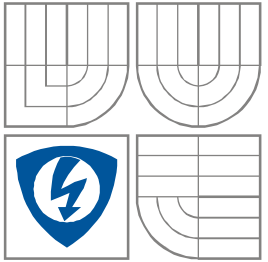


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC
TECHNOLOGY

AUTOMATICKÁ REGULACE PRO TEPLOVODNÍ A TEPLOVZDUŠNÉ KRBOVÉ VLOŽKY

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A HOT WATER AND HOT FIREPLACES INSERTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

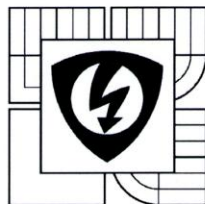
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Miroslav Hofman

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Friedl

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Miroslav Hofman
Ročník: 3

ID: 146008
Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Automatická regulace pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou automatizovaných systémů pro řízení a regulaci topení v obytných prostorech. Porovnejte dostupné systémy na trhu a na základě rešerše navrhnete vlastní řídicí systém pro teplovodní a teplovzdušnou krbovou vložku. Realizujte navržený regulační systém a ověřte jej měřeními.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

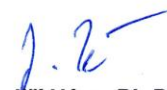
Podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 5.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Práce pojednává o návrhu automatické regulace pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky. Řídící panel s LCD displejem a tlačítky pro nastavení teploty v místnosti je propojen s teplotními čidly, čerpadlem a ventilátorem. Data jsou zpracovávána pomocí mikroprocesoru Atmel. Program mikroprocesoru je napsán v jazyce C, pomocí prostředí AVR studio 4. Mikroprocesor pomocí periférií určuje teplotu v místnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Krbová vložka, LCD, Atmel

ABSTRACT

The work deals with the design automatic control systems for hot water and hot fireplace inserts. Control panel with LCD display and buttons to adjust the temperature in the room is connected to temperature sensors, pumps and fans. Data are processed by a microprocessor Atmel. Microprocessor program is written in C, in the environment AVR Studio 4. Microprocessor with peripherals defines the room temperature.

KEYWORDS

Fireplace insert, LCD, Atmel

HOFMAN, M. *Automatická regulace pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky*.
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií. Ústav mikroelektroniky, 2014. 32 s., 10 s. příloh. Bakalářská práce.
Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Automatická regulace pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 12. května 2014

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Friedlovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 12. května 2014

.....
podpis autora

Obsah

Obsah	v
Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	vii
Úvod	1
1 Regulátory krbových vložek	2
1.1 Teplovzdušné krbové vložky	2
2.1 Teplovodní krbové vložky	3
2 Návrh vlastního řízení krbové vložky	4
2.1 Řídící jednotka ATmega16	5
2.1.1 Vstupně-výstupní porty	6
2.1.2 Čítač/časovač	7
2.1.3 PWM	9
2.2 Regulace ventilátoru.....	9
2.3 Regulace čerpadla	11
2.4 Indikace zapnutí čerpadla	14
2.5 Ovládací panel	16
2.6 Měření teploty	17
3 Experimentální měření	18
3.1 Regulace ventilátoru.....	18
3.2 Regulace čerpadla	20
3.3 Indikace zapnutí čerpadla	21
3.4 Regulátor	23
4 Instalace regulátoru	26
4.1 Přepínací obvod.....	26
4.2 Zapojení regulátoru ke krbové vložce	27
4.3 Měření výkonu	30
4.4 Záložní zdroj	31
5 Závěr	32
Seznam použité literatury	33
Seznam příloh	35

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Rozvod ohřátého vzduchu v rodinném domě[3]	2
Obr. 1.2: Rozvod ohřáté vody v rodinném domě[4]	3
Obr. 2.1: Blokové schéma vlastního regulátoru.....	4
Obr. 2.2: Označení pinů [5] a pouzdro (DIL40) ATmega16	6
Obr. 2.3: Blokové schéma čítače [5]	7
Obr. 2.4: Generování fast PWM signálu	9
Obr. 2.5: Mosfet struktura – N-tyt.....	10
Obr. 2.6: Principiální schéma zapojení regulace ventilátoru	10
Obr. 2.7: Závislost proudu I_d na teplotě pouzdra tranzistoru IRF630[8]	11
Obr. 2.8: a) schematická značka triaku b) struktura triaku [9]	12
Obr. 2.9: Principiální zapojení regulace čerpadla	13
Obr. 2.10: Průběhy sinusového signálu v závislosti na vstupních pulzech [12]	13
Obr. 2.11: Schéma zapojení obvodu pro kontrolu funkce čerpadla	14
Obr. 2.12: Schéma zapojení piezo reproduktoru.....	15
Obr. 2.13: Displej ATM1602B [14].....	16
Obr. 2.14: Principiální zapojení teplotního čidla	17
Obr. 3.1: Zapojení regulace ventilátoru na nepájivém poli	19
Obr. 3.2: Zapojení regulace čerpadla na nepájivém poli	20
Obr. 3.3: Zapojení indikace zapnutí čerpadla na nepájivém poli.....	22
Obr. 3.4: Zapojení regulátoru na nepájivém poli	23
Obr. 4.1: Blokové schéma přepínacího obvodu.....	26
Obr. 4.2: Krbová vložka	27
Obr. 4.3: Automatický regulátor	28
Obr. 4.4: Ventilátor 12 V.....	28
Obr. 4.5: Čerpadlo s přepínacím obvodem.....	29
Obr. 4.6: Manuální regulátor	29
Obr. 4.7: Závislost výkonu ventilátoru a teploty vzduchu v místnosti na čase	30
Obr. 4.8: Závislost výkonu čerpadla a teploty topení na čase	30
Obr. 4.9: Záložní zdroj	31

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Jednotlivé bity reistru TIMSK	8
Tab. 2.2: Jednotlivé bity registru TCCR0.....	8
Tab. 2.3: Tabulka příkazů pro práci s teplotním čidlem.....	18

Úvod

Cílem mé bakalářské práce bylo seznámit se s možnostmi konstrukce elektronického přístroje pro automatickou regulaci teplovodních a teplovzdušných křbových vložek. Po seznámení se s možnostmi konstrukce bylo toto elektronické zařízení navrženo. V současnosti jsou na trhu k dostání různé typy regulací jak pro teplovodní, tak pro teplovzdušné křbové vložky. Při výběru takového regulačního zařízení je třeba brát v potaz, zda máme doma teplovodní vložku, teplovzdušnou vložku nebo obě vložky zároveň. V některých případech závisí také na typu křbové vložky.

Regulace v tomto případě je řízena mikroprocesorem. Požadovaná teplota v místnosti je zadávána přes tlačítka a displej. Mikroprocesor ji následně porovnává s teplotou odečtenou z teplotních čidel a podle jejich rozdílů reguluje výkon čerpadla (teplovodní vložka) a výkon ventilátoru (teplovzdušná vložka). Program pro řídicí mikroprocesor je napsán v jazyce C.

1 Regulátory krbových vložek

Dnes jsou požadavky na vytápění poněkud přísnější, než tomu ještě nedávno bývalo. Je žádoucí, aby bylo zajištěno co nejkomfortnější vytápění bez přetápění objektu, k čemuž přispívá dnešní nabídka regulačních prvků, které se dají pořídit za přijatelné ceny. Vhodnou regulací se dá docílit, mimo komfortního vytápění, také úspory paliva a tím i provozních nákladů. Regulátory lze rozdělit na regulátory pro teplovodní vložky, teplovzdušné vložky a nebo pro oba typy zároveň. U obou typů krbových vložek se dnes využívá automatická regulace přívodu vzduchu ovládním vzduchové klapky, čímž se reguluje hoření. Při regulaci teplovodních krbových vložek se dále využívá regulace výkonu čerpadla, které distribuuje teplonosné médium z vložky do topné soustavy. K regulaci teplovzdušných krbových vložek se využívá regulace výkonu ventilátoru v horkovzdušném potrubí, který distribuuje teplý vzduch do okolních místností.

1.1 Teplovzdušné krbové vložky

Jak název napovídá, tak teplo uvolněné z paliva v krbu je do vytápěné místnosti distribuováno vzduchem pomocí nucené nebo přirozené konvekce. Konvekční krby jsou konstrukčně přizpůsobené přirozenému nebo nucenému ochlazení vlivem proudění vzduchu a nejsou proto většinou vhodné k obestavení akumulacním obložení, aby nedocházelo k teplotnímu namáhání pláště krbu. Nucená konvence probíhá pomocí ventilátorů, které distribují vzduch do místnosti směrem od teplovzdušné vložky. Vzduch však nemusí být odváděn pouze do místnosti, ve které se krb nachází, ale může být ventilátory distribuován do dalších místností pomocí horkovzdušného potrubí. Další informace jsou uvedeny v pramenech [1] a [2].



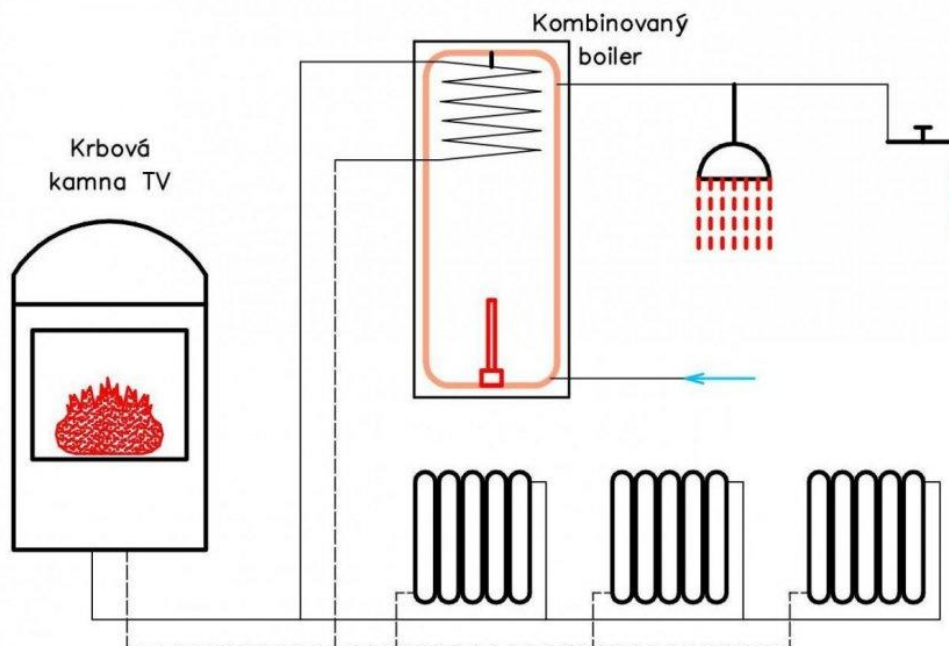
Obr. 1.1: Rozvod ohřátého vzduchu v rodinném domě[3]

2.1 Teplovodní krbové vložky

Teplovodní krby předávají část tepla teplotonosnému médiu (vodě) a část předávají konvekcí nebo radiací přímo do místnosti. Pomocí rozvodů otopné soustavy je získané teplo (teplotonosným médiem) distribuováno přímo do radiátorů nebo do akumulace nádrže. Podíl tepla předaného do vody a přímo do svého okolí se může lišit v závislosti na typu použitého teplovodního výměníku. V podstatě se konstruují tři typy teplovodních výměníků. Prvním typem je teplovodní výměník umístěný v plášti krbových kamen (vložky). Toto provedení dokáže využít větší tepelný zisk do vody, než do vzduchu.

Druhým typem je spalínový teplovodní výměník zpravidla instalovaný na místo, kde u krbových vložek bez výměníku standardně bývá umístěna kouřová komora. Spalínové výměníky mohou být koncipovány i jako vodou chlazené deflektory. Existují i spalínové teplovodní a vzduchové výměníky, které se instalují na kouřovod a umožňují dochladit spaliny na přijatelnou teplotu. Spalínové výměníky využívají poměrně menší část výkonu do vody z celkového výkonu krbových kamen. Z čehož plyne nežádoucí efekt, kdy bývá místnost s krbovými kamny přetopena a vedlejší místnost je vytápěna vlažnými radiátory, které nezvládají pokrýt tepelné ztráty objektu.

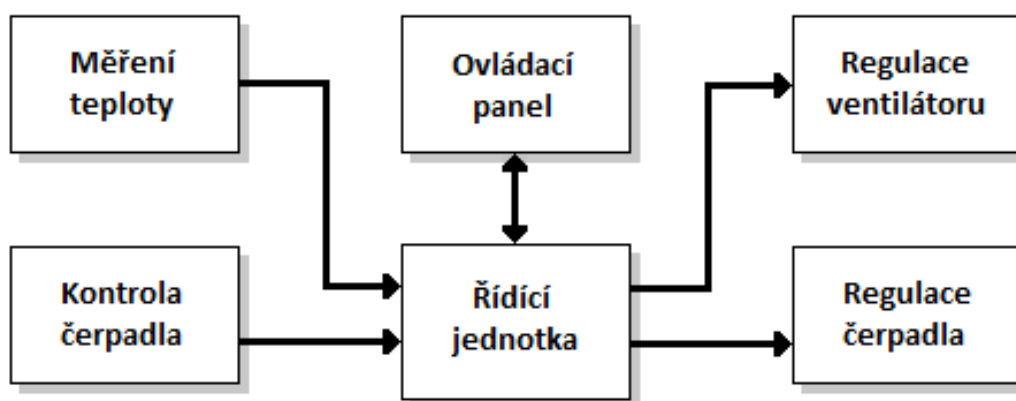
Posledním typem teplovodních výměníků jsou kombinované výměníky, které využívají jak teplo z pláště krbu, tak ze spaliny ve spalínové části výměníku. Toto řešení dosahuje většího tepelného zisku do vody, než do vzduchu. Takovouto vložkou je už možné poměrně dobře vytápět celý objekt. Další informace jsou uvedeny v pramenech [1] a [2].



Obr. 1.2: Rozvod ohřáté vody v rodinném domě[4]

2 Návrh vlastního řízení krbové vložky

Na trhu existuje mnoho regulátorů s různými funkcemi. Jejich ceny dosahují v mnohých případech 10 000 Kč. Z tohoto důvodu bude lepší vytvořit vlastní zařízení pro regulaci teplovodní krbové vložky s vzduchovým výměníkem, kterou máme doma. Vlastní regulátor je vhodný jak pro teplovzdušné, tak pro teplovodní krbové vložky. V našem případě ho doma budeme používat k regulaci výkonu čerpadla, které zajistí správnou distribuci ohřáté vody do topení a k regulaci ventilátoru, který distribuuje ohřátý vzduch do místnosti ve které se krb nachází a do horního patra skrz schodišťový otvor. Aktuálně je regulace čerpadla a ventilátoru prováděna manuálně jednoduchými triakovými regulátory. Naše krbová vložka má zabudované táhlo pro manuální regulaci hoření (přívodu vzduchu). Vzhledem k této okolnosti jsem u návrhu regulátoru neuvažoval automatickou regulaci hoření.



Obr. 2.1: Blokové schéma vlastního regulátoru

Řídicí jednotku tvoří mikrokontrolér, který komunikuje s ostatními periferiemi.

Měření teploty bude realizováno pomocí teplotních čidel. Jedno teplotní čidlo bude umístěno na krbové vložce a snímá její teplotu. Druhé čidlo bude umístěno v místnosti s krbem a snímá teplotu vzduchu v místnosti.

Kontrola čerpadla slouží k oznámení stavu čerpadla uživateli. Může se stát že bude čerpadlo odpojeno od elektrického proudu, nebo může dojít k poškození jeho regulace. V takových případech o tom bude uživatel včas informován pomocí piezo reproduktoru a může přepnout ovládání čerpadla na manuální režim (přívod elektrického proudu ze sítě), než se podaří závadu opravit. V případě výpadku elektrického proudu bude regulátor včetně čerpadla napájen záložním zdrojem.

Ovládací panel tvoří displej, tlačítka a LED teploměr. Na displeji se bude střídavě zobrazovat teplota vzduchu v místnosti a teplota vody v topení. Pomocí tří tlačítek se dá nastavit požadovaná teplota v místnosti. Dvě tlačítka slouží k nastavení teploty. Třetí k nastavení módu zobrazovaného na displeji a k rozsvícení displeje. Módy jsou dva. Zobrazování teplot a nastavení požadované teploty. Mikrokontrolér poté podle rozdílu teploty v místnosti a požadované teploty reguluje výkon ventilátoru a čerpadla, aby bylo dosaženo požadované teploty v místnosti. LED teploměr orientačně znázorňuje teplotu v místnosti.

Regulace ventilátoru a čerpadla bude prováděna pomocí čítačů mikrokontroléru. Čítač umožňuje pulzně šířkovou modulaci, které zde bude využíváno. U ventilátoru bude nastaveno několik výkonových režimů, které se aktivují podle rozdílu naměřené a požadované teploty v místnosti. Při velkém rozdílu budou otáčky ventilátoru velké. Se snižujícím se rozdílem budou snižovány automaticky i otáčky. Čerpadlo bude mít také několik výkonových režimů. Nejnižší výkonový režim bude aktivován po překročení teploty krbové vložky nad určitou hodnotu (při aktivaci u nižších teplot se může orosit topení, což se může projevit vlhkostí, zdi potom můžou plesnivět...). Se zvyšující se teplotou bude zvyšován i výkon.

2.1 Řídící jednotka ATmega16

Pro použití byl vybrán mikrokontrolér ATmega16. S mikrokontroléry Atmel mám už zkušenosti. Nejprve jsem je programoval v assembleru, později v jazyce C. Jazyk C mi připadá podstatně jednodušší než assembler, zdrojové kódy jsou kratší a čitelnější, proto mikrokontrolér v tomto případě naprogramuji pomocí jazyka C. ATmega16 byl zvolen kvůli dostatečnému počtu vstupně-výstupních pinů a také kvůli možnosti PWM modulace.

AVR ATmega16 má následující parametry:

- využívá 131 instrukcí
- výpočetní výkon až 16MIPS s 16 MHz krystalovým oscilátorem
- 16 kB paměti programu typu FLASH
- 512 B EEPROM paměť
- 1 kB paměti SDRAM
- 4 osmibitové I/O porty
- dva 8-bitové časovače a jeden 16-bitový časovač
- 4 výstupy PWM signálu
- zabudovaný analogový komparátor
- 8 kanálový 10-bitový A/D převodník
- 3 vnější zdroje přerušení, celkem 21 zdrojů přerušení
- USART, SPI, I²C, zabudovaný RC oscilátor
- 6 spánkových módů

Další informace jsou uvedeny v datasheetu [5].

2.1.1 Vstupně-výstupní porty

Vstupně-výstupní porty se liší podle provedení mikrokontroléru. U AVR ATmega 16 jsou 4 porty po 8 pinech, tudíž 32 vstupně / výstupních pinů. Tyto porty zajišťují komunikaci s okolím. Ke každému portu jsou přiřazeny 3 registry, které nám usnadňují práci s porty.

DDRx (Data Direction Register) – směrový registr

Definuje nám, které piny jsou určeny jako vstupní a které jako výstupní. Pokud na odpovídajícím bitu je uložena hodnota 0, potom je pin definován jako vstupní, pokud 1 jako výstupní. Směr komunikace lze kdykoliv měnit.

PORTx (Data Register) – datový registr

V případě definovaného výstupního pinu je zapsána hodnota v registru na port. Pokud je pin definován jako vstupní, potom je zde aktivován, či deaktivován pull-up rezistor.

PINx (Port Input Pins) – vstupní piny

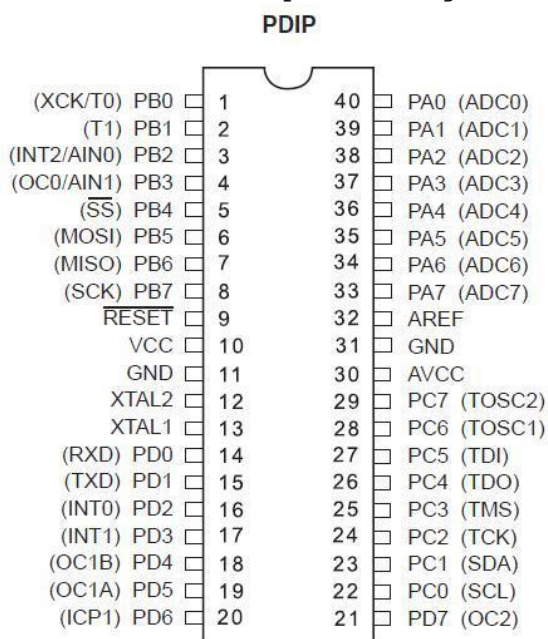
Hodnota v tomto registru udává aktuální stav na vstupech daného portu. PINx tedy používáme, chceme-li přečíst logickou hodnotu na daném portě.

x Označení portu (A,B,C,D)

Ke každému portu se rovněž váže alternativní funkce (AD převod, přerušeni, PWM, čítač,...) Další informace jsou uvedeny v pramenu [6].

Příklad nastavení vstupních a výstupních pinů na portu A:

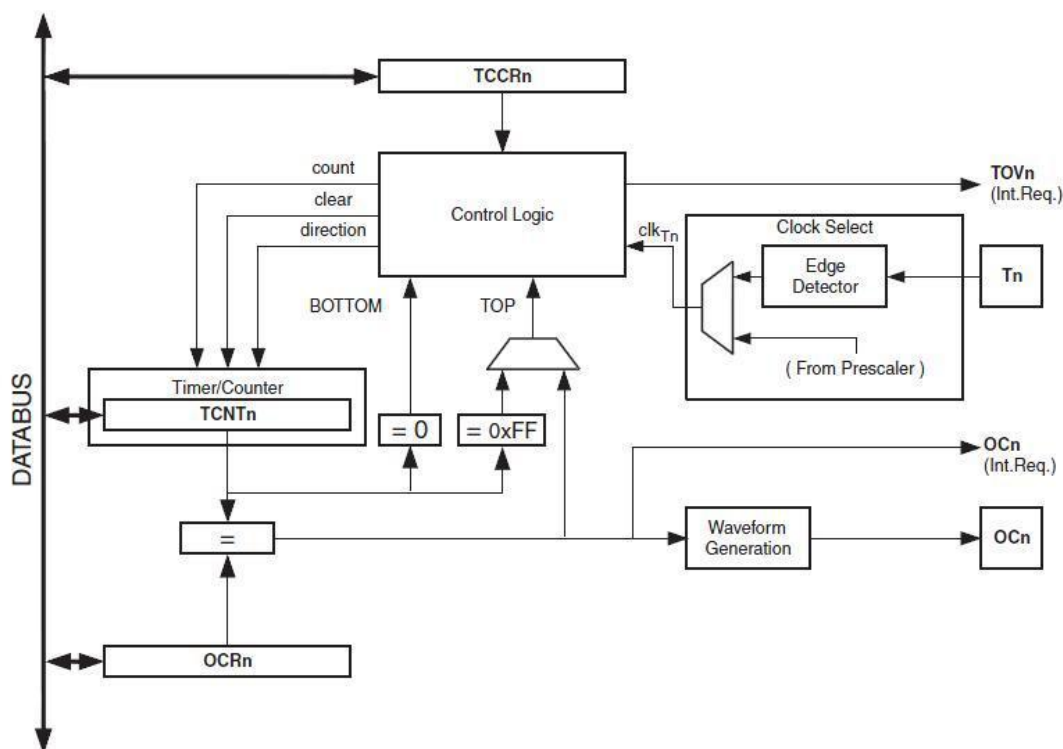
```
DDRA = 0xF0; // nastavení horní poloviny bitů na portu A jako
              //výstupní,
              // dolní polovina jako vstupní ( 0b11110000)
```



Obr. 2.2: Označení pinů [5] a pouzdro (DIL40) ATmega16

2.1.2 Čítač/časovač

Mikrokontrolér ATmega obsahuje periférie umožňující generovat časový úsek, (časovač) případně načítat vstupní pulsy (čítač). Díky tomu můžeme vytvořit požadovaný časový úsek, změřit krátký časový interval, vytvořit jednoduchý čítač, atd. K tomu lze využít některého z nabízených časovačů (čítačů). ATmega16 obsahuje 3 časovače (OC0, OC1A-B, OC2). Časovač 1 je 16 bitový a ostatní časovače jsou 8bitové. K čítání a časování se využívají registry TCCRn (Timer / Counter Control Register) - řídicí registr, TCNTn (Timer / Counter) – datová hodnota časovače, OCRn (Output Compare Register), kde n značí pořadové číslo časovače (čítače).



Obr. 2.3: Blokové schéma čítače [5]

Funkce čítání je patrná z blokového schéma na obrázku 2.3, kdy na vstup Tn přichází impulsy, pomocí Edge detektor se detekují impulsy. Podle nastavené předděličky, která je součástí registru TCCRn můžeme měnit dobu čítání (dobu přetečení), dělíme kmitočet čítání zvolenou hodnotou. Pomocí kontrolní logiky, která je nastavena pomocí registru TCCRn zvětšíme nebo zmenšíme hodnotu v registru TCNTn. Pokud máme zapnutý i mód porovnávání, můžeme následně porovnávat hodnotu obsaženou v registru OCRn s načítanou hodnotou a následně vyvolat přerušení. Přerušení můžeme vyvolat i pomocí přetečení, je potřeba jen povolit dané přerušení v registru TIMSK. Na základě požadovaného nastavení v registru TCCRn můžeme povolit i generaci PWM signálu (pulzně šířkově modulovaný signál). Další informace jsou uvedeny v pramenu [6].

Registr TIMSK (Timer/Counter Interrupt Mask Register)

Tab. 2.1: Jednotlivé bity reistru TIMSK

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	OCIE2	TOIE2	TICIE2	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0

Bity OCIE0, OCIE1A, OCIE1B, OCIE2 (Timer/Counter Output Compare Match Interrupt Enable) povolují přerušení při komparaci u daného časovače, kdy se načítaná hodnota v registru TCNTx rovná hodnotě v registru OCRx. Jelikož je časovač 1 16-bitový používá dva komparační registry OCR1A a OCR1B po 8 bitech, tomu odpovídají i bity přerušení.

Bity TOIE0, TOIE1, TOIE2 (Timer/Counter Overflow Interrupt Enable) povolí přerušení při přetečení hodnoty časovače (8-bitový hodnotu 255, 16-bitový hodnotu 65535).

Bit TICIE1 (Timer/Counter Input Capture Interrupt Enable) povolí přerušení při nastavení bitu ICF1 v registru TIFR (Timer/Counter Interrupt Flag Register).

Registr TCCR0 (Timer/Counter Control Register) – časovač 0

Tab. 2.2: Jednotlivé bity registru TCCR0

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	FOC0	WGM0	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00

Bity WGM00 a WGM01 (Waveform Generation Mode) nastavují režim čítače, kdy můžeme nastavit mezi Normal (klasický čítač), Fast PWM, PWM, Phase Correct a CTC.

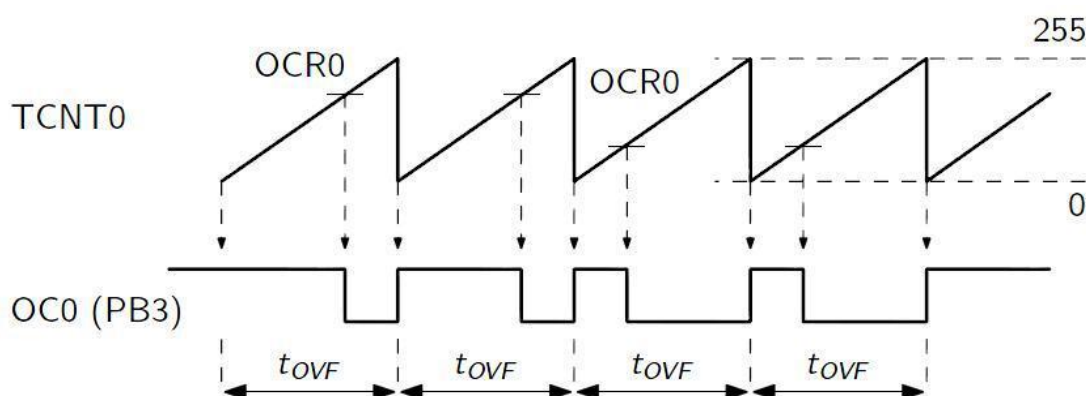
Bity COM00 a COM01 nastavují operaci, která se provede dojde-li k porovnání hodnot TCNT0 s OCR0. Pokud se shodují tyto registry: Nastaví bit, nuluje bit, neprovádí operaci a neguje bit na výstupním pinu OC0. Komparace se využívá především k modulaci PWM.

Bity CS02, CS01 a CS00 nastavují předdělicí poměr.

Čítač 1 (16 – bitový) se odlišuje od ostatních tím, že pro nastavení registru TCCR1 používáme dva registry po 8-bitech TCCR1A a TCCR1B. Pro všechny nastavení včetně porovnávacích hladin je potřeba dvou registrů. U tohoto čítače máme k dispozici dva porovnávací registry OCR1A a ORC1B, přičemž každý z nich je 16 bitový a dělí se na horní polovinu H a dolní polovinu L připsáním za zkratku registru (např. OCR1AL). Tento čítač rovněž nabízí velké množství generovaných průběhů. Další informace jsou uvedeny v pramenu [6].

2.1.3 PWM

Generování PWM signálu dosáhneme vhodným nastavením registru TCCRn, u kterého například zvolíme průběh Fast PWM a komparační hladinu můžeme nastavit v rozmezí hodnot 0 až 255, pro 8 – bitový čítač, v případě 16 bitového čítače až do 65535 dekadicky. V průběhu generace PWM můžeme měnit komparační úroveň a tím docílíme různé délky periody signálu. Průběh generace PWM signálu pro čítač 0 je na obr. 2.4. Pro 16 bitový čítač je široká škála nastavení PWM módů, musíme si zvolit ten, který chceme a podle datasheetu [5] nastavit bity v registru TCCR1A a TCCR1B. Další informace jsou uvedeny v pramenu [6].

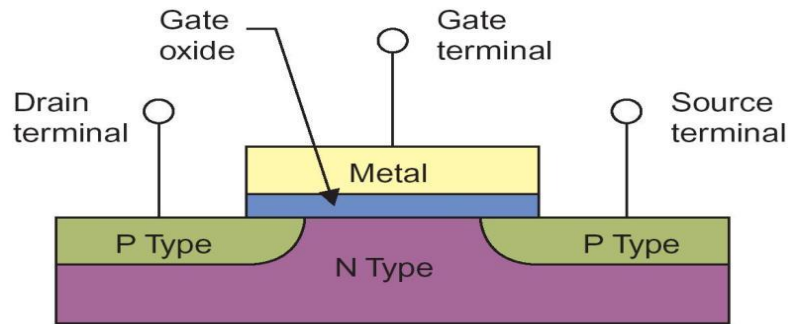


Obr. 2.4: Generování fast PWM signálu

2.2 Regulace ventilátoru

Hlavním hardwarovým prvkem využívaným u regulace výkonu ventilátoru je tranzistor IRF630. Jedná se o tranzistor N-typu, který je řízený elektrickým polem. Je vyráběn vyspělou technologií MOSFET. Všechny tyto výkonové tranzistory MOSFET jsou určeny pro aplikace, jako například přepínání regulátorů, spínací měniče, motorové ovladače, relé a ovladače pro vysoce výkonové bipolární spínací tranzistory vyžadující vysokou rychlost a nízký výkon pohonu. Tyto typy mohou být řízeny z integrovaných obvodů.

Tranzistor MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) má difúzí do substrátu vytvořeny dvě silně dotované oblasti opačného typu polovodiče, ke kterým jsou připojeny elektrody Source a Drain. Na povrchu substrátu je mezi těmito elektrodami vytvořena tenká dielektrická vrstva oxidu křemičitého SiO₂. Na povrchu této vrstvy je nanesena elektroda Gate. Vodivost kanálu mezi elektrodami Source a Drain je ovládána elektrickým polem vytvářeným ve struktuře kov(M)-oxid(O)-polovodič(S) napětím přiloženým mezi Gate a Source.

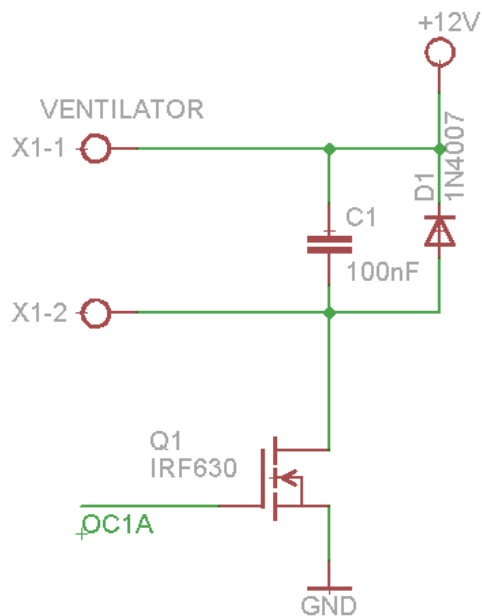


Obr. 2.5: Mosfet struktura – N-tyt

Hlavní parametry IRF630:

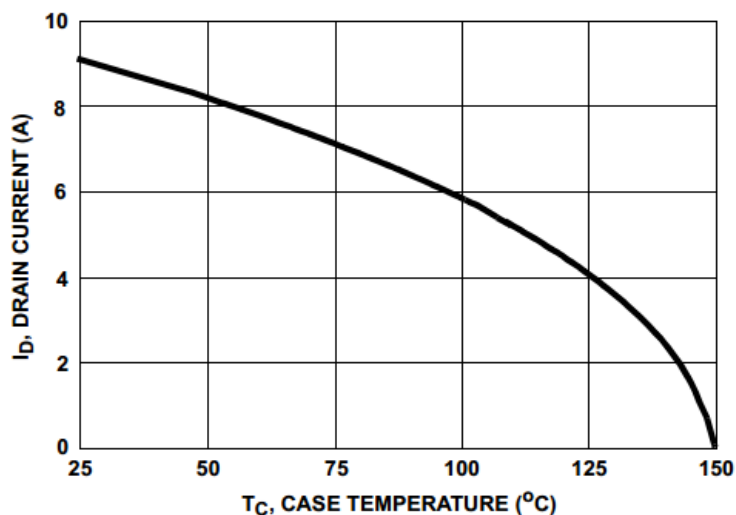
Maximální napětí mezi Drain a Source – 200 V
 Prahové napětí mezi Gate a Source – 2 - 4V
 Maximální napětí mezi Gate a Source – ± 20 V
 Maximální proud přes Drain (při 25 °C) – 9 A
 Maximální proud přes Drain (při 100 °C) – 6 A
 Maximální pulzní proud přes Drain(po dobu max. 360 μ s) – 36A
 Další informace jsou uvedeny v datasheetu [8].

Regulace ventilátoru je umožněna PWM modulací s využitím výkonového spínače (IRF630) a nulové diody.



Obr. 2.6: Principiální schéma zapojení regulace ventilátoru

Tranzistor je periodicky otevírán a proud indukčností motoru přitom narůstá. Indukčnost slouží jako zásobník energie. Když je tranzistor uzavřen, může proud motoru ventilátoru téct dále přes diodu v propustném směru. Při dostatečně rychlém spínání je proud motoru spojitý s malým zvlněním bez velkých proudových špiček. Jako nulovou diodu je s ohledem na minimální spínací ztráty vhodné použít rychlou spínací diodu s krátkou dobou závěrného zotavení. Pro náš účel ovšem bude stačit obyčejná hojně využívaná dioda 1N4007. Uvažovaný ventilátor je stejnosměrný, proto se paralelně k němu musí zapojit kondenzátor, aby zabránil nežádoucímu rušení. Další informace jsou uvedeny v pramenu [7].



Obr. 2.7: Závislost proudu I_d na teplotě pouzdra tranzistoru IRF630[8]

Z charakteristiky $I_d = f(T_c)$ vyplývá, že při teplotě pouzdra okolo 60 °C a proudu 3A, který bude protékat tranzistorem, nepřekročíme maximální povolené hodnoty veličin.

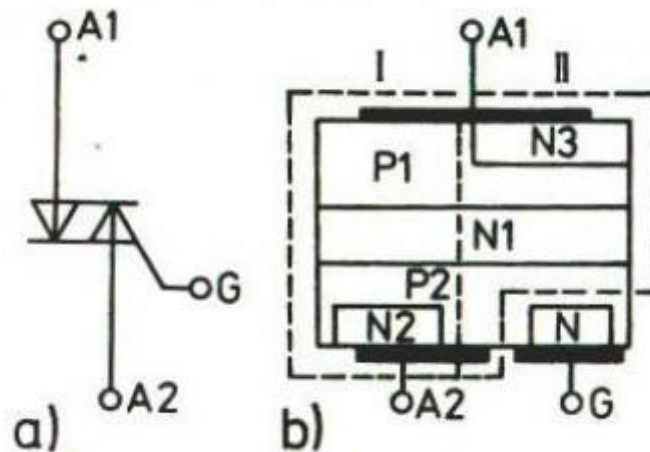
2.3 Regulace čerpadla

K regulaci využíváme spínacích součástek optotriak MOC3020M a triak TIC206M.

Triak je velmi podobná elektronická součástka jako tyristor, ale hlavní výhoda oproti tyristoru je, že triak dokáže pracovat i s druhou půlvlnou střídavého elektrického napětí a elektrického proudu.

Principem triaku jsou dva antiparalelně zapojené tyristory, tedy v jedné půlvlně pracuje jeden tyristor a v druhé půlvlně pracuje druhý tyristor.

Počet elektrod má triak stejný jako tyristor, tedy tři, jen má o jeden PN přechod víc a tudíž i o jednu vrstvu polovodičového materiálu víc (PNPNP), tedy pět vrstev polovodičového materiálu a čtyři PN přechody.



Obr. 2.8: a) schematická značka triaku b) struktura triaku [9]

Podobná je i vnitřní struktura triaku jako u tyristoru, tedy na vrstvu polovodičového materiálu P je připojena anoda, na druhou vrstvu N není připojena žádná elektroda, na následující vrstvu polovodičového materiálu P je připojena ona řídicí elektroda Gate a na opětovnou vrstvu polovodičového materiálu P není připojena žádná elektroda a na poslední vrstvu N je připojena katoda.

Pro sepnutí triaku musí být na hlavních elektrodách dostatečně velké napětí a do řídicí elektrody musí být přiveden proudový impuls o hodnotě vyšší než je spínací proud. Triak je sepnutý a vede tak dlouho, dokud se velikost protékajícího proudu nesníží pod hodnotu vratného proudu (do okolí nuly). Uzavírání triaku nastane při poklesu proudu pod hodnotu vratného proudu, a to při jakémkoliv proudu řídicí elektrody. Pokud triakem neprotéká žádný proud a hodnota proudu na řídicí elektrodě je nižší než hodnota spínacího proudu, triak se ihned uzavře.

Optotriak MOC3020M je opticky izolovaný triakový ovladač zařízení. Tento obvod obsahuje GaAs diodu emitující infračervené světlo, které aktivuje bilaterální spínač. Ten potom funguje jako triak. Jsou určeny pro propojení ovládacích prvků a výkonových triaků, které následně ovládají odporové a induktivní zátěže.

Používá se například pro průmyslové ovládací prvky, ovládání ventilů, semaforey, statické síťové vypínače, prodejní automaty, řízení motorů.

Hlavní parametry MOC3020M:

Izolační napětí až 7500 V po dobu jedné sekundy.

Dioda – maximální proud v propustném směru – 30mA

Triak – maximální proud ve špičce 1A, maximální napětí 400 VAC

Další informace jsou uvedeny v datasheetu [10].

Hlavní parametry TIC206M:

Efektivní hodnota proudu - 4 A

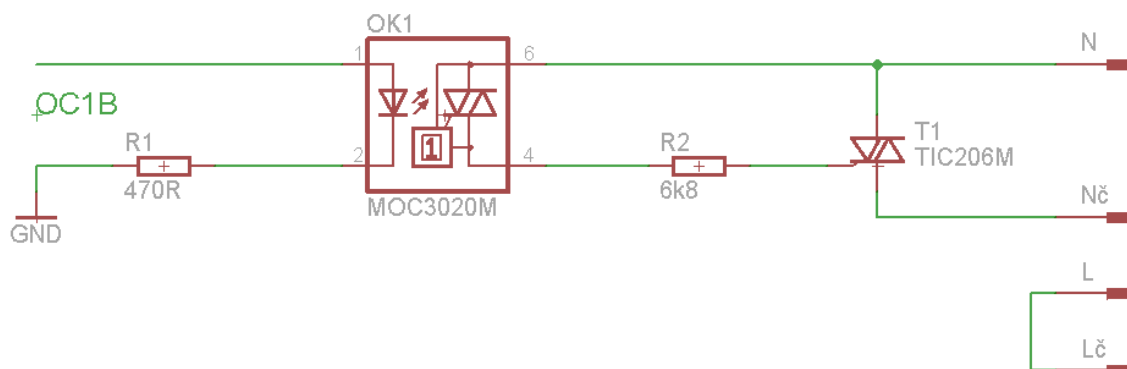
Špičková hodnota proudu až 25 A po dobu 20 ms

Maximální napětí - 600 VAC

Doporučený proud protékající hradlem - 50 mA

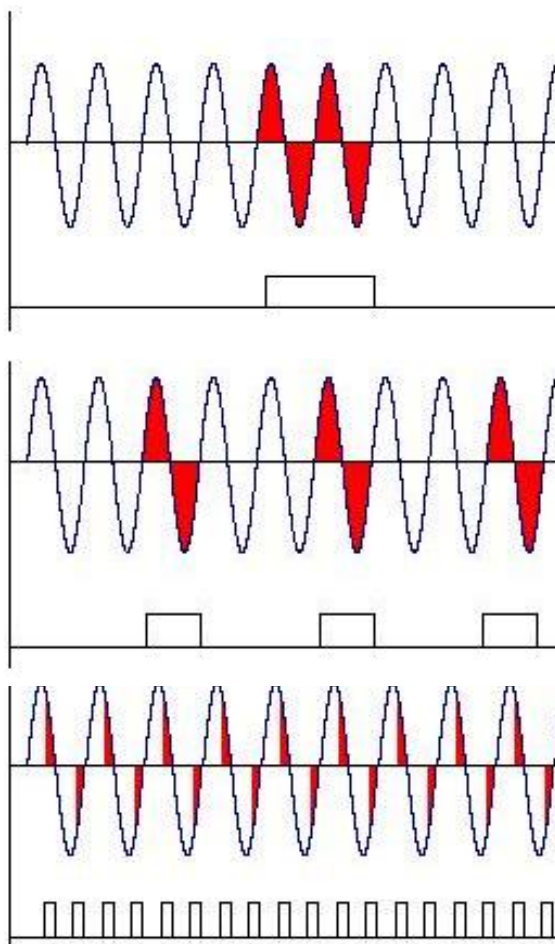
Maximální proud protékající hradlem ve špičce - 200mA

Další informace jsou uvedeny v datasheetu [11].



Obr. 2.9: Principiální zapojení regulace čerpadla

Na pin č.1 optotriaku MOC3020M je přiveden PWM signál z mikrokontroléru. Rezistorem 470Ω je zajištěno, aby proud diodou nepřesáhl maximální povolenou hodnotu 30mA . Proud tekoucí diodou by měl být v ideálním případě 10mA . Po přivedení proudu na diodu tedy triak začne spínat podle PWM pulzů. Triak TIC206M je potom spínán podle optotriaku. Rezistorem $6,8\text{ k}\Omega$ je zajištěna optimální hodnota proudu do hradla triaku. Příklady následných průběhů, kterými je regulován výkon čerpadla jsou znázorněny na obrázku 2.10.

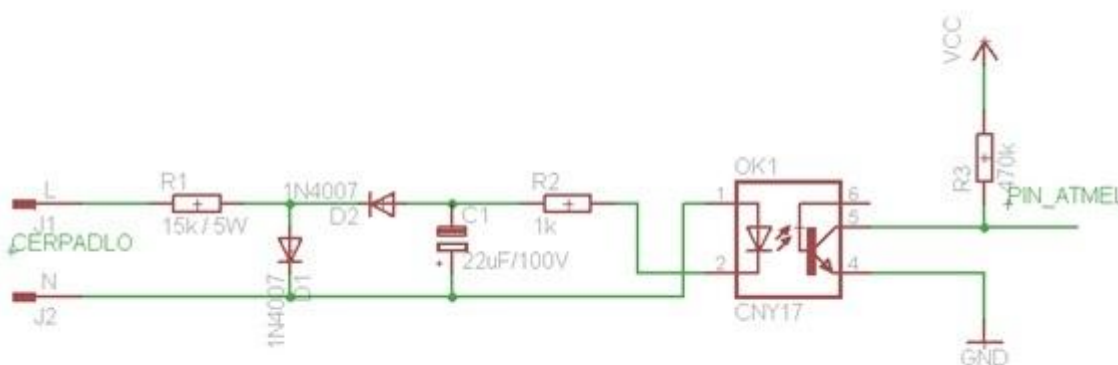


Obr. 2.10: Průběhy sinusového signálu v závislosti na vstupních pulzech [12]

2.4 Indikace zapnutí čerpadla

Ke kontrole funkce čerpadla byl navržen vlastní obvod. Při vypnutém čerpadle se na pin atmelu dostane logická 1. Mikrokontrolér poté aktivuje reproduktor, aby došlo k informování uživatele o nežádoucím stavu čerpadla.

Vstupní svorky jsou připojeny k napájení čerpadla. Na vstupu je tedy střídavé napětí 230V. Po připojení obvodu k vstupnímu napětí se při kladné půlvlně obvod uzavře přes diodu D1. Proud tedy protéká pouze přes odpor R1 a diodu D1. Při záporné půlvlně obvod není uzavřen diodou D1, protože je polarizována v závěrném směru a protéká jí tak pouze zanedbatelný závěrný proud. Proud při záporné půlvlně protéká přes zbytek obvodu. Dochází tedy k emitování záření diody optočlenu a k nabíjení kondenzátoru, který se při další kladné půlvlně vybíjí přes diodu optočlenu a zajišťuje tak její neustálé záření (log.0 na pinu atmelu).



Obr. 2.11: Schéma zapojení obvodu pro kontrolu funkce čerpadla

Výpočet výkonu rezistoru R1:

Maximální hodnota proudu protékajícího rezistorem:

$$I_{max} = \frac{U_{max}}{R_1} = \frac{325}{15 \cdot 10^3} = 22 \text{ mA} \quad (2.1)$$

Efektivní hodnota proudu protékajícího rezistorem:

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{22 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 15,5 \text{ mA} \quad (2.2)$$

Výkon rezistoru :

$$P = R \cdot I_{ef}^2 = 15 \cdot 10^3 \cdot (15,5 \cdot 10^{-3})^2 = 3,6 \text{ W} \cong 5 \text{ W} \quad (2.3)$$

Optočlen CNY17:

CNY17 je složen z opticky spojeného páru diody a tranzistoru. Arsenid galium dioda emituje infračervené záření dopadající na bázi fototranzistoru.

Informace o signálu, včetně úrovně DC, mohou být přenášeny tímto zařízením při zachování vysokého stupně elektrického oddělení mezi vstupem a výstupem.

CNY17 může být použit k nahrazení relé a transformátory. Dále v mnoha aplikacích s digitálním rozhraním, jakožto i jako analogové aplikace.

Hlavní parametry CNY17:

Maximální hodnota závěrného napětí diody – 6 V

Maximální proud diody v propustném směru – 60 mA

Maximální izolační napětí – 5300 Vrms po dobu jedné vteřiny.

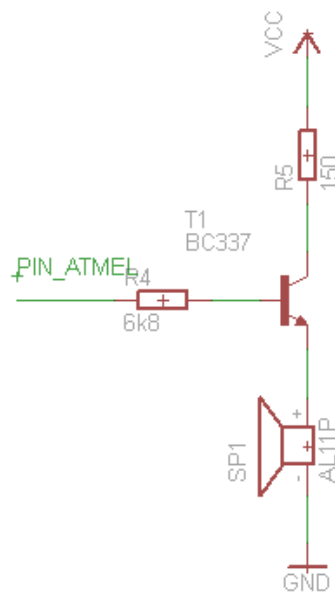
Průrazné napětí přiložené mezi kolektor a emitor tranzistoru – 70 V

Průrazné napětí přiložené mezi bázi a emitor tranzistoru – 7 V

Maximální kolektorový proud tranzistoru 50 mA.

Další informace jsou uvedeny v datasheetu [13].

Obvod pro upozornění uživatele o nesprávné funkci čerpadla:

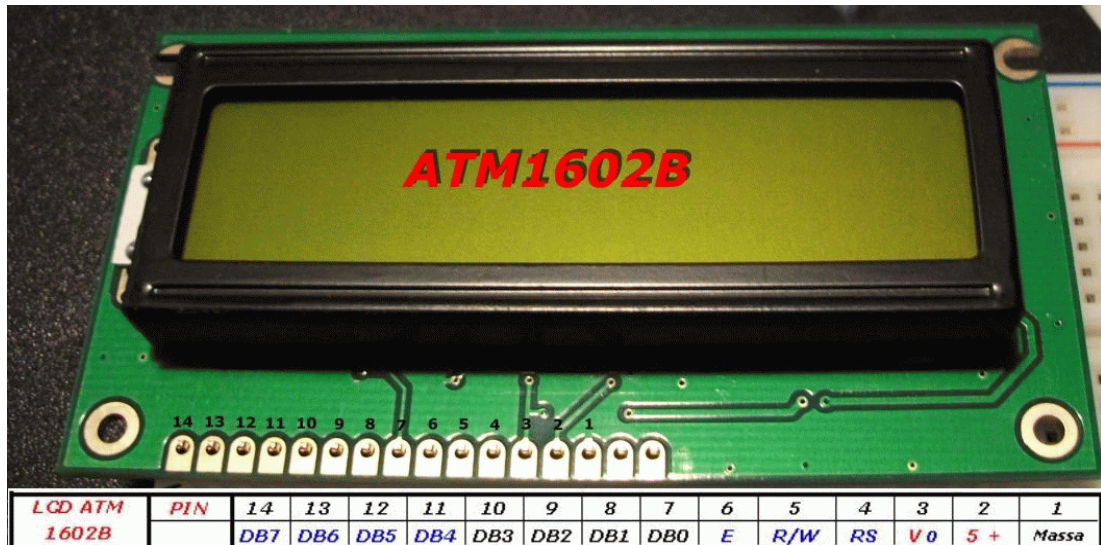


Obr. 2.12: Schéma zapojení piezo reproduktoru

Při poruše vyše mikrokontrolér budící signál na bázi tranzistoru. Ten aktivuje reproduktor. Z reproduktoru se potom ozývá jednoduchý tón. Piezo reproduktor se obvykle umísťuje ke kolektoru, pro tento případ je dostačující umístění na emitoru.

2.5 Ovládací panel

Pro komunikaci uživatele s mikroprocesorem slouží LCD displej o dvou řádcích po šestnácti znacích. Použil jsem displej s řadičem HD44780, který je v současné době hojně používaný a dá se pořídit za rozumnou cenu. Vyrábí se v různých provedeních s různými barvami podsvícení displeje. U této práce bude použitý typ ATM1602B.



Obr. 2.13: Displej ATM1602B [14]

Na obrázku 2.13 vidíme rozložení a číslování pinů na displeji.

Displej má vývody č.15 a 16 umístěné nestandardně na druhé straně, než by se čekalo. Vývody č.2 a 16 slouží k napájení. Vývod č. 3 řídí jas zobrazených znaků, pomocí pinu č. 15 se ovládá podsvícení displeje.

Zbylé vývody slouží k přenosu dat a adresování znaků. Řadič displeje disponuje pamětí, jež obsahuje tabulku znaků podle ASCII kódu. Navíc umožňuje dodefinování několika vlastních znaků, což lze využít například pro českou diakritiku.

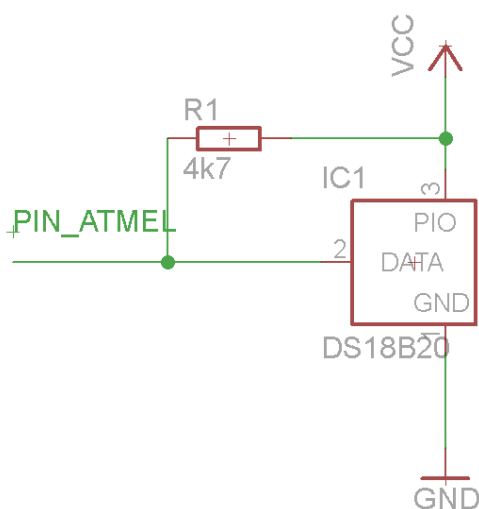
Po každém zapnutí displeje je nutná inicializace, jejíž přesný předpis je třeba dodržet. Tato inicializace spočívá v odesílání příslušných dat mezi nimiž jsou přesně definované časové prodlevy. Pro ovládání displeje byla použita knihovna mojelib1.h od neznámého autora. Další informace jsou uvedeny v pramenu [15].

Na ovládacím panelu jsou dále umístěna tlačítka a LED teploměr. Tlačítka slouží pro nastavení módu a požadované teploty. LED teploměr znázorňuje orientační teplotu v místnosti. Skládá se z 12-ti LED diod, pomocí kterých znázorňuje teploty: 15 a méně °C, 16 – 18 °C, 19 - 21°C, 22 – 24 °C, vyšší teploty.

2.6 Měření teploty

Jako digitální teplotní čidlo je na desce použito čidlo DS18B20 (Dallas), které komunikuje po jedné lince v přesných časových intervalech. Z katalogu výrobce [16] můžeme vyčíst potřebné časové parametry pro komunikaci na 1-wire sběrnici, po které komunikuje i teplotní čidlo.

Teplotní čidlo může měřit teploty v rozsahu od -55°C až $+125^{\circ}\text{C}$. Rozsah (přesnost) je volitelná 9 až 12 bitů. Komunikace po sběrnici 1-wire probíhá mezi zařízením Master (mikrokontrolér) a Slave (teplotní čidlo). Začátek komunikace začne master tzv. resetovacím pulsem, na kterém můžeme ověřit přítomnost zařízení. Dále se komunikuje v tzv. „Time slotech“ (časových úsecích), které mohou mít délku 60 až 120 μs . Během jednoho slotu je vyslán nebo přijat jeden bit.



Obr. 2.14: Principiální zapojení teplotního čidla

Druhy časových slotů:

Zápis logické 0: Stáhneme sběrnici na logickou 0, počkáme 60 μs , uvolníme sběrnici (nastavíme pin jako vstup) a počkáme 10 μs .

Zápis logické 1: Stáhneme sběrnici na logickou 0, počkáme 6 μs , uvolníme sběrnici a počkáme 64 μs .

Čtení: Stáhneme sběrnici na logickou 0, počkáme 6 μs , uvolníme sběrnici a počkáme 9 μs , následně přečteme hodnotu na sběrnici (její stav udává přečtený bit) a počkáme 55 μs .

Reset: Stáhnout sběrnici na logickou 0, počkat 480 μs , uvolnit sběrnici a počkat 70 μs , následně přečíst sběrnici (Je-li logická 0, je přítomno zařízení.) a počkat 410 μs .

Další informace jsou uvedeny v pramenu[6].

Všechna digitální zařízení připojitelná na 1-Wire sběrnici mají svou pevnou adresu uloženou v 64-bitové paměti ROM, která se využívá k adresování jednotlivých zařízení v případě, že je na sběrnici připojeno více než jedno zařízení. Teplotní čidlo má dále paměťovou kontrolní logiku a paměť pro zápis, ke které jsou zařazeny byty jednotlivých funkcí teplotního čidla, včetně bytů které slouží pro nastavení teplotního čidla. Výrobce tedy v datasheetu [16] udává doporučený postup práce s teplotním čidlem a udává příkazy pro samotnou práci.

Tab. 2.3: Tabulka příkazů pro práci s teplotním čidlem

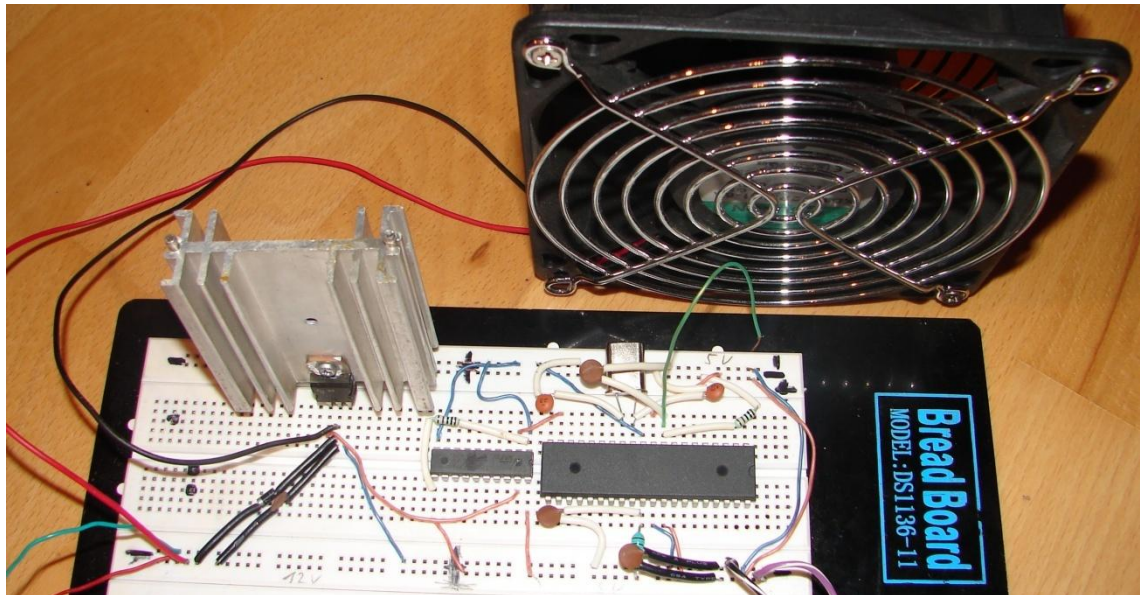
Vyslaný příkaz	Operace	Poznámka
0xF0	Search ROM	Hledání adresy hledaného zařízení, v případě více zařízení je potřeba vyhodnocovat
0x33	Read ROM	Přečtení ROM pouze jedno zařízení slave
0x55	Match ROM	Určuje adresaci, za příkazem následuje 64-bitová adresa
0xCC	Skip ROM	Adresuje všechna zařízení
0xEC	Alarm Search	Stejně jako 0xF0, ale hledá pouze u zařízení, kde je překročena teplota
0x44	Convert T	Zahájí převod teploty
0x4E	Write Scratchpad	Za tímto příkaz vyšleme první 3 byty pro zápis do „Scratchpad“
0xBE	Read Scratchpad	Čtení tabulky „scratchpad“ (jako první čte teplotu)

3 Experimentální měření

Jedná se o měření s některými bloky regulátoru. Bloky jsou zapojeny podle navrženého schématu na nepájivém poli a pomocí mikrokontroléru otestují jejich funkčnost. Pro toto měření byla vybrána regulace ventilátoru, čerpadla a indikace zapnutí čerpadla. U měření regulace ventilátoru a čerpadla je použitý budič 74HC573 k propojení obvodu s mikrokontrolérem. Mikrokontrolér je programován přes vývojový kit.

3.1 Regulace ventilátoru

Obvod na nepájivém poli je zapojen podle schématu na obrázku 2.6. Ventilátor na obrázku 3.1 je pouze testovací. U výměníku na vzduch bude použit větší ventilátor s proudovým odběrem 3 A. Tranzistor tedy musí být určený pro proud větší jak 3 A. Zvolil jsem IRF630 na 9 A. Ventilátor je napájen napětím 12 V. Chladič má při zapojení s ventilátorem při plném odběru 3 A teplotu pohybující se okolo 50 °C. To je teplota, při které zapojení pracuje správně, přesto je třeba u návrhu desky plošných spojů uvažovat větší chladič.



Obr. 3.1: Zapojení regulace ventilátoru na nepájivém poli

Testovací program pro mikrokontrolér:

```
// nastavení PWM modulace

TCCR1A=0b11110001; // nastavení časovače
// komparace s OCR1A a OCR1B
// využívá se pouze 8 bytového průběhu PWM
TCCR1B=0b00001101; // nastavena dělička 1024
TIMSK=0b00011000; // nastavení přerušení na porovnání OCR1A
//a OCR1B s TCNT1
OCR1AH=0; // horní polovina porovn. registru 16-bit
//časovače je prázdná
OCR1AL=255; // naplnění porov. registru spodní části
16bit čítače
OCR1BH=0;
OCR1BL=255;

unsigned char PWM [5] = {255,160,120,70,30};
int e = 0, ukazatel = 0, nastav = 30, teplotaV = 27;

rozdil = nastav - teplotaV; // nastav - požadovaná teplota
// nastavená uživatelem
// teplotaV- teplota vzduchu
// v místnosti změřená čidlem
// nastavení výkonu ventilátoru
if (rozdil<=0)
    { ukazatel=0; }
if (rozdil==1)
    { ukazatel=1; }
if (rozdil==2)
    ...
if (rozdil>=4 && <= 30)
    { ukazatel=4; }
if (rozdil > 30)// informování uživatele o špatné teplotě
```

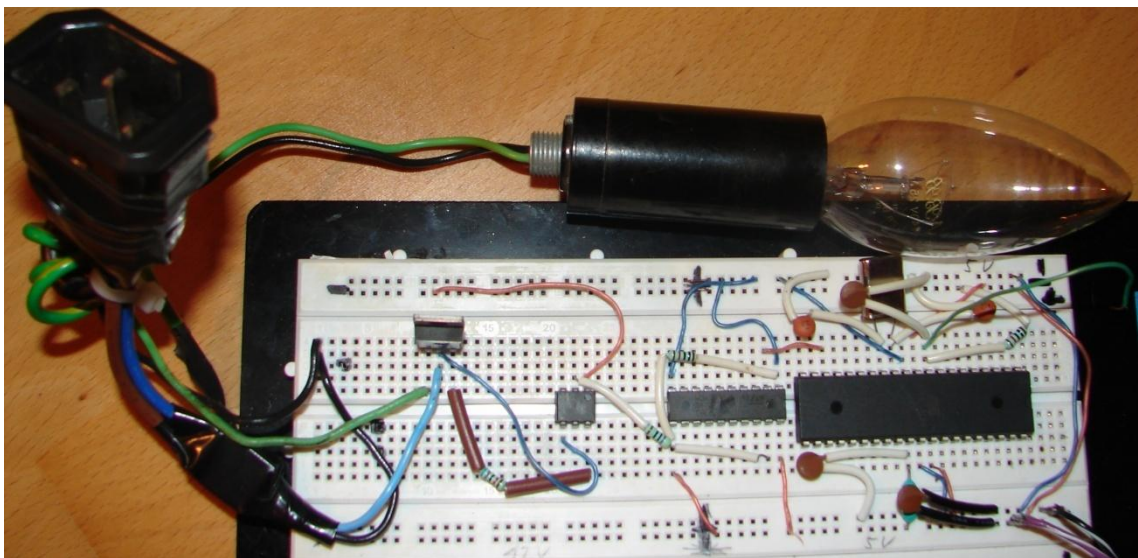
```

    {
    PORTB = (PORTB & ~_BV(PB1)) | ((h) << PB1);
    //zapnutí podsvícení dyspleje
    line_2();
    lcd_text("SPATNA TEPLOTA!");
    _delay_ms(1000);
    _delay_ms(1000);
    ukazatel = 0;
    }
if(ukazatel==0)
    {
        e=0;
    }
if(e==0 && ukazatel!=0) // zajistí pomalé roztočení
ventilátoru
    {
        OCR1AL=PWM[4];
        _delay_ms(100); // vypne ventilátor na 100ms
        e++;
    }
OCR1AL=PWM[ukazatel];

```

Program je napsán pouze pro otestování zapojení. Teplota v proměnné *nastav* bude zadávána pomoci tlačítek a displeje. Do proměnné *teplotaV* bude zapisována teplota na teplotním čidle umístěném v místnosti. V proměnných jsou zadány testovací hodnoty. Rozdíl těchto dvou hodnot je uložen v proměnné *rozdil*. Pomoci této proměnné se určí hodnota *ukazatele*, který určuje výkon ventilátoru. Při každém nastavení *ukazatele* na hodnotu větší jak 0 se ventilátor pomalu roztáčí.

3.2 Regulace čerpadla



Obr. 3.2: Zapojení regulace čerpadla na nepájivém poli

Obvod na nepájivém poli je zapojen podle schématu na obrázku 2.9. Místo čerpadla je zde pro testovací účely zapojena žárovka na 230 VAC. Obvod byl vyzkoušen i s čerpadly. Ukázalo se, že triak nepotřebuje aktivní chlazení. Maximální odebíraný proud uvažovaných čerpadel bývá okolo 0,5 A. Použitý Triak TIC206M je vhodný pro proudy do 4A. Optotriak MOC3020M zajišťuje převod PWM signálu na hradlo triaku. PWM signál poté ovlivňuje velikost půlpln střídavého síťového napětí přiloženého na čerpadlo. Hodnoty rezistorů byly zvoleny podle datasheetu optotriaku [10].

Testovací program pro mikrokontrolér:

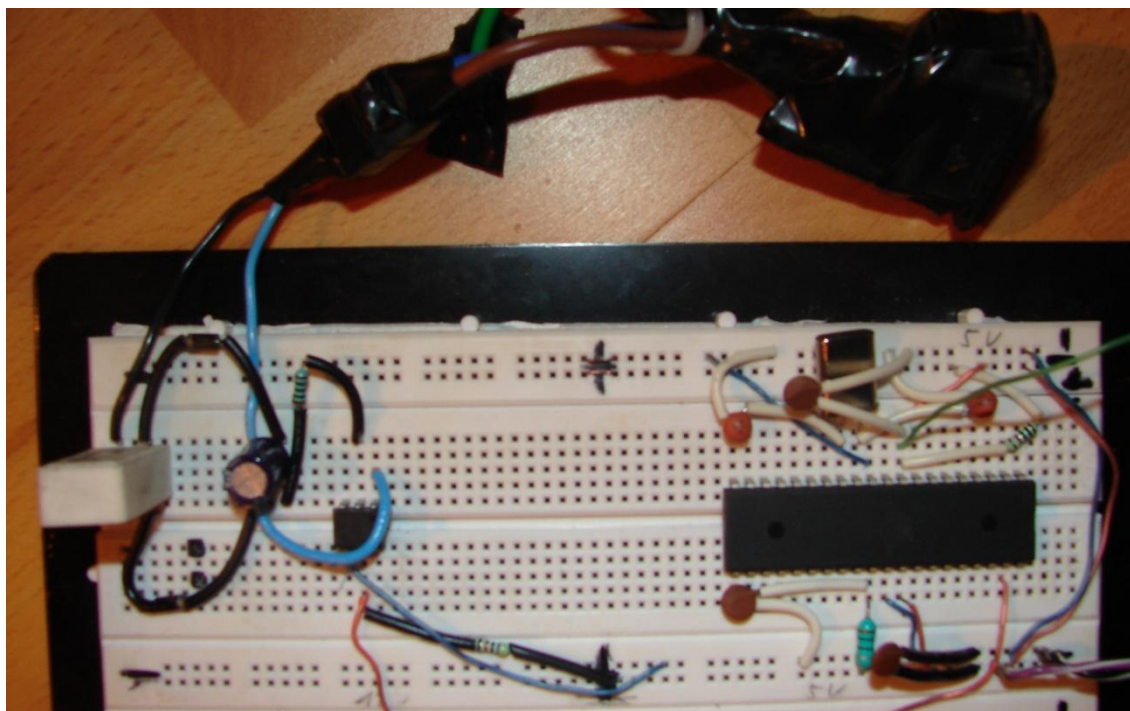
```
unsigned char CER [4] = {255,170,85,5}; // výkon čerpadla 0%,
33%, 66%, 100%
int ukazatelC = 0, teplotaT = 50;

if (teplotaT<=41)
{
    ukazatelC = 0;
}
if (teplotaT>41 && celecислоT<=46)
{
    ukazatelC = 1;
}
if (teplotaT>46 && celecислоT<=51)
{
    ukazatelC = 2;
}
if (teplotaT>51)
{
    ukazatelC = 3;
}
OCR1BL=CER[ukazatelC];
```

Proměnná *teplotaT* vyjadřuje velikost teploty na trubce od topení v blízkosti krbové vložky. Teploty 41 až 51 °C byly změřeny teplotním čidlem DS18B20. Jsou to teploty, při kterých manuálně měníme výkon čerpadla distribuujícího teplou vodu do topení podle teploty krbové vložky.

3.3 Indikace zapnutí čerpadla

Obvod na nepájivém poli je zapojen podle schématu na obrázku 2.11. Při odpojení síťového napětí (eurokonektor) obvod reaguje jako by na čerpadle nebylo přiloženo napětí. Na výstupu optočlenu je tedy při přivedeném síťovém napětí log.0 , v opačném případě log.1. Tyto stavy jsem ověřoval pomocí voltmetru. Log.1 = 5 V a log.0 = 0 V. Rezistor 15 kΩ zajišťuje 7 mA na diodě optočlenu, což je vhodná hodnota k tomu, aby dioda mohla dostatečně emitovat záření.



Obr. 3.3: Zapojení indikace zapnutí čerpadla na nepájivém poli

Program pro mikrokontrolér:

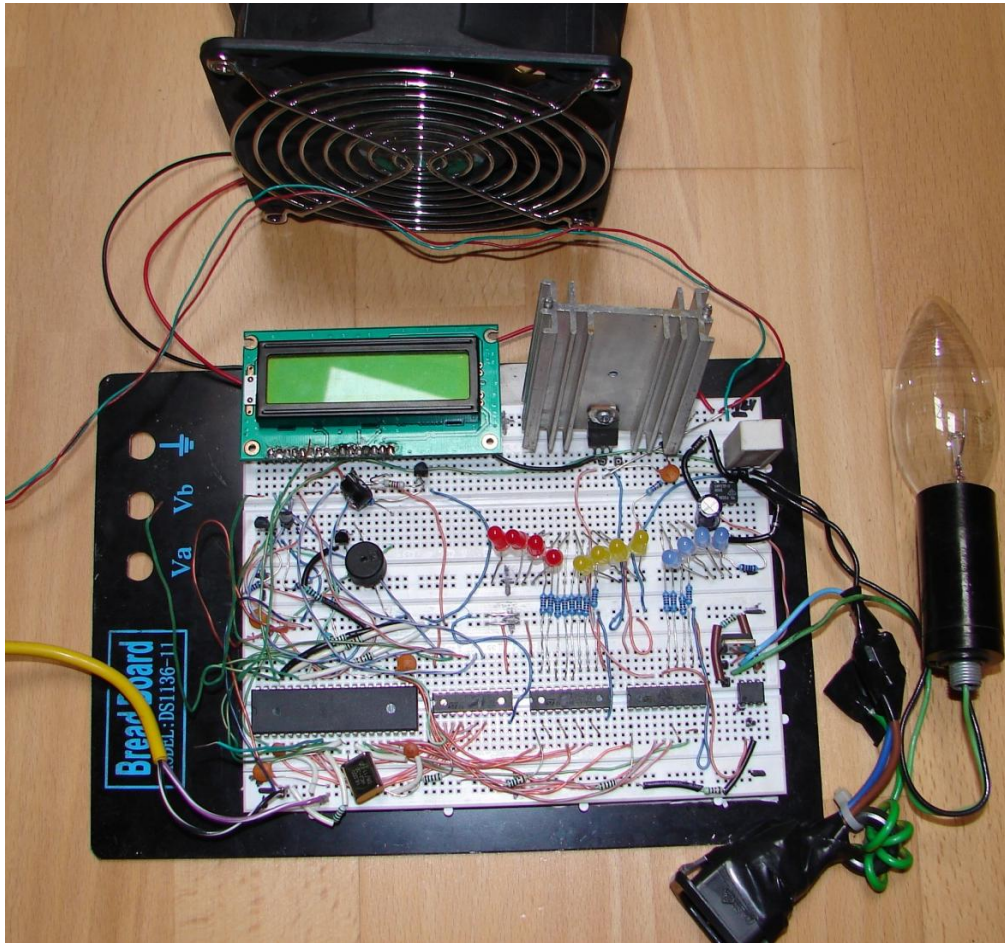
```
if ((PINA&0b00000100)!=0)
{
    int i = 0;

    for (i=0; i<1000; i++)    // cyklus for - probiha 1000 x
                            // 1ms = 1s
    {
        // tón pro reproduktor
        PORTC = (PORTC & ~_BV(PC7)) | ((h) << PC7);
        _delay_ms(0.5);
        PORTC = (PORTC & ~_BV(PC7)) | ((l) << PC7);
        _delay_ms(0.5);
    }
}
```

Hodnota rezistoru 470k Ω byla zjištěna experimentálně. Je to hodnota, při které se na výstupu při připojeném síťovém napětí vždy objeví log.0, která je snímatelná mikrokontrolérem. Podle toho je v programu podmínka, která zajišťuje přivedení tónu na pin reproduktoru a zajistí tak, aby uživatel věděl o odpojeném napájení čerpadla. V tomto případě byla na pin s reproduktorem přivedena log.1, jejíž přítomnost byla ověřena voltmetrem. Přivedení log.1 je v uvedeném programu nahrazeno přivedením tónu.

3.4 Regulátor

Po odzkoušení všech blokových částí regulátoru bylo vytvořeno schéma, podle kterého je zapojen obvod na obrázku 3.4. Schéma je uvedeno v příloze. V původním schématu se vyskytovaly dvě chyby, které byly odhaleny a schéma bylo upraveno. Funkce všech bloků byla poté správná. V další fázi měření bylo jedno teplotní čidlo umístěno přímo na krbovou vložku druhé do místnosti, aby se dala vyzkoušet funkce regulátoru v celém rozsahu. Byl zapojen také velký ventilátor a čerpadlo. Následně jsem vytvořil program pro ovládání celého regulátoru a otestoval celé zapojení. Regulátor se ukázal být plně funkční.



Obr. 3.4: Zapojení regulátoru na nepájivém poli

Program pro mikrokontrolér:

Celý program je uveden na příloženém CD. Program funguje jako nekonečná smyčka, realizovaná pomocí funkce while. Popis částí programu k jednotlivým blokům je uveden výše. Níže je popsán program pro uživatelské rozhraní (nastavení požadované teploty v místnosti).

```
for(x=0;x<200;x++)
{
    _delay_ms(100);
    if (x <= 100)    // 10 sekund bude zobrazena teplota vzduchu
    {

        line_1();
        lcd_text("Teplota vzduchu:"); // výpis textu
        gotoxy(2,10);
        lcd_byt(celecisloV);
        // výpis aktuální teploty vzduchu
        gotoxy(2,14);
        lcd_text("C");

    }

    if (x >= 101)    // 10 sekund bude zobrazena teplota topení
    {

        line_1();
        lcd_text("Teplota topeni :"); // výpis textu
        gotoxy(2,10);
        lcd_byt(celecisloT);
        // výpis aktuální teploty topení
        gotoxy(2,14);
        lcd_text("C");

    }

    if ((PINA&0b00100000)==0)
//po stisknutí tlačítka reset se rozsvítí dysplej na 15 sekund
    {
        _delay_ms(1000);
        for (y=0;y<15;y++)
        {

            PORTB = (PORTB & ~_BV(PB1)) | ((h) <<PB1);
//zapnutí podsvícení dyspleje
            _delay_ms(1000);

            if((PINA&0b00100000)==0)
            {
                tlreset++;
            }
        }
    }
}
```



```

if(tlreset > 1)
// po dvou vteřinách při stisknutém tlačítku reset naběhne mód
nastavení teploty
{
    line_1();
    lcd_text("Zadejte teplotu:");
    line_2();
    lcd_text("+      -      C  ");

for(a=0;a<30;a++) //uživatel má 30s na nastavení teploty
{
    _delay_ms(1000);

    if ((PINA&0b00001000)==0)
        // po stisknutí tlačítka "+" se
        přičte jeden stupeň teploty
        {
            nastav++;
//proměnná pro nastavení požadované hodnoty teploty
        }

    if ((PINA&0b00010000)==0)
        // po stisknutí tlačítka "-" se
        přičte jeden stupeň teploty
        {
            nastav--;
        }

        gotoxy(2,10);
        lcd_byt(nastav);
//zobrazení požadované teploty na dyspleji

    if((PINA&0b00100000)==0)
        //pokud je stisknuto tlačítko reset,
        dojde k ukončení módu nastavení
        teploty
        {
            tlreset=0;
            goto SKOK;
        }
        tlreset=0;
}

SKOK:
line_1();
// mazání dyspleje
lcd_text("                ");
line_2();
lcd_text("                ");
PORTB = (PORTB & ~_BV(PB1)) | ((1) << PB1);
// vypnutí podsvícení dyspleje
}

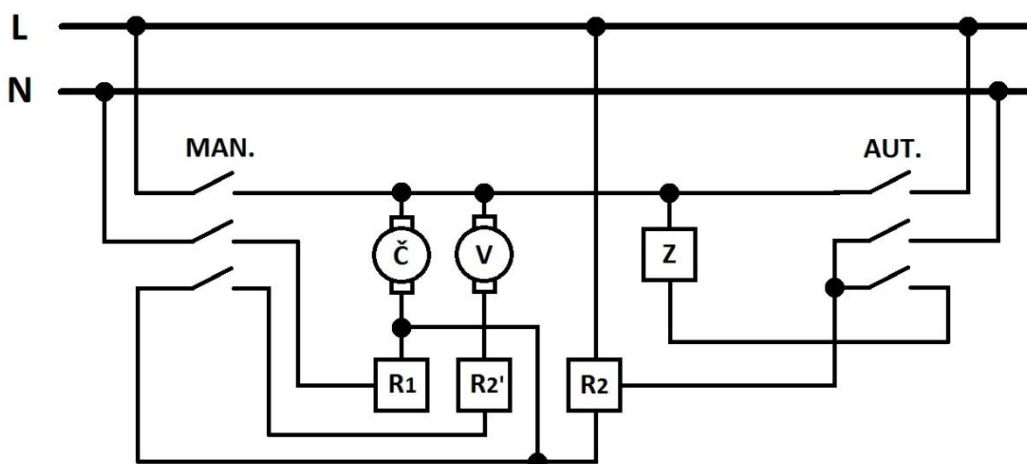
```

4 Instalace regulátoru

Jedná se o zapojení regulátoru ke krbové vložce a otestování jeho funkce v praxi. Při tomto testování byly změřeny hodnoty teplot, na které reaguje program. Program byl následně podle potřeby upraven.

4.1 Přepínací obvod

Obvod pro indikaci zapnutí čerpadla informuje uživatele v případě, že je čerpadlo vypnuto z důvodu poruchy regulátoru. Pro tento případ byl navržen přepínací obvod, pomocí kterého může uživatel přepnout z automatického regulátoru na manuální.



Obr. 4.1: Blokové schéma přepínacího obvodu

Přepínač je tvořen dvěma vypínači, Č – čerpadlem, V- ventilátorem na 230V k manuálnímu regulátoru, Z –napájecím zdrojem automatického regulátoru, R1- manuálním regulátorem, R2'-manuálním regulátorem pro regulaci otáček ventilátoru a R2- automatickým regulátorem.

Manuální regulátor obsahuje termostat, který spíná při teplotě 40 °C na krbové vložce. Při dosažení této teploty je zapnuto čerpadlo a ventilátor na 230 V. Výkon čerpadla se nastavuje manuálně. Po zapnutí je nastaveno na nejnižší výkon. Zhruba po dvaceti minutách se přepne na střední výkon a po čtyřiceti minutách na plný výkon. Otáčky ventilátoru se regulují potenciometrem pomocí triakového regulátoru.

Automatický regulátor je napájen PC zdrojem 12V. Regulátor musí být připojen na fázi síťového napětí kvůli indikaci zapnutí čerpadla. Manuální i automatický regulátor mají společné čerpadlo. Při používání automatického regulátoru se musí na čerpadle nastavit plný výkon. Výkon čerpadla je poté řízen PWM modulací. Manuální část využívá ventilátor na 230 V a automatická ventilátor na 12 V regulovaný pomocí PWM modulace.

4.2 Zapojení regulátoru ke krbové vložce

Před samotnou instalací automatického regulátoru muselo být vše řádně nachystáno. Do zdi byla vysekána drážka na husí krk a otvor na krabičku. Za tepelný výměník byl nainstalován ventilátor. Jedno teplotní čidlo bylo přichyceno stahovací páskou k trubce od topení na vhodném místě. Druhé teplotní čidlo bylo umístěno v místnosti. Kabel od tohoto čidla je schován v podlahové liště.

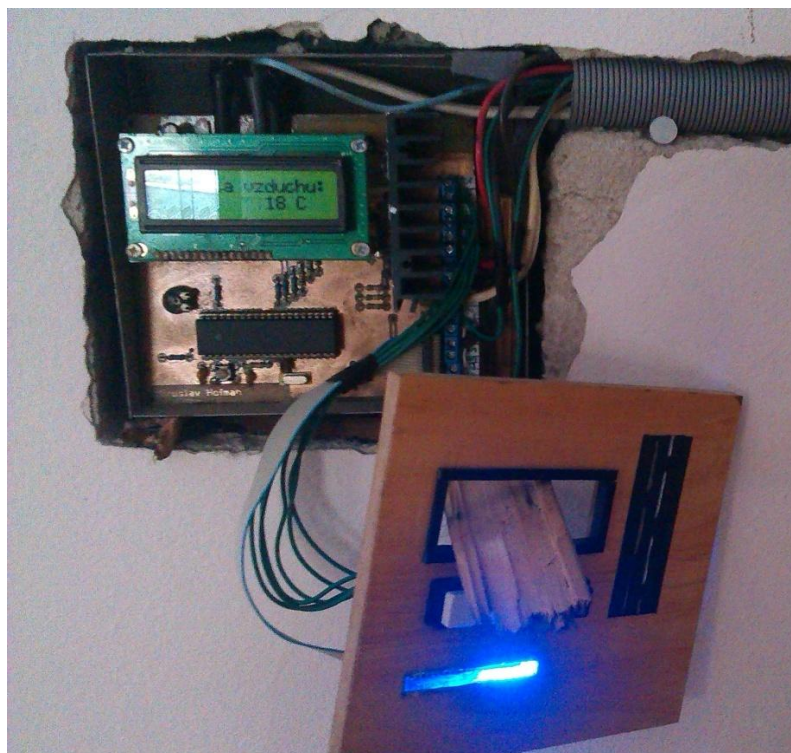
Po zapojení a zprovoznění následovalo měření teplot krbové vložky, pomocí kterých se reguluje výkon čerpadla. Měření probíhalo se zapnutým manuálním regulátorem, nastaveným na sepnutí při 40 °C. Když termostat sepnul, byla na teplotním čidle automatického regulátoru naměřena teplota 41 °C. Po dvaceti minutách 46 °C a po čtyřiceti minutách 51 °C. Program mikrokontroléru automatického regulátoru byl tedy upraven tak, aby sepnul čerpadlo při 41 °C na nejnižší výkon, dále při 46 °C na střední výkon a při 51 °C na plný výkon.

Automatický regulátor byl tedy připraven k zapnutí a otestování správné funkce. Po zapnutí byla zjištěna závada. Čerpadlo bylo v provozu na plný výkon a PWM modulace jeho výkon nijak neovlivňovala. Tato závada byla způsobena prohozením vstupních pinů u optotriaku, který tak byl neustále otevřený. Závada byla opravena a regulátor pracuje správně.

U manuálního regulátoru se po ukončení topení v krbu při poklesu teploty v topení pod 40 °C rozepne termostat a tím se čerpadlo i ventilátor vypne. U automatického regulátoru je vypnutí zajištěno podmínkou v programu. Celé zapojení je pouze provizorní kvůli odzkoušení funkce, kabely budou lépe rozvedeny až po obezdění krbu. Přepínací obvod bude také umístěn do vhodné krabičky ve zdi.



Obr. 4.2: Krbová vložka



Obr. 4.3: Automatický regulátor



Obr. 4.4: Ventilátor 12 V



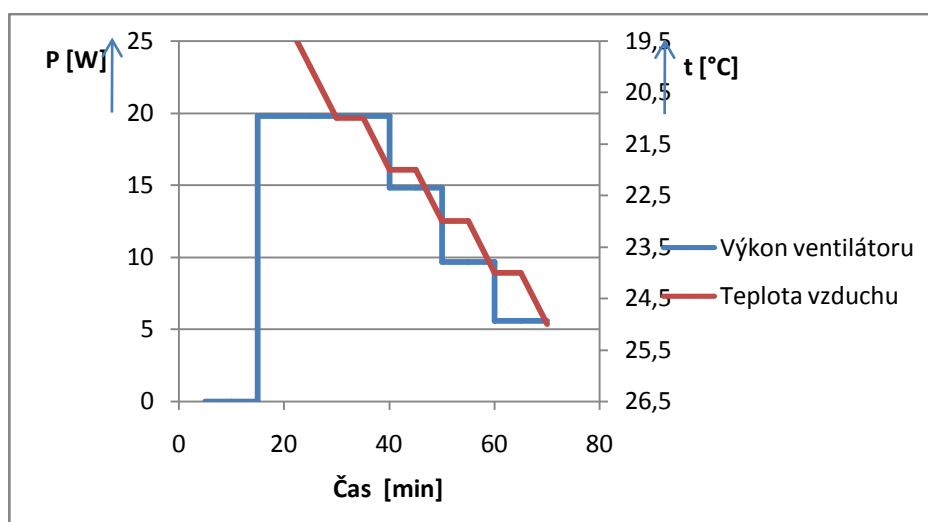
Obr. 4.5: Čerpadlo s přepínacím obvodem



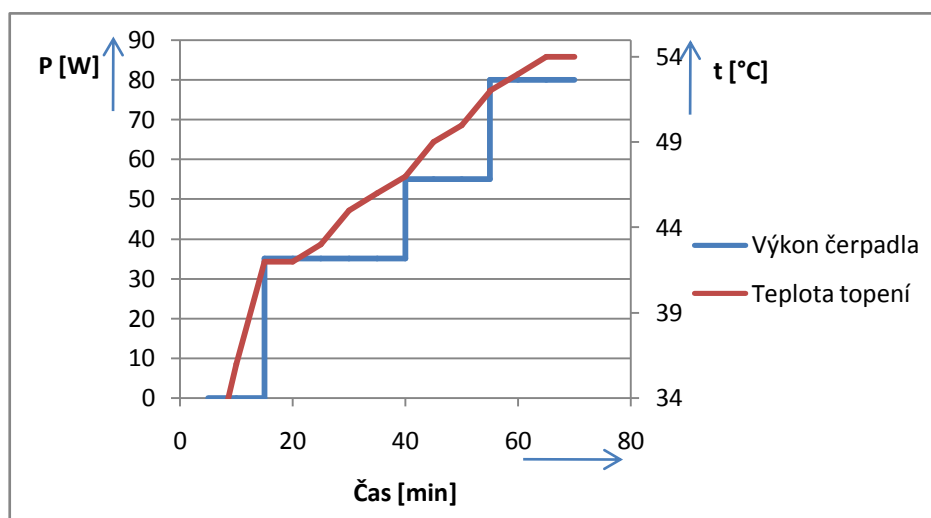
Obr. 4.6: Manuální regulátor

4.3 Měření výkonu

Při testování automatického regulátoru bylo měřeno napětí a proud na ventilátoru v závislosti na čase a teplotě. Z těchto hodnot byl následně vypočítán výkon a vnesen do grafu na obrázku 4.7 spolu s teplotou vzduchu v místnosti. Ventilátor se zapíná jako čerpadlo až při 41 °C na krbové vložce. Jeho výkon je nejvyšší ze začátku, protože je největší rozdíl požadované a aktuální teploty v místnosti. S narůstajícím časem se výkon snižuje. Při dosažení požadované teploty v místnosti výkon ventilátoru klesne na minimum. Ventilátor i čerpadlo se vypne při poklesu teploty topení pod 41 °C. Teplo od vzduchového výměníku, při minimálním výkonu ventilátoru vniká schodišťovým otvorem do prvního poschodí, kde ohřívá vzduch. Tvar grafu je závislý na typu tuhého paliva a původní teplotě v místnosti. Regulace výkonu čerpadla byla ověřena měřením proudu v bodech, kdy mělo vlivem PWM přepnout na vyšší výkon. Výkon uvedený v grafu na obrázku 4.8 je odvozen z údajů na štítku čerpadla. Z tohoto grafu vyplývá, že se při teplotách 41, 46 a 51 °C čerpadlo přepíná na vyšší výkony. Měření obou prvků potvrdilo, že regulátor pracuje správně. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze.



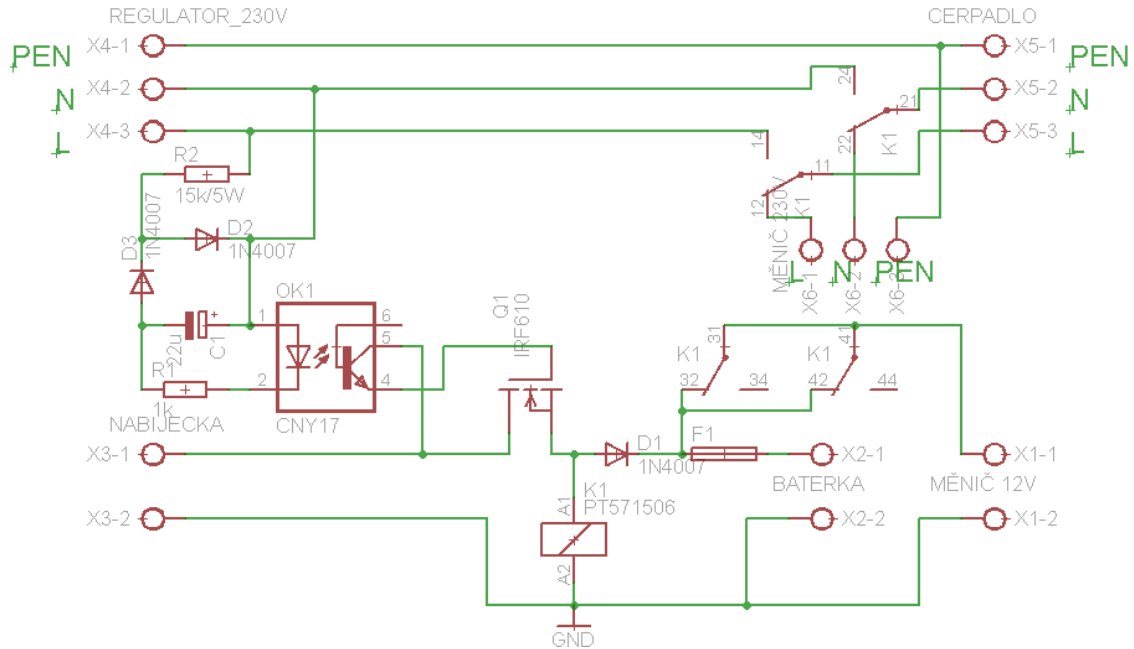
Obr. 4.7: Závislost výkonu ventilátoru a teploty vzduchu v místnosti na čase



Obr. 4.8: Závislost výkonu čerpadla a teploty topení na čase

4.4 Záložní zdroj

Při topení může nastat případ, kdy dojde k výpadku elektrického proudu, nebo poruše regulátoru. Pro takový případ byl navržen záložní zdroj. Jedná se pouze o návrh zdroje. Tento zdroj bude realizován v budoucnu.



Obr. 4.9: Záložní zdroj

Hlavním prvkem tohoto zdroje je relé (K1). Toto relé je monostabilní, po rozepnutí se uvede do původní polohy, která je znázorněna ve schématu na obrázku 4.9. Aby relé mohlo sepnout, musí se na jeho cívku přivést napětí z nabíječky (13-15 V). Toto napětí je na cívku přivedeno, pokud je regulátor v provozu. Pro tento účel byl použit obvod pro indikaci zapnutí čerpadla. Při sepnutém relé je na čerpadlo přivedeno napětí z regulátoru a zároveň se dobíjí baterie. Při rozepnutém relé je čerpadlo napájeno z baterie (12 V). Měnič převádí napětí z 12 VDC na 230 VAC pro čerpadlo. Sepnutí relé při výpadku elektrického proudu (vypnuté nabíječky) nebo poruše regulátoru zabraňuje dioda D1, která je v tomto případě polarizována v závěrném směru. Mezi vstupní kontakty měniče bude při realizaci záložního zdroje připojena LED dioda, která bude signalizovat činnost zdroje. Tento obvod byl navržen tak, aby byl složen z co nejmenšího počtu součástek. Měla by tak být zajištěna minimální poruchovost, která je u obvodů tohoto typu velice důležitá. Po realizaci a nainstalování obvodu se bude muset pravidelně kontrolovat jeho funkčnost. Pro omezení vzniku poruchy na čerpadle je vhodné ho před zimou rozebrat a vyčistit. Pokud je jako teplotně odolné médium použita voda, může dojít k zablokování nebo zreznutí čerpadla.

5 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou automatizovaných systémů pro řízení a regulaci topení v obytných prostorech. Porovnání dostupných systémů na trhu a na základě rešerše navrhnout vlastní řídicí systém pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky.

V první části práce jsou popsány funkce teplovzdušných a teplovodních krbových vložek a základní metody používané při regulování. Z těchto poznatků a z typu krbové vložky, kterou máme doma, vyplývá že bude vhodné regulovat pouze výkon čerpadla a ventilátoru. Regulace hoření není vhodná, protože je u krbové vložky již zabudována.

Druhá část práce se zabývá návrhem konstrukce vlastního regulátoru, který by umožnil regulovat teplotu v obytných prostorách podobným způsobem, jako regulátory dostupné na trhu. Blokové schéma je uvedeno na obrázku č.3. Konstrukce se skládá z několika funkčních celků, přičemž většina bloků byla otestována ve spojení s daným mikrokontrolérem. Celkové schéma zapojení regulátoru je uvedeno v příloze A.1.

Ve třetí části se experimentálně ověřuje funkce jednotlivých bloků. U každého bloku je zde uvedeno zapojení obvodu na nepájivém poli a ukázka programu, kterým by blok mohl být řízen. Během měření nebyly zjištěny vážné nedostatky. Návrh obvodů je tedy správný a vhodný k realizaci vlastního regulátoru. Regulátor byl sestaven na nepájivém poli podle navrženého schématu. Po sestavení byly zjištěny 2 závady, které se podařilo opravit. DPS byla vytvořena v programu eagle, výstupy z tohoto programu jsou k dispozici na přiloženém CD.

Automatický regulátor pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky byl tedy úspěšně zrealizován. Jeho funkce je otestována na teplovodní krbové vložce s vzduchovým výměníkem, pro kterou byl regulátor navržen. Provizorní zapojení regulátoru pro měření na krbové vložce je uvedeno na obrázku č. 4.2. Toto zapojení bude předěláno po obezpečení krbové vložky. Taktéž bude přidán záložní zdroj.

Seznam použité literatury

- [1] KAKÁČ, T. *Elektronický informační panel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 41 s., 12 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: ing. Jan Diblík.
- [2] KNĚŽÍNEK, P. *Teplovodní výměník pro krbovou vložku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.
- [3] Jak rozvést teplo po rodinném domě?. In: krbycz [online], [cit. 12-9-2013] URL: <http://www.krbycz.cz/jak-rozvest-teplo.asp>
- [4] Krby Znojmo, kotle, topení, servis plynových spotřebičů. In: josgaz.sluzby [online], [cit. 12-9-2013] URL: <http://josgaz.sluzby.cz/cms-app/000/945/026/main/images/145x110x1/000/000/460/topeni-na-tuha-paliva-459528.jpg>
- [5] Atmel Corporation. ATmega16 Datasheet. [online], [cit 12-9-2013] URL: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/restul/219541_DS.pdf
- [6] NAVRÁTIL, P. *Didaktická příručka pro vývojový kit s ATMEL*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 52 s., 50 s. příloh Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Friedl.
- [7] STENGL, Jens Peer, Jenő TIHANYI. *Výkonové tranzistory MOSFET*. 1. české vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 191 s. ISBN 80-860-5654-6.
- [8] Fairchild Semiconductor. IRF630 Datasheet. [online], [cit 12-9-2013] URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/IRF630.pdf>
- [9] Triak.. In: ackoo.estranky [online], [cit. 12-9-2013] URL: <http://www.ackoo.estranky.cz/img/picture/184/triak.JPG>
- [10] Fairchild Semiconductor. MOC3020M Datasheet. [online], [cit 12-9-2013] URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet2/f/0cjdpo9fa6zkrh8lp5dxklzajcy.pdf>
- [11] Power Innovations. TIC206M Datasheet. [online], [cit 12-9-2013] URL: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/105/323023_DS.pdf
- [12] AC PWM Library for Atmel Atmega8/168/328 AVR microcontrollers and Arduino. In: Pamvotis [online], [cit. 12-9-2013] URL: <http://www.pamvotis.org/e-solutions/index.php/en/2013-01-05-14-08-40/arduino-acpwm-library>
- [13] Vishay Semiconductors. CNY17 Datasheet. [online], [cit 12-9-2013] URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/vishay/83606.pdf>

- [14] Arduino ATM 1602B. In: Xoomer.virgilio [online], [cit. 12-9-2013]
URL: http://xoomer.virgilio.it/ditellamario/ard_lcd.htm
- [15] REJNUŠ, M. Měřič magnetického pole. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav teoretické a experimentální elektroniky, 2011. 47 s., 1 příl. Semestrální práce. Vedoucí práce: ing. Martin Friedl.
- [16] Dallas Semiconductors. DS18B20 Datasheet. [online], [cit 12-9-2013]
URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/maxim/DS18B20.pdf>
- [17] HOFMAN, M. *Automatická regulace pro teplovodní a teplovzdušné krbové vložky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2013. 35 s., 1 s. příloh. Semestrální projekt. Vedoucí práce: Ing. Martin Friedl

Seznam příloh

A Návrh zařízení

A.1	Schéma zapojení vlastního regulátoru.....	36
A.2	Deska plošného spoje regulátoru TOP (strana součástek).....	37
A.3	Deska plošného spoje teploměru TOP (strana součástek).....	37
A.4	Deska plošného spoje regulátoru BOTTOM (strana spojů).....	38
A.5	Deska plošného spoje teploměru BOTTOM (strana spojů).....	38
A.6	Schéma pro osazení regulátoru TOP (strana součástek).....	39
A.7	Schéma pro osazení teploměru TOP (strana součástek).....	39
A.8	Schéma pro osazení regulátoru BOTTOM (strana spojů).....	40
A.9	Schéma pro osazení teploměru BOTTOM (strana spojů).....	40

B Seznam součástek

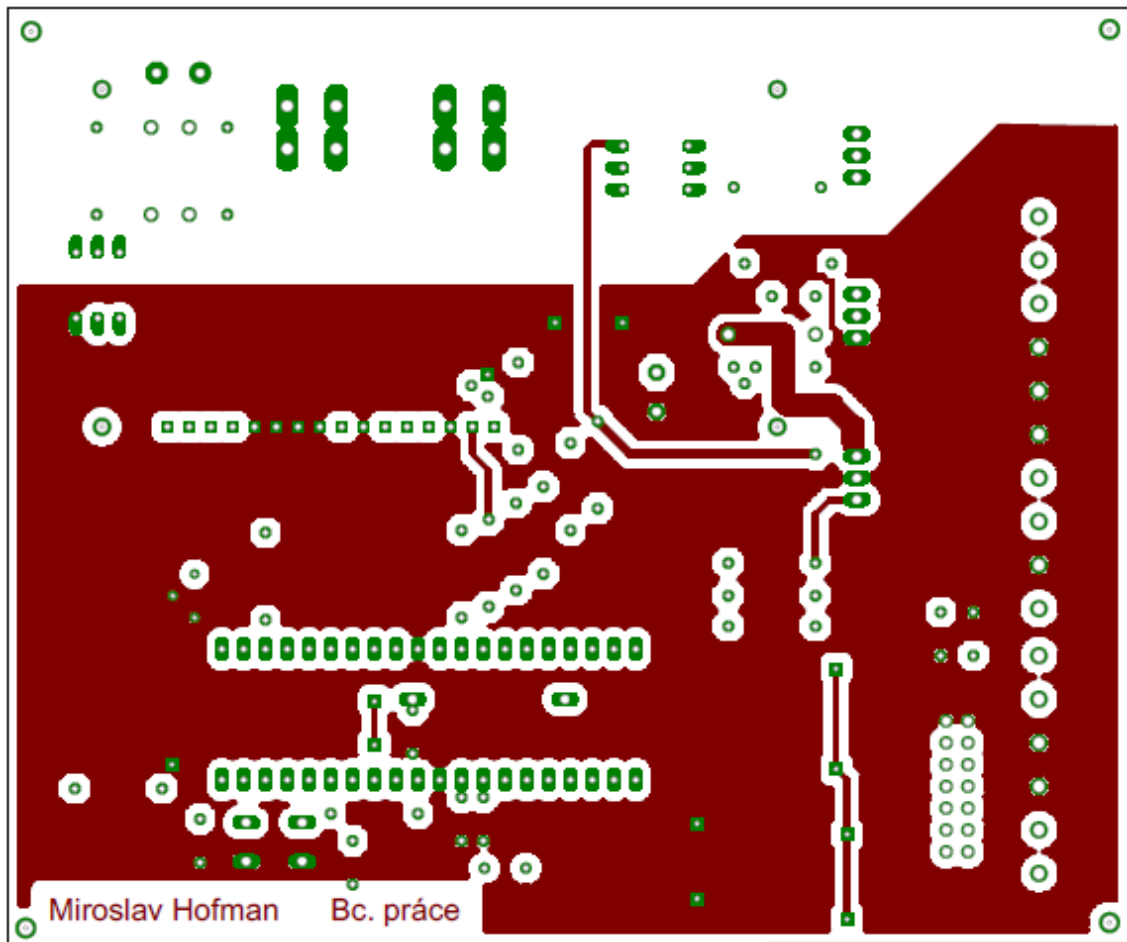
B.1	Seznam součástek pro desku plošného spoje regulátoru.....	41
B.2	Seznam součástek pro desku plošného spoje teploměru.....	42

C Naměřené hodnoty

D Návod k použití

E Obsah CD

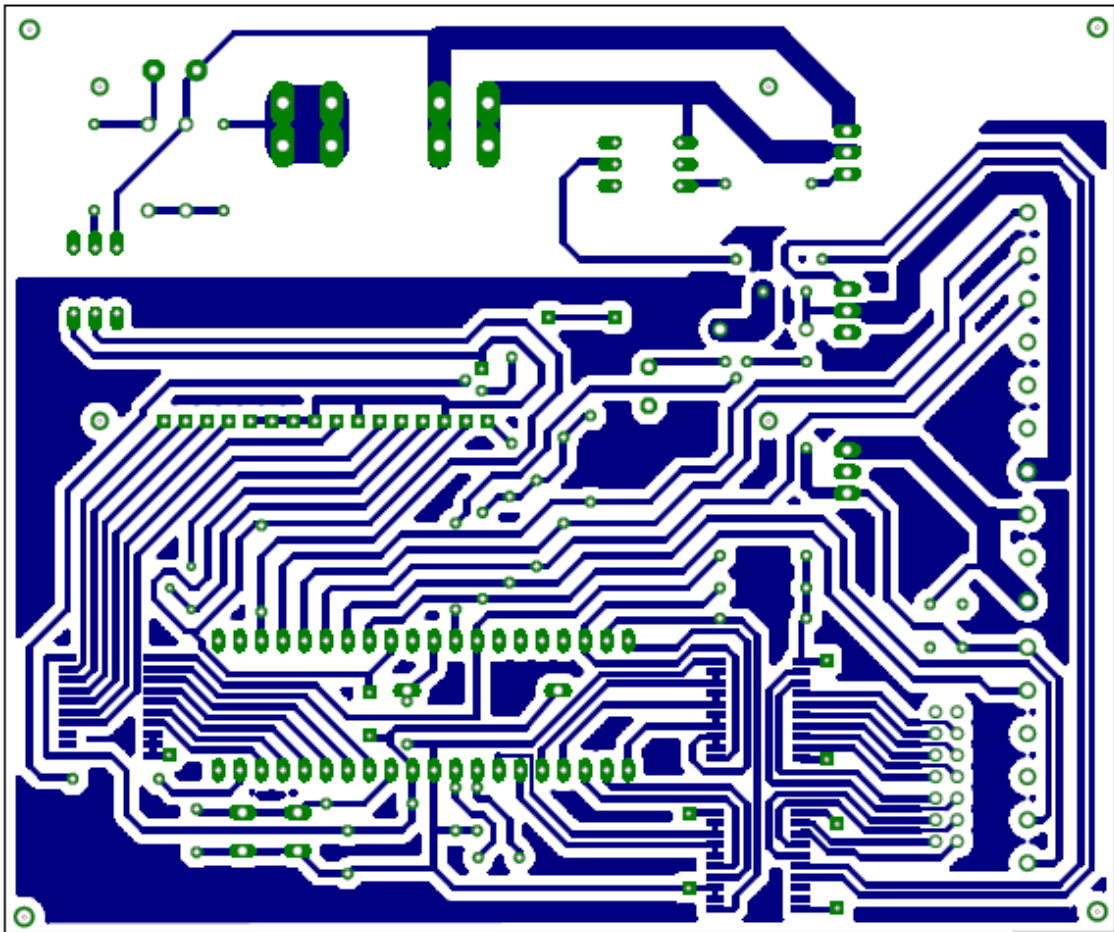
A.2 Deska plošného spoje regulátoru TOP (strana součástek)



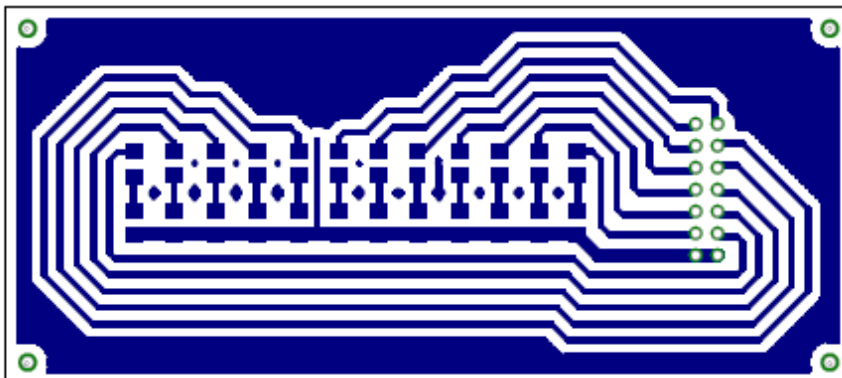
A.3 Deska plošného spoje teploměru TOP (strana součástek)



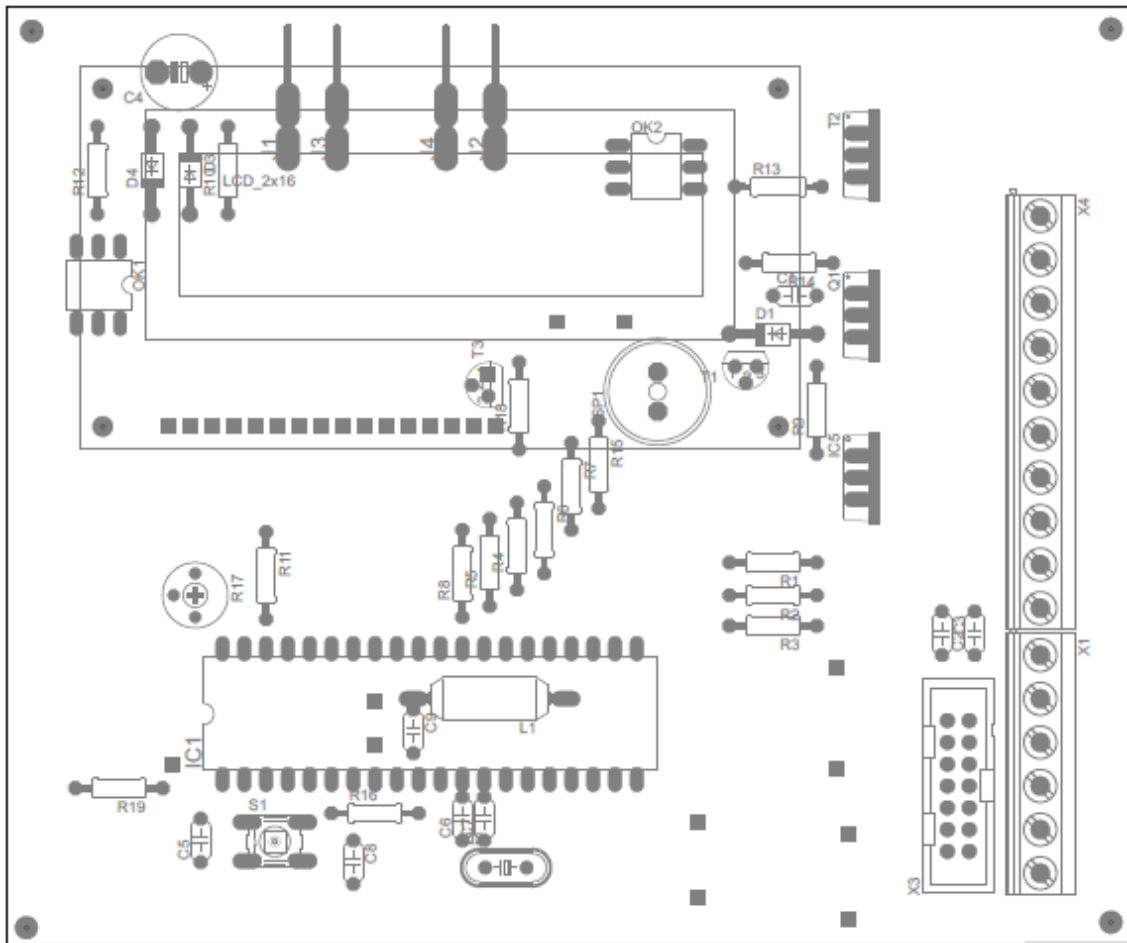
A.4 Deska plošného spoje regulátor BOTTOM (strana spojů)



A.5 Deska plošného spoje teploměr BOTTOM (strana spojů)



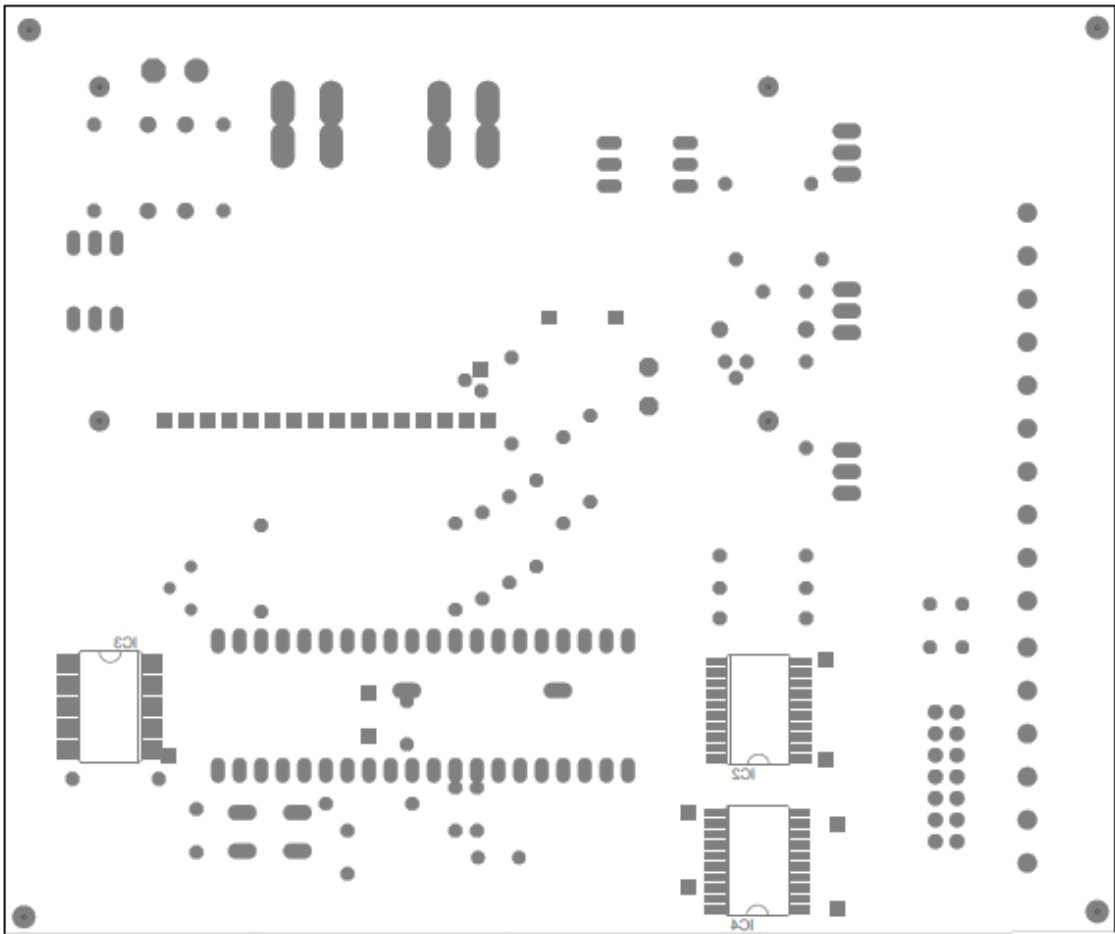
A.6 Schéma pro osazení regulátoru TOP (strana součástek)



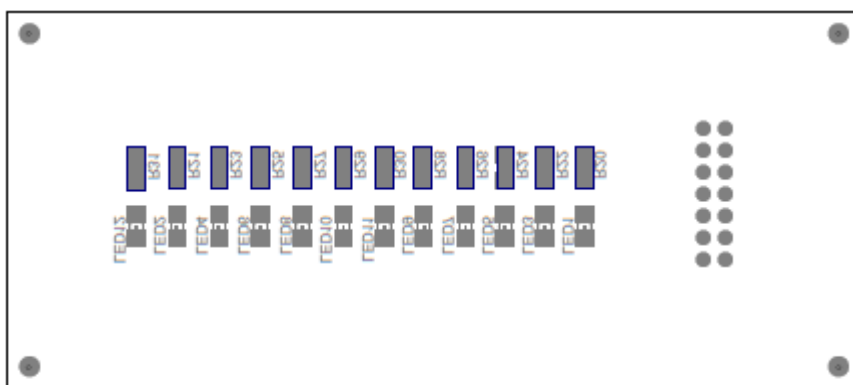
A.7 Schéma pro osazení teploměru TOP (strana součástek)



A.8 Schéma pro osazení regulátoru BOTTOM (strana spojů)



A.9 Schéma pro osazení teploměru BOTTOM (strana spojů)



B.1 Seznam součástek pro desku plošného spoje regulátoru

<u>Název</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Pouzdro</u>	<u>Popis</u>
C1	100nF	C050	keramický kondenzátor
C2	100nF	C050	keramický kondenzátor
C3	330nF	C050	keramický kondenzátor
C4	22uF/100V	CPOL-EUE5-8.5	elektrolytický kondenzátor
C5	100n	C050	keramický kondenzátor
C6	22p	C050	keramický kondenzátor
C7	22p	C050	keramický kondenzátor
C8	100n	C050	keramický kondenzátor
C9	100n	C050	keramický kondenzátor
D1	1N4007	DO41-10	dioda
D3	1N4007	DO41-10	dioda
D4	1N4007	DO41-10	dioda
IC1	ATMEGA16	DIL40	mikrokontrolér
IC2	74HC573D	SO20W	budič
IC3	74HC573D	SO20W	budič
IC4	74HC573D	SO20W	budič
IC5	78S05	TO220V	stabilizátor
J1	L	F061.200	konektor-faston
J2	N	F061.200	konektor-faston
J3	L	F061.200	konektor-faston
J4	N	F061.200	konektor-faston
L1	10uH	SUKW1-17	cívka
OK1	CNY17	DIL06	optočlen
OK2	MOC3020M	DIL06	optočlen
Q1	IRF630	TO220BV	tranzistor
Q2	16MHz	CRYSTALHC49S	krystal
R1	10k	0207/10	rezistor
R2	10k	0207/10	rezistor
R3	10k	0207/10	rezistor
R4	4k7	0207/10	rezistor
R5	4k7	0207/10	rezistor
R6	10k	0207/10	rezistor
R7	10k	0207/10	rezistor
R8	6k8	0207/10	rezistor
R9	150R	0207/10	rezistor
R10	15K / 5W	V526-0	rezistor
R11	470k	0207/10	rezistor
R12	1K	0207/10	rezistor
R13	6k8	0207/10	rezistor
R14	470R	0207/10	rezistor
R15	10k	0207/10	rezistor
R16	10k	0207/10	rezistor
R17	10k	0207/10	rezistor
R18	27	0207/10	resistor
R19	6k8	0207/10	resistor
S1		B3F-10	tlačítko

SP1	AL11P	AL11P	piezo
T1	BC238	TO92	tranzistor
T2	TIC206M	TO220BV	triak
T3	BC337	TO92	tranzistor
U\$1	LCD_BL_16X2_FLAT		displej
X1	MKDSN1,5/6-5,08		konektor
X3	2514-5	PAK100/2500-14	konektor
X4	MKDSN1,5/10-5,08		konektor

B.2 Seznam součástek pro desku plošného spoje teploměru

<u>Název</u>	<u>Hodnota</u>	<u>Pouzdro</u>	<u>Popis</u>
LED1	Modrá	1206	led
LED2	Červená	1206	led
LED3	Modrá	1206	led
LED4	Červená	1206	led
LED5	Modrá	1206	led
LED6	Červená	1206	led
LED7	Modrá	1206	led
LED8	Žlutá	1206	led
LED9	Žlutá	1206	led
LED10	Žlutá	1206	led
LED11	Žlutá	1206	led
LED12	Červená	1206	led
R20	330R	R1206	rezistor
R21	330R	R1206	rezistor
R22	330R	R1206	rezistor
R23	330R	R1206	rezistor
R24	330R	R1206	rezistor
R25	330R	R1206	rezistor
R26	330R	R1206	rezistor
R27	330R	R1206	rezistor
R28	330R	R1206	rezistor
R29	330R	R1206	rezistor
R30	330R	R1206	rezistor
R31	330R	R1206	rezistor
X5	2514-5	PAK100/2500-5-14	konektor

C Naměřené a vypočtené hodnoty

Čas [min]	t_Vzduch [°C]	I_Ventilator [A]	V_ventilátor [V]	P_ventilátor [W]	t_Topeni [°C]	P_čerpadlo [W]
5	17	0	0	0	29	0
10	18	0	0	0	36	0
15	19	3	6,6	19,8	42	35
20	19	3	6,6	19,8	42	35
25	20	3	6,6	19,8	43	35
30	21	3	6,6	19,8	45	35
35	21	3	6,6	19,8	46	35
40	22	2,6	5,7	14,82	47	55
45	22	2,6	5,7	14,82	49	55
50	23	2,1	4,6	9,66	50	55
55	23	2,1	4,6	9,66	52	80
60	24	1,4	4	5,6	53	80
65	24	1,4	4	5,6	54	80
70	25	1,4	4	5,6	54	80

D Návod k použití

1. Nejprve je nutné nastavit čerpadlo na maximální výkon. To provedte nastavením páčky na čerpadle do polohy III. Automatický regulátor se poté zapne přepnutím pravých vypínačů na přepínacím obvodu do polohy I. Levé vypínače zůstanou v poloze 0. Funkčnost ověřte stisknutím černého tlačítka na panelu automatického regulátoru. Po stisknutí se rozsvítí displej.
2. Pro nastavení požadované teploty v místnosti dlouze zmáčkněte černé tlačítko. Na displeji se zobrazí aktuální nastavená teplota, kterou můžeme měnit tlačítky + a - .
Nastavenou teplotu potvrdíme a uložíme stisknutím černého tlačítka.
3. Aktuální teploty vody v topení a vzduchu v místnosti se na displeji střídavě zobrazují po 15 vteřinách. Pokud je v místnosti nedostatek světla, rozsviťte displej krátkým stisknutím černého tlačítka.
4. Při poruše obvodu pro regulaci výkonu čerpadla regulátor tuto skutečnost sdělí uživateli hlasitým tónem. V takovém případě přepněte pravé vypínače na přepínacím obvodu do polohy 0 a levé do polohy 1. Tím dojde k aktivaci manuálního regulátoru a k zamezení poškození topného okruhu.
5. V případě volby manuálního regulátoru nastavte čerpadlo do polohy I. před začátkem topení. Regulátor se aktivuje při 41 °C na krbové vložce. Při této teplotě se zapne čerpadlo a ventilátor. Dvacet minut poté přepněte čerpadlo do polohy II. Čtyřicet minut poté do polohy III. Výkon ventilátoru nastavte potenciometrem dle potřeby.
6. Po ukončení topení automatický (případně manuální) regulátor ukončí činnost čerpadla a ventilátoru. U manuálního regulátoru je nutné nastavit čerpadlo do polohy I. před dalším zatopením.

E Obsah CD

/Bakalarka

/Dokument – text práce ve formátu PDF

/Eagle – schémata a DPS

/SW – zdrojový kód

/IDE – prostředí AVR Studio 4, WIN AVR

/Katalog – katalogové listy součástek

/Knihovny – knihovny k periferiím

/Foto – fotografie