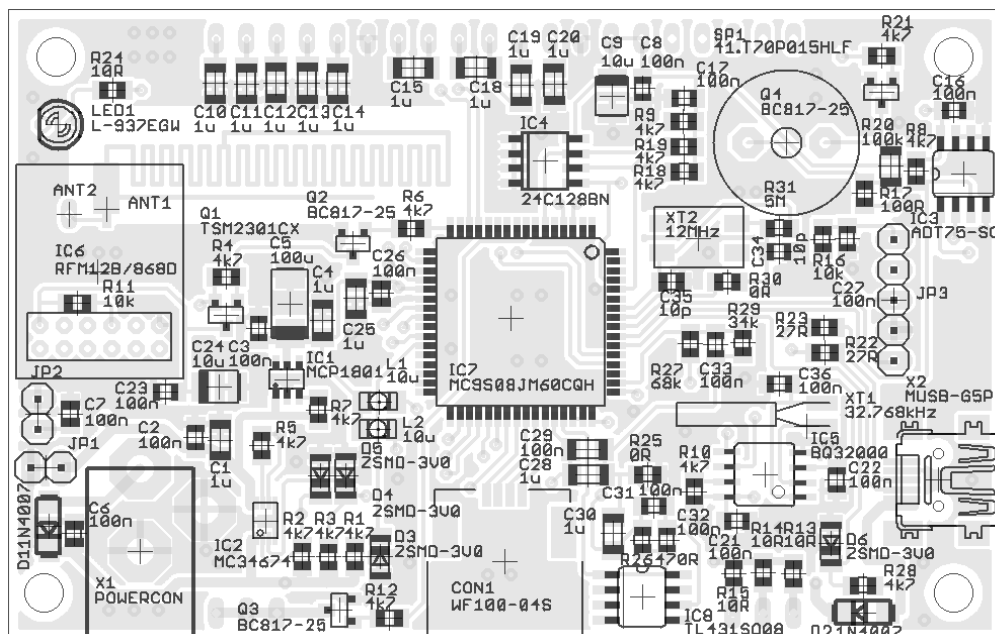


Obr. 10.3 Deska plošného spoje strana TOP 83x53 1:1

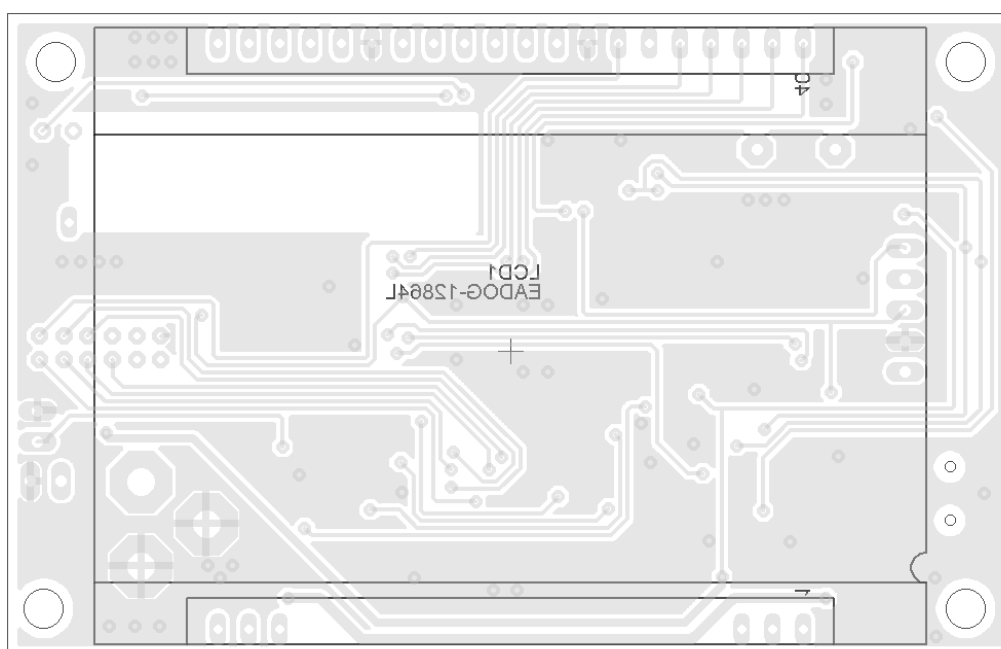


Obr. 10.4 Deska plošného spoje strana BOTTOM 83x53 1:1

10.3 Osazovací plán

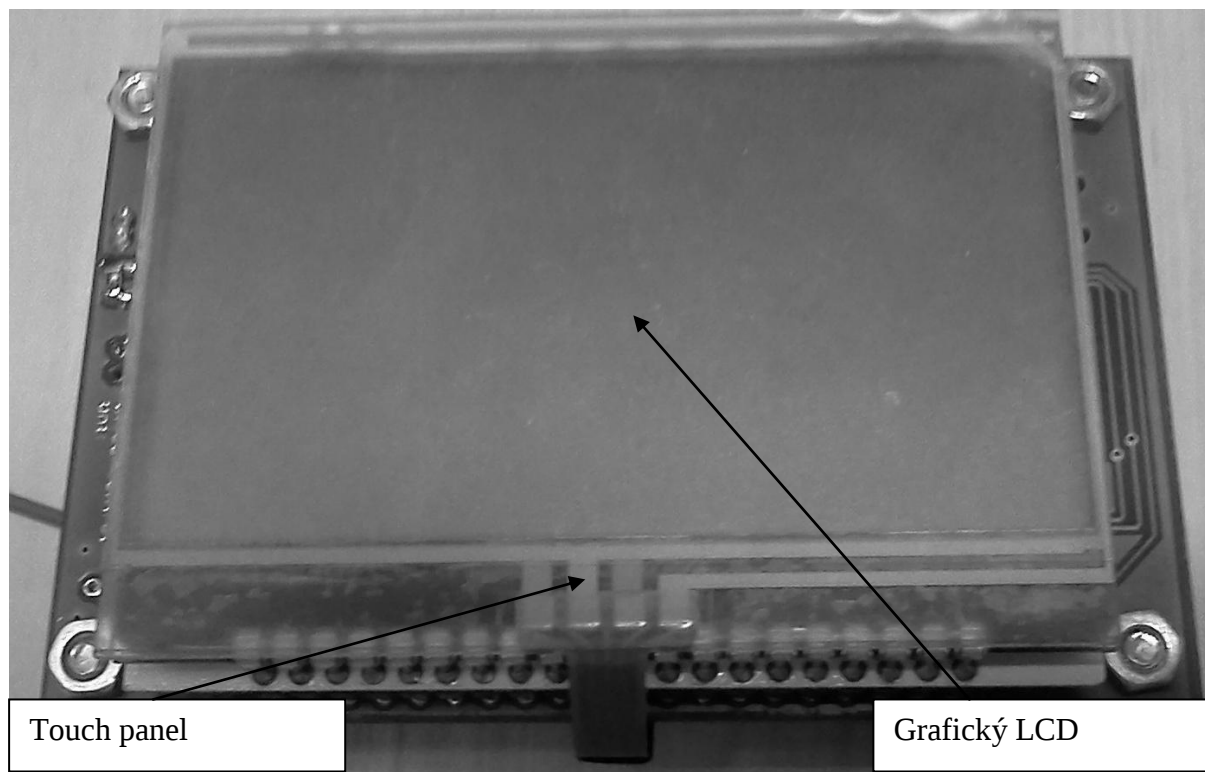


Obr. 10.5 Osazovací plán desky strana TOP

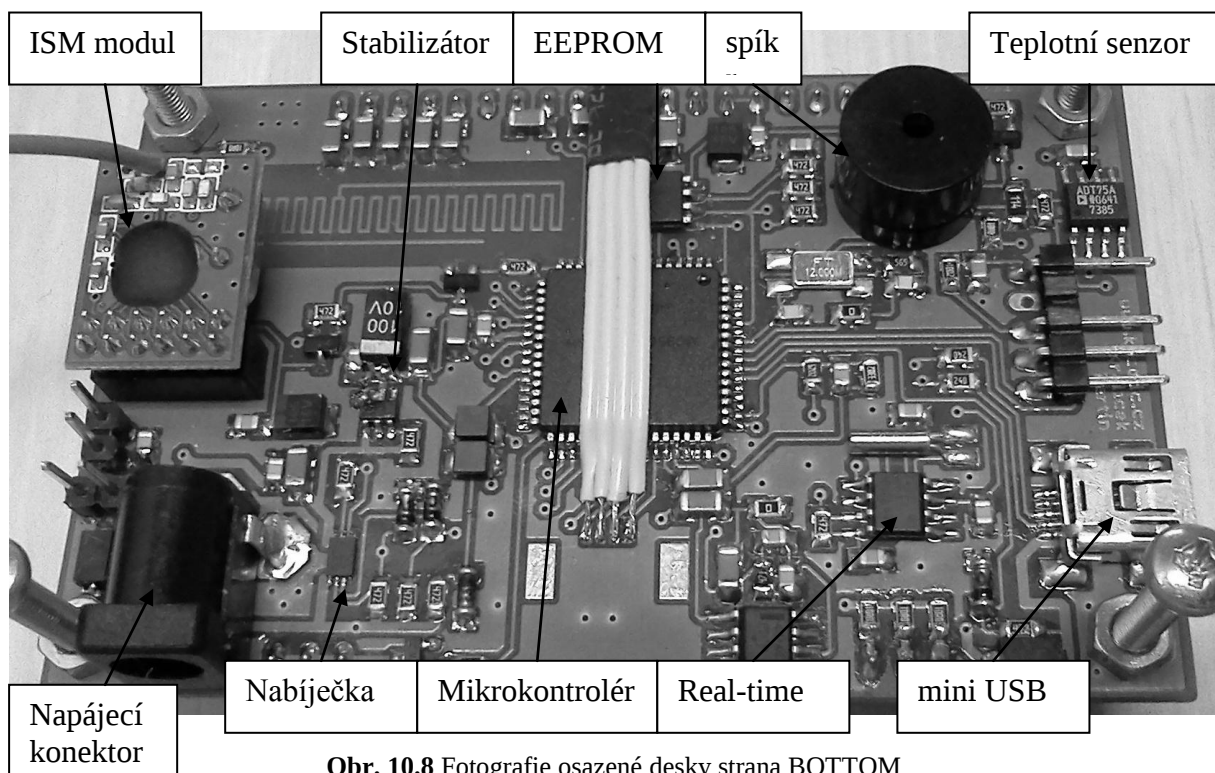


Obr. 10.6 Osazovací plán desky strana BOTTOM

10.4 Ukázka osazené desky



Obr. 10.7 Fotografie osazené desky strana TOP



Obr. 10.8 Fotografie osazené desky strana BOTTOM

10.5 Seznam součástek

Označení	Typ	Pouzdro	počet kusů
ANT1		ANT_INV	1
ANT2		PAD	1
C1, C4, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C18, C19, C20, C25, C28, C30	1u	C1206	14
C2, C3, C8, C16, C17, C21, C22, C23, C27, C31, C32, C33, C36	100n	C0805K	13
C5	100u	SMC_C	1
C6, C7, C26	100n	C0805	3
C9, C24	10u	SMC_B	2
C29	100n	C1206	1
C34, C35	10p	C0805	2
CON1	WF100-04S	WF100-04S	1
D1, D2	1N4007	DO214AC	2
D3, D4, D5, D6	ZSMD-3V0	SOD80C	4
IC1	MCP1801	SOT23-6L	1
IC2	MC34674	UDFN8	1
IC3	ADT75-SO	SO08	1
IC4	24C128BN	SO-08	1
IC5	BQ32000	SOIC8	1
IC6	RFM12B/868D	DIP_P	1
IC7	MC9S08JM60CQH	TQFP64	1
IC8	TL431SO08	SO08	1
JP1, JP2		1X02	2
JP3		1X05	1
L1, L2	10u	1206	2
LCD1	EADOG-12864L	EA-DOG-L	1
I.01	L-937EGW	LED3MM	1
Q1	TSM2301CX	SOT23	1
Q2, Q3, Q4	BC817-25	SOT23	3
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R12, R18, R19, R21, R28	4k7	R0805	15
R11, R16	10k	R0805	2
R13, R14, R15, R24	10R	R0805	4
R17	100R	R0805	1
R20	100k	R1206	1
R22, R23	27R	R0805	2
R25, R30	0R	R0805	2
R26	470R	R0805	1
R27	68k	R0805	1
R29	34k	R0805	1
R31	5M	R0805	1
SP1	41.T70P015HLF	AL60P	1
X1	POWERCON	POWERCON	1
X2	MUSB-G5P	32005-201	1
XT1	32.768kHz	QMSMALL/SMD	1
XT2	20MHz	12SMX(B)	1
Termistor	100k		1