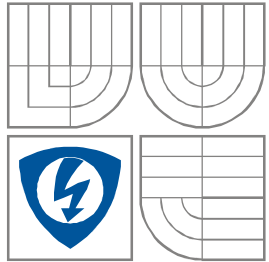


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

PROGRAMOVATELNÝ TERMOSTAT

PROGRAMMABLE THERMOREGULATOR DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Tomáš Kollár

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Hermany

ZDE VLOŽIT ZADÁNÍ

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš Kollár
Bytem: Bešeňov č. d. 605, 941 41, Slovenská republika
Narozen/a (datum a místo): 12. července 1985 v Nových Zámcích

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Programovatelný termostat

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Hermany

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 21. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Cílem práce bylo navržení, zkonstruování a experimentální ověření programovatelného termostatu. Hlavním řídicím prvkem termostatu je mikrokontrolér ATmega168, který skrz sběrnici I₂C komunikuje se vzdálenými čipy MAX6615. Ty se používají pro měření teploty a řízení toku teplé vody ve vytápěcím systému. Práce se zabývá s problematikou ovládání skrz sběrnici, řízení servo motůrků, počítá se nepřesnost naměřené teploty a popíše se fungování celého systému. Předposlední kapitola zahrnuje návrh pro možné rozšíření systému. V poslední části je rozebrána struktura ovládacího menu a stručný popis softwarové části.

KLÍČOVÁ SLOVA

termostat, termistor, I₂C sběrnice, I₂C rozšiřovač, mikrokontrolér ATmega, PWM řízení, servo, solenoid

ABSTRACT

The aim of the study was to design, build and experimentally verify a programmable thermostat. The main control unit of the thermostat is an ATmega168 microcontroller which communicates via I₂C bus with remote MAX6615 chips. They are used to measure temperature with a set of thermistors and control the flow of the hot water in the heating system. This work deals with issues of remote control through the I₂C bus, servomotor steering, precision temperature measurement and describes the inner workings of the system. The next chapter includes a proposal for possible extension of the system. The last part contains the manual of the control menu structure and a brief description of the software.

KEYWORDS

thermostat, thermistor, I₂C bus, I₂C extender, microcontroller ATmega, PWM regulation, servo, solenoid

KOLLÁR, T. *Programovatelný termostat*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 47 s., 11 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Hermany

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Programovatelný termostat 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 této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce ing. Jiřímu Hermanymu za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Obsah	1
Úvod	3
1 Teplotní senzory	4
1.1 Kovové odporové senzory teplot	4
1.1.1 Odporové platinové snímače teploty	5
1.1.2 Odporové niklové snímače teploty	5
1.1.3 Odporové měděné snímače teploty	5
1.1.4 Měřicí obvody pro odporové snímače teploty	5
1.2 Polovodičové odporové senzory teploty	7
1.2.1 Negastory (NTC termistory)	8
1.2.2 Pozistory (PTC termistory)	9
1.2.3 Diodové PN senzory teploty	9
1.2.4 Tranzistorové PN senzory teploty	10
1.3 Výběr vhodného typu termistoru	10
2 Mikrokontrolér MAX 6615	11
2.1 Hlavní vlastnosti:	11
2.2 Digitální rozhraní SMBus	11
2.3 Měření teploty	13
2.4 Výstup PWM	14
2.5 Manuální ovládání PWM	15
2.6 Slave adresy	15
2.7 Popis registrů	16
2.8 Uvažování o termistorech	16
3 Blokové schéma zapojení	17
4 Popis komunikace a ovládání	18
4.1 Sběrnice I ₂ C	18
4.2 Porovnání sběrnice I ₂ C a SMBus	19
4.2.1 Základní vlastnosti protokolů	19
4.2.2 Časový limit (Timeout) a hodinová frekvence	19

4.2.3	Logické úrovně	20
4.2.4	Odpory Pull-up a proudové úrovně	21
4.2.5	Všeobecné volání a odezva na výstrahu	22
5	Parametry vodičů a servo motůrků	23
5.1	Kapacita datových a napájecích vodičů.....	23
5.2	Obousměrný sběrníkový buffer P82B96.....	24
5.3	Servo motory.....	25
6	Popis ovládání servo motorů pomocí MAX6615	28
7	Popis vlastností teplotního čidla	30
8	Návrh desky plošného spoje	32
8.1	Deska termostatu.....	32
8.2	Deska měření a regulace	35
9	Mikrokontrolér ATmega168	37
9.1	Spánkové režimy.....	37
9.2	Přerušení	39
9.3	TWI rozhraní (I ₂ C).....	39
10	Rozšíření možností ovládání	40
11	Popis menu a softwaru	42
	Závěr	45
	LITERATURA	46
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	48
	Seznam příloh	49

ÚVOD

Cílem diplomové práce je navrhnoutí programovatelného termostatu. Termostat musí mít možnost napájení z adaptéru nebo z baterie, musí disponovat LCD displejem a musí být schopné měřit a regulovat teplotu v několika místnostech současně. Pro komunikaci samotného termostatu s měřicími a regulačními jednotkami byl zvolen standard I²C, který komunikuje přes pevný kabelový spoj. Díky metalickému spojení tato metoda zabezpečí spolehlivou komunikaci a regulaci a možnost napájení řídicích prvků přímo ze sběrnice. Projekt obsahuje jak celkový návrh, tak vypracované desky plošných spojů, které se nachází v přílohách. Teplotní režimy pro pracovní a volné dny a nastavitelné denní režimy vytápění se řeší v softwarové části.

1 TEPLOTNÍ SENZORY

Pro získání přehledu na poli měřících teplotních senzorů se uvedou a rozepíší hlavní typy dnes použitých materiálů a technik.

1.1 Kovové odporové senzory teplot

Principem odporových kovových čidel teploty je teplotní závislost odporu kovu. Kov si lze představit jako soubor kladných iontů umístěných v mřížkových bodech krystalové mřížky a tzv. elektronového plynu tvořeného souborem chaoticky se pohybujících elektronů. Pro konduktivitu kovu platí [1]:

$$\sigma = ne^2 \frac{\tau}{m} \quad (1)$$

kde

σ - konduktivita,

n - počet elektronů v jednotkovém objemu,

e - elementární náboj,

τ - relaxační čas elektronů,

m - efektivní hmotnost nosiče náboje.

Základní materiálovou konstantou je teplotní součinitel odporu α (K⁻¹), pro který lze napsat rovnici [1]:

$$\alpha = \frac{\partial(\ln \sigma)}{\sigma} - \frac{\partial(\ln \tau)}{\sigma} - \frac{\partial(\ln n)}{\sigma} \quad (2)$$

U kovů je jediným teplotně závislým parametrem relaxační čas, jehož hodnota je řádově 10-13s. Pro malý rozsah teplot 0 °C až 100 °C lze používat s určitou nejistotou lineární vztah [1]:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (3)$$

kde R_0 je odpor čidla při teplotě 0 °C.

Pro větší rozsah teplot již lineární vztahy nelze použít. Rozlišujeme 3 typy nevhodnějších materiálů pro realizaci odporových kovových senzorů:

1. Odporové platinové snímače teploty
2. Odporové niklové snímače teploty
3. Odporové měděné snímače teploty

1.1.1 Odporové platinové snímače teploty

Vyrábí se technikou napařování platiny na keramický substrát. Vyznačuje se chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání. Podle čistoty materiálu se rozděluje do několik skupin přesnosti. Rozsah teploty může být od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dlouhodobá stabilita je u Pt snímačů kolem $0,05\%$ / 1000h. Kromě základní hodnoty odporu $R_0=100\ \Omega$ se vyrábějí snímače se základní hodnotou odporu 50, 200, 500, 1000 a $2000\ \Omega$.

1.1.2 Odporové niklové snímače teploty

Niklová čidla teploty jsou většinou vyráběna tenkovrstvou technologií. Výhodou niklových snímačů je velká citlivost, rychlá odezva tj. malá časová konstanta a malé rozměry. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah a vůči platině značná nelinearita, horší dlouhodobá stabilita a odolnost vůči působení prostředí. U tohoto snímače se taktéž vyrábějí kromě základní hodnoty odporu $100\ \Omega$, i typy s větší hodnotou odporu.

1.1.3 Odporové měděné snímače teploty

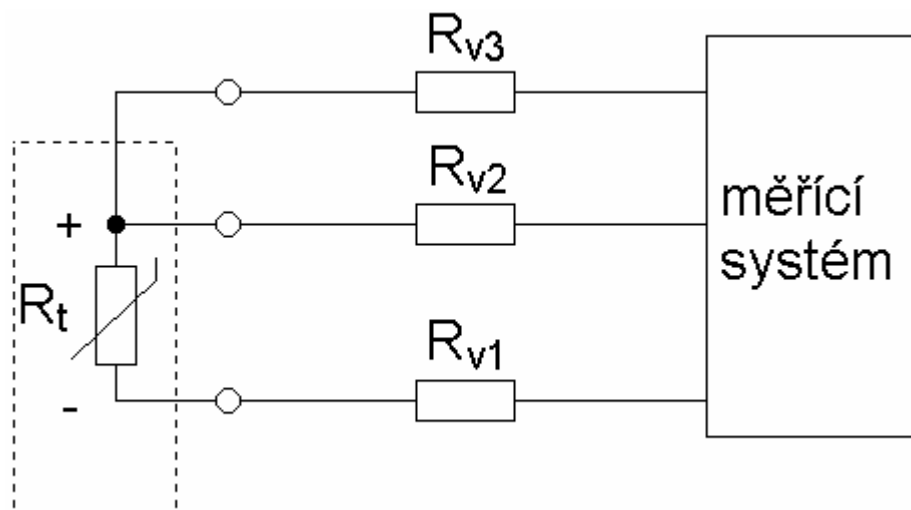
Měď se používá v teplotním rozsahu od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k malé rezistivitě mědi (6x menší jak u platiny) a snadné oxidaci mědi se měděné snímače teploty běžně nevyrábějí. Teplotní závislost odporu mědi se využívá při měření teploty vinutí elektrických strojů.

1.1.4 Měřící obvody pro odporové snímače teploty

Na měřící obvody jsou kladeny tyto požadavky:

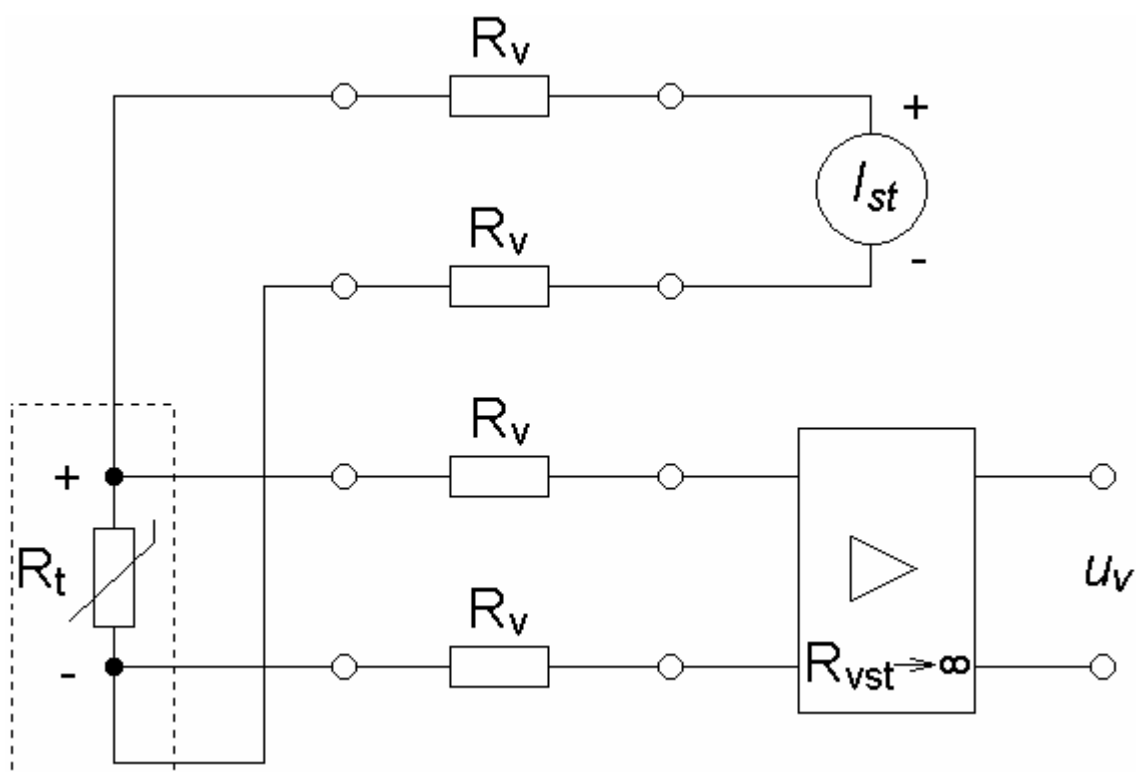
- minimalizace vlivu měřícího proudu procházejícího čidlem,
- minimální časová konstanta,
- minimální vliv odporu vedení k měřicímu odporu,
- linearizace (analogová nebo číslicová) závislost odporu snímače na teplotě.

Klasickým obvodem pro vyhodnocení odporových snímačů teploty je Wheatstoneův můstek. Používá se 2-, nebo třívodičové zapojení. V současné době je u měřících systémů velmi rozšířené třívodičové zapojení s úplnou jak analogovou tak číslicovou korekcí odporu vedení.



Obr. 1.1: Třívodičové připojení k měřicímu systému [1]

Celkový odpor měřicí smyčky je dán součtem $R_t + R_{V1} + R_{V2}$. Pokud budou všechny hodnoty odporu vedení stejné a odpory vedení $R_{V2} + R_{V3}$ se samostatně změní a jejich hodnota se odečte z celkového odporu měřicí smyčky, odpory vedení se neuplatní. Nejpřesnější zapojení, které není závislé na hodnotách odporu vedení včetně rozdílných hodnot odporu vedení, je zapojení čtyřvodičové dle následujícího obrázku:



Obr. 1.2: Čtyřvodičové zapojení [1]

1.2 Polovodičové odporové senzory teploty

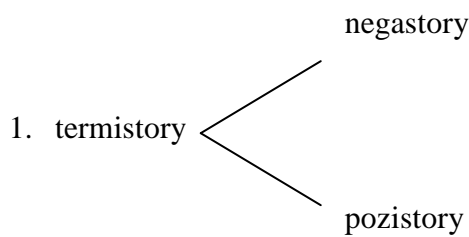
Polovodičové odporové senzory využívají stejně jako kovové odporové senzory teplotní závislost odporu. U polovodičových senzorů je dominantní závislostí koncentrace nosičů náboje n na teplotě dle vztahu [1]:

$$n = e^{\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (4)$$

kde ΔE je šíře mezery mezi energetickými hladinami, k je Boltzmannova konstanta. Pro teplotní součinitel odporu platí [1]:

$$\alpha = \frac{\partial(\ln)}{\partial T} \approx -\frac{\Delta E}{2kT} \frac{1}{T} \quad (5)$$

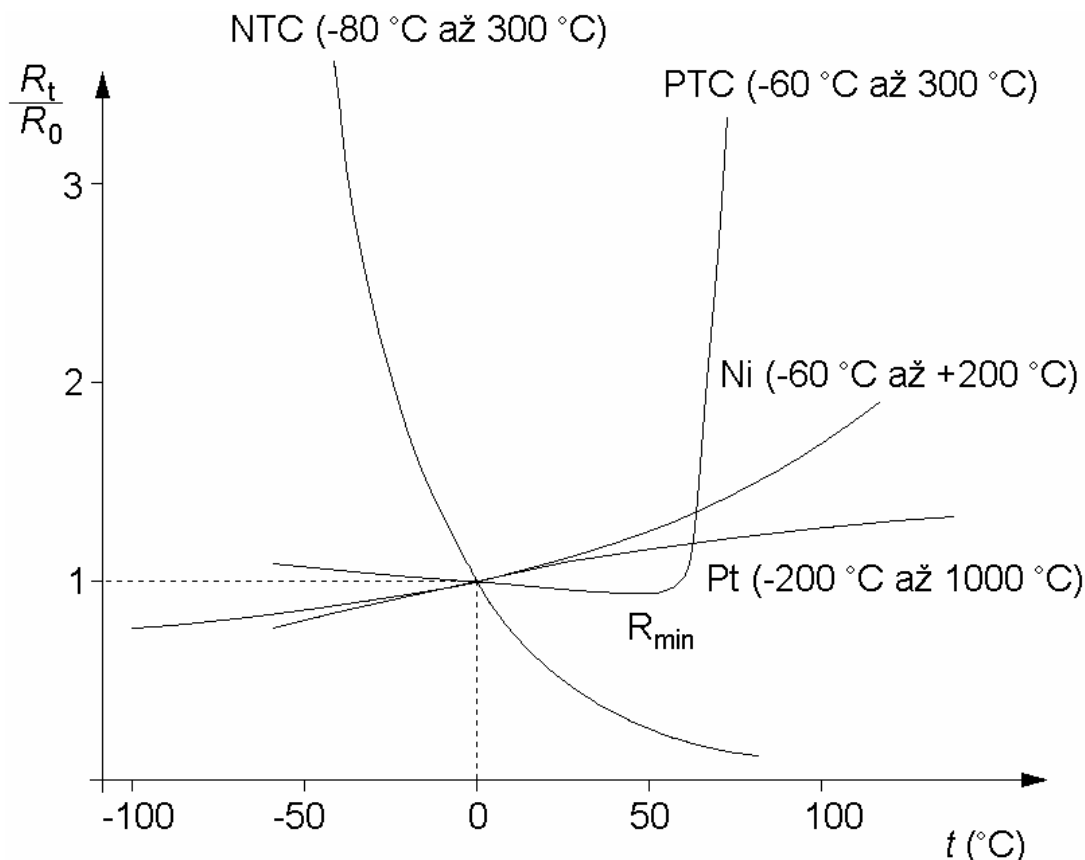
Teplotní součinitel odporu polovodiče je tedy záporný, přičemž je o $\Delta E/(2kT)$ faktor větší než u kovů. Polovodičové odporové senzory lze rozdělit na:



2. monokrystalické odporové senzory (nebudu popisovat)

Termistory

Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Výhodami termistoru jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární charakteristika. V závislosti na materiálu má termistor buď velký záporný teplotní součinitel odporu, tzv. negastor neboli NTC termistor nebo velký kladný teplotní součinitel odporu, tzv. pozistor nebo-li PTC termistor. Teplotní závislost odporu negastoru a pozistoru v porovnání s teplotní závislostí kovových odporových senzorů je znázorněn na následujícím obrázku:



Obr. 1.3: Porovnání teplotních závislostí termistorů NTC a PTC s kovovými odporovými senzory (R_0 je odpor při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$) [1]

1.2.1 Negastory (NTC termistory)

Teplotní rozsahy negastorů jsou od běžných $-50\text{ }^\circ\text{C}$ do $+150\text{ }^\circ\text{C}$. Při zanedbatelném ohřevu termistoru procházejícím elektrickým proudem platí vztah [1]:

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}} \quad (6)$$

kde

A je konstanta závislá na geometrickém tvaru a materiálu termistoru,

B teplotní konstanta daná materiálem termistoru,

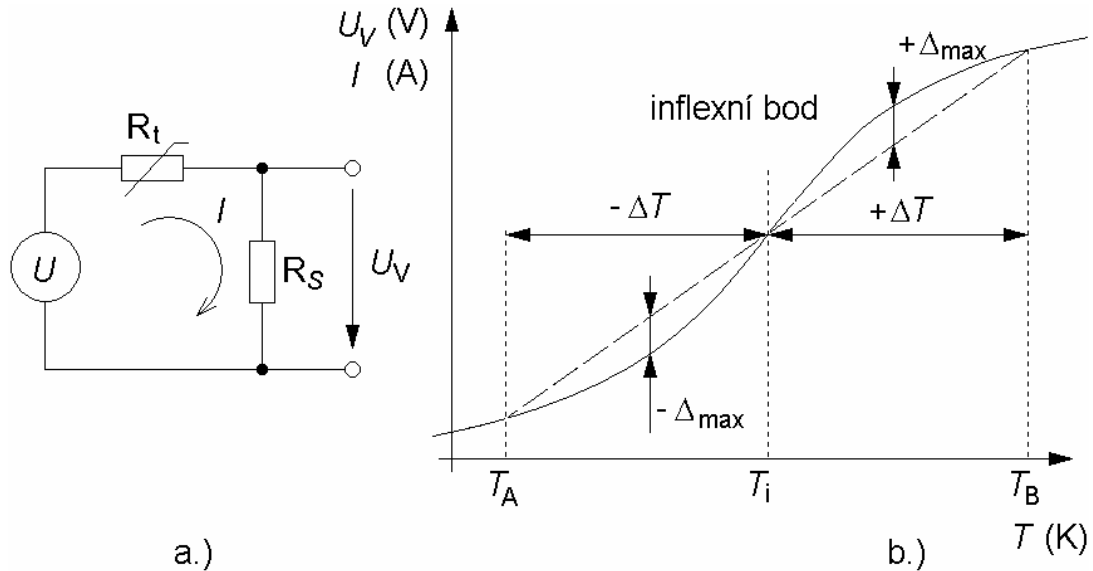
T termodynamická teplota (K).

V rozsahu teploty 0 až $50\text{ }^\circ\text{C}$, je nelinearita dle vztahu (6) $\pm 0,3\text{ }^\circ\text{C}$. Teplotní součinitel odporu α je obecně definován vztahem [1]:

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{dR_T}{dT} \quad (\text{K}^{-1}) \quad (7)$$

Ačkoliv je teplotní závislost odporu termistoru typu NTC silně nelineární, je možné

odporovou sítí docílit linearity vyhovující pro praxi. Základní linearizační zapojení je dáno připojením paralelního odporu R_p nebo sériového R_s . Hodnota paralelního odporu R_p nebo sériového odporu R_s je dána řešením rovnice pro inflexní bod pro teplotu T_i ve středu linearizované charakteristiky. Příklad zapojení pro sériovou linearizaci:



Obr. 1.4: Sériová linearizace (a-zapojení, b-charakteristika) [1]

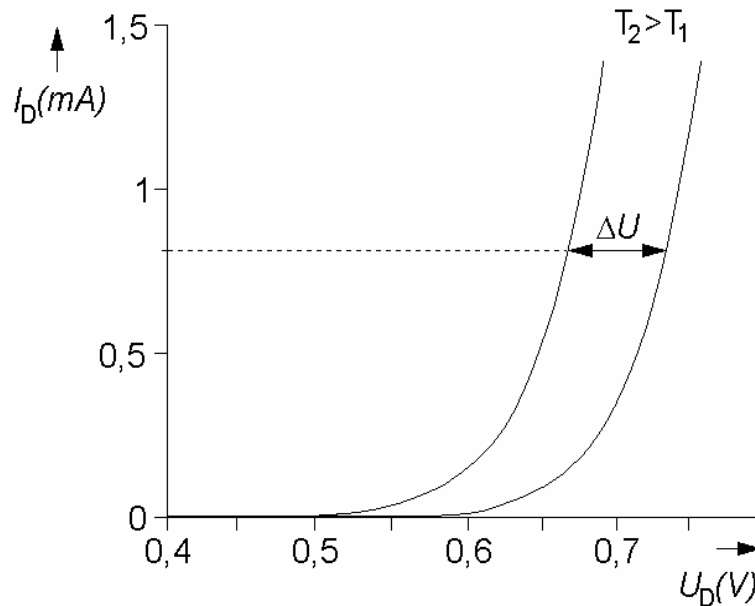
Kromě uvedeného sériového a paralelního zapojení jsou na trhu linearizační odporové sítě s podstatně širším linearizačním pásmem. Zapojení se dvěma termistory (negasty) vyhodnocuje teplotu v rozsahu $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ s nejistotou měření $\pm 0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ způsobenou nelinearitou, zatímco se třemi termistory vykazuje nejistotu $\pm 0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.2.2 Pozistory (PTC termistory)

Pozistory jsou termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. Odpor pozistoru se stoupající teplotou mírně klesá. Teplotní součinitel v této oblasti je kolem $1\text{ }\% \cdot \text{K}^{-1}$. Od tzv. Curierovy teploty dochází ke strmému nárůstu rezistivity materiálu. Po nárůstu o několik řádů pak hodnota odporu opět mírně klesá. Využití pozistorů je v elektrických obvodech ve funkci tepelné ochrany, omezovače proudu, teplotní regulace aj.

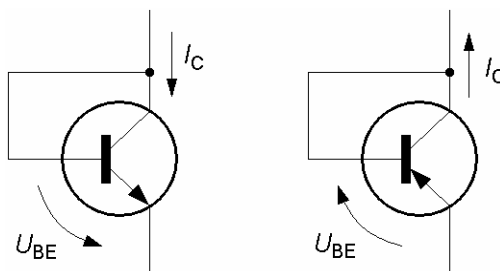
1.2.3 Diodové PN senzory teploty

Základními PN senzory teploty jsou diodové senzory. Vyrábějí se z křemíku, galium-arsenidu nebo je využito jiné polovodičové struktury. Jak je známo, přechod PN sám není vodivý. Je třeba překonat „vyprázdněnou“ oblast. Toho lze dosáhnout připojením kladně polarizovaného zdroje el. napětí (např. u křemíkových diod $U_D=0,7\text{ V}$). Hodnotu napětí potřebného pro otevření PN přechodu lze však snížit dodáním energie. V případě teplotních senzorů jde o energii tepelnou. Hodnota napětí U_D se při zvyšující se teplotě klesá:



Obr. 1.5: Teplotní závislost charakteristiky přechodu PN diody [1]

1.2.4 Tranzistorové PN senzory teploty



Obr. 1.6: Tranzistorová dioda [1]

Tranzistorové PN senzory jsou založeny na obdobném principu jako PN-diody, tj. využívá se teplotní závislosti napětí přechodu báze-emitor v propustném směru. Při zapojení tzv. tranzistorové diody dle obr. 1.6 je rekombinační koeficient $m=1$ a není závislý ani na proudu I_C ani na termodynamické teplotě T . Kolektorovým proudem I_C lze ovlivnit citlivost senzoru. Např. pro $\Delta I_C/I_C=0,01$ se změní citlivost o $0,86 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Nevýhodou u tranzistorových PN senzorů je parazitní teplotní závislost proudu $I_S=f(T)$.

I_S saturační proud diody v závěrném směru

1.3 Výběr vhodného typu termistoru

Při studování metod pro měření teploty v místnosti bylo dospěno k závěru, že pro tento účel by vyhovovalo i takové řešení, které není příliš přesné. Proto se hledalo co nejjednodušší a nejlevnější řešení pro tento projekt. Nakonec byl nalezen vhodný mikrokontrolér, který svými vlastnostmi uspokojí všechny nutné funkce termostatu co se týče měřicí a regulační části. Tím je mikrokontrolér MAX 6615 od firmy MAXIM. Ten používá pro měření teploty NTC termistor. Níže následuje popis mikrokontroléru.

2 MIKROKONTROLÉR MAX 6615

Výrobce mikrokontroléru je firma MAXIM. Původně se používá pro ovládání ventilátorů a dálkovému měření teploty pomocí sériového rozhraní SMBus (System Management Bus).

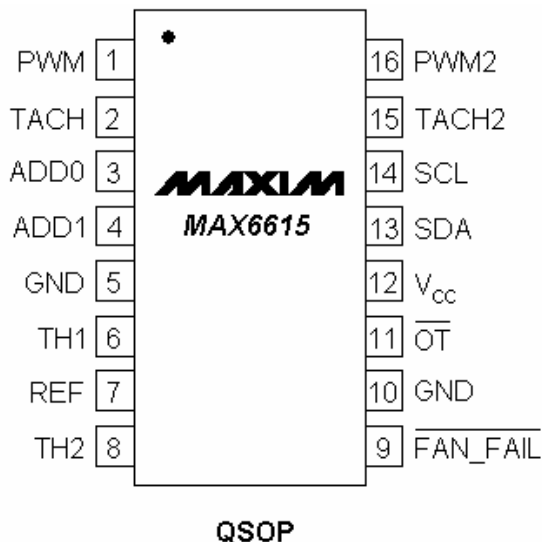
MAX6615 monitoruje 2 teploty, které mohou být buď venkovní teplota a vnitřní vlastní čipová teplota, nebo teplota dvou externích senzorů. Pomocí teplotních dat se ovládají PWM výstupní signály, pomocí kterých se rychlost ventilátoru sníží při nízkém tepelném výkonu systému a při větší teplotě se zvýší. Výstupy tachometrů ventilátorů se taky monitorují, tím se zjistí případné selhání ventilátorů. V tomto případě se nastaví výstup FAN_FAIL.

Dvou vodičová sběrnice SMBus se ovládá pomocí standardních příkazů čtení byte-u, zápis byte-u, odesílání a příjem byte-u, pomocí kterých se načtou hodnoty teplot a nastaví se výstražná prahová hodnota teploty. Pomocí výstupu (OT) se mohou generovat přerušování, ovládací signály, nebo signály pro vypínání při příliš vysoké teplotě.

Zařízení pracuje na napětí od 3 V do 5,5 V, jeho provozní teploty jsou od -40 °C do +125 °C, a odebírá maximální proud 500 μA.

2.1 Hlavní vlastnosti:

- Dva vstupy pro termistory
- Dva open-drain výstupy pro PWM
- PWM generátor od 20 Hz do 35 kHz pro ventilátor
- Vnitřní teplotní senzor, s přesností $\pm 2,5$ °C
- Maximální chyba externí měření teploty pomocí termistorů ± 1 °C
- Programovatelná charakteristika ovládání ventilátorů
- SMBus dvou vodičové sériové rozhraní
- Programovatelné signalizace pro teploty mimo rozsah a selhání ventilátoru
- Devět různých SMBus adres
- 10 μA pohotovostní odběr proudu
- Napájecí napětí od +3 V do +5,5 V



Obr. 2.1: Vrchní pohled na MAX 1669 [2]

2.2 Digitální rozhraní SMBus

Ze softwarového hlediska se MAX6615 jeví jako skupina rozsáhlých registrů různých velikostí. Zařízení používá standardní SMBus sériové rozhraní pro přístup k vnitřním registrům. Má devět různých slave adres a proto maximální počet MAX6615, které mohou pracovat na stejné sběrnici je devět. Používá čtyři standardní SMBus funkce: zápis byte-u, čtení byte-u, odesílání byte-u a příjem byte-u. Hodnoty

teploty jsou uloženy v registrech 00h a 01h. Ukládaná data jsou 8 bitová, kde MSB má hodnotu 128 °C a LSB 1 °C. Při přenosu se jako první, přenesou MSB bit. Popis pinů vypadá následovně:

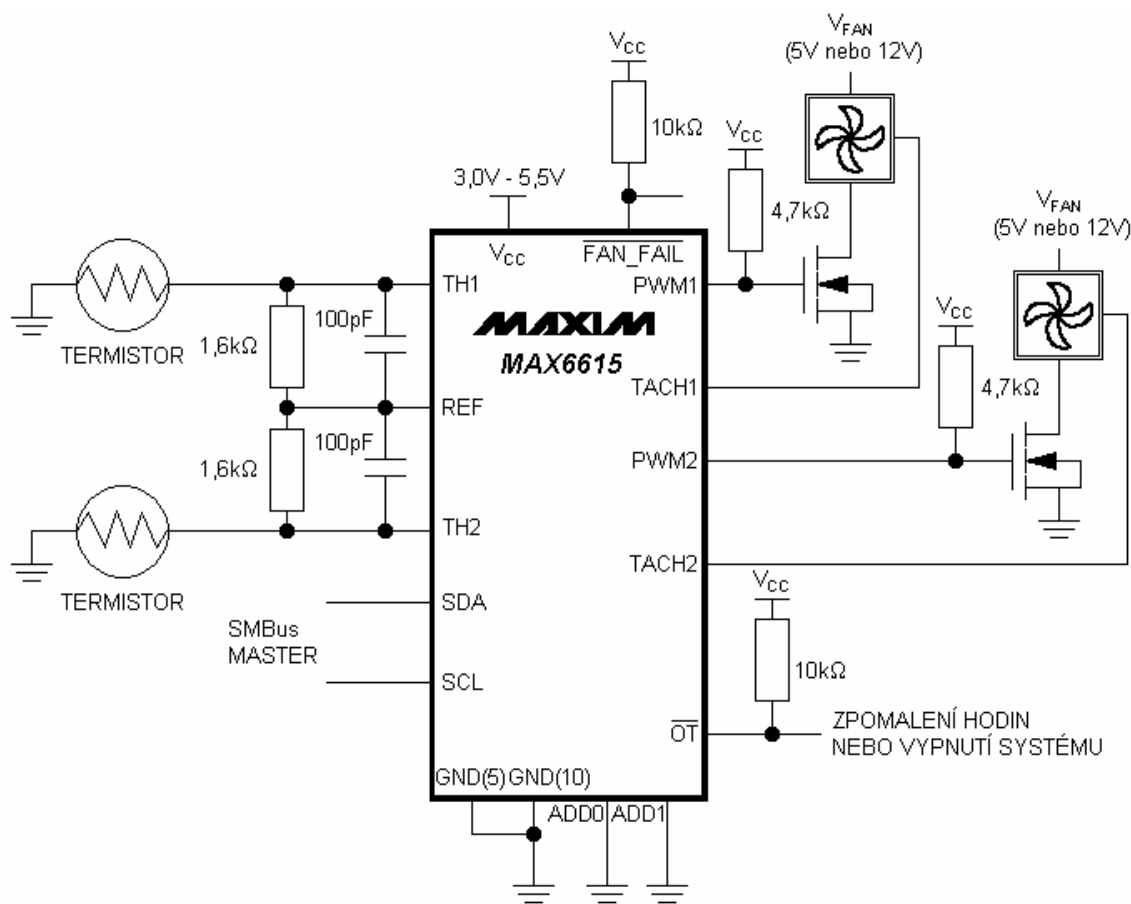
PIN	NÁZEV	FUNKCE
1	PWM1	Výstup 1 pro řízení ventilátoru. Pull-up rezistor se může připojit na napájecí napětí, které je max. 12 V.
2	TACH1	Vstup pro tachometr ventilátoru. Přijímá logické signály od tachometru ventilátoru. Může se připojit na úroveň napájecího napětí max. 12 V.
3	ADD0	Pin 0 pro výběr SMBus Slave adresy.
4	ADD1	Pin 1 pro výběr SMBus Slave adresy.
5	GND	Zem. Musí být spojená s PIN 10.
6	TH1	Vstup 1 pro externí termistor. Připojit termistor do série s pevným odporem mezi piny REF a GND.
7	REF	Referenční výstupní napětí. Poskytuje 1 V napětí během měření, když se neměří, je ve stavu vysoké impedance.
8	TH2	Vstup 2 pro externí termistor. Připojit termistor do série s fixním odporem mezi piny REF a GND.
9	FAN_FAIL	Výstup pro selhání ventilátoru. Nastaví se na nízkou logickou úroveň v případě, že jeden z ventilátorů selže. Může se stáhnout max. k +5,5 V napájecímu napětí. Vysoká impedance ve stavu $V_{CC}=0$ V.
10	GND	Zem. Musí být spojená s PIN 5.
11	OT	Výstup pro nadměrnou teplotu. Je aktivní v nízké úrovni a je open-drain. Typicky se používá pro vypnutí systému, nebo na zpomalení (roztazení) hodinového signálu. Může se stáhnout max. k +5,5 V napájecímu napětí. Vysoká impedance ve stavu $V_{CC}=0$ V.
12	V_{CC}	Vstup pro napájecí napětí od +3 V do +5,5 V. Přepojení s GND přes kondenzátor s kapacitou 0,1 uF.
13	SDA	SMBus vstup/výstup pro sériová data. Vztáhne se k napájecímu napětí odporem 10 k Ω , které může být až +5,5 V. Vysoká impedance v případě, když $V_{CC}=0$ V.
14	SCL	SMBus vstup pro hodinový impuls. Vztáhne se k napájecímu napětí odporem 10 k Ω , které může být až +5,5 V. Vysoká impedance v případě, když $V_{CC}=0$ V.
15	TACH2	Vstup pro tachometr ventilátoru. Přijímá logické signály od tachometru ventilátoru. Může se připojit až na úroveň napájecího napětí max. 12 V.
16	PWM2	Výstup 2 pro řízení ventilátoru. Pull-up rezistor se může připojit na napájecí napětí max. 12 V.

Tab. 2.1: Popis PINů [2]

2.3 Měření teploty

Průměrovací A/D převodník integruje přes periodu 120ms (pro každý jednotlivý kanál), s vynikající odolností proti šumu. Při měření vnitřní teploty, A/D převodník měří napětí v otevřeném směru na vnitřní sensorové diodě při velkém a malém protékajícím proudu, a vypočítá hodnotu teploty na základě tohoto napětí. Měření teploty na termistorech probíhá tak, že se změří referenční napětí a napětí na termistoru a aplikuje se jistá kompenzační hodnota, aby se dosáhlo hodnoty, která odpovídá reálné teplotě termistoru na širokém teplotním rozsahu. Oba kanály jsou automaticky zkonvertovány, jakmile se začne převáděcí proces. Konverze se provede pro oba kanály i když jeden ze dvou kanálů není použit, ale data pro nepoužitý kanál se ignorují. V případě, že kterákoliv ze dvou měřených teplot je pod 0 °C, nebo je na hodnotě 0 °C ale je nastaveno v ofsetovém registru pro termistory negativní hodnota, pak hodnota v odpovídajícím registru teploty bude nastavena na nulu. Vnitřní měřená teplotní data jsou vyjádřena ve stupních Celsia. Hodnota interní teploty je ukládána do dvou registrů. Hodnota vyššího byte-u má MSB 128 °C, a LSB 1 °C. Nižší byte se skládá ze třech bitů, kde MSB má váhu 0,5 °C, a LSB 0,125 °C. Pomocí termistorů se měří externí teplota. Termistory se připojují sériově k rezistoru R_{EXT} . Termistor se pak připojuje mezi TH_input a země a R_{EXT} mezi referenční výstup REF a TH_input, jak se ukazuje na obrázku 2.2. Napětí na R_{EXT} se změří pomocí A/D převodníku, kterého výsledkem je hodnota, která je přímo úměrná měřené teplotě. Hodnoty napětí v registrech pro termistory udávají napětí na rezistoru R_{EXT} jako část referenčního napětí. Nejméně významný bit LSB vyššího byte-u má jmenovitou váhu 7,68 mV.

Při nastavování konfiguračního byte-u na adrese 02h můžeme nastavit například i to, kterou možnost využijeme pro měření teploty. Když se bit 1 nastaví na log 0, pak se do registrů budou ukládat hodnoty změřené pro jednotlivé termistory. Pro každý jeden termistor 8 bitů, které jsou na pozicích 00h a 01h. V případě, že se konfigurační byte nastaví na log 1, bude se používat vnitřní sensor a pro ukládání dat se použije 8 bitů z jednoho registru, který bude high-byte a 3 bity z druhého registru, low-byte. Pro vnitřní sensor výrobce udává měřící toleranci $\pm 2,5$ °C, takže hodnota v 11 bitech bude výrazně nepřesná oproti termistorům s přesností na 8 bitech.



Obr. 2.2: Typické zapojení pro regulaci teploty pomocí MAX 6615 [2]

2.4 Výstup PWM

Pro používání PWM signálů k řízení ventilátorů se používají 3 způsoby:

1. PWM signál se přivádí na hradlo MOSFETu, nebo na bázi bipolárního tranzistoru, která je zapojena v sérii s napájecím napětím ventilátoru. Na obrázku 2.2 je příklad zapojení pro ovládání n-kanálového MOSFETu. V tomto případě se musí nastavit invertující bit D4 v registru 02h na log 1.

2. PWM signál je zkonvertovaný pomocí externí elektroniky na stejnosměrné DC napětí, který je úměrný pracovnímu cyklu (duty-cycle). Takto vytvořené napětí se stává napětím pro napájení ventilátoru. Tento přístup je méně účinný jak první metoda, ale může se dosáhnout menší hlučnosti ventilátoru.

3. Signálem PWM se ovládá přímo ventilátor, který má vstup pro ovládání pomocí PWM. Je to nejlepší řešení, protože odpadá nutnost použití přídatní externí „silové“ elektroniky.

V této práci se bude demonstrovat funkčnost ovládání servo motoru pomocí malých modelářských servo motůrků, které se ovládají pomocí 3 vodičů. Dva slouží pro napájení a pomocí třetího se ovládá směr a úhel otočení. Motůrky se ovládají pomocí PWM modulace.

Pro řízení servo motorů, které se budou používat, bude využíván první způsob řízení.

Kdykoli se má ventilátor začít točit z ustálené klidové polohy, PWM se nastaví na log 1 po dobu 2 sekund. Po tomto roztočení se pracovní cyklus PWM nastaví na přednastavenou hodnotu. Když se nenastaví registrová hodnota pro roztočení (2. bit v konfiguračním byte-u na log 1) a ventilátor je úplně pozastaven, pracovní cyklus se nastaví na definovanou hodnotu a ignoruje se nastavení pro rychlost změny pracovního cyklu. Frekvence PWM signálu se nastavuje v registru pro výběr kmitočtu. Když se pomocí PWM signálu moduluje napájecí zdroj pro ventilátor, tak se používá většinou nízká frekvence, jako např. 33Hz. Pracovní cyklus se může ovládat dvěma způsoby:

1. Manuální PWM ovládání: nastavování pracovního cyklu pomocí registrů 0Bh a 0Ch.
2. Automatické ovládání PWM, kdy se pracovní cyklus nastaví na základě aktuální teploty.

2.5 Manuální ovládání PWM

Vynulováním bitů (D5 a D4 pro PWM1 a D3, D2 pro PWM2), které se používají pro výběr teplotního kanálu v konfiguračním registru pro ventilátory (11h), se poskytne možnost manuálního ovládání. V tomto módu ručně zapsaná hodnota pracovního cyklu, kterou jsme zadali do registru pro tento účel, ovládá odpovídající ventilátor. Tato hodnota je maximálně 240. Jakákoli větší hodnota bude ořezaná na tuto max. hodnotu a uložena v tomto registru. Když se používá tento ovládací mód, hodnota maximálního pracovního cyklu v odpovídajícím registru je ignorována a nemá vliv na ručně nastavenou hodnotu.

Druhým způsobem ovládání je automatický režim, který by ale nevyhovoval pro ovládání servo motorů. Funguje tak, že při každém jedním kroku hodnoty teploty (1 °C) se zvyšuje/snižuje hodnota pracovního cyklu taky o jeden krok. Velikost kroku je nastavitelná. To by vyhovovalo pro rychlé změny teploty, ale v tomto módu se pro řízení teploty pokoje nedá použít.

2.6 Slave adresy

MAX6615 se jeví na SMBus sběrnici jako jedno zařízení mající společnou adresu pro oba A/D převodníkové kanály. V důsledku toho, že adresy zařízení je možno nastavit na devět různých hodnot pomocí různých zapojení pinů ADD0 a ADD1, může na jedné sběrnici být víc jak jeden MAX6615 bez konfliktu adres, viz. tab. 2.2. Stavby na vstupu adresových pinů jsou pravidelně kontrolovány, a adresní data zůstávají zablokovány pro omezení klidového napájecího proudu kvůli vstupnímu klidovému proudu, který se používá pro detekci stavu vysoké impedance.

ADD0	ADD1	ADRESA
GND	GND	0011 000
GND	Vysoká impedance	0011 001
GND	V _{CC}	0011 010
Vysoká impedance	GND	0101 001
Vysoká impedance	Vysoká impedance	0101 010
Vysoká impedance	V _{CC}	0101 011
V _{CC}	GND	1001 100
V _{CC}	Vysoká impedance	1001 101
V _{CC}	V _{CC}	1001 110

Tab. 2.2: Dekódování Slave adres (ADD0 a ADD1) [2]

2.7 Popis registrů

MAX6615 má 32 vnitřních registrů. V těchto registrech se ukládají data o měřených teplotách, umožňují ovládat PWM výstupy, pomocí nich se rozhodne, jestli se měří teplota uvnitř substrátu, nebo teplota na výstupech pro termistory, atd. Popis důležitějších registrů se bude provádět při podrobnějším popisu vnitřní struktury paměti, a práce s ní.

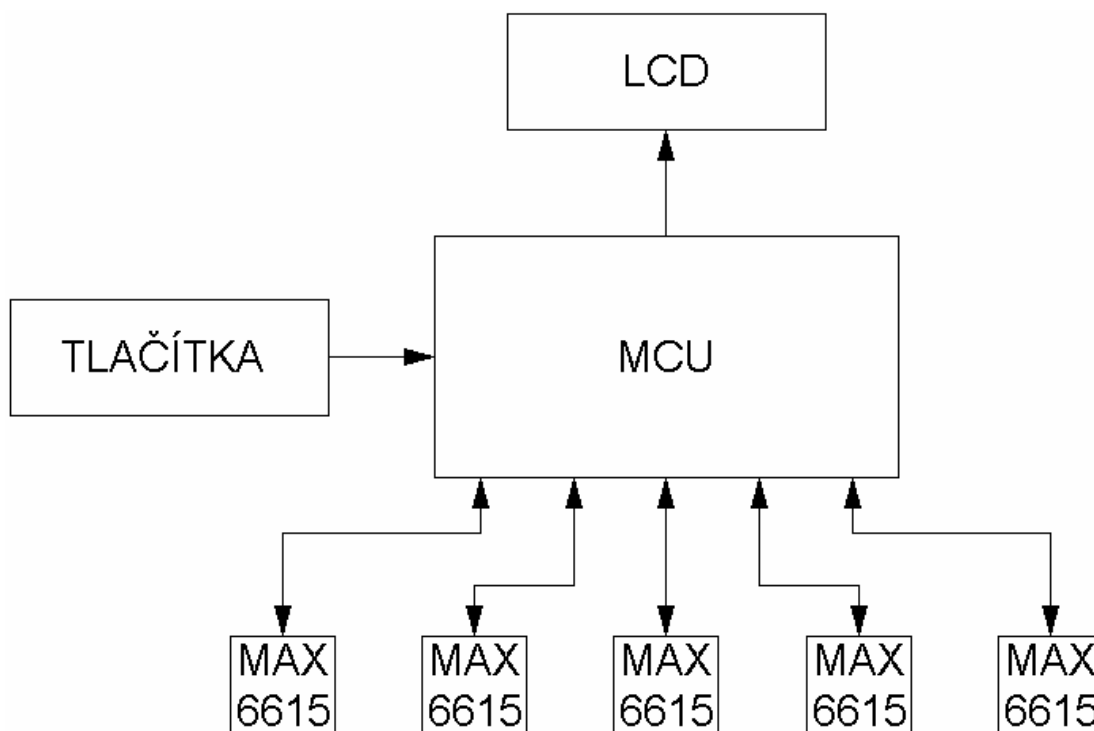
2.8 Uvažování o termistorech

Jak bylo na začátku práce popsáno, odpor NTC termistorů se zmenšuje při zvyšující se teplotě. Vyrábějí se v různých pouzdrech, které se mohou použít pro celou škálu aplikací, od měření teploty vzduchu až po měření teploty kapalin. Některé typy mohou pracovat do celkem vysokých teplot, kde se už integrované čipy nepoužívají. Vztah mezi teplotou a odporem v NTC termistoru je velice nelineární a může se popsat následujícím aproximačním vztahem [2]:

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot [\ln(R)]^3 \quad (8)$$

kde T je absolutní teplota v Kelvinech, R je odpor termistoru, a koeficienty A, B a C závisí na výrobci a charakteristice materiálu. Tato nelineárnost způsobuje to, že je těžší je používat jako měřicí integrované obvody s digitálním výstupem. Když se ale připojí do série, nebo paralelně s vhodným odporem, a pro měření se použije MAX6615, tak na jisté omezené části charakteristiky se může dosáhnout slušné linearity. Přesnost se zvětšuje při snižujícím se teplotním rozsahu.

3 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obr. 3.1: Blokové schéma zapojení

Hlavní řídicí jednotkou je mikrokontrolér od firmy Atmel, pomocí kterého se ovládají a nastavují teploty v místnostech. Jako vstupní jednotka se používají 3 tlačítka. Výstupní jednotkou je LCD [3] displej. Při ovládání se může pomocí tlačítek vizuálně nastavit předvolený program, nebo nastavit ručně určité parametry ovládání. Měřící a řídicí mikrokontroléry se připojují k hlavnímu MCU přes sběrnici SMBus, která je ovšem kompatibilní se sběrnici I₂C. Na tyto účely se používá mikrokontrolér od firmy MAXIM s označením MAX6615. Původně má využití v regulaci teploty, protože je konstruován pro ovládání otáček ventilátorů, ale nic nebrání tomu, aby se jeho vlastnosti mohli využít i v této oblasti. Aby se tak mohlo stát, musí se některé „nedostatky“ řešit softwarově při ovládacím algoritmu, a nastavit vhodné parametry pro ovládání PWM, které řídí servo motory.

4 POPIS KOMUNIKACE A OVLÁDÁNÍ

Následující část se zabývá komunikačním protokolem I₂C a SMBus, a vzájemně porovnává jejich vlastnosti co se týče kompatibility. Důvodem je to, že hlavní řídicí jednotka pracuje se standardem I₂C, zatímco MAX6615 pracuje se sběrnici SMBus. Níže se popíší vlastnosti obou sběrnic, aby se zjistilo jestli je možné zabezpečit vzájemnou 100%-ní kompatibilitu.

4.1 Sběrnice I₂C

Mikroprocesor ATmega168, který se bude používat v termostatu jako hlavní řídicí prvek umí komunikovat pomocí sběrnice I₂C s periferiemi, které tento standard podporují. U firmy Atmel se však toto rozhraní jmenuje TWI (Two-wire Serial Interface). Jednotka MAX 6615 komunikuje pomocí standardu SMBus. V následujících řádcích budu porovnávat tyto 2 typy sběrnic abych se ujistil, že jsou rozdíly mezi nimi dost malé na to, aby mohli komunikovat mezi sebou.

Při sběrnici I₂C je jedno zařízení **master** a ostatní zařízení jsou **slave-y**. Každé zařízení má svoji adresu. Pokud si master přeje inicializovat přenos dat, vyšle nejdříve adresu zařízení, které hodlá oslovit. Všechna zařízení poslouchají. Pouze zařízení, které poznalo svoji adresu, potvrdí její přijetí pomocí signálu ACK. Součástí této adresy je také příznak, zda budou data posílána do slave (R/W=0) nebo slave bude přenášet data do masteru (R/W=1). Podle toho se pak dále odvíjí komunikace.

Data běží po vodiči SDA, a hodiny po SCL. Jak master, tak i slave obvody jsou k těmto vodičům připojeny pomocí obvodů s otevřeným kolektorem (open-collector). Je to proto, aby mohl jak master tak i slave v případě potřeby ovlivňovat jejich úroveň a přitom nemohlo dojít ke zničení jejich výstupů. Jsou-li výstupy zařízení ve stavu vysoké impedance, je na vodiči úroveň H, vytvořená zdvihacím odporem připojeným na Vdd.

Příklad: po vyslání bitu R/W master uvolní SDA (přejde do režimu vstup) a vyšle hodiny. Pokud slave poznal svoji adresu, nastaví SDA úroveň L, čímž potvrdí přijetí adresy, a příkazu pro zápis nebo čtení. Pokud žádné zařízení správně nedekóvalo adresu a příkaz, žádné nepošle ACK, a master přečte úroveň H.

Potřebuje-li master čas na zpracování ACK ze slave, nebo potřebuje-li slave čas na zpracování přijatého byte, podrží master nebo slave signál SCL v úrovni L (stav WAIT). Nemůže-li master nastavit SCL do úrovně H, přejde do stavu čekání, a přenos pokračuje až slave uvolní SCL. Všechna data musí být přenášena po bytech, bez ohledu na to, kolik bitů potřebujeme poslat. Pokud slave nevyšle ACK po přijetí slave adresy, musí master ukončit přenos. Pokud master přijímá data, musí potvrzovat příjem každého byte-u pomocí ACK s výjimkou posledního. Zde nepřítomnost ACK signalizuje konec dat (End of data). Slave uvolní sběrnici a master může generovat STOP sekvenci. Opakovaná START sekvence může být po STOP sekvenci minimálně za 4,7 (0,6) ms. Náběžná hrana SCLK může být max. 1000 (300) ns, klesající hrana maximálně 300 (300) ns. Hodnoty v závorkách jsou pro rychlý mód sběrnice.

4.2 Porovnání sběrnice I₂C a SMBus

Sběrnice I₂C a SMBus jsou velice populární dvou vodičová řešení pro přenos dat, které jsou si v podstatě navzájem kompatibilní. Normální zařízení, jak master tak slave, jsou volně zaměnitelné mezi dvěma sběrnici. Obě sběrnice mají adresovatelné slave zařízení, ovšem speciální alokace adres se může lišit mezi něma. Pracují na stejné frekvenci až do 100kHz, ale I₂C může fungovat i na 400kHz nebo až 2MHz. Samozřejmě úplná kompatibilita dvou sběrnic vyžaduje použití frekvence pod 100kHz pro všechna zařízení.

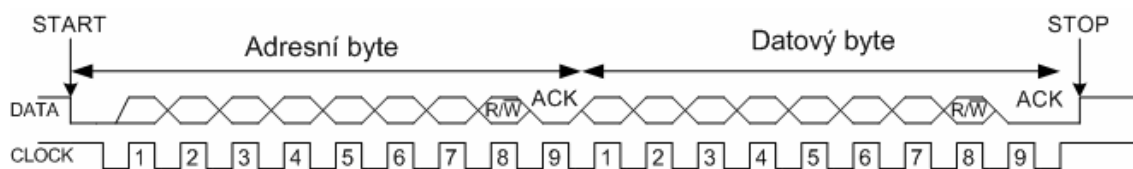
4.2.1 Základní vlastnosti protokolů

Události Start a Stop. Jsou velice důležité, protože pomocí nich se informuje interface, že musí přejít do inicializovaného stavu, nebo do resetu.

Data a Clock musí být ve stavu log 1 aby se vygeneroval Start, nebo Stop. Master zařízení nemůže vygenerovat Start, nebo Stop, dokud Data (SDA pro I₂C a SMBData pro SMBus) a Clock (SCL pro I₂C a SMBClk pro SMBus) linky nejsou volné (vztaženy ke stavu log 0). Je to důsledkem toho, že tato sběrnice je typu open-collector.

Stav Start a Stop jsou jediné stavy, kdy bude přechod na Data lince tehdy, když je Clock ve stavu log 1 (high).

Při komunikaci na Datové lince se změna stavu může provést jenom tehdy, když je hodinový cyklus právě ve stavu log 0 (low). Data na lince musí být připravena ještě před příchodem stavu high a smí být změněna jenom tehdy, když hodinový impuls je ve stavu low (s výjimkou při stavech Start a Stop).



Obr. 4.1: Typická komunikace na sběrnici a ukáзка stavů START a STOP [4]

4.2.2 Časový limit (Timeout) a hodinová frekvence

Timeout a (jako následek časového limitu) minimální hodinová frekvence jsou nejdůležitějšími rozdíly mezi I₂C a SMBus.

I₂C sběrnice = DC (žádný Timeout)

SMBus = 10kHz (35msec Timeout)

Timeout je časová prodleva, po které zařízení slave resetuje svoje rozhraní, jakmile stav hodin bude delší dobu ve stavu low, jak je čas Timeout. Typicky je to 35 milisekund. Používání Timeoutu diktuje také minimální rychlost hodin, protože sběrnice nemůže být nikdy v úplném klidovém stavu. Proto má SMBus specifikaci pro minimální rychlost hodin. Pro srovnání, I₂C sběrnice může být v klidovém stavu neurčitou dobu. Při I₂C master i slave mohou držet hodiny ve stavu low tak dlouho, dokud se data nezpracují.

Všechny tyto vlastnosti směřují k tomu, jak si obě sběrnice vypořádají se slave

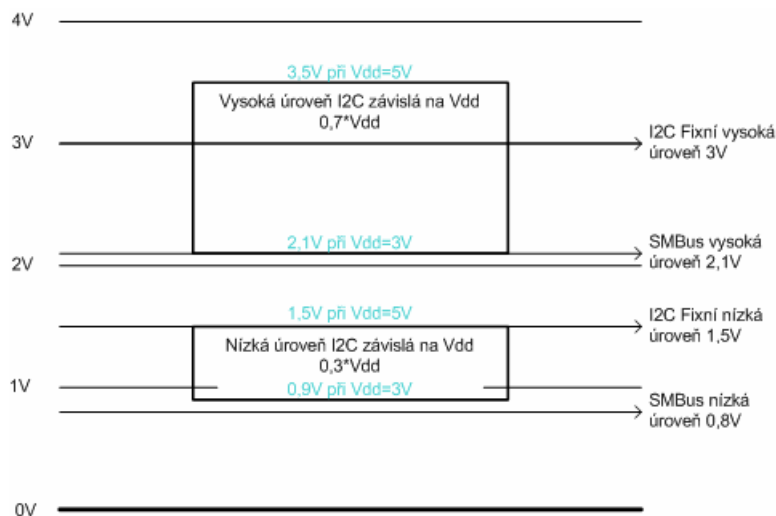
chybami a zotavení se z těchto chyb. Pro pochopení zotavení z chybových situací uvažujme, že máme dva stavy, Start a Stop. Ty na správně navržených slave-ech I₂C, nebo SMBus říkají, že zařízení slave přechází do specifického stavu. V případě **Start**-u by mělo rozhraní inicializovat sám sebe a připravit se pro příjem komunikace. Toto by mělo nastat bez ohledu na to, co předchází stavu Start (pro příklad, když slave byla uprostřed komunikace, a v masteru se stala chyba a musel začít od znova). V případě **Stop**-u by mělo rozhraní inicializovat sám sebe, ale měl přeběhnout předběžný Start pro jakoukoli komunikaci. Start a Stop jsou jediné datové přechody, které se uskuteční v čase, když hodiny jsou ve stavu high. Aby se přechody uskutečnili na datové lince, linka musí být volná (také linka pro hodiny). V tom případě je umožněno masterovi „umístit“ na linky log 1, nebo log 0. Učiní tak podle toho, jak se to právě vyžaduje.

Na sběrnici I₂C když zařízení slave blokuje a zadrží linku Clock, nebo Data ve stavu log 0, zotavení z tohoto stavu je nemožné. Naštěstí schopnost zadržet hodiny má jenom velice málo slave zařízení. Následkem je to, že běžně chyby způsobují ty slave zařízení, které končí v takovém stavu že datová linka je ve stavu log 0. Na sběrnici I₂C master uskutečňuje zotavení z chybného stavu pomocí vysílání hodin až dokud data nejsou ve stavu log 1, a poté uskuteční Start a následně Stop.

V porovnání s I₂C, na SMBus sběrnici se očekává, že slave zařízení resetují svoje rozhraní když jsou ve stavu log 0 po dobu delší jak je délka timeout předepsané v SMBus specifikaci, 35msec. Právě proto SMBus master zařízení nemají žádnou vestavěnou rutinu pro tyto chybné stavy. V reálné situaci slave zařízení musí prověřit hodiny i data, i když specifikace SMBus to nevyžaduje. Musí se to udělat protože praxe ukazuje, že slave-y mohou zůstat v chybném stavu, kdy drží linku dat ve stavu log 0 i když jsou hodiny ve stavu log 1.

4.2.3 Logické úrovně

Navzdory rozdílům ve specifikaci pro logické úrovně mezi dvěma sběrnici se zařízení zpravidla mohou zaměřovat mezi sebou. Velice ojedinělý je případ, kdy na SMBus, nebo I₂C sběrnici nějaké zařízení nefunguje, nebo se zničí kvůli rozdílnosti logických úrovní. Může to být překvapující, když se prohlédne níže uvedená tabulka, která ukazuje specifikaci pro logické úrovně pro SMBus a I₂C:



Obr. 4.2: Porovnání logických úrovní SMBus a I₂C [4]

Pro lepší přehlednost se uvádí následující tabulka:

	I ² C (závislé na V _{dd})		I ² C fixní	SMBus
	3V	5V		
HIGH	min. 2,1V	min. 3,5V	min. 3V	2,1V
LOW	max. 0,9V	max. 1,5V	max. 1,5V	0,8V

Tab. 4.1: Porovnání logických úrovní SMBus a I²C [4]

Jak je vidět, mezi dvěma specifikacemi jsou přítomny jisté rozdíly, ale zaměnitelnost zařízení ve většině případů nedělá problém. Je to z toho důvodu, že mastry a slave-y mají vždy virtuálně výstupní napětí kolísající poblíže napájecího napětí.

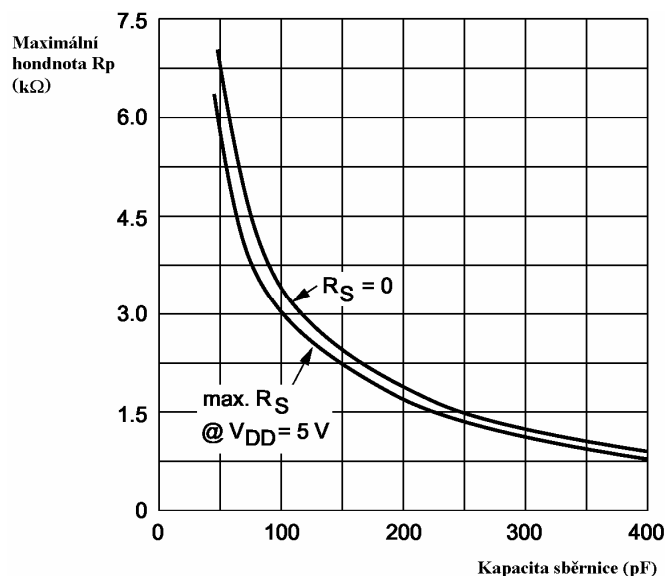
4.2.4 Odporů Pull-up a proudové úrovně

Z povídání výše nevyplývalo, že vedle různých logických úrovní napětí se liší i odběr proudu mezi dvěma sběrnicemi. Specifikace SMBus definuje minimální hodnotu protékajícího proudu 100 μ A, a maximální může být 350 μ A. U sběrnice I²C je hodnota proudu 3mA. Tyto vlastnosti budou určovat nejnižší přijatelnou hodnotu pull-up rezistorů. V následující tabulce jsou definované minimální hodnoty rezistorů pro I²C a SMBus:

	3V V _{dd}	5V V _{dd}
I²C bus	>1k Ω	>1,6k Ω
SMBus	>8,5k Ω	>14k Ω

Tab. 4.2: Minimální hodnoty rezistorů pro I²C a SMBus [4]

V reálné situaci není neobvyklé používání takového SMBus odporu, který překročuje specifikaci a to tak, že má menší hodnotu, jak je doporučena. Nejpoužívanější rozsah pull-up rezistorů pro SMBus systémy je od 2,4k Ω do 3,9k Ω . Na následujícím obrázku je vidět závislost maximální hodnoty R_p (pull-up) na kapacitě sběrnice. Rezistory R_s se volitelně přidávají před zařízeními I²C, a slouží jako ochrana před vysokonapětovými špičkami.



Obr. 4.3: Závislost maximální hodnoty R_p (pull-up) na kapacitě sběrnice [5]

4.2.5 Všeobecné volání a odezva na výstrahu

Sběrnice I²C má adresu jménem General Call (všeobecné volání), která je 0000 000. Na toto volání odpovídají všechny slave-y. Je to prostředek, pomocí kterého se dá naráz komunikovat s více zařízeními na sběrnici.

Sběrnice SMBus má také linku zvanou ALERT#, která se nesmí splést s I²C všeobecným voláním. Tato linka funguje jako přerušení pro SMBus master. Po příjmu přerušení, SMBus master může uskutečnit tzv. Alert Response (odezvu na výstrahu). Odezva se posílá na adresu 0001 100 a kterékoli slave zařízení, které vygenerovalo přerušení se pokouší identifikovat sám sebe pomocí vložení své vlastní adresy na sběrnici. Zařízení s nejnižší adresou převezme ovládání (v důsledku toho, že sběrnice je open-collector). Když je přerušení vyřízeno a odstraněno, master může proces zopakovat a zpracovat všechny další přerušení, které se objevili na sběrnici.

Shrnutí rozdílů sběrnic I²C a SMBus:

	I ² C	SMBus
Timeout	Ne	Ano
Minimální hodinový kmitočet	DC	10kHz
Maximální hodinový kmitočet	100kHz (nebo 400kHz a 2MHz)	100kHz
Úroveň logické 1	0,7 × V _{DD} , 3,0V Fixní	2,1V
Úroveň logické 0	0,3 × V _{DD} , 1,5V Fixní	0,8V
Maximální proud	3mA	350μA
Označení linky pro hodiny	SCL	SMBCLK
Označení datové linky	SDA	SMBDAT
Obecné volání	Ano	Ano
Alert#	Ne	Ano

Tab. 4.3: Rozdíly mezi I²C a SMBus [4]

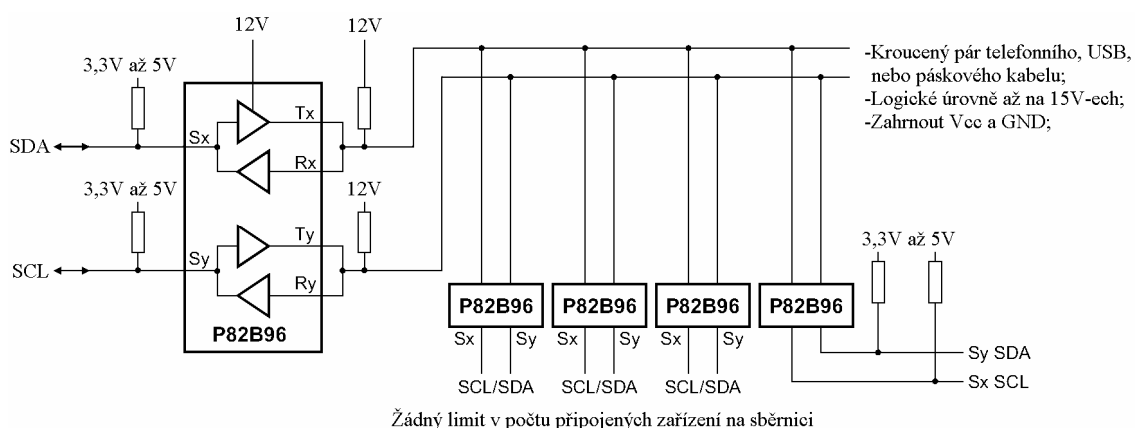
Pro komunikace se zvolila sběrnice I²C z toho důvodu, že v porovnání s jinými typy komunikačních standardů je poměrně lehce implementovatelná do současných mikrokontrolérů, které ji hojně využívají.

5 PARAMETRY VODIČŮ A SERVO MOTŮRKŮ

Tato část se zaměřuje na problematiku úbytku napětí na dlouhém vodiči, kapacity vodičů a parametry použitých servo motůrků.

5.1 Kapacita datových a napájecích vodičů

Sběrnice I²C má ve specifikaci stanovenou maximální kapacitu mezi vodiči 400pF. Je to limitující faktor pro maximální počet naráz připojitelných slave zařízení a/nebo délku vodičů. Tato hodnota je podle specifikace buď kolem 20-30 kusů blízkých slave zařízení, nebo několik málo metrů kabelu. Pro větší vzdálenosti je možné použít zařízení, které se doporučují v popisu I²C firmy Philips [6], které jsou např. **P82B715** I²C-sběrnice rozšiřovač, nebo **P82B96** Dual bidirectional bus buffer. Zařízení **P82B715** zvětší maximální hodnotu připojitelné kapacity pro I²C linku na 3000pF, čímž umožní použití délky vodičů až kolem 50m i více. Tento čip se dá použít i pro sběrnice s více slave jednotkami a to až do dosažení celkové kapacity linky už zmíněných 3000pF, přičemž kapacita na výstupech musí zůstat pod hranicí 400pF. Obousměrný sběrnice buffer **P82B96** má obdobné vlastnosti, jako **P82B715**, ale zvětší hodnotu maximální kapacity sběrnice až na 4000pF na přenosové lince. Pro toto zařízení se vybral právě tento obousměrný sběrnice buffer. Na následujícím obrázku je znázorněno zapojení **P82B96** pro více připojených jednotek:



Obr. 5.1: Zapojení sběrnice I²C pro více jednotek [7]

Bez použití obousměrného sběrnice rozšiřovače, by vypadala komunikační linka následovně:

Vstupní kapacita pro jednu připojenou linku MAX6615 je typicky 5pF. Pro centrální jednotku ATmega168 je tato hodnota maximálně 10pF. Tyto hodnoty splňují požadavek pro SMBus datovou linku, a hodinovou linku, který je 10pF doporučených. Pro kabel CAT5, je kapacita typicky kolem 50pF/m při 1kHz. Když se počítá s 5 slave (5x5pF) zařízeními na kabelu plus jedním masterem (1x10pF), tak je výsledkem celková kapacita zařízení kolem 35pF. Připočte se rezerva 50pF. V tom případě zůstává pro vodiče sběrnice maximální možná kapacita 315pF (400pF – 85pF). To znamená, že teoreticky je možné použít kabel o délce **6,3m** (315pF / (50pF/m)). Ovšem tato hodnota závisí na konkrétním typu kabelu, který se může lišit v závislosti od výrobce.

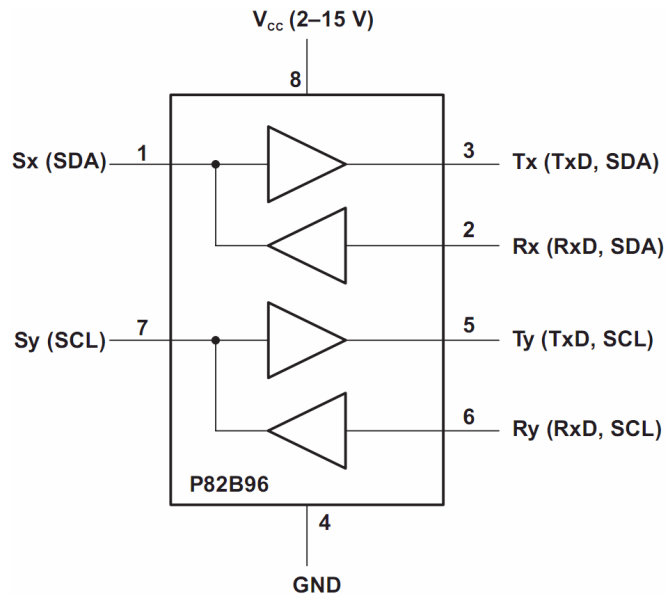
Jak je vidět pro nasazení do reálné situace navrženého termostatu je nevyhnutné použít zařízení **P82B96**, jinak by byla téměř nepoužitelná pro účel regulace teploty na větších vzdálenostech.

5.2 Obousměrný sběrnicový buffer P82B96

Popis a hlavní vlastnosti

Je to dvoupólové zařízení, které podporuje obousměrnou komunikaci na sběrnici I₂C. Umožňuje komunikovat dokonce i s konfiguracemi, které pracují na různých úrovních napětí a proudů (logické úrovně od 2V - 15V). Dovoluje maximální kapacitu prvků na primární vysílací straně (S_x, S_y) standardních 400pF a až 4000pF na sekundární přenosové lince (T_x, T_y). Vlastní hodnota kapacity na jeho vstupu je maximálně 7pF. Výstupy na sekundární cestě mají dobré schopnosti pro řízení sběrnicí s malou impedancí, i s velkou kapacitou. Může se používat i Fast I₂C mód, a to minimálně do 20 metrů. Funguje transparentně na sběrnici I₂C, nenaruší normální komunikaci ani hodinový signál. Jedna z předností P82B96 je, že odizoluje kapacitně sběrnice, které jsou zapojeny na jeho vstup a výstup. V důsledku toho, že se umísťuje ideálně poblíž zdroje signálu pro I₂C, má taky zdroj menší zátěž. Veškeré omezení v počtu maximálně připojitelných zařízení v systému, nebo fyzické oddělení mezi nimi jsou virtuálně eliminovány. Jednotka P82B96 umí signály SDA a SCL přenášet pomocí krouceného páru drátů, nebo předat taky do galvanicky oddělené sítě (optická vazba). Pro toto se používá vysílací Tx a přijímací Rx výstup/vstup. Vstupy a výstupy dvou různých zařízení P82B96 Rx a Tx můžou být přímo propojeny. V takovém případě se vyhneme zablokování linky, a vytvoříme vlastně alternativní I₂C linku, kde je ovšem rozdělena komunikace pro jeden a druhý směr. Toto platí rovněž pro piny T_y a R_y. Je to nevyhnutné v případě že se požaduje galvanické oddělení pomocí optronů. Na pin **S_x** se připojuje SDA a na **S_y** SCL. Není to však jediná možnost. Oba piny mají totiž stejnou funkci a totéž platí i pro Tx/Rx a Ty/Ry. Takže když se např. na S_y připojí SDA, tak jeho výstup/vstup bude Ty/Ry. Pro SCL zůstane S_x a výstup/vstup Tx/Rx. Totéž platí i obráceně.

Obvod provádí vlastně proudové zesilování signálů ze strany I₂C na jeho nízko impedanční, neboli bufferovanou sběrnici. Jakmile proud teče z pinu S_x do bufferu, zesílí se 10x. Pro minimalizaci interferencí a zabezpečení stability vzestupné a sestupné časy hran proudu, který zesilujeme pro Tx/Rx a Ty/Ry, jsou vnitřně regulovány.



Obr. 5.2: Obousměrný sběrníkový buffer P82B96 [7]

Popis pinů:

PIN	NÁZEV	FUNKCE
1	Sx	Sériová I ₂ C sběrnice, SDA/SCL. Připojit k Vcc přes odpor pull-up
2	Rx	Příjem signálu
3	Tx	Vysílání signálu
4	GND	Země
5	Ty	Vysílání signálu
6	Ry	Příjem signálu
7	Sy	Sériová I ₂ C sběrnice, SDA/SCL. Připojit k Vcc přes odpor pull-up
8	Vcc	Napájecí napětí

Tab. 5.1: Popis PINů [7]

Aplikační informace

Při použití jednoho, nebo více zařízení P82B96 se může vybudovat subsystém, který zachová charakteristické vlastnosti I₂C zařízení a tak se tento subsystém může připojit do jakéhokoli stávajícího systému I₂C.

5.3 Servo motory

Pro ovládání ventilů se používají servo motory ovládané pomocí PWM (Pulse Width Modulation) šířkově modulovaného signálu. Pro demonstraci byl zvolen modelářský motůrek HEXTRONIK HXT500.



Obr. 5.3: Servo motor HXT500 [8]

Jeho rozměry jsou 22,9x11,4x22,1mm, hmotnost 4,8g a napájecí napětí je od 3V do 6V. Točivý moment motoru je $0,8\text{kg}\cdot\text{cm}^{-1}$ a jeho rychlost je $0,1\text{sec}/60^\circ$. Odběr jednoho serva je v nečinném stavu kolem 5mA, v pohybu bez nějaké fyzické zátěže 120mA a při maximální zátěži může být odběr proudu až 400mA. Zapojení konektoru je následující: **hnědý** vodič je společná zem, **červený** vodič je napájecí a **oranžový** vodič je vstup řídicích impulsů. Řízení polohy serva je řešeno pomocí pulzní šířkové modulace (PWM) s opakovací frekvencí 50Hz. Většina serv pracuje s rozsahem impulzů 1-2ms a centrální poloha se nachází na 1,5ms. HXT500 má celkové rozlišení 36 kroků což znamená, že úhel pro jeden krok je 5° (max. otočení je od 0° do 180°). V pulzní šířkové modulaci to znamená že nejjemnější krok vyvolá impulz o šířce $27,77\mu\text{s}$ který by znamenal kmitočet přesně 36kHz, kdyby tento jev byl periodický ovšem (což je, ale jenom o frekvenci 50Hz). Pro lepší orientaci v číslech se ale budou používat obě jednotky.

Napájení servo motorů je řešeno dvěma způsoby:

První možností je napájení přímo **ze sběrnice**. Na sběrnici je napětí, které vychází z napájecího trafo ($9\text{V}\sim$)(volitelně), nebo adaptéru, pak je usměrněno pomocí diodového můstku a vyhlazeno kondenzátorem s dostatečně velikou kapacitou. Samozřejmě na dlouhých vodičích se musí počítat i s úbytkem napětí. Výpočty se nachází po této části úvahy. Napětí je přivedeno na každou regulační a měřící desku s MAX6615, a tam je stabilizováno pomocí stabilizátorů 78L05. Jsou to malé součástky v pouzdru TO92 a maximálním proudem 100mA. Z toho důvodu, že serva mají veliký krátkodobý odběr, jsou k nim přiřazeny kondenzátory s dostatečně velikou kapacitou pro kompenzaci většího odběru proudu. Případně kdyby tyto stabilizátory nevydrželi zátěž vždy máme možnost vyměnit součástky za výkonnější. Při tomto typu napájení je výstup PWM1 připojen na hradlo tranzistoru FET, který pomocí PWM signálu nastavuje pozici servo motoru. Při tomto typu napájení a při použití výkonnějších serv se však musí počítat i s tím, že bude potřeba použít výkonnější stabilizátory, a samozřejmě při větším protékajícím proudu bude také větší úbytek napětí na dlouhých napájecích vodičích. Při sekvenčním nastavování pozic serv by však teoreticky mělo stačit napětí, které se přivádí do měřících a regulačních jednotek. V případě, že servo má větší napájecí napětí, musí se použít níže popsaná možnost.

Druhou možností pro napájení servo motorů je **externí napájení**. Děje se to přes optron, takže není problém použít jakýkoli adaptér se stejnosměrným stabilizovaným napětím +5V a zatížitelností nejlépe minimálně 1A (v závislosti od přesného typu

serva). Jako optron jsou použity levné PC817. Optroem musí protékat proud 20mA, takže je zařazeno před ním odpor 180Ω. Je možné použít také alkalické baterie, ale bylo by potřeba toto napětí taky stabilizovat, co by způsobovalo předčasné vybití a častou výměnu baterek, takže tato možnost se spíše nedoporučuje. K výstupu PWM2 je připojena LED dioda, která se používá pro optickou signalizaci pohybu serva.

Úbytek napětí na dlouhém vodiči:

-Průměr jednoho drátu CAT5 je od 0,4-0,6mm (typicky 0,5mm), materiál: Cu

-Pro napájení se použijí 2 vodiče a pro země 4 vodiče

-Odběr proudu jednoho servo motoru: 400mA typicky

Máme tedy tyto zadané hodnoty:

$U \approx 9V$, $I = 400mA$, $I_{max} = 50mA$, $d = 0,5mm$, $\rho_{Cu} = 0,0178$

$$S_{vedeni} = \pi \cdot d \quad (9)$$

$$S_{vedeni} = \pi \cdot 0,5$$

$$\underline{S_{vedeni} = 1,57mm^2}$$

Odpor jednoho drátu [9]:

$$R_v = \rho \cdot \frac{l_{max}}{S} \quad [\Omega, m, mm^2] \quad (10)$$

$$R_v = 0,0178 \cdot \frac{50}{1,57}$$

$$\underline{R_v = 0,56\Omega}$$

Protože na přívod jsou použity 2 vodiče, a zpátky až dokonce 4, musí se počítat se 2 paralelními vodiči o hodnotě odporu 0,56Ω v sérii se 4 vodiči zapojených taky paralelně o odporech 0,56Ω. Po jednoduché úvaze nám vyjde celkový odpor pro maximální délku trasy $\underline{R_{ved} = 0,42\Omega}$.

Celkový úbytek napětí při jednom běžícím servo motoru tedy bude [9]:

$$\Delta U = R_v \cdot I \quad (11)$$

$$\Delta U = 0,42 \cdot 0,4$$

$$\underline{\Delta U = 0,168V}$$

Z výpočtů plyne, že při použití délky vedení 50m a jednoho běžícího servo motoru by byl pokles napětí jen 0,168V. To znamená, že při sběrnice napájených servo motorech které by by byli v provozu zároveň, by byl maximální pokles napětí pod 1V, což je hodnota přijatelná. Softwarová část ovšem funguje tak, že regulace pomocí serv se provede jednou za jistý časový interval a to sekvenčně po sobě pro každý motor zvlášť.

6 POPIS OVLÁDÁNÍ SERVO MOTORŮ POMOCÍ MAX6615

Po důkladném prostudování možností MAX6615 se došlo k níže popsaným poznatkům, které by vyhovovaly pro ovládání servo motůrků. MAX6615 má několik předem definovaných frekvenčních režimů pro PWM, které jsou 20Hz, 33Hz, 50Hz, 100Hz a 35kHz. Tato hodnota se nastaví pomocí registru **14h**. Rozlišení pracovního cyklu se nastavuje pomocí registru **0Bh** a **0Ch** (PWM Target Duty Cycle). Tato hodnota může nabývat hodnoty od nejmenšího 2/240 (0,83% cyklu) do nejvyššího 240/240, což je 100%-ní pracovní cyklus. Jakákoli hodnota větší než 240 bude brána jako 100%. Vybere se PWM frekvence 100Hz. Po jednoduchých výpočtech se dá zjistit, že při nejmenším rozlišení 2/240 dostaneme nejmenší krok 83,33 μ s, který odpovídá frekvenci 12kHz. To znamená, že na 1ms (servo pro PWM od 1-2ms) dostaneme přesně 12 takových kroků, čili celkovou dráhu 180° můžeme rozdělit na **12** částí. Tak vychází nejmenší krok v úhlech na **15°**. Jak se psalo výše, nejjemnější krok, který servo umí, je o frekvenci 36kHz a je to otočení o 5°. Je to rozdíl 3x. Při použití frekvence 50Hz by trval nejmenší krok 166,66 μ s, což by odpovídalo 6kHz. To by znamenalo, že vyjde na 1ms **6** kroků, což je otočení o **30°**, a rozdíl oproti maximu 6x.

Pomocí opakovací frekvence 100Hz dostáváme celistvé násobky základního kroku serva 5°. Tento násobek je 3x, protože jak se už psalo výše, při frekvenci 100Hz dostáváme nejmenší možný krok 15°. Z praktických testů a zkušeností kombinace MAX6615 a serv HXT500 se však zjistili trošku jiné poznatky. Když se nechá běžet generátor PWM v MAX6615, tak servo motory začínají kmitat náhodně mezi dvěma stavy (nastavená hodnota a další okolní hodnota). Je to nepříjemná vlastnost, která však na samotnou regulaci nemá veliký vliv, protože kmitající pohyb je v rozmezí nastavené hodnoty $\pm 15^\circ$. Tuto nechtěnou vlastnost se povedlo eliminovat pomocí softwarové části a to tak, že MAX6615 neběží nepřetržitě ale se zapíná jenom po určité době. Po zapnutí se nastaví pomocí PWM požadovaná pozice serva, počká se na konverzi hodnoty teploty, která je kolem 250ms, vyčte se hodnota teploty a MAX6615 se vypne. Tímto způsobem se zajišťuje, aby servo dostávalo co možno nejkratší dobu řídicí signál a aby se zmenšil odběr proudu celého zařízení. Důvod, proč se vyskytuje tento jev, nebo co to způsobuje je neznámý, ale může to být nepřesná generovaná frekvence PWM, nebo nepřesná střída. Chyba také může být v servo motorech. Motory ale taky mají jistou vlastnost, která neodpovídá teorii o servo motorech. Teoreticky by měli fungovat od šířky pulsu 1ms, což odpovídá hodnotě v registru 0Bh = 24, do 2ms, které odpovídá přesně hodnotě 48. Protože je nejmenší rozlišení registru 2/240, mohou se používat hodnoty jenom sudé. Servo motor však při těchto teoreticky krajních hodnotách nedosahuje své maximální krajní pozice. Tyto pozice dosahuje až při hodnotě v registru

0Bh = 16, až 54. V časové oblasti tyto hodnoty odpovídají 0,66ms a 2,25ms. V praxi to znamená, že místo teoretických 12 kroků servo umí až 19 kroků. Ne každý motor však reaguje stejně na takový signál a proto se musela vybrat ideální průměrná hodnota pro všechny servá. Ty jsou právě krajní hodnoty 16 a 54. Střední pozice servo motůrků odpovídá teoretické hodnotě 36 (1,5ms).

Z realizovaného zapojení se zjistilo, že výběr frekvence 100Hz je dobrá volba, protože samotný servo motor HXT500, který pracuje na 50Hz **ignoruje pulsy, které jsou navíc**. Při jiných servo motorech, kdyby použití 100Hz byl problém je zde stále možnost použít 50Hz, ovšem maximálně s 12 kroky při řízení. Pomocí testů se také zjistilo, že při použití HXT500 se ve skutečnosti nedá dosáhnout úplných krajních hodnot. Vysvětlením tohoto jevu je pravděpodobně to, že servo má jisté limitní vlastnosti v okolí krajních poloh. To má za následek jednu malou nevýhodu: když se použije ventil s otáčecím úhlem 0° - 180° (zavřeno - otevřeno), tak se nebude dát dosáhnout buď maximálního otevření, nebo maximálního zavření průtoku vody. Kdyby byla tato vlastnost nepřijatelná, je tady možnost použití ventilu s maximálním otáčecím úhlem 0° - 90°. V tom případě by se museli nastavit krajní polohy tak, aby odpovídali požadovanému úhlu 90°.

Přesnost ovládání, kterou se dá dosáhnout pomocí MAX6615 je úplně postačující, protože měření a následná korekce se bude cyklicky opakovat po krátkých časových úsecích a taky tepelná setrvačnost místností je obvykle dosti veliká.

Nesmí se zapomenout nastavit v konfiguračním bajtu druhý bit (D1) na 1. Tento bit slouží k tomu, že když je připojený ventilátor na výstup PWM1(2), tak ten dostane signál H na dobu 2s, a následně se vyšle hodnota která je v registru Target Duty-Cycle. Tato vlastnost slouží pro roztočení ventilátoru z klidového stavu. Když se konfigurační bit nastaví na 1, pak se tento proces jednoduše neprovádí a na výstupu je PWM signál, který se nastavili manuálně v registru pro Target Duty-Cycle. V důsledku toho, že se bude používat servo motor místo ventilátoru, se tato hodnota musí v každém případě nastavit. V tomto módu se ignoruje hodnota, která je v registru Maximum Duty-Cycle. Taky se musí nastavit manuální zadávání PWM střídání (manual PWM Duty-Cycle Control). To se dělá vynulováním bitů, které se používají pro výběr teplotního kanálu v konfiguračním registru pro ventilátory. V tomto módu ručně zapsaná hodnota pracovního cyklu, která se zadala do registru PWM Target Duty-Cycle (**0Bh, 0Ch**), ovládá odpovídající ventilátor. Jako poslední registr se musí nastavit Duty-Cycle Rate-of-Change (**12h**). Toto nastavení je vždy aktivní v manuálním ovládacím módu. Aby změna PWM signálu byla okamžitá musí se nastavit nuly v registru **12h** pro PWM1-výstup následující bity: D5, D6 a D7 a pro PWM2: D2, D3, D4. Hodnota tohoto registru po POR (Power-on Reset), čili po resetu je B4h což znamená, že přednastavená hodnota bude 1s.

7 POPIS VLASTNOSTÍ TEPLOTNÍHO ČIDLA

Jak bylo na začátku práce psáno, termistory vykazují nelineární závislost mezi teplotou a jejich odporem. V původním zapojení se používal pro linearizaci charakteristiky odpor zapojený sériově s termistorem o hodnotě $1,6\text{k}\Omega$. Díky tomuto odporu se dosahuje dobré linearity na úseku od 30C° do 100C° . Vhodné linearity se dá dosáhnout v praxi dvěma způsoby:

V digitální oblasti použitím look-up tabulky (LUT), která obsahuje hodnoty odporů a k nim přiřazené skutečné hodnoty teploty, které jsou zadané výrobcem

- V analogové oblasti přidáním sériového, nebo paralelního odporu k termistoru. Pomocí ně se dá přinutit termistor, aby měl nulovou chybu podél požadované lineární teplotní škály při třech ekvidistantních bodech.

V důsledku toho, že MAX6615 sám zpracovává naměřená data, první možnost nepřichází vůbec v úvahu. Přesnosti se tedy musí dosáhnout v analogové oblasti. Pro určení hodnoty sériového odporu se použije linearizační řešení z datasheetu firmy Microchip [10] a aplikační doporučení ze stránek firmy MAXIM [11]. Ty říkají, že je možné použití tří metod pro linearizaci:

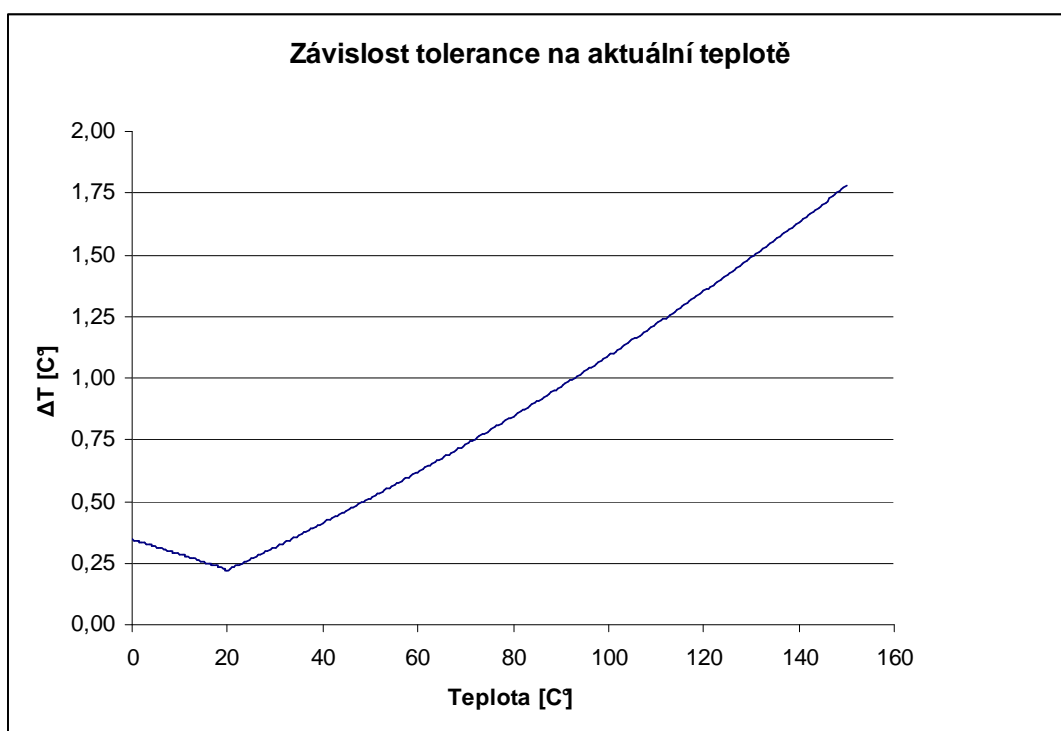
- vložení sériového odporu vedle termistoru
- paralelní zapojení odporu s termistorem
- paralelní zapojení odporu s termistorem v sérii s kondenzátorem

V práci se používá vlastně sériový odpor. Jeho hodnota se volí podle toho, jaká střední hodnota se požaduje na zainteresovaném rozsahu použité teplotní škály. Tento rozsah by mohl být v extrémním případě od 0C° do 40C° . V tom případě je střední hodnota 20C° . Z datasheetu [12] pro termistor s číslem 2381 640 103, který se používá v této aplikaci se odečte hodnota odporu termistoru při této teplotě. Na závěr se zvolí hodnota blízká této hodnoty a tak dostaneme největší přesnost právě kolem teploty 20C° . Tato hodnota je 12488Ω , takže se může použít například odpor s hodnotou $12\text{k}\Omega$. Pomocí Excel souboru [13] ze stránky výrobce je možné zkontrolovat jaké bude mít parametry termistor. Je zde vidět, že na rozsahu od 0C° do 40C° bude na okrajích maximální nepřesnost změřené teploty $\Delta T=0,4\text{C}^\circ$. Tolerance se zmenšuje jak se přibližuje k referenční hodnotě teploty $T_{\text{REF}}=20\text{C}^\circ$, kde je minimální hodnota $\Delta T=0,22\text{C}^\circ$.

Jak bylo v části popisu MAX6615 popsáno, maximální nepřesnost měření pomocí tohoto čipu je $\pm 1\text{C}^\circ$ při napájecím napětí $+3,3\text{V}$. V tomto zapojení se ovšem používá napájecí napětí $+5\text{V}$. Bude se předpokládat, že hodnota tolerance nebude o moc daleko od tolerance při napájení $+3,3\text{V}$. V součtu to tedy dává celkovou nepřesnost měření teploty uprostřed měřicího rozsahu $\pm 1,22\text{C}^\circ$ a na okrajích $\pm 1,4\text{C}^\circ$. Nejméně významný bit LSB má však rozlišení $\pm 1\text{C}^\circ$, takže v takovém případě by se hodnoty $\pm 1,22\text{C}^\circ$ i $\pm 1,4\text{C}^\circ$ měly teoreticky zaokrouhlit na $\pm 1\text{C}^\circ$. Ve výsledku to tedy znamená, že celková nepřesnost výsledného měření teploty bude maximálně $\pm 1\text{C}^\circ$.

Aby se co nejpřesněji určila měřená teplota pomocí použitých termistorů, musí se určit jejich kompenzační hodnota (tzv. offset) oproti reálné teploty. Tento proces se dá nazvat vlastně kalibrací termistorů. Musí se provádět tak, že termistor se umístí do prostoru s ustálenou teplotou (nejlépe 20°C, který je uprostřed zvoleného rozsahu), kde je možné nějakou přesnější metodou měřit aktuální teplotu. Od teploty naměřené pomocí termistoru se odečte teplota naměřená přesnějším měřičem a tak vyjde požadovaná hodnota, o kterou se musí kompenzovat naměřená hodnota pomocí termistoru. Tyto hodnoty se následně mohou ručně ukládat do softwarové části pro každou měřící jednotku zvlášť.

Na následujícím grafu jsou vidět hodnoty tolerančních rozsahů termistoru při různých teplotách, které jsou vypočítány pomocí Excel souboru dodávaného výrobcem [13]:



Graf. 7.1: Závislost tolerance na aktuální teplotě

Teplotní registry (00h a 01h) obsahují výsledky měření teplot. Bit MSB má hodnotu 128°C a hodnota LSB je 1°C. Hodnota teploty pro kanál PWM1 je v registru 00h a pro PWM2 v registru 01h. Lokální vestavěný senzor, který se nachází v MAX6615 se dá vybrat pomocí nastavení bitu D2 na 1 v konfiguračním bajtu.

8 NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE

Pro návrh desky plošných spojů (DPS) byl použit program EAGLE 5.6.0. V programu bylo nakresleno schéma zapojení. Obsahuje rozsáhlou databázi běžně používaných součástek včetně různých typů pouzder. Práce s programem je rychlá a intuitivní, i bez předchozích zkušeností se lehce s ní pracuje. Hlavní funkcí programu je návrh desky plošných spojů (DPS, layout). Nejdříve se rozloží součástky a po vhodném umístění se nakreslí obrys desky (rozměr desky termostatu: 110mm x 116mm, rozměr desky pro měření a regulace: 49mm x 49mm). Rozmístění součástek se musí pečlivě dělat. Mohou je různě rotovat aby se docílilo co nejmenšího možného počtu křížení vodičů. Pak mezi jednotlivými pájecími body se vytvoří vodivé spojení, buď ručně (pro jednoduchá schémata) nebo pomocí autorouteru. Nakonec se zvolí viditelnost jednotlivých vrstev a může se přímo tisknout layout desky a osazovací výkres anebo je exportovat do externího souboru. Schémata a obrázky DPS se nachází v příloze B.

Popis částí desek plošných spojů

Jak je vidět na schématech v příloze B, zapojení nejsou moc složité. V této části se popíší hlavní části zapojení.

8.1 Deska termostatu

Podle zadání musí zapojení fungovat z adaptéru, nebo baterie. V tomto zapojení bude sloužit baterie jako záložní zdroj na dobu beznapěťového stavu v elektrické síti. Pro standardní napájení slouží trafo (volitelně), které se zapojuje přes pojistku do zásuvky na 230V~, nebo případně externí adaptér. Ve stávající verze se používá napájení z adaptéru a z toho důvodu je trafo a pojistka úplně vynechána z desky plošného spoje. Po tom následuje diodový můstek, pomocí kterého se usměrní střídavé napětí. Vyhlazování dělá kondenzátor. Z tohoto bodu je stejnosměrné napětí, které směřuje do stabilizátoru, vyvedeno na konektor pro I²C sběrnici a je přiváděno do měřících a regulačních desek. Z tohoto napětí se napájí taky sběrniceový buffer P82B96. Napětí pro měření a regulace je stabilizováno a použito pro napájení těchto jednotek. V důsledku úbytku napětí na dlouhém vodiči je logicky lepším řešením přivádět vyšší napětí na větší vzdálenosti, které dostáváme přímo z externího napáječe, nebo z vestavěného transformátoru, než např. stabilizované napětí +5V. V této kompozici mají největší odběr samotné stabilizátory napětí, takže bateriové napájení celého systému v případě výpadku elektrické sítě nepřichází do úvahy. Před stabilizátorem pro centrální desku se nachází ještě jedna dioda a to z toho důvodu, že když vypadne síťové napájení a obvod bude napájen z baterie, aby se zamezilo zpětnému toku proudu přes stabilizátor do větve, která napájí vzdálené měřící a regulační jednotky. Mohlo by dojít k rapidnímu vybití záložního zdroje. V případě výpadku síťového napájení neexistuje možnost jak měřit a regulovat teploty v místnostech. Bylo by k tomu potřeba větších počtů paralelních baterií, nebo akumulátoru. Baterie slouží v tomto případě teda jenom pro udržování přesného času. Následuje rozdělení napájecích vodičů na 2 větve, mezi kterými se dá vybírat pomocí jumperů. První větev obsahuje standardní stabilizátor 7805, zatímco druhá větev spínaný stabilizátor LM2575. Tato možnost je tady pro to, aby se mohlo zjistit která z metod bude mít lepší vlastnosti. Při použití obyčejného

stabilizátoru se rozdílné napětí vynásobeno protékajícím proudem vyzařují do okolí ve formě tepla, což je neefektivní, ale zase levnější řešení, jako použití spínaného zdroje. Spínaný stabilizátor má účinnost podle datasheetu [14] kolem 75%, takže použití tohoto typu stabilizátoru je pravděpodobně lepší řešení.

Pro bateriové napájení se používají 3 baterie typu AA zapojené v sérii s celkovým výsledným napětím ideálně 4,5V. Baterie se připojují za stabilizátorem a tak můžou přímo napájet centrální mikroprocesor bez ztrát. Aby se zabránilo tečení proudu do baterií, jsou použity pro ochranu Schottkyho diody. Ty mají tu kladnou vlastnost, že úbytek napětí na nich je malý. Problém je teprve s reverzním protékajícím proudem, který je větší jak u standardních diod. Proto se použili 2 diody, přičemž první slouží jako ochrana baterií a druhá je zapojena v závěrném směru paralelně s bateriemi pro odvádění reverzního proudu, který teče přes první Schottkyho diodu. Při měření se zjistilo, že ve stavu kdy se obvod napájí pomocí externího napájení, neteče přes Schottky diody vůbec žádný inverzní proud.

Mikroprocesor ATMEL je zapojen podle datasheetu [15]. Hodinový signál generuje krystal o frekvenci 10MHz. Původně se předpokládalo použití krystalu 1MHz, ale z neznámých příčin obvod nefungoval korektně. Nižší frekvence by byla lepší z toho důvodu, že mikrokontrolér má v takovém případě menší odběr proudu. Negativum je, že je 10x pomalejší. Při dostatečném množství využití spánkového režimu by však neměl být teoreticky problém s větším odběrem proudu, protože zatímco při hodnotě 1MHz má zařízení menší odběr proudu, tak při 10MHz zas rychleji proběhne program a tím dřív může mikrokontrolér přepnout do spánkového režimu. Programování mikroprocesoru se provádí skrz sběrnici SPI pomocí vlastnoručně vyrobeného programátoru.

Pro ovládání se používají 3 vstupy z portu C a pro komunikaci pomocí sběrnice I²C další 2. Na každé tlačítko je připojena dioda. Diody jsou napojeny na vstup pro externí přerušení INT0. Na tento vstup je dále připojen odpor pull-up, který zabezpečí, aby na vstupu bylo stále napětí. Při stisku kteréhokoli tlačítka se napětí dostane na zem, INT0 zareaguje na tento počín a probudí mikrokontrolér. V programové části je INT0 nastaven tak, aby zareagoval na klesající hranu signálu. Pomocí této metody se dosáhne toho, že mikrokontrolér může být dostatečně dlouho ve spánkovém režimu a nemusí pořád hlídat stav tlačítek. Jakmile se zmáčkne tlačítko, probudí se mikrokontrolér a zjistí které tlačítko bylo zmáčknuté.

Druhý vstup externího přerušení slouží pro signalizaci jestli je zařízení napájeno z adaptéru, nebo z baterií. V případě, že na Zenerovy diodě je napětí 4,7V, zapojení běží z adaptéru, nebo z vlastního zdroje. Když napětí klesne, tak INT1 zareaguje na nízkou logickou úroveň a nastaví snímač přerušení tak, aby následně reagoval už na jakoukoli změnu logického stavu. To znamená, že v případě když se vrátí napájecí napětí z adaptéru, tak na tuto událost se vygeneruje přerušení a tímto se signalizuje nový stav. Při tomto přechodu se ale zas musí nastavit snímač přerušení tak, aby reagoval na nízkou úroveň na vstupu INT1. Takovéto opětovné nastavení parametru snímače přerušení se provádí při každém přechodu ze stavu napájení z adaptéru na bateriové a opačně.

Výstupy pro komunikaci I²C jsou připojeny na sběrniový buffer P82B96. Výše v kapitole 5.2 byla popsána funkce tohoto čipu, která je zapojena podle příkladu v datasheetu od výrobce NXP Semiconductors [7]. Pro vypočtení hodnoty odporů pull-

up se použije vzorec z datasheetu pro mikrokontrolér Atmel [15] str. 307. Podle ní vychází pro $f_{SCL} \leq 100\text{kHz}$ minimální hodnota odporu na $1,6\text{k}\Omega$ a maximální kolem $30\text{k}\Omega$. Zvolila se hodnota $6,8\text{k}\Omega$. Sběrníkový buffer je napájen z nestabilizovaného napětí, které ovšem nesmí přesáhnout hodnotu 18V podle datasheetu od NXP Semiconductors, nebo taky podle datasheetu firmy Texas Instruments [16]. Sběrníkové buffery od obou firem se ve většině parametrů shodují. V současném zapojení se používá buffer od firmy Texas Instruments a napájecí napětí je $+15\text{V DC}$ z externího adaptéru. V reálném nasazení se samozřejmě nesmí používat adaptér s větším napětím, jak zmíněných $+18\text{V DC}$. Jisté řešení by bylo samozřejmě použití dalšího stabilizátoru pro tento čip. Na výstupní stranu je připojen už jenom konektor RJ-45 a odpory pull-up. Ty jsou zvoleny podle doporučení v datasheetu [7] a mají hodnoty 330Ω . Doznívání signálu (překmity) při klesající hraně se může tlumit pomocí Schottkyovi diody která se zapojí mezi signálový a zemní vodič. Toto řešení se používá také v tomto zapojení.

Aplikace využívá také A/D převodník, který se nachází v mikrokontroléru. Podle doporučení v datasheetu se mezi vstup AREF a země připojil kondenzátor o kapacitě $4,7\text{nF}$ pro lepší odolnost vůči šumu. Jako referenční napětí pro měření se používá interní referenční napětí zdroj v mikrokontroléru, který činí $1,1\text{V}$. Aby se nepřesáhla tato hodnota, musí se použít napětí dělič na vstupu A/D převodníku. Děje se to pomocí přesných rezistorů s hodnotami $8,2\text{k}\Omega$ a $33\text{k}\Omega$. Tak v případě napájení ze stabilizátoru na odporu $8,2\text{k}\Omega$ dostáváme maximální napětí $0,9951\text{V}$, které spadá pod referenční hodnotu. Hodnota $1,1\text{V}$ je ovšem ideální hodnota. V datasheetu výrobce uvádí, že maximální tolerance pro $U_{REFmin}=1\text{V}$ a $U_{REFmax}=1,2\text{V}$. Když se počítá s nejhorším případem a to, že referenční napětí bude příliš malé (1V), i tak je na děliči napětí, které spadá pod maximální referenční úroveň. Je vidět, že referenční napětí není příliš přesné, ale pro hrubé měření stavu baterie je postačující. Ovládací algoritmus při bateriovém napájení si po určitých časových sekvencích zkontroluje napětí na tomto vstupu při bateriovém napájení, a podle nadefinovaných úrovní se objeví symbol aktuálního stavu napětí na bateriích. Když klesne napětí pod určitou hodnotu, objeví se na hlavní obrazovce symbol vybité baterie. V tom případě se doporučuje co nejrychlejší výměna baterií. Když se na obrazovce objeví symbol baterie, znamená to, že došlo k výpadku napětí v elektrické síti. Nové alkalické baterie typu AA mohou mít napětí i $1,6\text{V}$, což dává celkový součet $4,8\text{V}$. Kolem napětí 1V pro jeden článek, je baterie téměř vybitá. To znamená, že minimální úroveň se nastaví na hodnotu 3V . Po poklesu pod tuto prahovou hodnotu se objeví na displeji symbol vybité baterie.

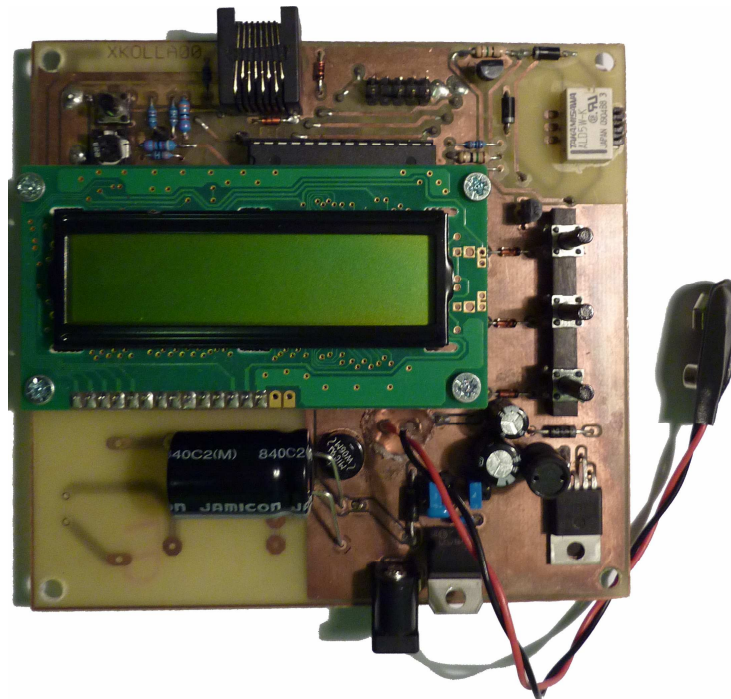
Zapínání a vypínání kotle se provádí pomocí dvou výstupů na portu B. Tyto výstupy jsou napojeny na speciální bistabilní, nebo jinak řečeno impulsní relé [17], které má dvě stabilní stavy. Když se přivede krátký impuls na jeden jeho vstup, tak se přepne do jednoho stavu, a tam potrvá až do té doby, než dostane druhý impuls na svůj druhý vstup. Relé má 2 přepínací kontakty a maximální napětí, který je schopen spínat je 250V AC při maximální hodnotě proudu 2A . V reálné situaci by se mohlo toto relé použít pro přímé zapínání a vypínání kotle když kotel má menší odběr jak 2A . Tato část desky je navrhnutá tak, aby byla dodržena izolační vzdálenost 5mm od ostatních částí desky ba dokonce mezi nohami relé je vyfrézována vzduchová mezera pro dosažení větší izolace. Samozřejmě druhým řešením je použití sekundárního reléového spínače. V tom případě by impulsní relé mohlo spínat externí relé s malým spínacím napětím. Pro výběr způsobu spínání se musí znát parametry a vlastnosti kotle. Místo standardních relé se vybralo impulsní relé ze zřejmých důvodů: kdyby nastal výpadek napájení

termostatu z elektrické sítě, tak by bylo stále možné zapínat a vypínat kotel i pomocí bateriového napájení bez většího odběru proudu. Funkčnost kotle a externího relé musí být zabezpečena z jiného zdroje energie, než je napájení termostatu.

Komunikace se provádí po standardním UTP kabelu CAT5, na zařízeních jsou montovány konektory RJ-45. Osm vodičů je rozděleno tak, že pro sběrnici I²C se používají 2 žily, pro napájení taky 2, a pro GND 4 vodiče. Smí se použít jenom UTP/STP kabel se stejným zapojením obou konců (přímí kabel), jinak by mohlo dojít ke zničení některých částí, nebo dokonce celého zařízení.

LCD display má 16x2 pozic, je reflexní a má barvu žlutozelenou. Není použit display s podsvícením z toho důvodu, aby zařízení mělo co nejmenší spotřebu. Jak se zjistilo pro korektní funkci displeje potřebuje LCD napětí větší jak +4V. Na začátku projektu se s tímto nedostatkem nepočítalo, takže v případě že napětí na třech bateriích klesne pod ~1,4V, displej se jednoduše vypne. Samotný mikroprocesor však běží dál. Tento nedostatek by bylo možné řešit buď zasažením do hardwaru displeje, nebo jednodušeji použitím měniče napětí DC-DC. Ten by mohl být zkonstruován nejlevněji například pomocí časovače 555 a několik přídavných součástek, nebo použitím hotových výrobků od různých firem (např. LT1109 od Linear Technology Corporation).

Na obrázku níže je vidět hotová konstrukce desky plošného spoje termostatu.



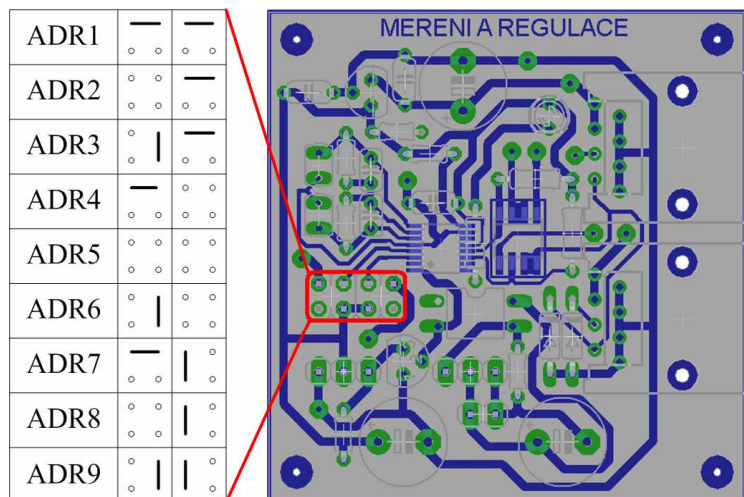
Obr. 8.1: Realizovaná deska plošného spoje termostatu

8.2 Deska měření a regulace

Zapojení vychází z referenčního zapojení v datasheetu pro MAX6615. Pro měření se používají 2 NTC termistory a výsledná teplota se počítá z průměru těchto 2 naměřených hodnot teploty. Tímto způsobem je docílena teoreticky větší přesnost měření. Jak bylo napsáno v části popisu funkce teplotního čidla, se zapojí sériově s

NTC termistory odpory o hodnotách 12k Ω . Kondenzátory se zapojí kvůli vyfiltrování vysokofrekvenčních elektromagnetických interferencí (EMI).

Pro napájení slouží stabilizátor 78L05. Deska je vybavena dvěma konektory typu RJ-45, protože se počítá s tím, že se tyto desky zapojí paralelně za sebou. Pro výběr vlastní adresy se používá dvouřadá lámací lišta, která je napojena na Vcc a GND.



Obr. 8.2: Výběr adresy pro desky měření a regulace

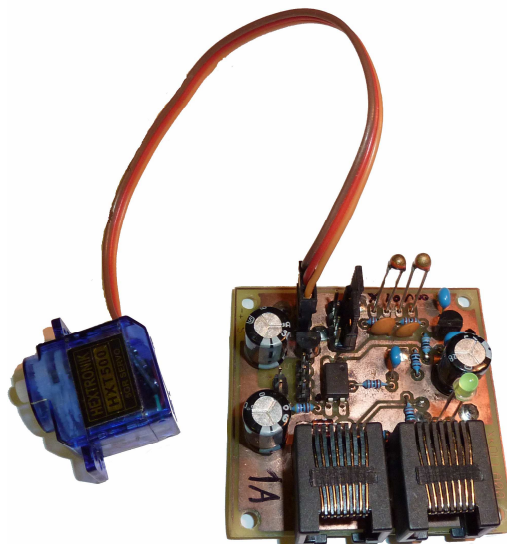
Pro optickou signalizaci je použita zelená difúzní LED dioda zapojená na výstup PWM2 přes rezistor.

Aby bylo možné použít i externě napájený pro servo motor, jsou tady 2 řídicí prvky. Jeden je FET tranzistor, který je fyzicky spojen se servem a druhý prvek je optron, který ovládá jeden NPN tranzistor. Ovládání funguje prakticky tak, že na výstupu PWM1 musí být inverzní průběh PWM signálu. Když je na výstupu **log0** (PWM výstupy jsou typu open-drain), tak to odpovídá takovému stavu, že PWM1 výstup (vstup) je připojen k zemi a tedy proud poteče jenom přes optron. V tomto stavu optron má otevřený tranzistor a díky zapojení typu společný kolektor bude na výstupu napětí odpovídající úrovni **log1**. Na tranzistoru FET v tomto stavu není žádné napětí a v důsledku toho, že je zapojení typu společný source, v zavřeném stavu má na výstupu napětí odpovídající úrovni **log1**. Stavů jsou v opačném případě obrácené, čili ve stavu **log1** je výstup plovoucí, tedy napětí bude rozdělené na odporu, na diody optronu a na U_{GS} FET tranzistoru. Proud přes tyto části poteče jenom zanedbatelný, tudíž tranzistor v optronu bude v zavřeném stavu (výstup **log0**), ale díky napětí na FETu bude tento tranzistor otevřený (výstup **log0**). Optron zabezpečí galvanické oddělení ovládací a případné silové části. Externí napájení by bylo nejvhodnější z hlediska odběru proudu, ale bylo by mnohem složitější z důvodu, že by se museli motory zvlášť napájet v každé místnosti. Proto se počítá s více možnostmi.

Stejně jako na desce termostatu, i tady se používá sběrnice buffer P82B96. Pochopitelně je to proto, že tyto zařízení komunikují jenom mezi sebou. Mezi MAX6615 a P82B26 se používá odpor pull-up o hodnotě 15k Ω . Hodnota větší jak 15k Ω se také doporučuje podle norem pro SMBus, které se uvádějí v kapitole 4.2.4. V datasheetu pro MAX6615 [2] se doporučuje použití hodnoty 10k Ω . Větší hodnota se zvolila proto, aby na této několika centimetrové sběrnici tekla menší proud, jak při

použití odporu 10k Ω . Tento rozdíl nemá žádný negativní následek na komunikaci. Stejně jak na straně termostatu i tady se používají Schottkyho diody pro zlepšení vlastností signálu.

Na obrázku níže je vidět hotová konstrukce desky plošného spoje pro měření a regulaci.



Obr. 8.3: Realizovaná deska plošného spoje pro měření a regulaci

9 MIKROKONTROLÉR ATMEGA168

Hlavní řídicí jednotkou celého termostatu je mikrokontrolér od firmy Atmel, ATmega168. Původně se plánovala verze s menší pamětí flash ATmega8, ale v důsledku nedostatku paměťového prostoru a některých horších vlastností (větší napájecí napětí) se přešlo k této verzi. Některé jeho důležitější vlastnosti jsou: 16kB vnitřní programovatelná FLASH paměť, kam se ukládá samotný program, 1kB SRAM, 512kB EEPROM, který slouží pro trvalé ukládání dat, až pět různých úsporných režimů, možnost připojení SPI rozhraní pro in-system programming, dva 8 bitové čítače/časovače a jeden 16 bitový, analogově-číslicový převodník, možnost pro různé vnitřní a vnější přerušení a mnoho periférií. Jedna z výhod je také to, že ATmega168 umí pracovat od poměrně nízkého napětí 2,7V až do 5,5V při maximální frekvence 0-10MHz při 2,7V-5,5V a 0-20MHz při 4,5V-5,5V. V následující části se popíše problematika spánkových režimů.

9.1 Spánkové režimy

Mikrokontrolér má následující spánkové režimy: **Idle**, **ADC Noise Reduction**, **Power-down**, **Power-save**, a **Standby**. V další části se popíší hlavní vlastnosti všech úsporných režimů a vyjmenují se některé důležitější přerušení na které mikrokontrolér reaguje.

Idle mód – Když se mikrokontrolér přepne do tohoto módu, zastaví se CPU, ale dále funguje většina částí, např. analogový komparátor, A/D převodník, TWI, Čítač/Časovač a systém přerušení. Idle mód umožňuje procesoru probudit se pomocí externích i interních přerušení, jako např. přetečení časovače.

ADC Noise Reduction mód – V překladu by se to mohlo nazývat A/D převod při sníženém šumu. Při použití tohoto módu se zastaví činnost procesoru, ale dále funguje A/D převodník, externí přerušení, sledování adres na lince TWI, Čítač/Časovač a také Watchdog, když je povolen. Při tomto módu se vlastně díky sníženým činnostem v procesoru zlepší podmínky pro A/D převodník. Zlepší se rozlišení měření. Když je A/D převodník aktivovaný, tak po vstupu do tohoto módu se automaticky spustí A/D konverze. Když se dokončí převod, vygeneruje se přerušení, na který se mikrokontrolér probudí. Kromě tohoto přerušení reaguje i na jiné typy přerušení, jako např.: externí reset, watchdog reset, přerušení čítačem/časovačem, nebo Brown-out reset. Tento poslední typ resetu funguje tak, že při naprogramování mikrokontroléru se pomocí tzv. fuse bitů nastaví jistá úroveň napětí (pomocí kombinace 3 bitů), pod kterou když spadne napájecí napětí, tak vyresetuje mikrokontrolér. Má to využití v případech, když se v důsledku příliš nízkého napájecího napětí nemůže zaručit správná funkce mikrokontroléru. Například při nízkém napětí nefunguje zápis do paměti EEPROM.

Power-down mód – V tomto módu je externí oscilátor vypnutý, přičemž externí přerušení, sledování adres na lince TWI a watchdog fungují dál. Z tohoto stavu může mikrokontrolér probudit např. externí reset, watchdog reset, watchdog přerušení, Brown-out reset, rovnající se adresa s adresou na TWI lince, nebo externí přerušení na linkách INT0 a INT1. Probuzení z módu Power-down není okamžité, ale trvá nějakou krátkou dobu při kterém má krystal dostatek času aby se nastartoval a oscilace se stabilizovala.

Power-save mód – Tento mód je kromě jediné záležitosti stejný, jako Power-down mód. Když je aktivovaný čítač/časovač, tak ty budou běžet i během spánkového režimu. Zařízení se může probudit při přetečení čítače, nebo při dosažení rovného stavu porovnávacího čítače/časovače. Samozřejmě aby se tak mohlo stát, musí se povolit globální přerušení v SREG registru. V tomto módu se musí hledět ještě na jednu „nedokonalost“ a to, že i když běží hodinový signál, je dostupný jenom pro čítač/časovač2.

Stand-by mód – Tento mód je totožný s Power-down módem až na jednu výjimku a to, že oscilátor stále běží. Z tohoto módu se mikrokontrolér probudí za 6 hodinových cyklů.

V důsledku toho jak funguje celý hardware a software, se některé spánkové režimy z principu nemůžou používat. Je to z toho důvodu, že zařízení ke svému korektnímu běhu potřebuje, aby běželi oba čítače. **Idle** mód vyhovuje svými podmínkami, protože při vstupu do tohoto módu nadále fungují čítače/časovače a zařízení taky reaguje na externí přerušení. Mód **A/D převod při sníženém šumu** slouží hlavně pro přesnější měření napětí, jinak jsou jeho vlastnosti skoro totožné s Idle módem. V **Power-down** módu se vypne veškerá generace hodinových signálů, čili také všechny čítače/časovače. Jak se na začátku psalo, softwarová část nutně potřebuje ke své činnosti čítač, takže tento mód je zcela nepoužitelný. **Power-save** mód má stejné vlastnosti, jak Power-down mód s tou výjimkou, že se synchronní hodinový signál generuje, ale pouze pro čítač/časovač2. Tento mód se teda taky nemůže používat pro tento účel. Poslední mód

Stand-by je taky totožný co se týče vlastností s módem Power-down, s tou výjimkou, že při tomto módu zůstává oscilátor běžet. To znamená, že sice je tento mód použitelný, ale mikrokontrolér bude mít větší odběr proudu jak ve stavu, když oscilátor neběží. Z této úvahy plyne, že nejlepší volba je použití Idle módu.

9.2 Přerušeni

Mikrokontrolér obsahuje celkem 26 různých přerušeni. Ze všech se používá celkem pět, které jsou následující:

INT0 – externí přerušeni: používá se pro signalizaci zmáčknutí tlačítka.

INT1 – externí přerušeni: používá se pro signalizaci změny typu napájení.

TIMER1 COMPA – čítač/časovač A, rovnost při porovnávání: má vícero využití. Používá se hlavně pro generace přesného času a počítání časových prodlev pro různé činnosti.

TIMER0 OVF – čítač/časovač přetečení: používá se pro generování uměle vytvořené časové prodlevy (timeout) pro sběrnici I₂C, která původně ve specifikaci neexistuje.

ADC – přerušeni pro signalizaci dokončení převodu A/D: jak už z názvu plyne, slouží pro signalizaci dokončeného A/D převodu.

9.3 TWI rozhraní (I₂C)

Sběrnice TWI je ideální pro spojení typických aplikací pomocí mikrokontrolérů. Hlavní jeho výhodou je, že používá pouze 2 vedení pro komunikaci. Linka pro přenos dat se nazývá SDA a pro přenos hodinového signálu SCL. Hodinový signál vysílá vždy to zařízení, které data právě vysílá. Pomocí 7 bitové adresace je umožněné připojení až 128 různých Slave zařízení. Je umožněno taky připojení více jednotek master a zařízení mohou pracovat jako vysílač, nebo přijímač. Maximální frekvence pro SCL je 400kHz což znamená, že maximální datový tok je 400kbit/s. Jediný externí hardware, který je potřebný pro implementaci této sběrnice je odpor pull-up a to jak pro SDA, tak pro SCL linku. Je to z toho důvodu, že všechny zařízení které se připojují na TWI sběrnici jsou typu otevřený kolektor. Na sběrnici se vygeneruje logická 0 tehdy, když zařízení které vysílá data vztáhne SDA k zemi. Když chceme vygenerovat na sběrnici log1, tak se to uskutečňuje tak, že vysílač svůj výstup přepne do stavu vysoké impedance a v tom případě se dostane na datovou linku napětí přes odpor pull-up, které symbolizuje log1. Jak už bylo mnohokrát psáno, I₂C norma definuje maximální kapacitu mezi vodiči 400pF. Toto platí i v případě ATmega168. Generace datového toku je řízena pomocí hodinové frekvence na SCL. Perioda hodin se nastavuje pomocí registrů TWBR (TWI Bit Rate Register) a pomocí bitů pro dělení frekvence v registru TWSR (TWI Status Register). Samozřejmě tyto nastavení nemají vliv na případ, kdy data vysílá Slave zařízení. Tato skutečnost se ale tohoto termostatu netýká, protože komunikaci v každém případě uskutečňuje Master. Kmitočet pro TWI, se volil co nejnižší, aby se tak mohlo dosáhnout co největších vzdáleností na lince. Přenosová rychlost není prioritou tohoto zařízení. Frekvence se může vypočítat podle následujícího vzorce [15]:

$$SCL_frequency = \frac{CPU_Clock_frequency}{16 + 2 \cdot (TWBR) \cdot TWPS} \quad (12)$$

$$SCL_frequency = \frac{10MHz}{16 + 2 \cdot (250) \cdot 4}$$

$$\underline{SCL_frequency = 4,96kHz}$$

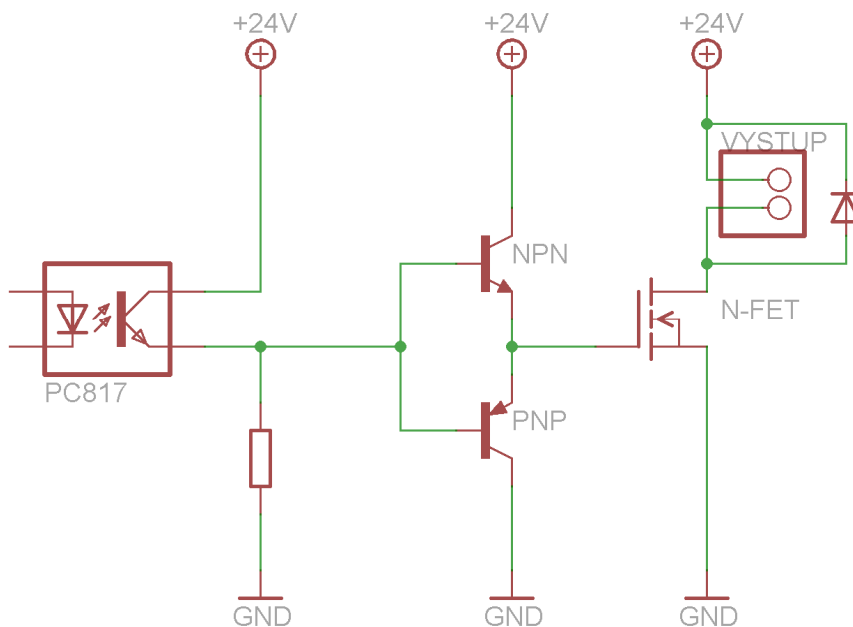
TWBR – Hodnota registru pro nastavení bitové rychlosti je 8 bitový registr, a jeho hodnota se volila 250.

TWPS – Hodnota pro dělení kmitočtu se může zvolit z hodnot: 1, 4, 16, 64. Zvolila se hodnota 4.

10 ROZŠÍŘENÍ MOŽNOSTÍ OVLÁDÁNÍ

Původní myšlenka celého zařízení je, že se tok vody bude ovládat pomocí servo motůrků. Toto ovšem není jediné řešení, které by se dalo aplikovat díky tomuto zařízení. Ve většině případů se totiž používají tzv. elektromagnetické solenoidové ventily. Solenoid funguje tak, že převádí elektrickou energii na mechanickou. V případě elektrického motoru je výsledkem točící se rotor, kdežto solenoid generuje jenom krátký mechanický pohyb. Solenoidy se skládají z navinuté cívky kolem pohyblivého železného jádra, pístu. Když cívku protéká proud, tak železné jádro se pohne směrem k prostředku solenoidu. Budící proud může být stejnosměrný, střídavý nebo dokonce pulsně-šířkově modulovaný PWM. Používání stejnosměrného napětí nebo střídavého je nejjednodušší. Ovšem používání PWM signálu je nejlepším řešením. Z pohledu elektromagnetismu je obyčejné střídavé napětí a PWM signál velice podobné. V případě PWM signálu se ale dá regulovat tzv. činitel plnění (duty faktor). Ve stavu, když je železné jádro vysunuté je indukce malá a protékající proud veliký. Při pohybu pístu směrem do cívky, indukce cívky roste a protékající proud klesá. Tento počáteční proud se nazývá náběhový proud, který je přítomný jenom po krátkou dobu, až dokud píst není vsunut úplně dovnitř cívky. Náběhový proud je užitečný, protože dovoluje použití většího spouštěcího proudu, který generuje větší počáteční sílu pro rozjždění pístu. Když je píst vztažen dovnitř, už není potřeba tolik síly pro jeho udržení v aktuálním stavu, a tudíž není potřeba tak velkého protékajícího proudu přes cívku. To je ten hlavní důvod, proč je nejlepším řešením právě PWM napájení. Po počátečním širším pulsu je možné zmenšit šířku na takové minimum, které je ještě postačující pro udržení pístu v pozici. Solenoid, který byl vytvořen pro ovládní pomocí PWM má malý odpor cívky. Kdyby se pro takový solenoid použilo stejnosměrné napětí, cívka by se dosti zahřála, nebo dokonce i vyhořela. Většina komerčních ovládacích prvků funguje právě podle těchto poznatků, čili po krátkou dobu se posílá stejnosměrné napětí na cívku a pak se přepne do PWM módu s určitým činitelem plnění. Frekvence pro PWM se používá několik desítek kHz (např. 24kHz). Díky této metody se šetří elektrickou energií a v důsledku toho je elektronika i samotný solenoid chladnější a celkově zařízení spolehlivější.

Solenoidy obvykle pracují na větších napájecích napětích a to jak střídavých, tak stejnosměrných. Typicky se vyskytují napětí střídavé: 24V~, 42V~, 110V~ nebo dokonce i 230V~ (50/60Hz). Stejnosměrné jsou například: 24V₌, 110V₌ nebo 205V₌. Pro oddělení silové části a generátoru signálu PWM se používá optron. Aby bylo možné pomocí optronu spínat takové relativně vysoké napětí (v porovnání s napájecím napětím pro MAX6615, +5V₌), bylo by potřeba použití malého spínacího obvodu. Schéma takového obvodu se nachází na následujícím obrázku:



Obr. 10.1: Schematické zapojení pro řízení elektromagnetického solenoidového ventilu

Pro použití tohoto řešení by bylo potřeba stávající desku pro měření a regulaci doplnit touto částí, nebo jednodušeji připojit externě desku plošného spoje, které by obsahovalo toto zapojení. Ve stávajícím řešení se používá invertovaný PWM signál, který by vyhovoval i v případě tohoto zapojení. Aby pak obvod korektně fungoval, musel by se buď vynechat kondenzátor, nebo zvětšit jeho hodnota maximálního napětí na hodnotu vyšší, jak je napájecí napětí. V takovém případě by se tato přídatná deska musela připojovat na svorky s označením „SIGNAL“ a „GND“. Samozřejmě se musí taky rozhodnout, který odpor se nechá v obvodu.

Jak je z popisu vidět, ovládání toku vody pomocí elektromagnetického solenoidového ventilu je možné pomocí stávajícího návrhu, ale byla by potřeba tento doplněk samozřejmě i softwarově řešit. Solenoidové řešení má tu nevýhodu oproti ovládání pomocí servo motorů, že ve stavu otevřeném má trvalý odběr proudu. Pro řešení této nevýhody se zkonstruovali solenoidy s mechanickým přidržením. Funguje to tak, že zatímco v původní koncepci se pro udržení používá stálý proud, tak v této konstrukci píst drží v dané pozici permanentní magnet. Pak pro vysunutí pístu je potřeba jenom vyvinout na krátkou dobu větší sílu jak je přitažlivá síla magnetu a píst se dostane do základní pozice. Jistá nevýhoda tohoto řešení je, že se musí umět vyrobit proud protékající jedním, i druhým směrem přes cívku, aby se zabezpečil pohyb do obou směrů. Servo motory nemají v ustáleném stavu žádný odběr proudu, jenom při nastavování svých pozic. Při pohybu jsou ale hlučnější jak solenoidy a to může být v jistých aplikačních oblastech nevýhoda.

11 POPIS MENU A SOFTWARE

Ovládání termostatu je řízeno pomocí komplexního softwaru, který reaguje na počiny uživatele a změnu teplot a následně dle napsaného algoritmu vykonává úkoly. V této části práce se nachází hrubý popis fungování softwaru. Podrobnější rozpis se nachází v samotném zdrojovém kódu, který je kvůli velkému rozsahu přítomen jenom na přiloženém médiu DVD. Do přílohy E je přidán jednoduchý vývojový diagram ovládacího programu.

Velkou část softwaru tvoří samotné menu. Položky menu jsou uloženy do programové paměti FLASH a nezabírají místo v SRAM. Menu je rozděleno vlastně na 2 části. V první se nastaví pomocí tlačítek ukazatele na jednotlivé části podmenu. Pomocí těchto ukazatelů se v druhé části vykreslí aktuální zvolené menu, nebo se mění nějaká jejich část. Struktura menu se nachází v příloze pod jménem: D Struktura ovládacího menu.

Při zapínání se zobrazí menu, ze kterého si může uživatel vybrat, která data chce načíst do zařízení. Ty mohou být buď data uložená v EEPROM, nebo předem nadefinovaná data ze softwaru (pro ofsety, teplotní programy a přiřazování). Na hlavní obrazovce je zobrazován aktuální čas, den, dále se tady zobrazuje symbol baterie v případě, že termostat běží z baterií a nejdůležitější část, kde jsou vykreslené všechny pokoje a jejich aktuální teplota. Je to vlastně seznam senzorů, kterých je až 9 kusů (maximálně 9 různých adres). V další části se bude vyskytovat hlavně pojem senzor, který je ale vlastně regulátor i měřič teploty v jednom. Sensory se jmenují Room1, Room2, až Room9 proto, že se počítá s tím, že v každé místnosti kde se bude regulovat teplota se bude nacházet právě jeden takový prvek. V případě, že některý senzor není připojen na sběrnici, nefunguje korektně, nebo se vyskytne nějaký problém na vedení, vykreslí se za jeho jméno vykřičník (!). Pomocí tlačítek nahoru a dolů můžeme projít všechny pokoje. Všechny menu jsou rotační.

Když se na hlavní obrazovce zmáčkne tlačítko OK, dostaneme se do servisního menu. První položka se nazývá SCHEDULE (v překladu: rozvrh, plán). Slouží k podrobnému nastavení požadovaných teplot pro jednotlivé místnosti v závislosti na času a dnu v týdnu. Podrobnější popis se nachází níže. Druhá položka nese název SET TIME a slouží pro nastavení času a dne. Třetí položka je SET OFST, která slouží pro nastavení ofsetové hodnoty pro každý senzor zvlášť. Čtvrtá a pátá položka neslouží na žádné nastavení, ale slouží jenom pro kontrolu. Jsou to SENS ENU a VOLTAGE. Když se vjede do položky SENS ENU, proběhne algoritmus, který zjistí které čidla jsou přítomné na sběrnici. Přítomný senzor dostane své pořadové číslo, které odpovídá její adrese. Nepřítomný zůstane na hodnotě 0. Položka VOLTAGE slouží pro kontrolu hodnoty napětí. Je realizován z důvodu, aby se mohlo měřit napětí na bateriích a podle stavu rozhodnout jaký symbol se zobrazuje na LCD displeji (plná baterie, poloprázdná a prázdná baterie). V důsledku skutečnosti vzpomínaného v popisu hardwaru, že LCD pod hodnotou napětí +4V nefunguje, se však tyto symboly nezobrazují. Ve většině částí menu, kde je potřeba, se nachází taky tlačítko BACK. Slouží pro skok zpět na předešlou úroveň v menu.

V položce SCHEDULE se nachází 3 položky (+BACK). Tyto jsou pojmenovány: ROOM SCHEDULE, CONFIG PRESETS a SAVE TO EEPROM. V položce ROOM PRESETS je možné nastavit pro každý pokoj zvlášť požadovaný přednastavený tzv.

Preset (program) a to dokonce s možností pro každý den v týdnu různý. Nejprve se vybere požadovaný pokoj, nebo pomocí tlačítka EVERY ROOM všechny pokoje naráz. Pak se vybere den v týdnu, na který se má aplikovat Preset. Tady se nachází taky možnost vybrat všechny dny v týdnu naráz (EVERY DAY). Po výběru požadovaných Preset-ů pro všechny dny v týdnu se zobrazí symbol fajky po názvu pokoje což znamená, že pokoj má nastavený plán pro celý týden. V posledním kroku, kdy se vybírá Preset pro pokoj se nachází položka CLEAR PRESET, pomocí které se odebere přiřazený Preset od pokoje.

Celkový maximální počet Preset-ů je osm, které se nastavují v položce CONFIG PRESETS. V případě nevyplněného Presetu se po názvu Presetu ukazuje symbol „[x]“ a v případě vyplněného „[OK]“. Při návrhu bylo dospěno k závěru, že takový počet by teoreticky měl vyhovět většině aplikací tohoto termostatu. V tomto menu se volí Preset, který chceme nastavit. Nachází se tady taky možnost výběrů všech osm položek naráz. Po stisku OK na požadovaném Preset-u, se dostává uživatel do nastavovacího menu. Každý den je rozdělen na 5 časových úseků. Tomuto limitu se dospělo taky teoretickou úvahou. Na prvním úseku se musí nastavit počáteční časová hodnota, koncová a požadovaná teplota v tomto intervalu. Časové rozlišení je 10 minut. Po posunu na druhý interval se nastavená koncová časová hodnota z prvního intervalu překopíruje automaticky do počáteční časové hodnoty intervalu č. 2 a taky teplota se překopíruje. Tady se musí nastavit už jenom koncová hodnota a požadovaná teplota. Tímto způsobem se dojde až do pátého intervalu, kde počáteční hodnota bude koncová hodnota předešlého intervalu a koncová hodnota se nastaví na počáteční hodnotu prvního intervalu, aby byl celý kruh uzavřen. Program nedovoluje přiřadit nevyplněný Preset k pokojům. Když je nějaký Preset korektně nastaven, zobrazuje se před ní symbol fajky.

Na konci nastavovacího procesu je doporučené uložit všechny uskutečněné změny pomocí položky SAVE TO EEPROM do stálé paměti EEPROM, kde nedochází k častým prepisům dat. Je to ideální úložný prostor pro případ beznapětového stavu. Pro dny kde není nastaven žádný plán (značené „<none>“), je výchozí nastavení takové, že je ventil uzavřen.

Při nastavování intervalů, teplot a offsetů se používají lokální proměnné jako úložní prostor. V položce SET OFST po kliknutí na <-BACK se ukládají data do paměti EEPROM. V případě nastavování hodnot v položce SCHEDULE by byla tato možnost zbytečná, protože zatímco ofsety se ideálně nastaví jednou (jeden zápis do EEPROM), tak nastavování Presetů a jejich přiřazování k pokojům se může vykonat vícekrát. Proto se přidala do tohoto menu položka SAVE TO EEPROM (uložení do EEPROM).

Regulace teploty funguje tak, že každou minutu se uloží aktuální teplota a po 4 minutách se z nich pomocí jednoduchého průměru vypočte průměrná teplota. Bylo by vhodnější použití lepšího zprůměrování, jako např. IIR filtru (dolní propust), ale důsledkem toho, že by se muselo použít emulované operace s čísli v plovoucí řádové čárce, nárůst kódu by byl nepřiměřený a nepřijatelný. S vypočtenou průměrnou teplotou se porovnává nastavená předvolená teplota a v případě neshody se vykoná adekvátní reakce servo motorů. Když jsou všechny teploty v místnostech nad nastaveným prahem, tak relé změní svůj aktuální stav a tím vypne samotnou kotel. Když se uživatel nachází v jakémkoli podmenu, nebude běžet část programu, která je zodpovědná pro komunikaci s řídicími a měřicími deskami. Proto je vždy potřeba vrátit se na hlavní

obrazovku. Tato vlastnost se přidala do softwaru schválně, protože v důsledku nutnosti používání aktivních čekání byl pohyb v menu nekomfortní. Aktivní čekání se musí používat při komunikaci s regulačními deskami (300ms konverze teploty, 200ms nastavení serva), protože při jiném řešení (Timeout) v době, kdy by měl být MAX6615 teoreticky vypnut, servo motory kmitali mezi dvěma stavy.

Níže se nachází krátký popis jednotlivých modulů, které se používají v softwarové části:

main.c – zahrnuje práci s menu, zjištění přítomnosti senzorů, komunikace s deskami pro měření a regulaci a samotný hlavní program, ve kterém se používají níže popsané moduly.

regulation.c – jsou v něm napsané funkce, které se používají při regulaci. Zahrnuje také funkce které mají na starost zápis a vyčtení konfiguračních dat do/z EEPROM paměti.

adc.c – slouží pro měření napájecího napětí na vstupu PC3. Při bateriovém napájení se automaticky vykoná jednou za sekundu, aby se zjistil jejich stav.

custom_chars.c – jsou tady uložené speciální vlastní znaky.

pwr.c – má na starosti zjištění skutečnosti kdy zařízení běží z baterií a signalizaci tohoto stavu.

btn.c – pozorování stavu tlačítek je založeno na přerušení. Funguje tak, že po zmáčknutí se přeruší běh programu a zjistí se které tlačítko bylo zmáčknuté.

twi.c – vyřizuje se pomocí ní komunikace na sběrnici I₂C. Zahrnuje jenom komunikaci v master módu, protože MAX6615 nemůže převzít funkci masteru.

lcd_c.c – slouží pro vykreslování znaků na LCD displeji.

timer.c – jsou tady definovány hodiny a časovače pro různé účely (např. vykreslování menu, časovač pro vyčtení dat ze senzorů a spouštění regulace).

ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je kompletní návrh a realizované řešení programovatelného termostatu. Dle požadavků je zařízení možné napájet z adaptéru i z baterie, má LCD displej a umožňuje regulovat teplotu ve více místnostech současně.

Hlavní řídicí jednotkou je mikrokontrolér od firmy Atmel Corporation, ATmega168. Pro komunikaci se zvolil standard I²C, který však v základu nemá dostatečný dosah, ale díky řešení pomocí přídavného čipu od Texas Instruments P82B96 se tento nedostatek odstranil. Hlavní řídicí mikrokontrolér komunikuje s čipy od Maxim Integrated Products, Inc. MAX6615, které v požadovaných místnostech měří a regulují teplotu. Pro samotnou regulaci se v návrhu používají modelářské servo motůrky, ale v reálné situaci by bylo možné s malou přídavnou úpravou v deskách plošných spojů připojit i solenoidové elektromagnetické ventily, které jsou v praxi nejrozšířenějšími řídicími prvky v oblasti ovládání toku kapalin.

Nastavení vytápěcích denních režimů je řešené tak, že je možné nastavit až 8 různých programů, ze kterých uživatel vybere pro každou místnost a každý den v týdnu nejvhodnější. Jeden 24 hodinový denní program je rozdělen na 5 intervalů. Nastavení výchozích časů a koncových časů v intervalech a požadovanou teplotu nastavuje uživatel dle vlastní volby. Nejmenší časové rozlišení při nastavování intervalů je 10 minut. Po nastavení programů a jejich přiřazení k pokojům a dnům v týdnu se doporučuje data uložit do paměti, aby se v případě výpadku napájení tyto data uchovali.

Práce splňuje zadání a některé požadavky řeší více způsoby, jako například možnost řízení pomocí servo motorů a k tomu ještě návrh pro řízení pomocí elektromagnetického solenoidu.

Případným rozšířením této práce po straně hardwaru by mohlo být realizace části pro řízení pomocí solenoidu a úprava softwaru pro přídavnou část. Dalším přídavkem by mohlo být použití IIR filtru pro zprůměrování, ale v tom případě by bylo potřeba použití jiného mikrokontroléru s větší pamětí. Zcela zásadním rozšířením, které by ale vyžadovalo úplně nový návrh zařízení, by mohlo být použití bezdrátového přenosu dat (např. pomocí standardu ZigBee), anebo řešení komunikace skrz elektrickou rozvodnou síť.

LITERATURA

- [1] KREIDL, M. Měření teploty - senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005.
- [2] Datasheet MAX6615. Oficiální stránka společnosti Maxim Integrated Products, Inc. [online]. 2008 - [cit. 6. květen 2009]. Dostupné na WWW: <<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX6615-MAX6616.pdf>>
- [3] Datasheet LCD MC1602E-SYR6. Oficiální stránka společnosti GM Electronic. [online]. 2009 - [cit. 31. prosinec 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-069/dsh.513-069.2.pdf>
- [4] Comparing the I²C Bus to the SMBus. Oficiální stránka společnosti Maxim Integrated Products, Inc. [online]. 2000 - [cit. 31. prosinec 2009]. Dostupné na WWW: <<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN476.pdf>>
- [5] THE I²C-BUS SPECIFICATION. Oficiální stránka společnosti NXP Semiconductors. [online]. 2000 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.nxp.com/acrobat_download2/literature/9398/39340011.pdf>
- [6] Philips i2c logic overview. Oficiální stránka společnosti NXP Semiconductors. [online]. 2004 - [cit. 31. prosinec 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.nxp.com/acrobat_download2/various/philips_i2c_logic_overview.pdf>
- [7] Datasheet Dual bidirectional bus buffer. Oficiální stránka společnosti NXP Semiconductors. [online]. 2009 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/P82B96.pdf>
- [8] RC extreme Shop [online]. 2007 [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <http://www.rcextremeshop.com/loja/images/SERVO_HTX500.jpg>
- [9] DIETMEIER, U.: Vzorace pro elektroniku, BEN - technická literatura, Praha, 1999
- [10] Thermistors in Single Supply Temperature Sensing Circuits. Oficiální stránka společnosti Microchip Technology Inc. [online]. 2002 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00685b.pdf>>
- [11] Using Thermistors in Temperature Tracking Power Supplies. Oficiální stránka společnosti Maxim Integrated Products, Inc. [online]. 2001 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/817>>
- [12] Vishay BCcomponents, NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. Oficiální stránka společnosti Vishay Intertechnology, Inc. [online]. 2009 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.vishay.com/docs/29049/23816403.pdf>>
- [13] Vishay BCcomponents, Computation spreadsheet for VISHAY BC components of reference 2381 640 0, 3, 4, 5 and 640 6 series. Oficiální stránka společnosti Vishay Intertechnology, Inc. [online]. 2009 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <<http://www.vishay.com/docs/29104/cc6400c1.xls>>

- [14] Datasheet spínaný regulátor napětí DC-DC LM2575T-05. Oficiální stránka společnosti GM Electronic. [online]. 2009 - [cit. 31. prosinec 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/330/330-086/dsh.330-086.1.pdf>
- [15] Datasheet ATmega168. Oficiální stránka společnosti Atmel. [online]. 2009 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2545.pdf>
- [16] Datasheet DUAL BIDIRECTIONAL BUS BUFFER. Oficiální stránka společnosti Texas Instruments. [online]. 2007 - [cit. 18. květen 2010]. Dostupné na WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/p82b96.pdf>>
- [17] Datasheet bistabilní relé RELEAL-D-5WK. Oficiální stránka společnosti GM Electronic. [online]. 2009 - [cit. 31. prosinec 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/634/634-324/dsh.634-324.1.pdf>

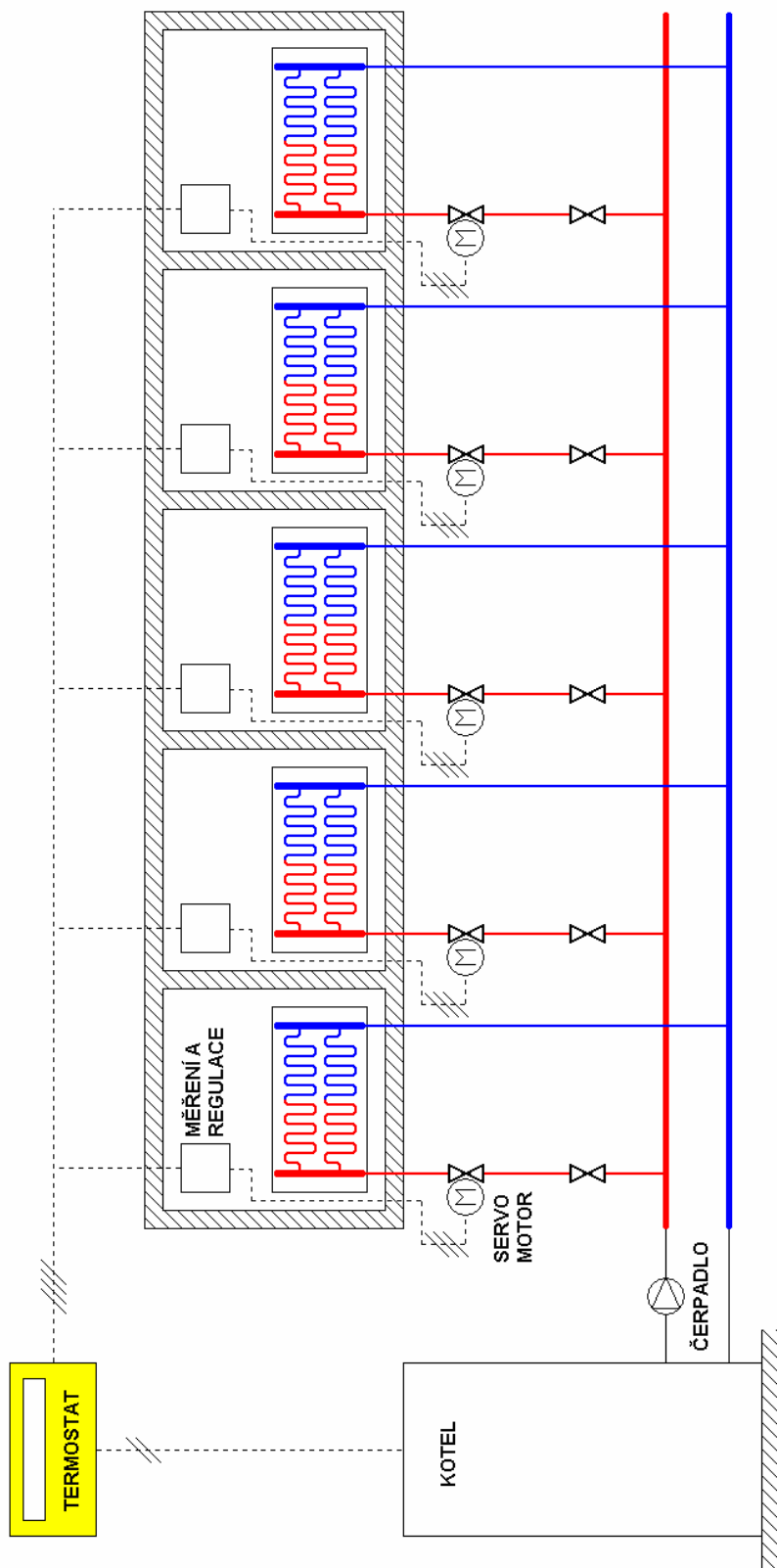
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

σ	konduktivita
e	elementární náboj
τ	relaxační čas elektronů
m	efektivní hmotnost nosiče náboje
α	teplotní součinitel odporu
k	Boltzmannova konstanta
R	odpor
NTC	negative temperature coefficient, negativní teplotní koeficient
PTC	positive temperature coefficient, pozitivní teplotní koeficient
A	je konstanta závislá na geometrickém tvaru a materiálu termistoru
B	teplotní konstanta daná materiálem termistoru
T	termodynamická teplota (K)
I_S	saturační proud diody v závěrném směru
SMBus	System Management Bus
PWM	pulzní šířková modulace (Pulse Width Modulation)
MSB	nejvíce významný bit (Most Significant Bit)
LSB	nejméně významný bit (Least Significant Bit)
DC	stejnoseměrný proud (Direkt Current)
AC	střídavý proud (Alternating Current)
A/D	analogově číslicový (převod) (Analog to Digital)
I ² C	Inter-Integrated Circuit
TWI	dvouvodičové sériové rozhraní (Two-wire Serial Interface)
MCU	jednotka mikrokontrolér (Micro Controller Unit)
ACK	potvrzení (Acknowledge)
SCL	hodinový signál (Clock)
SDA	datová linka (Data)
FET	tranzistor řízený polem (Field Effect Transistor)
LUT	vyhledávací tabulka (Look-Up Table)
DPS	deska plošného spoje
SPI	Serial Peripheral Interface
UTP	nestíněný kroucený pár drátů (Unshielded Twisted Pair)
CPU	centrální výpočetní jednotka (Central Processing Unit)
IIR	Nekonečná impulsní odezva (Infinite impulse response)

SEZNAM PŘÍLOH

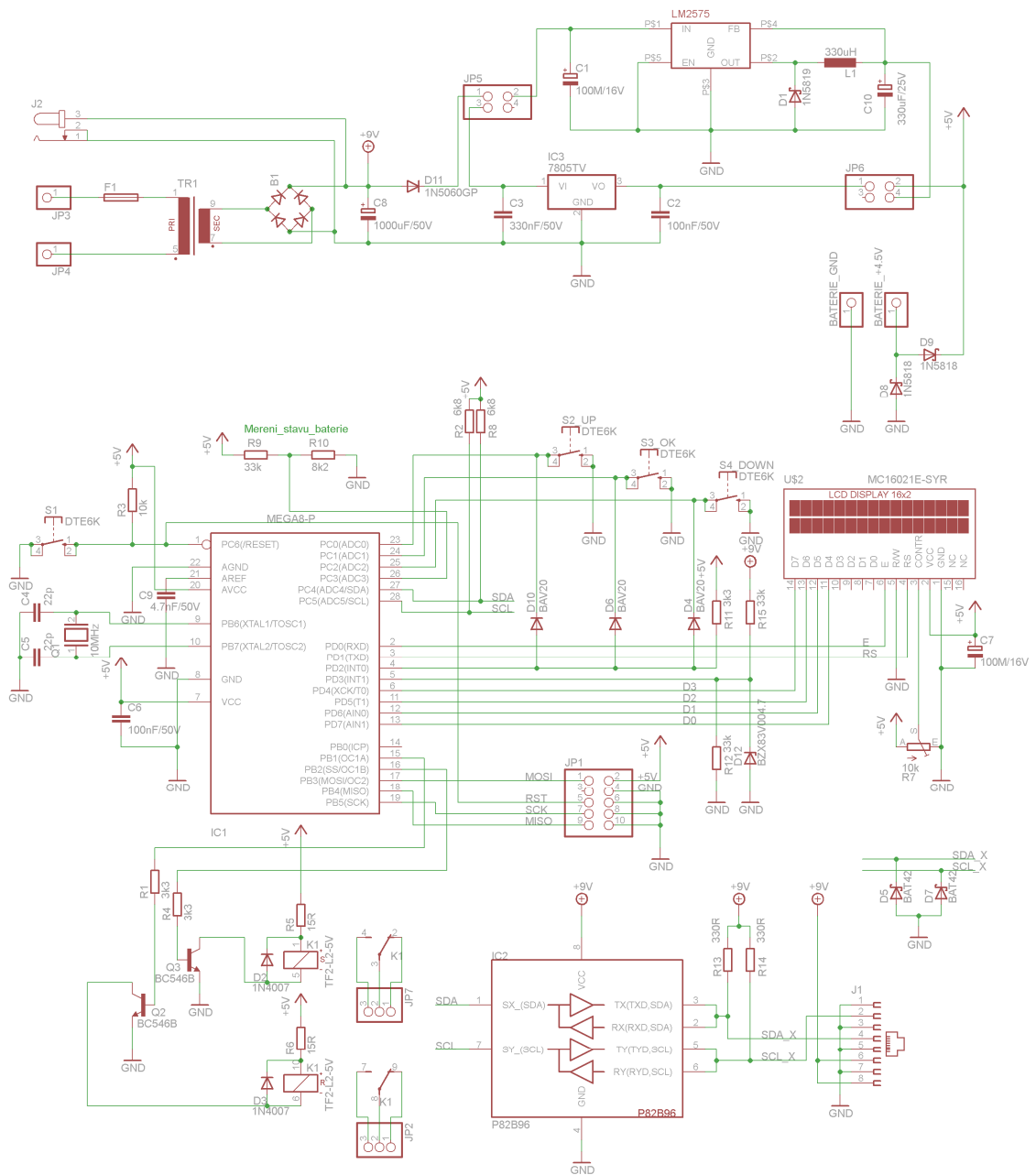
A	Funkční schéma	50
B	Návrh zařízení	51
B.1	Obvodové zapojení – část: Termostat.....	51
B.2	Deska plošného spoje – část: Termostat – top (strana součástek)	52
B.3	Deska plošného spoje – část: Termostat – bottom (strana spojů).....	53
B.4	Obvodové zapojení – část: Měření a regulace	54
B.5	Deska plošného spoje – část: Měření a regulace – top (strana součástek)	55
B.6	Deska plošného spoje – část: Měření a regulace – bottom (strana spojů)	55
C	Seznam součástek	56
C.1	Seznam součástek pro <i>Termostat</i>	56
C.2	Seznam součástek pro <i>Měření a regulace</i>	58
D	Struktura ovládacího menu	59
E	Zjednodušený vývojový diagram	60

A FUNKČNÍ SCHÉMA

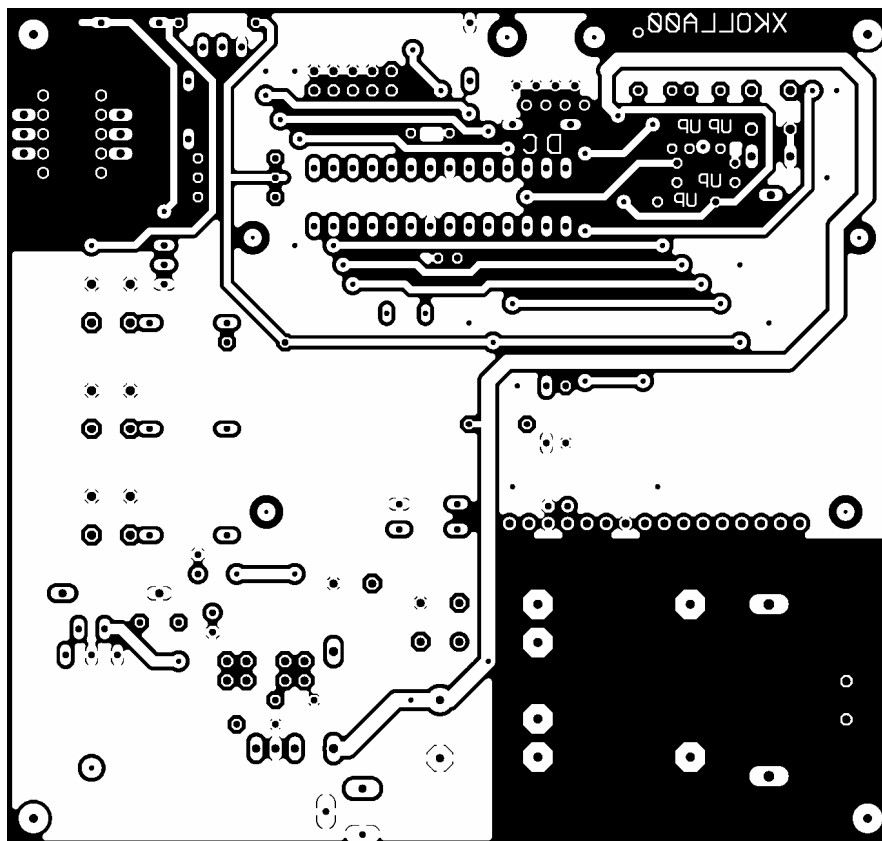


B NÁVRH ZAŘÍZENÍ

B.1 Obvodové zapojení – část: Termostat

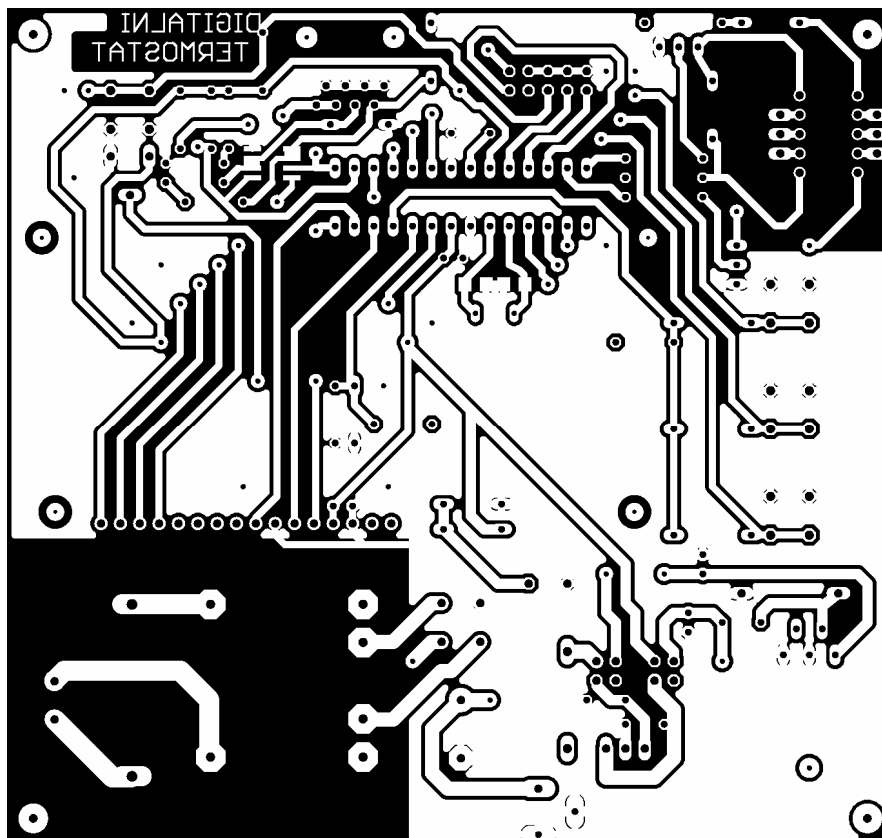


B.2 Deska plošného spoje – část: Termostat – top (strana součástek)



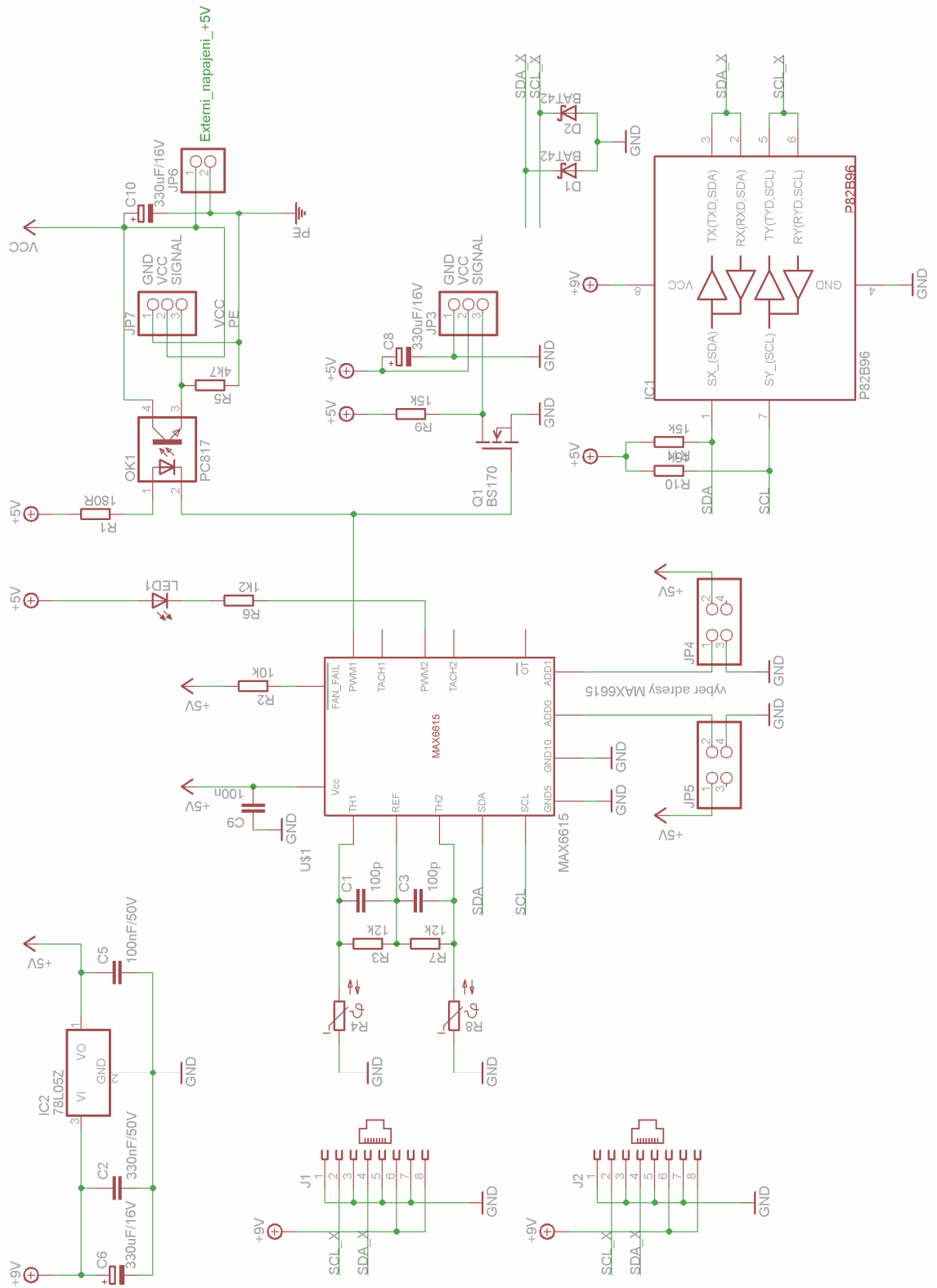
Rozměr desky 117,6 x 110,9 [mm], měřítko M1:1

B.3 Deska plošného spoje – část: Termostat – bottom (strana spojů)

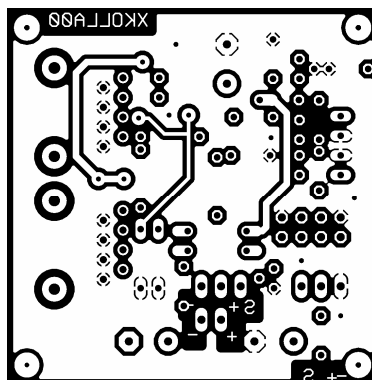


Rozměr desky 117,6 x 110,9 [mm], měřítko M1:1

B.4 Obvodové zapojení – část: Měření a regulace

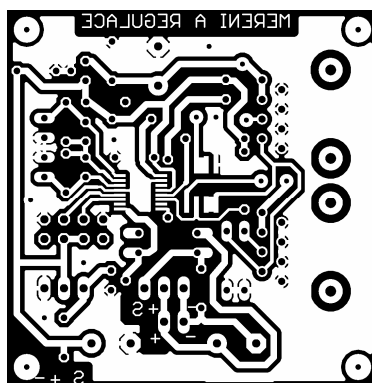


B.5 Deska plošného spoje – část: Měření a regulace – top (strana součástek)



Rozměr desky 49 x 49,7 [mm], měřítko M1:1

B.6 Deska plošného spoje – část: Měření a regulace – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 49 x 49,7 [mm], měřítko M1:1

C SEZNAM SOUČÁSTEK

C.1 Seznam součástek pro *Termostat*

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
B1	RB1A	RB1A	Diodový můstek
C1	100uF/16V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C2	100nF/50V	C025-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C3	330nF/50V	C025-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C4	22p	C1206	Keramický kondenzátor
C5	22p	C1206	Keramický kondenzátor
C6	100nF/50V	C-EU025-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C7	100uF/16V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C8	1000uF/50V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor
C9	4.7nF/50V	C050-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C10	330uF/25V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
D1	1N5819	F126Z12	Schottkyho dioda
D2	1N4007	DO34-7	Usměrňovací dioda
D3	1N4007	DO34-7	Usměrňovací dioda
D4	BAV20	DO35-10	Univerzální dioda
D5	BAT42	DO35-7	Schottkyho dioda
D6	BAV20	DO35-10	Univerzální dioda
D7	BAT42	DO35-7	Schottkyho dioda
D8	1N5818	DO35-7	Schottkyho dioda
D9	1N5818	DO35-7	Schottkyho dioda
D10	BAV20	DO35-10	Univerzální dioda
D11	1N5060GP	DO15-12	Usměrňovací dioda
D12	BZX83V004.7	DO34Z7	Zenerova dioda
IC1	MEGA168-P	DIL28-3	Mikrokontrolér
IC2	P82B96	SO-08	I ₂ C Bus Buffer
IC3	7805TV	TO220V	Stabilizátor napětí
IC4	LM2575	TO220-5PIN-1	Stabilizátor napětí
J1	WEBP 8-8 LP	215877-4	RJ45 zasuvka 8 pinů
J2	K375A	SPC4077	Napájecí konektor
JP1		2X05	Propojka
JP2		1X03	Propojka
JP3		1X01	Propojka
JP4		1X01	Propojka

JP5		2X02	Propojka
JP6		2X02	Propojka
JP7		1X03	Propojka
K1	RELEAL-D-5WK	TF2	Bistabilní relé
L1	09P-331K	0204/5	Tlumivka
LCD	MC16021E-SYR	TUXGR_16X2_R2	LCD displej
Q1	10MHz	Q	Krystal
Q2	BC546B	TO92-EBC	Transistor NPN
Q3	BC546B	TO92-EBC	Transistor NPN
R1	3k3	0207/10	Drátový rezistor
R2	6k8	0204/7	Drátový rezistor
R3	10k	0204/7	Drátový rezistor
R4	3k3	0207/10	Drátový rezistor
R5	15R	0207/10	Drátový rezistor
R6	15R	0207/10	Drátový rezistor
R7	10k	CA6V	Trimr
R8	6k8	0204/7	Drátový rezistor
R9	33k	0204/7	Drátový rezistor
R10	8k2	0204/7	Drátový rezistor
R11	3k3	0204/7	Drátový rezistor
R12	33k	0204/7	Drátový rezistor
R13	330R	0204/7	Drátový rezistor
R14	330R	0204/7	Drátový rezistor
R15	33k	0204/7	Drátový rezistor
S1		DTE6K	Tlačítkový spínač
S2_UP		DTE6K	Tlačítkový spínač
S2_OK		DTE6K	Tlačítkový spínač
S2_DOWN		DTE6K	Tlačítkový spínač

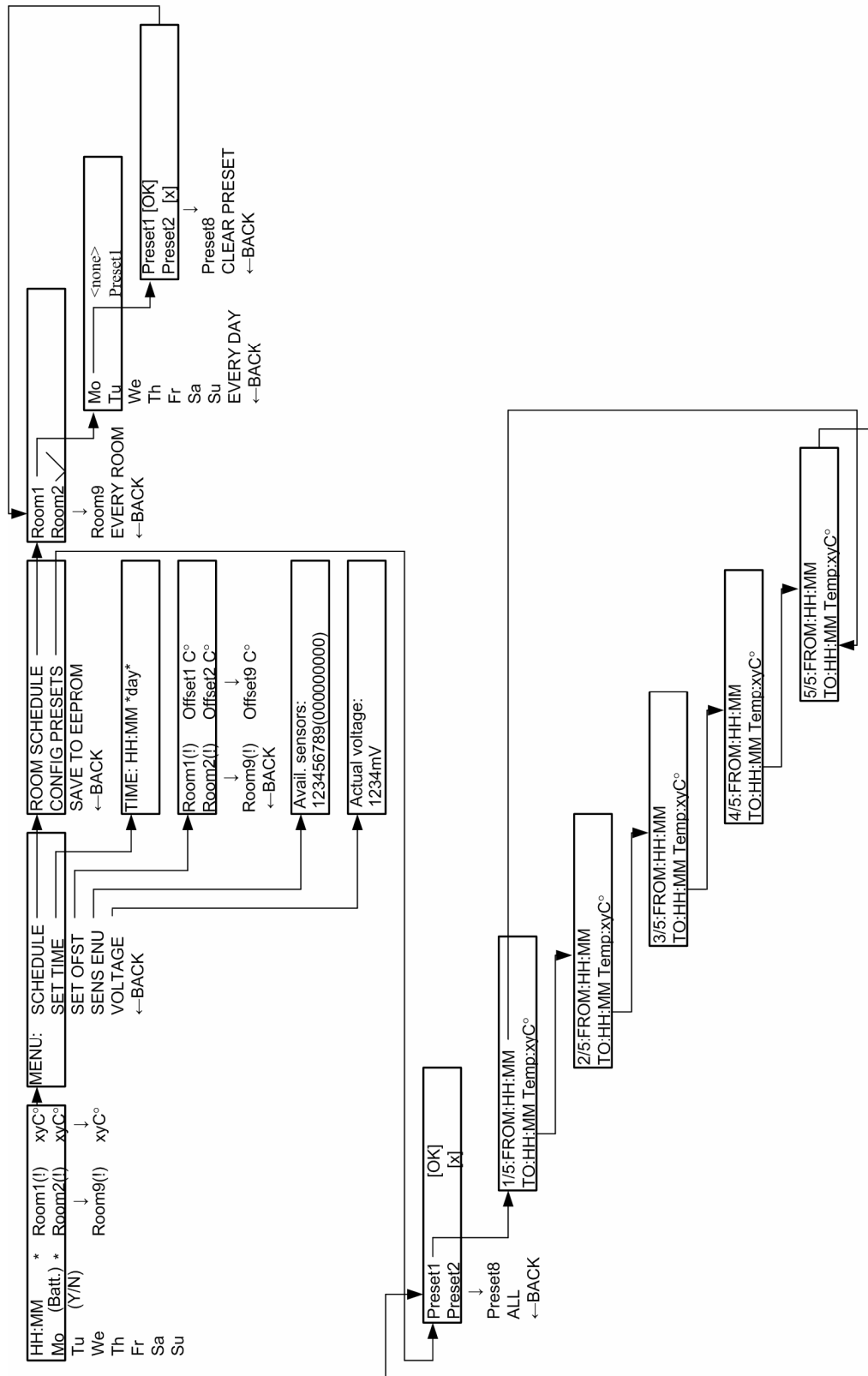
Volitelně:

F1		SH22,5	Pojistka
TR1	9V (2,6VA)	EI30-1	Transformátor

C.2 Seznam součástek pro *Měření a regulace*

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	100p	C025-024X044	Keramický kondenzátor
C2	330nF/50V	C050-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C3	100p	C025-024X044	Keramický kondenzátor
C5	100nF/50V	C050-024X044	Elektrolytický kondenzátor
C6	330uF/16V	E5-8,5	Elektrolytický kondenzátor
C8	330uF/16V	E5-8,5	Elektrolytický kondenzátor
C9	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C10	330uF/16V	E5-8,5	Elektrolytický kondenzátor
D1	BAT42	DO35-7	Schottkyho dioda
D2	BAT42	DO35-7	Schottkyho dioda
IC1	P82B96	SO-08	I ₂ C Bus Buffer
IC2	MAX6615	QSOP16	Mikrokontrolér
IC3	78L05Z	TO92	Stabilizátor napětí
J1	WEBP 8-8 LP	215877-4	RJ45 zasuvka 8 pinů
J2	WEBP 8-8 LP	215877-4	RJ45 zasuvka 8 pinů
JP3		1X03	Propojka
JP4		2X02	Propojka
JP5		2X02	Propojka
JP6		1X02	Propojka
JP7		1X03	Propojka
LED1	L-934LGD	LED3MM	Zelená LED
OK1	PC817	DIL04	Optočlen
Q1	BS170	TO92	FET tranzistor s N-kanálem
R1	180R	0204/5	Drátový rezistor
R2	10k	0204/5	Drátový rezistor
R3	1k6	0204/5	Drátový rezistor
R4	10k	N640	Termistor NTC
R5	4k7	0204/5	Drátový rezistor
R6	1k2	0204/5	Drátový rezistor
R7	12k	0204/5	Drátový rezistor
R8	10k	N640	Termistor NTC
R9	15k	0204/5	Drátový rezistor
R10	15k	0204/7	Drátový rezistor
R11	15k	0204/7	Drátový rezistor

D STRUKTURA OVLÁDACÍHO MENU



E ZJEDNODUŠENÝ VÝVOJOVÝ DIAGRAM

