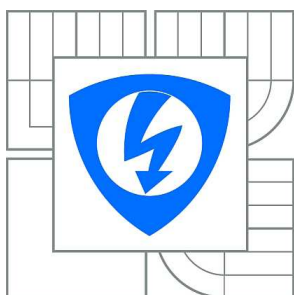


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH TEPELNĚ-REGULAČNÍHO SYSTÉMU PRO PŘESNOU STABILIZACI TEPLoty S VYUŽITÍM PELTIEROVÝCH TERMOELEKTRICKÝCH MODULŮ

DESIGN OF THERMAL SYSTEM FOR ACCURATE TEMPERATURE STABILIZATION USING
PELTIER THERMOELECTRIC MODULES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

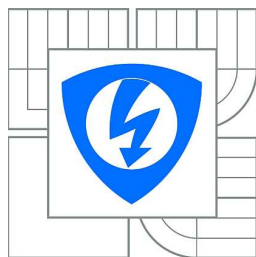
Bc. JAKUB MOTL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ROBERT MACKŮ

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Jakub Motl

ID: 77814

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Návrh tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím Peltierových termoelektrických modulů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V technické praxi je velmi často řešen problém s tepelnou stabilizací teploty vzorků, která se mění v průběhu jejich charakterizace. Měřená data jsou pak zatížena systematickou chybou a velmi často ztrácejí vypovídací hodnotu. Cílem této práce je navrhnout systém, který by umožňoval s minimální chybou nastavovat, udržovat i monitorovat teplotu zkoumaného vzorku. V práci by student měl realizovat autonomně pracující procesorem řízenou jednotku. Ta by měla být říditelná z osobního počítače prostřednictvím sběrnice USB a k jednotce by mělo být možné připojit alespoň dva tepelné senzory. Řízení by měl být jediný Peltierův modul s přesností alespoň 0,3 °C. Zařízení by mělo být uzpůsobeno k lokálnímu i dálkovému ovládání a předpokládá se zobrazování nastavených a měřených teplot na displeji. Výsledná praktická realizace by měla být umístěna uvnitř přístrojové skříně a napájena vlastním zdrojem.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] KREIDL, Marcel. Měření teploty. 1. Praha : BEN, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4.

[2] VÁŇA, Vladimír . Obrázek uživatele Redakce Mikrokontroléry Atmel AVR - programování v jazyce C. Praha : BEN, 2003. 216 s. ISBN 80-7300-102-0.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Robert Macků

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Návrh tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím peltierových termoelektrických modulů

diplomová práce

Studijní obor: Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Jakub Motl

Vedoucí práce: Ing. Robert Macků

Abstrakt:

Tato diplomová práce popisuje postup návrhu tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím peltierova modulu. V realizaci je použit osmibitový mikrokontrolér ATmega16 od společnosti ATMEL k lokálnímu i dálkovému ovládní systému. Pro komunikaci teplotních snímačů s mikrokontrolérem je využito sériové rozhraní SPI. Pro zobrazování uživatelských dat je použit znakový LCD displej (DEM16217SYH) s řídicím obvodem HD44780. Ke sběru dat z chladicích ploch peltierova článku jsou použity přesné snímače teploty ADT7320 od společnosti Analog Devices. Regulace teploty peltierova článku probíhá ve dvou bodech elektrodového systému a je použit softwarový dvoustavový regulátor s hysterezí. V první části práce je shrnuta teorie, která se týká návrhu vlastní konstrukce. Dále je pak pozornost věnována problematice peltierových článků, přehledu teplotních senzorů, popisu mikrokontroléru, zobrazovací jednotce, použitého regulátoru a v poslední části je popsána hardwarová a softwarová realizace.

Klíčová slova: tepelně-regulační systém, peltierův článek, ATmega16, senzory teploty, regulátor

Brno University of Technology
Fakulty of Elektrical Engineering and Communication
Department of Telecommunication

**Design of heat-regulating system to stabilize its temperature using
a Peltier thermoelectric module**

master's thesis

Specialisation of study: Communications and Informatics

Student: Bc. Jakub Motl

Supervisor: Ing. Robert Macků

Abstact:

This master's thesis describes design procedure of a heat-regulating system to stabilize its temperature using a Peltier module. The implementation uses eight-bit microcontroller ATmega16 made by company ATMEL for the local and remote control system. The temperature sensors communicate with the microcontroller by serial SPI interface. To display user data, it has a DEM16217SYH type character LCD display with HD44780 control circuit. To collect data from the cooling areas of Peltier module, accurate ADT7320 temperature sensors are used, made by company Analog Devices. The Control of the Peltier module happens in two points of the electrode system and a bistable hysteresis software regulator is used. The first part summarizes the theory, which concerns with the design. Next part concerned with issues of the Peltier module, overview of temperature sensors, description of the microcontroller, the display unit and the used regulator. Last part describes the hardware and software implementation.

Key words: heat-regulating system, Peltier module, ATmega16, temperature sensors, regulátor

Bibliografická citace

MOTL, J. *Návrh tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím Peltierových termoelektrických modulů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 64 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Macků.

P r o h l á š e n í

„Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Návrh tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím Peltierových termoelektrických modulů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 24.května 2011

Podpis autora:

P o d ě k o v á n í:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Robertu Macků a za účinnou metodickou, pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 24.května 2011

Podpis autora:

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. NÁVRH KONCEPCE REGULAČNÍ JEDNOTKY	13
3. PELTIERŮV ČLÁNEK	14
3.1 Seebeckův jev	14
3.2 Peltierův jev	14
3.2.1 Vlastnosti a použití peltierových článků	15
3.3 Shrnutí vlastností Peltierových termoelektrických modulů.....	18
4. PŘEHLED TEPLOTNÍCH SENZORŮ A KOMUNIKAČNÍCH ROZHRAŇÍ	19
4.1 ADT7320, ADT7420	19
4.2 AD592.....	23
4.3 LM92	24
4.4 AD7814.....	24
4.5 Shrnutí.....	25
5. VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU	26
5.1 Požadavky na výběr mikrokontroléru.....	26
5.2 Mikrokontrolér Atmega 16	26
5.3 Popis mikrokontroléru	28
6. ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA	29
6.1 Popis vybraného displeje	29
7. SYSTÉM PŘÍMÉHO I ZPĚTNOVAZEBNÍHO ŘÍZENÍ (OVLÁDÁNÍ A REGULACE)	31
7.1 Základní regulační veličiny	32
7.2 Řízení s použitím reléového regulátoru	32
7.3 PID regulátory	34
7.4 Metoda Ziegler-Nichols	35
7.5 Shrnutí vlastností regulátorů.....	36
8. REALIZACE	37
8.1 Napájecí část.....	38
8.2 Blokové schéma zařízení	39
8.3 Programové a obvodové řešení tepelně-regulačního systému.....	40

8.3.1 Schéma zapojení.....	41
8.3.2 Deska plošných spojů.....	41
8.3.3 Obsluha periférií mikrokontroléru.....	43
8.4 Spínání tranzistoru IRF2807.....	46
8.5 Dálkové ovládání s využitím Matlabu.....	47
8.5.1 FTDI (Future Technology Devices International).....	47
8.5.2 Popis programu pro komunikaci.....	48
8.6 Mechanické a konstrukční uspořádání.....	51
9. ZÁVĚR.....	53
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55
SEZNAM LITERATURY.....	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Blokové schéma teplotního systému	13
Obr. 3.1 Schematické znázornění obvodu pro sledování Seebeckova jevu, [1].....	14
Obr. 3.2 Peltierův článek, [2].....	15
Obr. 3.3 Ukázka Peltierova článku, [2]	17
Obr. 3.4 Výkonové charakteristiky Peltierových modulů, [16].....	17
Obr. 4.1 Struktura sběrnice SPI, [14].....	20
Obr. 4.2 Schéma zapojení pomocí SPI rozhraní mikrokontroléru a teplotního senzoru	21
Obr. 4.3 Zapojení uzlů na sběrnici I ² C, [13].....	22
Obr. 4.4 Σ - Δ převodník použitý ve struktuře teplotního senzoru, [5]	23
Obr. 4.5 Nelinearita teplotního snímače AD592 vyjádřená jako odchylka od ideální převodní charakteristiky	24
Obr. 5.1 Funkční bloky u jednotek MCU typu AVR, [13], [14]	27
Obr. 6.1 Zapojení LCD displeje, [11], [12]	30
Obr. 7.1 Schéma ovládání přímého řízení [8].....	31
Obr. 7.2 Schéma regulace se zpětnou vazbou [8].....	32
Obr. 7.3 Průběh regulace teploty s využitím dvoustavového regulátoru s hysterezí [8] ..	33
Obr. 7.4 Odezva na jednotkový skok P,PI a PID regulátoru, [8].....	34
Obr. 7.5 Schéma uzavřené smyčky PID regulátoru, [13]	35
Obr. 8.1 Základní koncepce tepelně-regulačního systému	37
Obr. 8.2 Přípravek pro uchycení měřeného vzorku a snímačů teploty T1 a T2	38
Obr. 8.3 Schéma zapojení 7805-STM	39
Obr. 8.4 Blokové schéma zařízení	40
Obr. 8.5 Deska plošných spojů tepelně-regulačního systému	42
Obr. 8.6 Deska plošných spojů tepelně-regulačního systému – bez pouzder.....	42
Obr. 8.7 Deska plošných spojů teplotních snímačů.....	42
Obr. 8.8 Schéma zapojení ATmega16 a LCD displeje.....	45
Obr. 8.9 Schematické zapojení konektorů pro teplotní snímače	46
Obr. 8.10 Schéma zapojení optočlenu TLP250	47
Obr. 8.11 Schéma zapojení FTDI chipu	48
Obr. 8.12 Dálkové ovládání tepelně-regulačního systému z Matlabu	50
Obr. 8.13 Procesorová deska zajišťující řídicí funkce	51
Obr. 8.14 chladicí plochy, peltierův článek, digitální teplotní snímače	52

Obr. 8.15 měřící přípravek s termoelektrickým modulem..... 52

1. ÚVOD

V současné době dochází k velkému rozvoji moderních technologií. Termoelektrické chladičí moduly jsou v posledních letech využívány v nejrůznějších aplikacích, které vyžadují velmi přesnou regulaci teploty. Přesná regulace teploty je podmíněna kvalitním návrhem regulátoru a celého termoelektrického systému aby nedocházelo k systematickým chybám a následně tak ztrátě vypovídací hodnoty naměřených dat. V nejlepších případech jsou tyto systémy schopny pracovat s přesností 0,001 K.

Cílem této práce je zpracování problematiky měření a regulace teploty v uzavřeném systému. Diskuze tepelných senzorů a jejich ovládání, blokový návrh tepelně-regulačního systému s Peltierovým modulem a možnosti využití mikroprocesoru k lokálnímu i dálkovému ovládání systému.

Znalosti tematiky shrnuté v této práci budou v budoucnu využity v samotné konstrukci tepelně-regulačního systému pro přesnou stabilizaci teploty s využitím Peltierových termoelektrických modulů, což je předmětem této diplomové práce.

Komerčně vyráběné termoelektrické moduly obvykle neumožňují přesnou stabilizaci teploty a naopak finální systémy pro regulaci teploty jsou poněkud vyšší ceny. Snahou je tedy navrhnout neméně výkonný systém za přijatelnější cenu, než komerčně vyráběné systémy.

Práce je členěna do kapitol, kde je postupně rozebírána celá problematika. V následující druhé kapitole se věnují návrhu konceptu celého systému.

Třetí kapitola je věnována obecnému popisu Peltierových článků.

Ve čtvrté kapitole je rozebrána problematika digitálních tepelných senzorů, na základě požadavků pro naši konstrukci je v této kapitole vybrán vhodný teplotní senzor.

V páté kapitole je popsán mikrokontrolér řady AVR (Atmega16). Tento mikrokontrolér je dostačující našim požadavkům. Proto je tato kapitola věnována právě Atmega16.

V šesté kapitole je rozebrána zobrazovací jednotka. Zde budou zobrazena uživatelská data, konkrétně žádaná hodnota a skutečné hodnoty ze dvou teplotních senzorů T1 a T2. Tyto teplotní senzory snímají teploty daného měřeného vzorku pomocí speciálního přípravku, na kterém jsou umístěny námi vybrané senzory teploty.

V kapitole sedmé se nachází problematika regulátorů dvoustavových s hysterezí a PID regulátorů. Regulátor bude řešen softwarově a bude naprogramován pomocí jazyka C a nahrán do mikrokontroléru ATmega16.

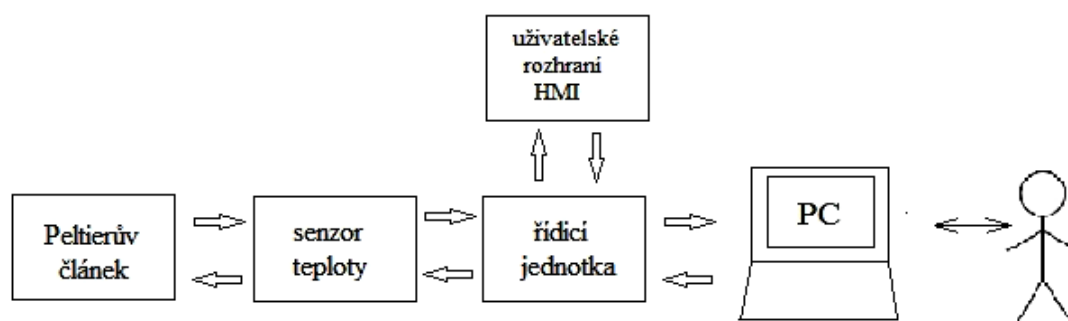
V kapitole osmé je popsána budoucí realizace měřícího přípravku včetně základní koncepce celého systému.

Měřeným objektem jsou křemíkové solární články, kde pn přechod je vyráběn difúzní technologií. U těchto monokrystalických článků je pn přechod lokalizován velmi těsně pod povrchem. Tloušťka článků je přibližně 0,3mm a jejich plocha typicky 100mm^2 . Horní vrstva článku (vrstva přístupná dopadajícímu záření) je dopována fosforem a je tak vytvořena tenká vrstva polovodiče typu n . Základní substrát je dopován bórem.

Tato práce byla prováděna ve spolupráci s UFYZ, kde je prováděn výzkum polovodičových materiálů a teplotní stabilizace vzorků je aktuální. Vytvořená jednotka bude začleněna do stávajících systémů a bude prakticky využívána.

2. NÁVRH KONCEPCE REGULAČNÍ JEDNOTKY

Následující kapitoly této práce popisují použité komponenty systému, které jsou zobrazeny v blokovém schématu na obr. 2.1. Systém měření teploty je složen z několika dílčích částí vykonávajících rozdílné funkce. Stěžejním prvkem celého systému je mikrokontrolér, který provádí řízení všech operací a funkcí celého přístroje podle předem stanoveného programu. Teplotní senzory sbírají data z Peltierova článku, které vyhodnocuje mikrokontrolér ATmega16 a je součástí řídicí jednotky. Mikrokontrolér řady AVR poskytuje data pro LCD displej (DEM16217SYH) na kterém jsou vyhodnocená data zobrazována pro uživatele či obsluhu. LCD displej je ovládán pomocí řídicího obvodu HD44780 firmy Hitachi a je součástí bloku uživatelského rozhraní HMI. Pro samotné naprogramování a zprostředkování komunikace mezi měřicím systémem a osobním PC (dálkové ovládání) slouží FTDI chip konkrétně obvod FT232RL, který tuto komunikaci podporuje je součástí řídicí jednotky viz obr. 2.1 “Blokové schéma vlastní konstrukce“. Dále pro nastavování žádané teploty a následně její zobrazení slouží schematický blok rozhraní HMI.



Obr. 2.1 Blokové schéma teplotního systému

3. PELTIERŮV ČLÁNEK

Peltierův článek funguje na základě Peltierova jevu, který objevil v roce 1834 francouzský fyzik Jean C. Peltier. Peltierův jev je reverzní k Seebeckovu jevu, který se uplatňuje u termočlánků. Podívejme se nyní blíže na Seebeckův jev.

3.1 Seebeckův jev

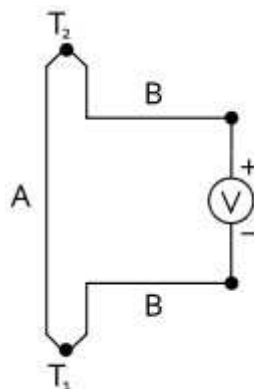
Seebeckův jev nastane při teplotních rozdílech mezi dvěma kovy nebo polovodiči. Pokud vodiče vytvoří uzavřený obvod, sledujeme nepřetržité proudění elektronů. Vzniklé napětí je v řádu několika mikrovoltů na stupeň Celsia, [1].

V následujícím obvodu odpovídá naměřené napětí U vzorci

$$U = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1). \quad (1)$$

Kde S_A a S_B jsou tzv. Seebeckovy koeficienty kovů A a B, T_1 a T_2 jsou teploty spojů.

Tato idealizovaná rovnice platí pouze v případě, že jsou Seebeckovy koeficienty v daném rozsahu teplot přibližně konstantní, což je velmi často snadno splněno.



Obr. 3.1 Schematické znázornění obvodu pro sledování Seebeckova jevu, [1]

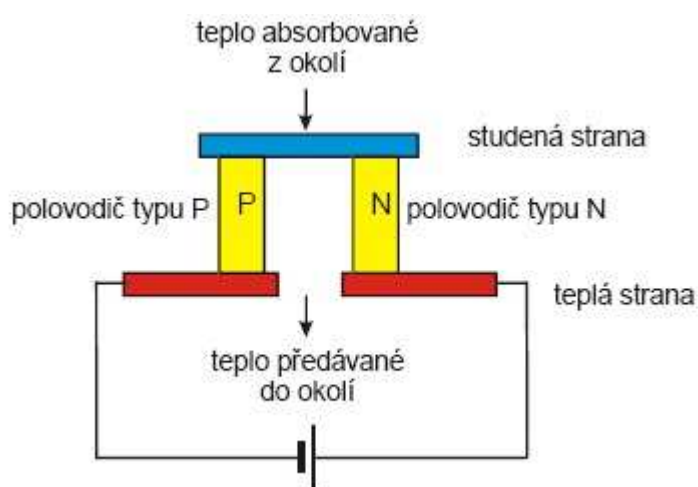
3.2 Peltierův jev

Protéká-li polovodičovými hranolkem elektrický proud, je k jedné straně hranolu přiváděno teplo. V případě že je toto teplo odvedeno, ochlazuje se druhá strana hranolu do relativně nízkých teplot. Polovodičové hranolky jsou převážně umístěny mezi kruhovými keramickými destičkami tak, že jedna destička při průchodu el. Proudů

modulem ohřívá a druhá ochlazuje. Při realizaci Peltierových článků se v praxi nepoužívají kovové vodiče, ale polovodiče a jejich sloučeniny.

Základní zapojení Peltierova článku je zobrazeno na obr. 3.2. Jak již bylo řečeno, pro realizaci se používají polovodičové materiály a to především kombinace Bismutu, (Bismut je těžký kov) a Telluru polokovový prvek (spíše kov), které jsou vhodné kvůli svým termoelektrickým vlastnostem. Jde především o nízký měrný elektrický odpor a malou tepelnou vodivost. Technologicky jsou vhodné sloučeniny typu Bi-Te-Se (N-ty) Bi-Sb-Te (P-ty). Spojovací můstky se zhotovují z mědi, jako izolace se používá keramika s dobrou tepelnou vodivostí, [2].

Peltierovy články jsou zapojeny do série ve větší celky tzv. termobaterie.



Obr. 3.2 Peltierův článek, [2]

3.2.1 Vlastnosti a použití peltierových článků

Peltierův článek se skládá ze dvou větví hranolovitého tvaru. Sloupky jsou tvořené polovodiči typu P a N, jsou na jedné straně vodivě spojeny spojovacím můstkem. Tělíska jsou uložena ve dvou teplo-vodivých destičkách. Jedna ze styčných ploch se ochlazuje a druhá se zahřívá. T_h – teplá strana modulu, T_c – studená strana modulu a celkové množství tepla Q , které musí studená strana modulu absorbovat. V místě styku polovodiče se spojovacím můstkem vzniká nežádoucí přechodový odpor, který značně ovlivňuje dosažitelnou chladicí kapacitu Q a maximální rozdíl teplot mezi teplotou a studenou stranou. Ideálně je množství absorbovaného tepla na studené straně a vyzářeného tepla na teplé straně závislé na součinu Peltierova koeficientu a proudu procházející polovodičem. Tyto články se používají například u chlazení osobních počítačů, ve vědě, lékařství, průmyslu. V dnešní době se také využívají

v autochladičkách, kamerách nebo fotoaparátech s řízeným chlazeným snímačem, výpočetní technice, atd., [16].

Pro chlazení teplé strany modulu lze použít tyto způsoby:

- Žebrovaný chladič s přidavným ventilátorem. Ventilátor rovnoměrně rozptýlí teplo uvolněné chladičem do okolního prostředí.
- Žebrovaný chladič bez přidavného ventilátoru. Tento způsob je méně používaný jelikož přirozená cirkulace nestačí dostatečně odvádět teplo z chladiče.
- Nejúčinnějším řešením je chlazení měděným nebo hliníkovým blokem protékaným vodou. S takovým uspořádáním lze dosáhnout nejmenšího tepelného odporu chladiče. Tato chladičí metoda má však jednu nevýhodu a to vyšší pořizovacích nákladů.

Výhody

- Malé rozměry,
- okamžitý efekt chlazení nebo topení (změnou polaroty proudu),
- dosažení velmi nízkých teplot (až -80°C),
- snadná regulace výkonu,
- tichý provoz jelikož nemá žádné pohyblivé části,
- relativně dlouhá životnost a
- využití pro termoelektrický generátor (TEG).

Nevýhody

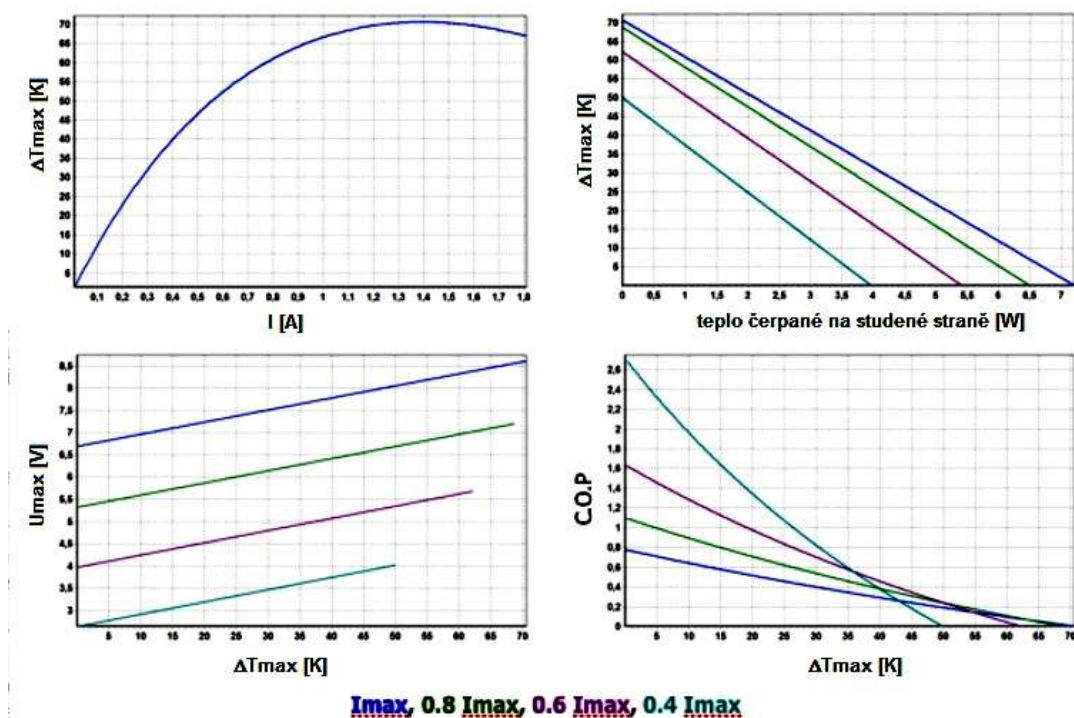
- Problémy s přehříváním,
- relativně velká spotřeba,
- vysoká cena v případě potřeby velkého chladičího výkonu,
- nízká účinnost modulu způsobuje vysoké nároky na odvod tepla.



Obr. 3.3 Ukázka Peltierova článku, [2]

Typickou specifikací pro termoelektrické moduly je výkonová charakteristika Peltierových modulů. Na obrázku 3.4 je naznačen vzájemný vztah mezi I_{\max} , U_{\max} , Q_{\max} a ΔT_{\max} . Výrobci specifikují termoelektrické moduly výkonových prvků při teplotě okolí (27°C) = 300K. Na základě těchto parametrů a charakteristik si vybíráme termoelektrický modul, který bude odpovídat našim požadavkům. Na obrázku 3.4 nám zkratka C.O.P. udává koeficient výkonnosti. [16]

- ΔT_{\max} – maximální teplotní rozdíl při nulovém tepelném zatížení
- Q_{\max} – maximální chladicí kapacita odpovídající ΔT_{\max}
- U_{\max} – maximální mezní napětí bez tepelného zatížení
- I_{\max} - maximální proud



Obr. 3.4 Výkonové charakteristiky Peltierových modulů, [16]

3.3 Shrnutí vlastností Peltierových termoelektrických modulů

Jednotlivé Peltierovy články se často zapojují do série do větších celků tzv. Peltierových termoelektrických modulů. Každý polovodič v modulu se nazývá element, pár elementů tvoří termočlánek. Termoelektrické systémy mají stejnou chladicí funkci jako běžné kompresorové a absorpční chladicí systémy. „Přečerpávají“ energii z jednoho místa na druhé. Mechanické chladicí systémy jsou neekonomické v oblasti malých výkonů okolo 25W. Oproti mechanickým mají výhody v úplné nehluknosti chodu, teoreticky neomezené životnosti, možnosti lokálního chlazení a plynulé regulace chladicího výkonu. Takto vytvořené moduly mají v závislosti na velikosti a podmínkách chladicí výkony od zlomků Watů do 150W.

Nejúčinnějším řešením je chlazení modulu měděným nebo hliníkovým blokem protékaným vodou. S takovým uspořádáním lze dosáhnout nejmenšího tepelného odporu chladiče.

Úkolem je poukázat na princip funkce Peltierových článků, jakých se zde využívá jevů, výhod a nevýhod i k čemu slouží. Důvod rozboru Peltierových článků v této práci je návrh měřicího a tepelně regulačního systému, pomocí kterého se budou tyto Peltierovy články regulovat.

4. PŘEHLED TEPLOTNÍCH SENZORŮ A KOMUNIKAČNÍCH ROZHRAŇÍ

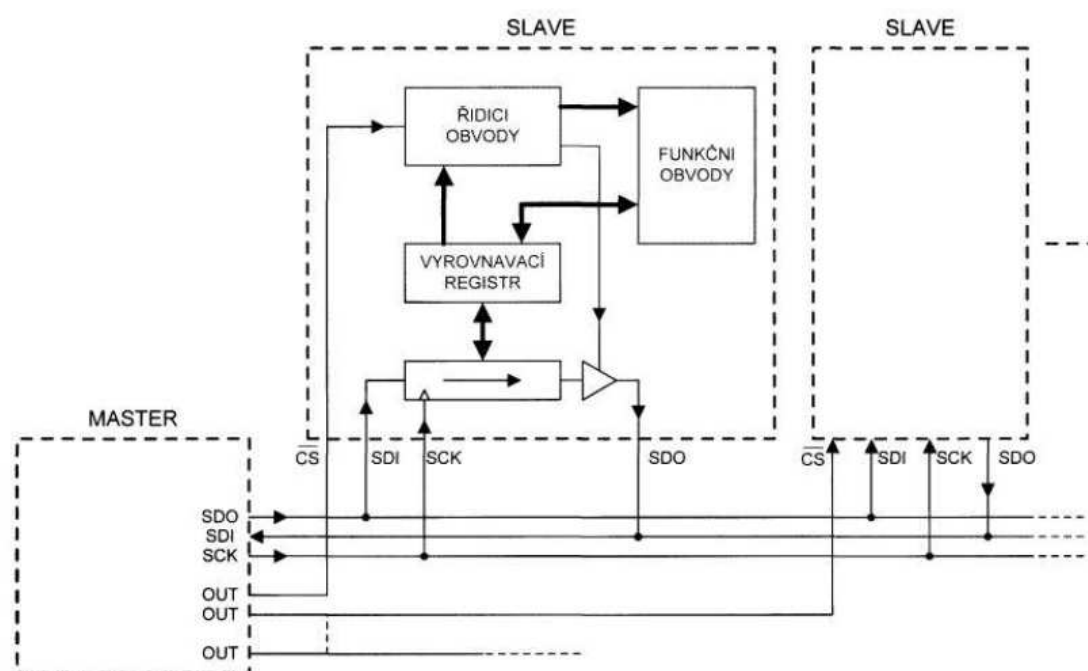
V této kapitole je rozebrán přehled vybraných precizních teplotních senzorů. Na základě námi požadovaných parametrů zhodnotíme a vybereme příslušný digitální teplotní snímač, který bude v této diplomové práci použit při konstrukci, vyhodnocování a sběru dat ze snímaných chladících ploch Peltierova článku. Typ senzoru teploty a jeho uložení v termoelektrickém modulu ovlivňují stabilitu regulované teploty. Výběr vhodného snímače závisí na druhu použití a také na základních parametrech jako jsou: teplotní rozsah, citlivost, požadovaná linearita a mechanické rozměry. Díky malým rozměrům lze snímače precizně upevnit ke chlazenému objektu. Konkrétně snímače by měli být připevněny na plochách, mezi které se vkládá měřený vzorek. Plochy musí být vyrobeny z dobře tepelně-vodivého materiálu, také musí být v těsném kontaktu s měřeným vzorkem, aby nedocházelo ke ztrátě vypovídací hodnoty a docházelo tak k co možná nejlepší teplotní stabilizaci pracovní teploty vzorku. V průběhu následujících elektrických měření, bude i díky tomuto přístupu minimální systematická chyba.

4.1 ADT7320, ADT7420

Tyto 16bitové digitální teplotní senzory firmy Analog Devices, které je možné použít i v režimu 13bitovým a 10bitovým. Primárně je použit 13bitový analogově-digitální konvertor (ADC) pro digitalizaci teploty s rozlišením $0,0625^{\circ}\text{C}$, v režimu 16bitovém je toto rozlišení $0,0078^{\circ}\text{C}$. Bezpečné provozní napájecí napětí je v rozsahu od 2,7V až 5,5V. Doporučené pracovní napájení je 3,3V napájecí proud je typicky $210\mu\text{A}$. Čidlo ADT7320 je vhodné pro provoz v teplotním rozsahu -40°C do $+147^{\circ}\text{C}$. Z toho 147°C již je kritická teplota. Nejlepší absolutní přesnosti dosahuje $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ v teplotním rozsahu od -20°C do $+105^{\circ}\text{C}$. V teplotním rozsahu od -40°C do 125°C je absolutní přesnost rovna $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Toto teplotní čidlo má vynikající přesnost a linearitu v celém rozsahu jmenovitých teplot bez nutnosti opravy nebo kalibrace. Senzor ADT7320 komunikuje prostřednictvím komunikačního rozhraní SPI. Rozhraní SPI, přenáší data bit po bitu sériově. Jeden vodič slouží pro přenos dat a druhý pro potvrzování platnosti těchto dat na straně výstupu. Další vlastností tohoto přenosu je skutečnost, že vysílací strana nikdy nečeká, jestli přijímací strana všechna data bezchybně přijala. Komunikace s více zařízeními probíhá podle pravidel běžné sběrnice, kdy je možné jednotky adresovat

nebo vybírat speciální řídicím signálem. Výstup teplotního senzoru je digitalizovaný Σ - Δ převodníkem. Výstupní signál je místo analogové hodnoty napětí či proudu reprezentován v digitálním tvaru, což má své nesporné výhody. Mezi hlavní patří možnost připojení s mikrokontrolérem s využitím delších přívodních vodičů, aniž by docházelo ke znehodnocení přenášené informace vlivem rušení okolních zdrojů. Obvody nevyžadují žádnou kalibraci. Vynikají nízkou celkovou chybou měření, [6].

Teplotní senzor ADT7420 má stejné parametry jako ADT7320. Oproti ADT7320 (SPI) komunikuje ADT7420 přes rozhraní I²C. I²C je v určitých ohledech obdoba SPI (obsahuje jediný uzel master a existence hodinového signálu), některé vlastnosti jsou avšak odlišné a to: SPI je umožněn obousměrný přenos dat díky použití vodičů MISO, MOSI. I²C je vybavena pouze jedním datovým vodičem SDA tudíž data přenáší poloduplexně. Z toho vyplývá větší složitost vnitřní struktury všech připojených zařízení z důvodů možnosti přepínání mezi příslušnými piny, díky kterým se přepíná vstupní režim na výstupní [4], [5], [7].

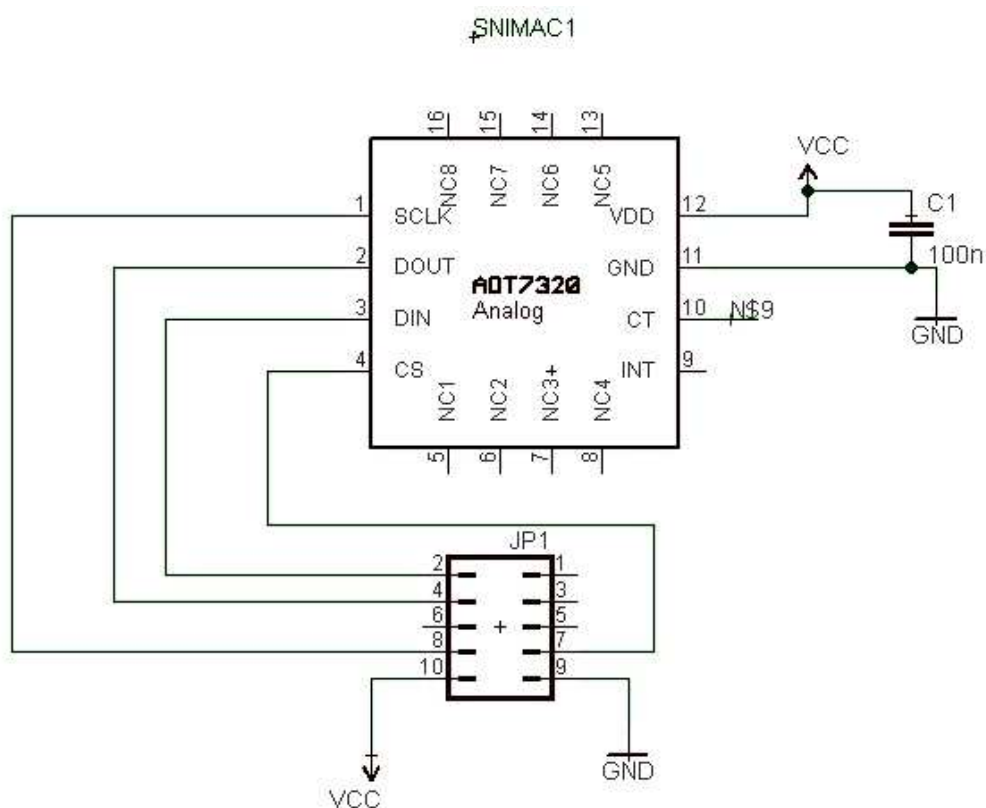


Obr. 4.1 Struktura sběrnice SPI, [14]

o Popis sběrnice SPI

Sériová periferie SPI je velmi jednoduchá a obsahuje ji převážná většina mikrokontrolérů. Používá se pro spojení s blízkými obvody na jednom plošném spoji. Jedná se o sériové paměti EEPROM, převodníky různé senzory, hodiny reálného času. Jednoduchost obvodů vyplývá z jednoduché synchronizace, kdy hodinové impulzy jsou generovány hlavním uzlem a jsou rozváděny ke všem podřízeným uzlům.

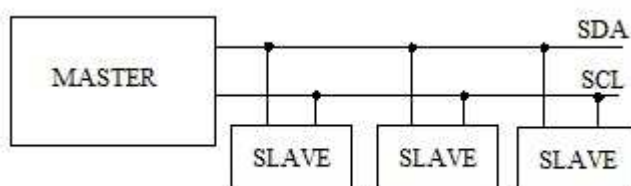
Po třech společných vodičích se rozvádějí synchronizační impulzy SCK, sériová výstupní data SDI. Před vlastním sériovým přenosem se nejprve vybere patřičný Slave. Výběr se děje výběrovými signály, generované Masterem, a vedenými po výběrových vodičích ke každému Slave. Pro SPI, není předepsán způsob řízení jednotlivých obvodů ani časování signálů. Je nutné respektovat vlastnosti jednotlivých obvodů. Na straně mikrokontroléru se programově nastavuje kmitočet i průběh synchronizačních impulzů. Schopnosti SPI: plný duplex (schopnost současně přijímat i vysílat), třívodičový synchronní přenos dat, může pracovat jako master (řídící obvod) nebo jako slave (řízený obvod), 7 programovatelných rychlostí, maximální přenosová rychlost až 8Mb/s, [13].



Obr. 4.2 Schéma zapojení pomocí SPI rozhraní mikrokontroléru a teplotního senzoru

o Popis obrázku sběrnice I2C

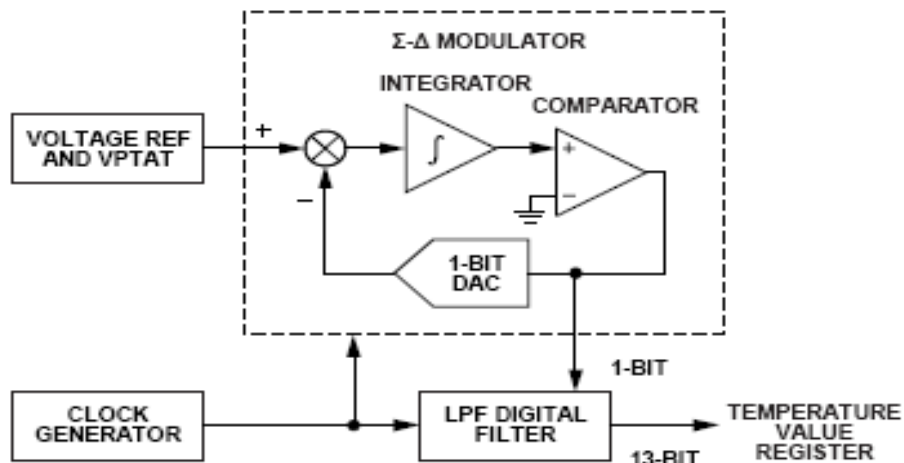
Sběrnice rozděluje připojená zařízení a řídící. Master generuje hodinový signál SCL, také zahajuje a ukončuje komunikaci. Slave zařízení je adresované masterem. SDA je datový kanál. Pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a až 128 různými zařízeními za použití pouze dvou linek sběrnice. Všechna zařízení připojená na sběrnici mají individuální adresy. Master (řídící obvod) – zařízení, které začíná a ukončuje přenos. Slave (řízený obvod) – zařízení adresované masterem, [13].



Obr. 4.3 Zapojení uzlů na sběrnici I²C, [13]

Σ - Δ převodník

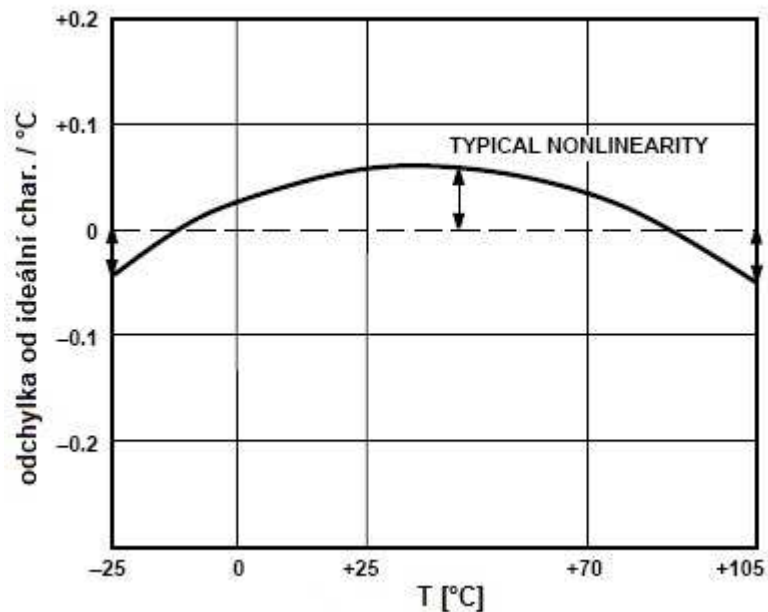
Ve vnitřní struktuře teplotního senzoru je pro převod analogového signálu na signál digitální použit Sigma-Delta převodník. V digitální podobě se dají tyto signály přesněji zaznamenat, přenášet a zpracovávat. Převodník se skládá ze sigma-delta modulátoru a číslicového filtru. Základními obvody modulátoru je dolní propust (integrátor), napěťový komparátor a klopný obvod typu D, překlápaným hodinovým signálem o kmitočtu f . Ve zpětnovazební větvi je umístěn jednobitový D/A převodník který slouží jako přepínač dvouhodnotového signálu UREF. Signál se odečítá od vstupního napětí v rozdílovém zesilovači.



Obr. 4.4 Σ - Δ převodník použitý ve struktuře teplotního senzoru, [5]

4.2 AD592

Teplotní senzor AD592 spadá do skupiny analogových snímačů teploty. Jedná se o velmi přesný, převodník s proudovým výstupem. Výstupní proud v A přesně odpovídá teplotě v kelvinech. Snímač má vynikající linearitu 0,15 K. Tolerance bez dodatečné kalibrace činí 1,5 K. Tuto chybu lze jednoduše kompenzovat odporovým trimrem, takže dochází pouze k chybě linearity. Linearita 0,15 K v teplotním rozsahu (0°C do 70°C). Jeho pracovní rozsah je od -25°C do 105°C a absolutní přesnost 0,5°C. Jedná se o monolitický integrovaný obvod. Typické oblasti použití jsou zejména automobilový průmysl, průmyslová regulace teploty. Je vhodný zejména pro dálkové snímání, má velkou odolnost vůči poklesu napětí. Tento analogový snímač má pro nás jednu nevýhodu a to další analogově/digitální převod na straně procesoru. Navíc nemá dostatečně vhodné pouzdro pro snímání chladicích ploch. Oproti použití digitálního teplotního snímače podstatně komplikuje návrh zařízení. Je totiž třeba navrhovat obvody pro úpravu signálu, filtraci a distribuci po kabelu od senzoru k procesorové jednotce.



Obr. 4.5 Nelinearita teplotního snímače AD592 vyjádřená jako odchylka od ideální převodní charakteristiky

4.3 LM92

Dalším dostupným obvodem je LM92. Jde o 12-Bitový číslicový senzor teploty komunikující pomocí sériového rozhraní I²C (Inter-Integrated Circuit). Bezpečné provozní napájecí napětí je v rozsahu od 2,7V až 5,5V. Pracovní napájení je 3,3V napájecí proud je typicky 350 μ A. [9]

Přesnosti, rozlišení při teplotě:

- (30°C) $\pm 0.33^\circ\text{C}$ (max.)
- (10°C to 50°C) $\pm 0.50^\circ\text{C}$ (max.)
- (-10°C to 85°C) $\pm 1.0^\circ\text{C}$ (max.)
- (125°C) $\pm 1.25^\circ\text{C}$ (max.)

Pozn. Chyby teplot jsou uváděny maximální možné, praktická přesnost může být lepší.

4.4 AD7814

Digitální snímač teploty od firmy Analog Devices. 10bitový senzor teploty komunikující pomocí sériového rozhraní SPI. Absolutní přesnost snímače je 0,25°C na

rozsahu -40°C až 125°C , s povolenou odchylkou $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Pracovní napětí je v rozmezí 2,7V do 5,5V

4.5 Shrnutí

Typ senzoru teploty a jeho uložení v termoelektrickém modulu přímo ovlivňují stabilitu a přesnost regulované teploty. Většina monolitických řídicích obvodů je schopna zpracovat signály z mnoha senzorů teploty. Výběr snímače závisí na druhu použití a na základních parametrech jako je citlivost, požadovaná linearita, teplotní rozsah, mechanické rozměry daného snímače, [6].

Z již zmíněných senzorů teploty vyhovuje pro náš měřicí systém senzor, který je nejpřesnější má velmi dobrou linearitu a ke komunikaci s mikrokontrolérem využívá sériové rozhraní SPI, přitom cenově je obvod dostupný.

Další neméně důležité parametry které byly brány v potaz při výběru senzoru teploty je měřicí rozsah a s tím spojenou přesnost. Přesnost je u senzoru ADT7320 rovna $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ při teplotním rozsahu od -20°C do $+105^{\circ}\text{C}$. V teplotním rozsahu od -40°C do 125°C je přesnost rovna $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Díky těmto hodnotám je nejlepší ze všech zmíněných, proto vyhovuje našim požadavkům na správnou činnost měřicího systému. Vybral jsem si digitální teplotní snímač ADT7320, protože oproti použití analogového teplotního snímače podstatně zjednodušuje návrh zařízení a nevyžaduje kalibrace. Není potřeba navrhovat obvody pro úpravu signálu z analogového snímače.

5. VÝBĚR MIKROKONTROLÉRU

5.1 Požadavky na výběr mikrokontroléru

V Dnešní době existuje na trhu velké množství jednočipových mikrokontrolérů různých typů od různých výrobců. Pro námi navrhovaný tepelně-regulační systém bude postačovat 8bitový typ, neboť nebude nutný veliký výpočetní výkon. Hlavními požadavky při výběru vhodného mikrokontroléru pro navrhovaný tepelně-regulační systém je nízké napájecí napětí, široký rozsah provozních teplot, počet vstupně/výstupních linek, druhy rozhraní periferií (SPI, UART, JTAG) a také pořizovací cena. Námi zvolený mikrokontrolér ATmega16 16AU rodiny AVR společnosti Atmel vyhovuje všem těmto požadavkům, [13], [14].

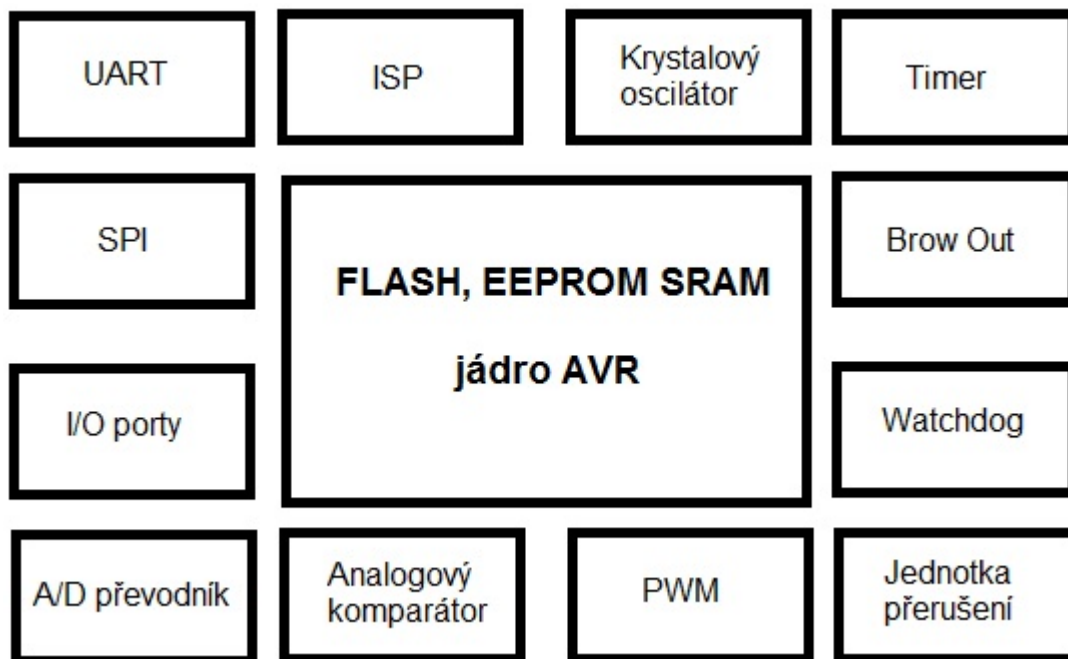
5.2 Mikrokontrolér Atmega 16

Jedná se o 8bitový RISC mikrokontrolér z rodiny AVR od společnosti Atmel. Má vyvedeny čtyři I/O porty tj. celkem 32 programovatelných vývodů, které jsou použity pro adresování LCD displeje, PWM, komunikaci SPI mezi snímači, [13]. Tato komponenta tvoří jádro celého tepelně-regulačního systému a je určena pro komunikaci s osobním počítačem prostřednictvím FTDI chipu viz dále, pro datovou komunikaci se zobrazovací jednotkou a teplotními snímači. Využití tohoto mikrokontroléru je velice široké např. v měření různých elektrických i neelektrických veličin. Mikrokontroléry se liší výkonem a jinými parametry, jádro má však u všech stejný úkol a to, zpracovávat povely (instrukce) ty jsou uloženy v paměti. Každý procesor má svoji instrukční sadu, je to soubor povelů, které umí daný procesor vykonat. Přečtení instrukce znamená vyvolání čtecích cyklů z paměti programu při postupně rostoucích adresách tak, aby se postupně přečetly všechny části instrukce. Počet čtecích cyklů odpovídá délce instrukce. Adresa instrukce odpovídá adrese, na které je uložen operační kód. Neméně důležitou součástí procesoru, kde se provádí operace s daty je ALU aritmeticko-logická jednotka, ta vykonává početní operace porovnání čísel, sčítání odčítání. Výsledek je ve tvaru binárního čísla. Součástí procesoru je registr je to „malá paměť“ většinou o velikosti 8 bitech. V tomto registru se uložená hodnota načte a zůstane, dokud ji nepřečteme, nebo nepřepíšeme jinými údaji, [13], [14].

Velmi důležitou součástí procesoru jsou obvody pro zpracování přerušení programu. Přerušení je vyvoláno vnitřními obvody procesoru.

Vstupy a výstupy mikroprocesoru, pomocí kterých mikroprocesor komunikuje, přebírá, zpracovává a vyhodnocuje data z periferií.

Periferie – zařízení, která se připojují k procesoru, procesor je může využívat, ale na druhou stranu je nepotřebuje ke svému chodu. Sériový port, A/D převodník atd.,[10], [14].



Obr. 5.1 Funkční bloky u jednotek MCU typu AVR, [13], [14]

- UART univerzální asynchronní přijímač/vysílač
- ISP programování v systému
- SPI sériové rozhraní přídavných zařízení
- I/O vstupní/výstupní port
- A/D analogově digitální převodník
- PWM modulátor šířky impulzu
- RTC hodiny reálného času

UART – Plně duplexní sériový kanál, umožňující komunikaci ve standardním 8 a 9bitovém asynchronním režimu. Obsahuje detekci falešného start-bitu, detekci chybného znaku a přečtení datového registru, filtraci šumu. Má 3 vektory přerušení: vysílání

dokončeno, vysílací vyrovnávací registr prázdná a příjem kompletní. Tato periférie bude dále využita ke komunikaci s pc.

ISP – tento blok umožňuje programování MCU přes jednoduché sériové rozhraní přímo v aplikaci. Díky ISP, je snadné programování přímo ve vyvíjené aplikaci, pomocí jednoduchého programátoru.

Brown Out – podpěťová ochrana

Watchdog – hlídací obvod. Časovač, který je spuštěn po resetu, nebo později z programu a po vypršení časového limitu vyvolá automatické přerušení, pokud ho nějakým podnětem (signálem, hodnotou registru) nevrátíme do počátečního stavu

SPI – synchronní sériový port. Toto rozhraní bude sloužit pro komunikaci s teplotními snímači.

Analogový komparátor – využití například pro méně přesný A/D převodník

A/D převodník – ve většině MCU ATmega 10bitový, [13], [14].

5.3 Popis mikrokontroléru

Základní charakteristikou ATMEL AVR je harvardská architektura která má odděleny sběrnice paměti programu a dat, dále se jedná o architekturu procesoru typu RISC redukovaná instrukční sada.

Vybavení Atmega16: 16kB Flash paměť programu, programovatelná přímo v aplikaci s možností uzamknutí, čtyři PWM výstupy, 512B EEPROM, čítače, časovače 100 000 zápisových cyklů do pamětí. Disponuje univerzálním programovacím a ladicím rozhraním JTAG i kvůli tomuto důvodu byl vybrán právě tento mikrokontrolér. Dále je integrován 8kanálový 10bitový A/D převodník, analogový komparátor, programovatelný USART, master/slave SPI sériové rozhraní. Napájecí napětí 4,5V – 5,5V (námi použitou verzí Atmega16).

Procesor má 32 identických 8bitových registrů, pro všeobecné použití. Zvolený mikrokontrolér obsahuje procesor s pamětí a vstupně výstupní porty. Má v sobě zabudovaný SPI kanál, sériový port, I2C sběrnici a deseti-bitový AD převodník. Výkon Atmega16 – 16MIPS/16MHz, je schopný pracovat na frekvenci 16MHz z toho jedna operace či povel trvá periodu hodin. Z toho je patrný výkon 16 milionů instrukcí za vteřinu (MIPS). Námi použitý mikrokontrolér je v provedení TQFP, [10], [14].

6. ZOBRAZOVACÍ JEDNOTKA

Zobrazovací jednotka zobrazuje dvě aktuálně měřené teploty horní a spodní chladicí plochy elektrodového systému. Tato konfigurace byla požadována pro měření vzorků. Vzorek je umístěn mezi dvojicí plošných elektrod a pokud je teplota na obou těchto elektrodách shodná a konstantní, pak jsou zajištěny optimální podmínky pro měření. Dále zobrazuje požadovanou hodnotu teploty, kterou je možné nastavit pomocí tlačítek. K tomu účelu postačí dvouřádkový alfanumerický displej, přičemž každý z řádků je schopen zobrazit 16znaků.

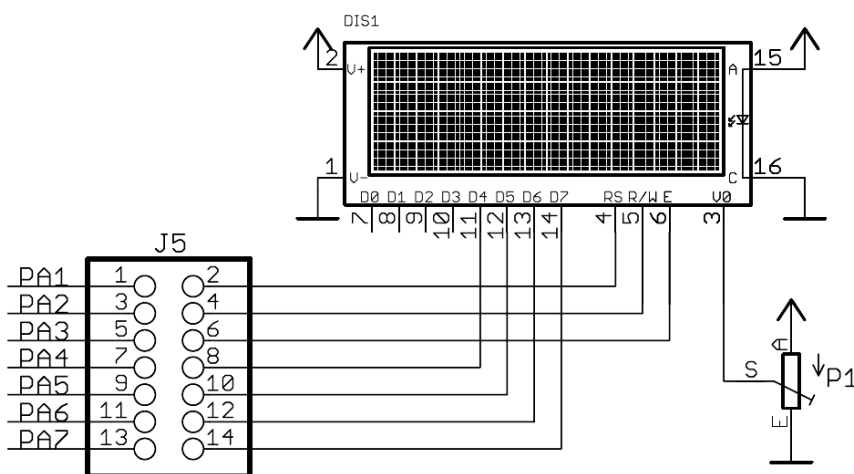
6.1 Popis vybraného displeje

Účinný způsob zobrazení informací v celé řadě řídicích aplikací je pomocí LCD displeje. Jedná se o znakový displej. Ten je ovládán pomocí speciálního integrovaného řídicího obvodu HD44780 firmy Hitachi, který ovládá celý displej a komunikaci s okolím. Tento řadič se stal standardem ve většině vyráběných zobrazovacích aplikacích. Znakový LCD displej (DEM16217SYH) obsahuje osm datových pinů pro přenos instrukcí a dat, dále sadu tří řídicích signálů a konečně piny pro napájení, nastavení kontrastu a podsvícení. K nastavení či ladění kontrastu LCD displeje jsem zakomponoval trimr viz Obr. 6.1 I přes to, že datové informace, které LCD displej přijímá/vysílá jsou 8-Bitové, často se komunikace realizuje pouze čtveřicí datových vodičů (označováno jako 4-Bitová komunikace).

Bytová slova se tak posílají ve dvou krocích: nejprve vyšší nibble, následně nižší. Stejným způsobem je realizována komunikace mikrokontroléru ATmega16 s LCD s rozlišením 16x2. Viz Obr. 6.1. Je zřejmé, že 4-Bitovou komunikací byl snížen počet nutných pinů mikrokontroléru z jedenácti na sedm. Konkrétně se jedná o piny PA7 až PA1 na portu A.

Programování řídicí aplikace probíhá ve vyšším programovacím jazyce C. Pro LCD displej byly vytvořeny samostatné zdrojové soubory lcd.c. Pro komunikaci s LCD displejem je využita knihovna lcd.h. Před začátkem připojení k mikrokontroléru si musíme zvolit datovou komunikaci a provést základní inicializaci displeje. Nastaví se počet bitů datové komunikace se směrem psaní znaků, posun řádku, pozici kurzoru a

blikání kurzoru. Po této inicializaci je displej připraven ke komunikaci. V našem zapojení je komunikace realizována v režimu čtyřbitovém, [12].



Obr. 6.1 Zapojení LCD displeje, [11], [12]

Řídicí signál RS slouží k identifikaci, zda jsou mezi kontrolérem a LCD displejem přenášeny instrukce nebo data (RS = 0; instrukce, RS = 1; data). Signál R/W identifikuje, zda dochází k zápisu nebo ke čtení z LCD displeje (R/W = 0: zápis, R/W = 1; čtení). Náběžná hrana signálu E (enable) označuje okamžik, kdy jsou data z datové a řídicí sběrnice. Proces komunikace mikrokontroléru ve směru k LCD displeji, probíhá v několika krocích. Nejprve je nutné nastavit příslušné hodnoty dvou řídicích signálů RS a R/W. Následně se datové piny D7:4 přivede vyšší nibble zapisovaných dat. Příjem těchto dat v LCD displeji, je spuštěn kladným pulzem signálu E (enable). Formát instrukcí je pevně dán. Jedná se vždy o 1-bitové slovo doplněné o řídicí signály RS a R/W. [12]

Tab 6.1 některé příkazy řadiče HD44780 pro komunikaci s LCD displejem

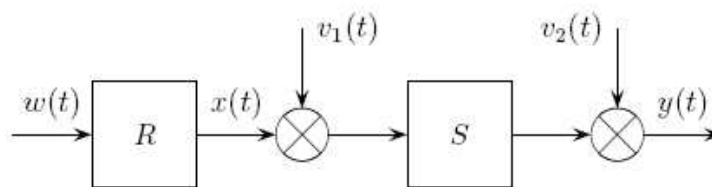
RS	R/W	DB7 : DB0	Popis instrukce
0	0	0000 0001	Smazání displeje
0	0	0000 001x	Návrat kurzoru na pozici (0,0)
0	0	0000 1DCB	Zapnutí displeje/kurzoru. D: zapnutí displeje. C:zobrazení kurzoru. Blikání kurzoru
0	0	01cgram_adr	Nastavení adresy CGRAM segmentu
1	0	8bitová data	Zápis dat do paměti CGRAM nebo DDRAM
1	1	8bitová data	Čtení dat z paměti CGRAM nebo DDRAM

7. SYSTÉM PŘÍMÉHO I ZPĚTNOVAZEBNÍHO ŘÍZENÍ (OVLÁDÁNÍ A REGULACE)

Na obr 7.1 je blokové schéma systému přímého řízení. Na řízenou soustavu (S), (v našem případě chladicí plochy s peltierovým článkem) s výstupem y působí kromě akční veličiny x (výstupní veličina regulátoru R) poruchy v_1 (na vstupu soustavy) a v_2 se přičítá k výstupu soustavy). Regulátor R produkuje akční veličinu x podle řídicí (žádané) hodnoty w (v našem případě se jedná o hodnotu fyzicky nastavenou tlačítky na měřicím přípravku nebo hodnotu nastavenou dálkovým ovládním v prostředí matlab), která působí na jeho vstup, [8].

Podle časového průběhu žádané (řídicí) veličiny dělíme řízení do třech skupin:

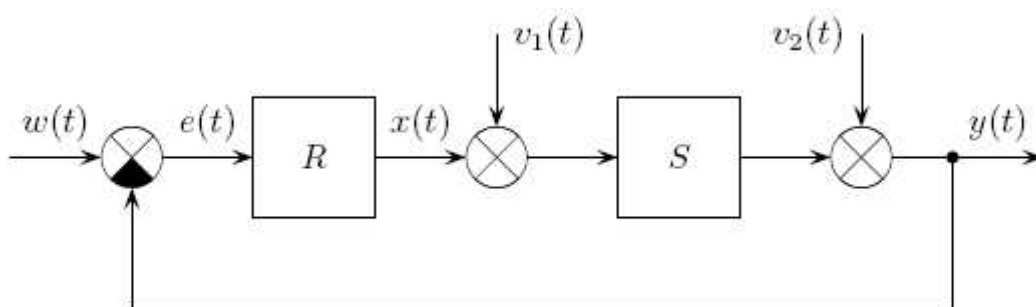
- Řízení na konstantní hodnotu je takové řízení, kdy žádaná hodnota má po celou dobu činnosti konstantní hodnotu jde např. O regulaci hladiny, řízení teploty. Toto řízení je charakteristické tím, že kompenzuje pouze poruchy, které působí na regulační systém. Tato regulace se vyskytuje u řízení základních fyzikálních veličin (teplota, tlak, otáčky, vlhkost napětí). Patří sem i takové systémy, u kterých je žádaná hodnota mění ale mezi tím je konstantní (teplota v obytných prostorách den noc).
- Systémy typu servomechanismus, žádaná hodnota se mění předem neznámým způsobem a hlavním úkolem regulace je zajistit její nejvěrnější sledování regulovanou veličinou.
- Programové řízení je takové řízení, u kterého má žádaná veličina v čase známý průběh. Základní algoritmus musí být navržen kvalitně pro dva nejdůležitější požadavky a to jsou, co nejvěrnější sledování a kompenzace poruch.



Obr. 7.1 Schéma ovládní přímého řízení [8]

7.1 Základní regulační veličiny

- Regulovaná veličina y (výstupní veličina řízeného systému)
- Řídicí veličina w (žádaná hodnota nebo vstupní veličina), hodnota a časový průběh této proměnné určuje, jakou má mít hodnotu a časový průběh regulované veličiny.
- Regulační odchylka je rozdíl mezi žádanou hodnotou a regulovanou veličinou (značí se e platí, tedy vztah $e = w - y$). viz obr. 7.2.
- Akční veličina, regulační veličina jedná se o vstupní veličinu regulované soustavy a výstupní veličinu regulátoru. Označujeme ji písmenem x .
- Porucha je též veličina, která může působit jak na vstupu, tak na výstupu nebo v libovolném místě regulované soustavy. Označujeme ji písmenem v , [8].

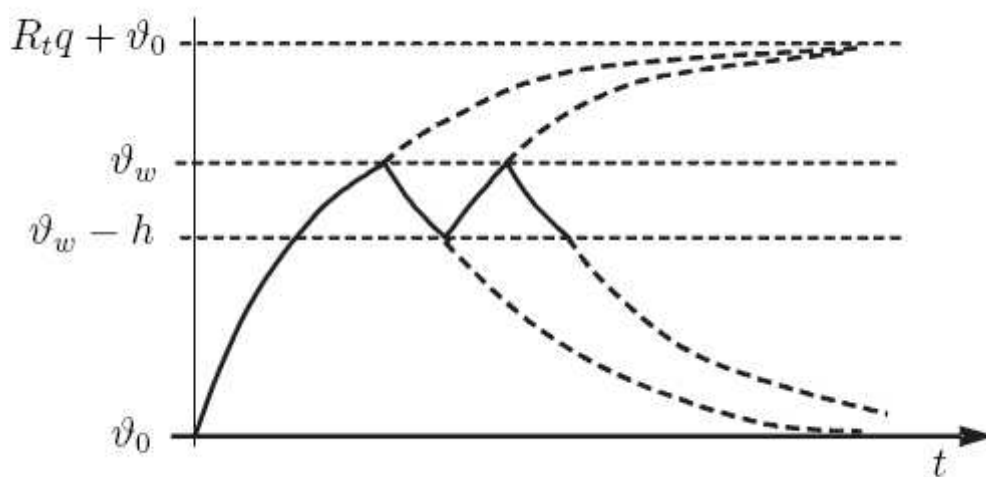


Obr. 7.2 Schéma regulace se zpětnou vazbou [8]

7.2 Řízení s použitím reléového regulátoru

Pro náš tepelně-regulační systém je použit tento typ řízení. Často se vyskytují systémy, u kterých je řízená soustava řízena akčními zásahy, při kterých akční veličina nabývá maximální nebo nulové hodnoty, tedy zásahy typu zapnuto/vypnuto jedná se o tak zvané on/off regulátory. V našem případě se nemůžeme uspokojit pouze s on/off regulátory z důvodu nedokonalého řízení, kde by pak vznikala určitá regulační odchylka. Ke snížení regulační odchylky musí být regulátory vybaveny i určitou hysterezí. U regulace teploty je nutné snížit amplitudu kmitů snížením velikosti hystereze. Správná činnost je závislá na velmi malé časové konstantě. Jakmile akční veličina dosáhne hodnoty hystereze, přejde relé do stavu zapnuto. V důsledku malé časové konstanty se prakticky okamžitě stav regulátoru změní na požadovanou hodnotu.

Tento typ regulace se využívá pro méně náročné aplikace. Principiálně není možné dosáhnout nulové regulační odchylky. To znamená, že hodnota charakteristickým způsobem kmitá okolo požadované hodnoty. Řešením je snížení hystereze a tímto způsobem jsme schopni maximálně eliminovat velikost regulační odchylky. Teplotní snímače připevněné na chladících plochách zaznamenají požadovanou nastavenou teplotu, k této hodnotě se přičte velikost hystereze jakmile jí dosáhnou, Peltierův článek přechází do stavu vypnuto a naopak. Peltierův článek bude má imalou teplotní diferenci (regulační pásmo nebo oblast regulace). U dvoustavové regulace dochází k vypnutí na horní hranici intervalu regulačního pásma a k sepnutí na spodní hranici, [8].



Obr. 7.3 Průběh regulace teploty s vyžitím dvoustavového regulátoru s hysterezí [8]

- ϑ_w žádaná hodnota
- $\vartheta_w - h$ představuje velikost hystereze
- $R_t q + \vartheta_0$ představuje maximální předanou teplotu

Výhody dvoustavové regulace

- Jednoduchý způsob regulace,
- softwarově snadno řešitelný.
-

Nevýhody dvoustavové regulace

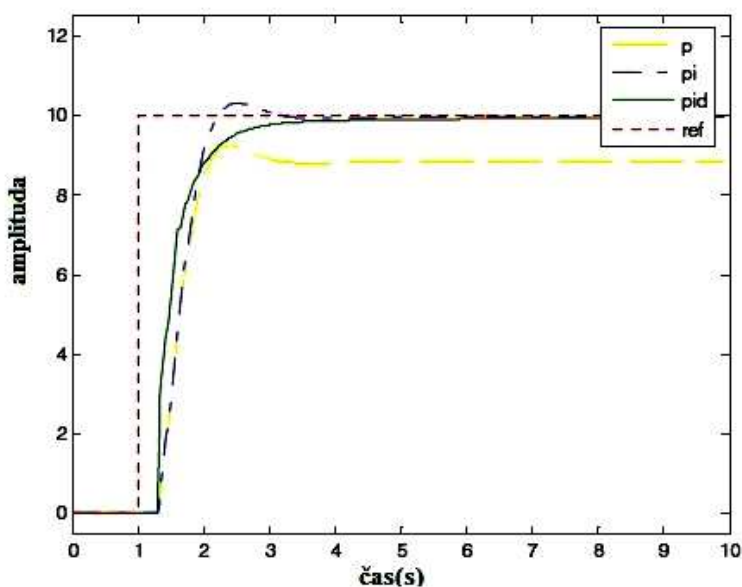
- Ve složitých procesech ne příliš vhodný způsob regulace,
- větší regulační odchylka.

7.3 PID regulátory

Další typ regulátoru, který bychom mohli uplatnit na tento regulační systém je tzv. PID regulátor. Tento typ regulace je náročnější naproti tomu výsledek regulace je věrnější to, ale záleží na našich požadavcích na regulační systém. Postup návrhu je takový, že se nejdříve provede identifikace soustavy, na základě identifikace soustavy se navrhuje (různými metodami např. metoda Ziegler – Nichols viz kapitola 7.4) konstanty pro daný regulátor. Regulátory PID je možné použít pro regulaci v různých aplikacích. Jako je regulace motorů, teploty, tlaku, průtoku, rychlosti, síly a dalších proměnných veličin.

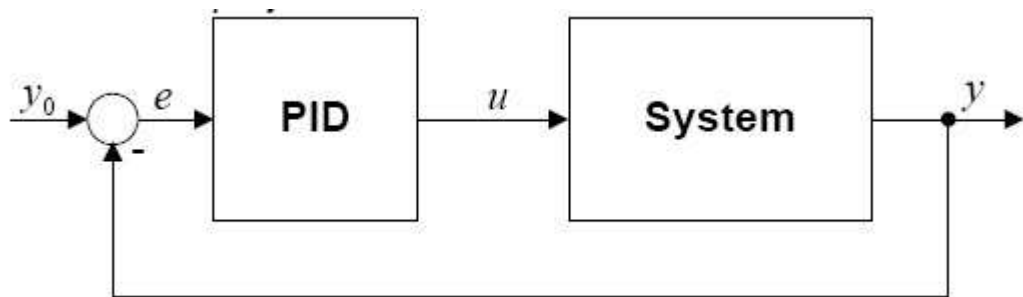
. Algoritmus PID regulátoru je možné použít od výrobce ATMEL. Diskrétní PID regulátor má podporu u všech zařízení AVR.

Na obrázku 7.4 je odezva na jednotkový skok, zobrazuje časovou závislost výstupního signálu na vstupním signálu. Z toho plyne, že udává přechodovou charakteristiku. Dále jsou z obrázku patrné přechodové charakteristiky regulátorů P (proporcionální), PI (proporcionálně-integrační), PID (proporcionálně-integračně-derivační) a referenční hodnoty s dobou ustálení jednotlivých regulátorů, [8].



Obr. 7.4 Odezva na jednotkový skok P,PI a PID regulátoru, [8]

Na obrázku 7.3 je uvedeno schéma uzavřené smyčky PID regulátoru. Regulátor porovnává naměřené hodnoty y s referenční žádanou hodnotou y_0 . E je takzvaná regulační odchylka (chyba), která odpovídá rozdílu mezi vstupní požadovanou a výstupní skutečnou hodnotou.



Obr. 7.5 Schéma uzavřené smyčky PID regulátoru, [13]

Nejlepším způsobem jak najít požadované parametry PID regulátoru je z matematického modelu. Většinou podrobný matematický popis není možný, neboť je velmi složitý. Nalezení požadovaných parametru PID regulátoru může být často velmi náročný úkol. Postupuje se ve spoustě případech hledáním konečného řešení, experimentálně. Existuje několik metod pro ladění PID regulátoru. Např. metodou Ziegler-Nichols.

7.4 Metoda Ziegler-Nichols

K návrhu regulátoru se hojně používá pro svoji jednoduchost a nevyžaduje nijak hluboké vědomosti z oblasti teorie řízení dynamických systémů. Tato metoda vyžaduje měření na reálném objektu, modelu soustavy, případně simulačně získaná data z modelu (např. simulinku)

Předpokládáme PID regulátor s přenosem

$$F_R(p) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_{IP}} + T_{DP} p \right) \quad (7.1) [8]$$

Princip metody v jednotlivých krocích

- Vyřadíme integrační a derivační složku PID regulátoru ($T_D = 0$ a $T_I = \infty$)
- Zvyšujeme zesílení proporcionální složky K_R , dokud nedosáhneme meze stability. Hodnota K_R , při kterém v obvodu vznikly netlumené kmity, se nazývá kritické zesílení a značí se K_{krit} . Perioda netlumených kmitů se nazývá kritická perioda a značí se T_{krit}
- Pokud máme zjištěny kritické hodnoty K_{krit} a T_{krit} , můžeme dosazením do vzorců z tab. 7.1

Metoda předpokládá uvedení regulačního obvodu na mez stability. Soustava pak kmitá netlumenými kmity. Takovýto experiment není z bezpečnostních a technologických důvodů pro všechny soustavy přípustný. [8]

- Kritické zesílení můžeme určit z přechodové charakteristiky
- použít model soustavy a kritické parametry zjistit z výsledků simulace
- použít model soustavy a kritické parametry určit výpočtem, [8].

$$F_R(p) = 0.6K_{krit}\left(1 + \frac{2}{T_{krit}p} + 0.125T_{krit}p\right) = \frac{1.2K_{krit}}{T_{krit}} \frac{0.0625T_{krit}^2p^2 + 0.5T_{krit}p + 1}{p}$$

$$= \frac{1.2K_{krit}}{T_{krit}} \frac{(0.25p + 1)^2}{p}$$

(7.2) [8]

Dosazením do rovnice (7.1) získáme přenosovou funkci F_R ve tvaru (7.2) dosazením do této rovnice jak vidíme, regulátor má obě nuly $n_{1,2} = \frac{1}{0.25T_{krit}}$ umístěny ve stejném bodě. Pozn. Nuly z této rovnice odpovídají jmenovateli. Póly odpovídají čitateli.

Z toho plyne, že regulátor by měl být schopen vyregulovat poruchu.

Typ regulátoru	K_R	T_I	T_D
P	$K_R = 0.5K_{krit}$	-	-
PI	$K_R = 0.45K_{krit}$	$T_I = 0.85T_{krit}$	-
PD	doladíme na optimální hodnotu	-	$T_D = 0.12T_{krit}$
PID	$K_R = 0.6K_{krit}$	$T_I = 0.5T_{krit}$	$T_D = 0.125T_{krit}$

Tab 7.1 Vzorce pro návrh parametrů regulátoru metodou Ziegler-Nichols,[8], [13]

7.5 Shrnutí vlastností regulátorů

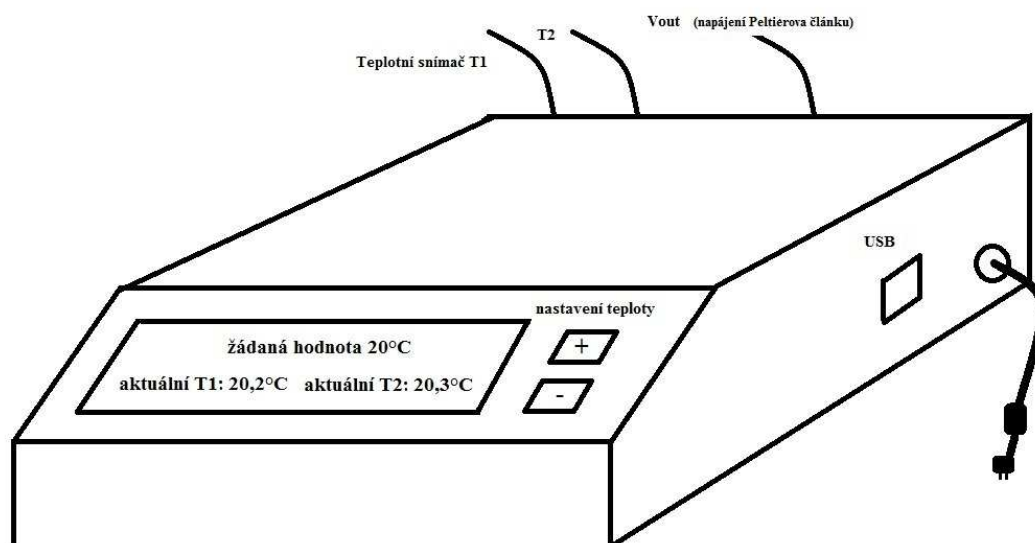
Volba typu regulátoru závisí na dané aplikaci. Pro chlazení boxů nebo vzorků využívaný v lékařství určených pro transport biologických materiálů postačí jednoduchý dvoustavový regulátor. U náročnějších aplikací se používá PID regulátor.

V našem případě postačí releový dvoustavový regulátor s hysterezí (7.2), který je nepoměrně jednodušší než PID regulátor, ale na druhou stranu nemá dokonalý regulační průběh. Pro náročnější aplikace je vhodné použít PID regulátor kde popis v kapitole (7.3) a návrh takového typu regulátoru je nastíněn v kapitole (7.4).

Výkon termoelektrického modulu je řízen proudem tekoucím modulem.

8. REALIZACE

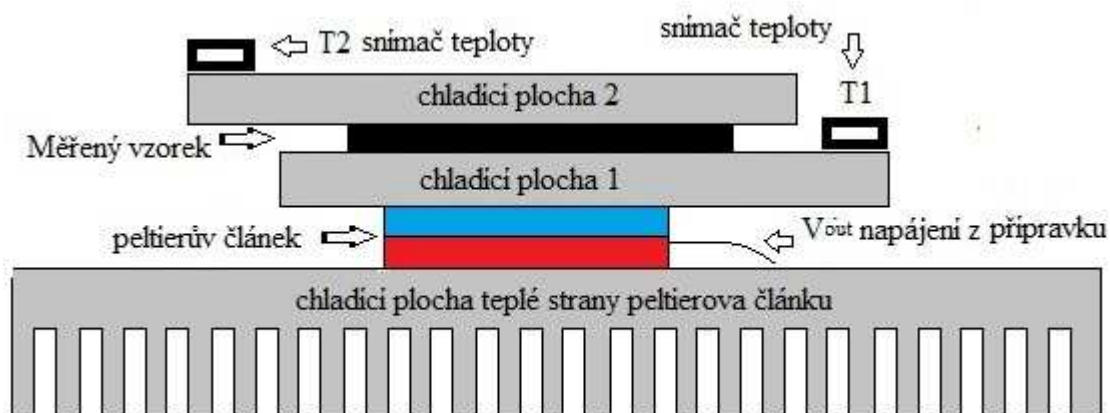
Na obrázku 8.1 je znázorněn navržený tepelně-regulační přípravek pro přesnou stabilizaci teploty. Teplotní snímače T1 a T2 jsou velice přesné teplotní snímače ADT7320 od společnosti Analog Devices. Přípravek je napájen ze síťového spínaného zdroje v krytu určený pro napájení zařízení konstruovaný pro malé napětí ze sítě nízkého napětí (230V) s výstupními parametry 12V/8,5A a výkonem 100W. Vout představuje vstupní napětí Peterova článku. USB slot, přes který lze vzdáleně komunikovat či nastavovat parametry tepelně-regulačního systému, tzn. žádanou hodnotu teploty pomocí PC. Dále pak se na přípravku nachází tlačítka, kterými je možné nastavovat požadovanou teplotu. LCD displej (DEM16217SYH) s řídicím obvodem HD44780 firmy Hitachi, zobrazuje výsledná data vyčtena z teplotních snímačů.



Obr. 8.1 Základní koncepce tepelně-regulačního systému

Na obrázku 8.2 je znázorněno uchycení měřeného vzorku s chladíci plochami. Měřený vzorek se vkládá mezi chladíci plochy 1 a chladíci plochou 2. Chladíci plocha 1 a chladíci plocha 2 budou dále označovány jako studené strany. Jak bylo již zmíněno peltierův článek je charakteristický tím, že se jedna strana zahřívá a druhá se chladí.

Rozdíl těchto teplot je označován jako ΔT a vyjadřuje pracovní rozsah (maximální rozdíl teplot teplé a studené strany). V našem případě se jedná o peltierův článek, který má tento pracovní rozsah roven $\Delta T = 67^\circ\text{C}$. Na chladicí ploše teplé strany, na obrázku označeno červenou barvou je odváděno přebytečné teplo z peltierova článku, aby nedošlo k jeho destrukci či poškození. Snímače teploty T1 a T2 jsou velice přesné teplotní snímače (ADT7320). Speciální chladicí plochy Peltierova článku jsou vytvořeny z dobře tepelně vodivého materiálu, většinou se jedná o hliník či měď, které jsou cenově přijatelné. Hliník odpovídá teplotní vodivosti při 20°C hodnotě $\lambda = 229 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ V případě mědi je to hodnota $\lambda = 395 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Nejlepším materiálem z důvodu tepelné vodivosti by bylo stříbro s tepelnou vodivostí $\lambda = 418 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Požadavek na dobrou tepelnou vodivost je pro nás zásadní z důvodu věrně předané teploty do chladicích ploch. To nám taktéž zaručuje použití speciální teplo-vodivé pasty mezi chladicími plochami 1 a chladicí plochou teplé strany peltierova článku, aby systém nebyl zatížen systematickou chybou s tudíž ztrátě vypovídací hodnoty. V_{out} je vstupní napájení Peltierova článku toto napájení je přivedeno z tepelně-regulačního přípravku.

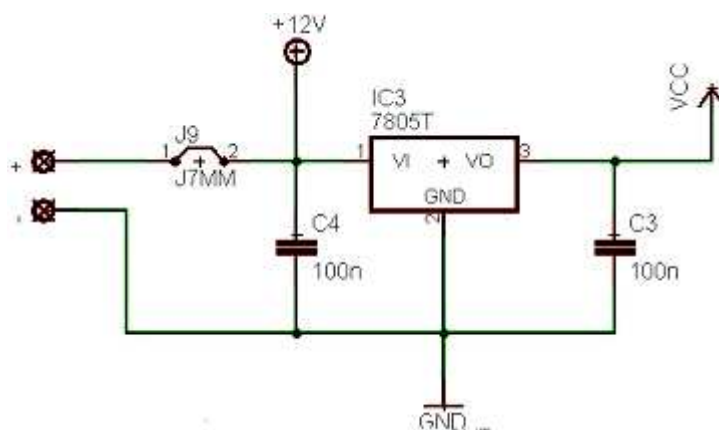


Obr. 8.2 Přípravek pro uchycení měřeného vzorku a snímačů teploty T1 a T2

8.1 Napájecí část

Návrh napájení musí být přizpůsoben všem požadavkům pro daný tepelně-regulační systém. Odvíjí se od maximální spotřeby všech dílčích komponent a funkčních bloků zařízení při maximálním proudovém odběru. Periferie (LCD displej, FTDI chip, mikrokontrolér, senzory teploty) kladou vysoký požadavek na stabilitu a spolehlivost zdroje napájení. Přípravek je napájen ze síťového spínaného zdroje v krytu

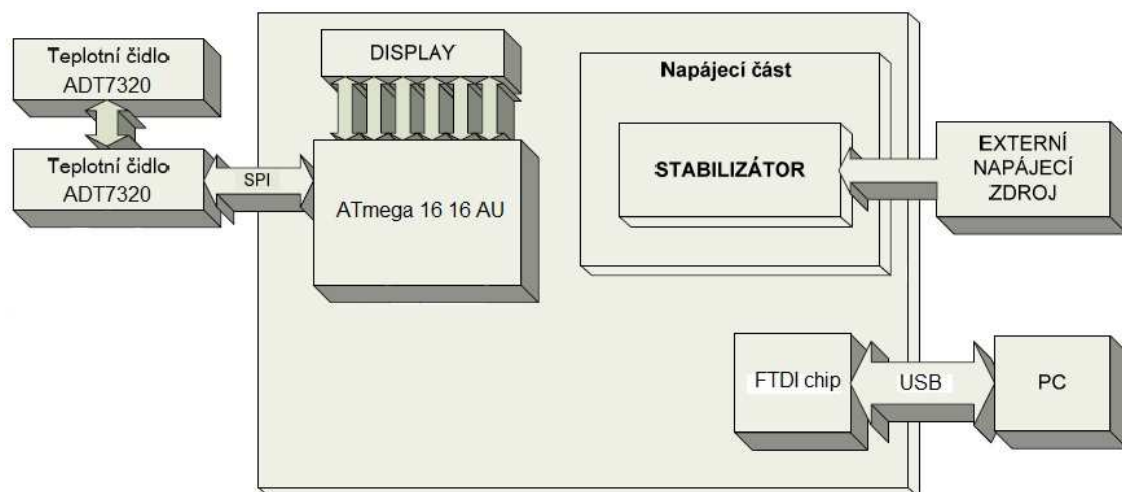
určený pro napájení zařízení konstruovaný pro malé napětí ze sítě nízkého napětí (230V) s výstupními parametry 12V/8,5A a výkonem 100W. Toto napětí je sníženo a upraveno velice známým obvodem 7805-STM v provedení TO220 na hodnotu pěti voltů. Dle doporučení výrobce je toto zapojení ošetřeno filtračními a blokovacími kondenzátory. Filtrované napájení je dále použito pro nevýkonové bloky konstrukce. Peltierův článek je napájen z původních 12V.



Obr. 8.3 Schéma zapojení 7805-STM

8.2 Blokové schéma zařízení

System pro přesnou stabilizaci teploty je složen z několika dílčích částí vykonávajících rozdílné funkce. Základním a nejdůležitější součástí je mikrokontrolér ATmega16, který provádí řízení všech operací a funkcí celého přístroje podle předem stanoveného programu. Zařízení může být ovládané na dálku prostřednictvím obslužného PC, nebo v klasickém manuálním ovládaní, podle požadavků obsluhy a typu aplikace. Požadovaná funkce provozní aplikace se přizpůsobuje úpravou obslužného programu. K dálkovému ovládaní pomocí PC kam jsou data transportována, je využita sériová sběrnice USB, kde pak může docházet k dalšímu zpracování uživatelských dat. K zobrazování dat v manuálním režimu slouží LCD displej. Stabilizátor napětí upravuje hodnotu napětí z 12V na 5V.



Obr. 8.4 Blokové schéma zařízení

8.3 Programové a obvodové řešení tepelně-regulačního systému

Pro kreslení schémat tepelně regulačního systému i návrh DPS byl použit návrhový systém EAGLE Layout Editor (verze: 5.10.0 pro Windows – Light Edition, jen pro neziskové a zkušební účely, CadSoft, <www.cadsoft.de>). Název Eagle je odvozen z úvodních písmen pocházející z původního názvu Easily Applicable Graphical Layout Editor. Zapojení jednotlivých součástí a obvodů se řídí dle návrhových pravidel a doporučení výrobců, aby byla zaručena celková požadovaná funkčnost všech součástí měřicího systému. Program obsahuje tři základní moduly:

- Editor schémat
- Editor spojů
- Autorouter

Pro návrh systému byl zvolen tento program vzhledem k jeho přednostem v oblasti uživatelského rozhraní, dostupnosti kvalitních výstupních formátů technické dokumentace.

Software

Pro vývoj aplikací lze použít nejrůznější vývojová prostředí, různých výrobců v našem případě se jedná o AVR studio.

- AVR studio – volně dostupné integrované vývojové prostředí (obsahuje kompilátor assembleru, simulátor, debugger, programmatic).

Hardware

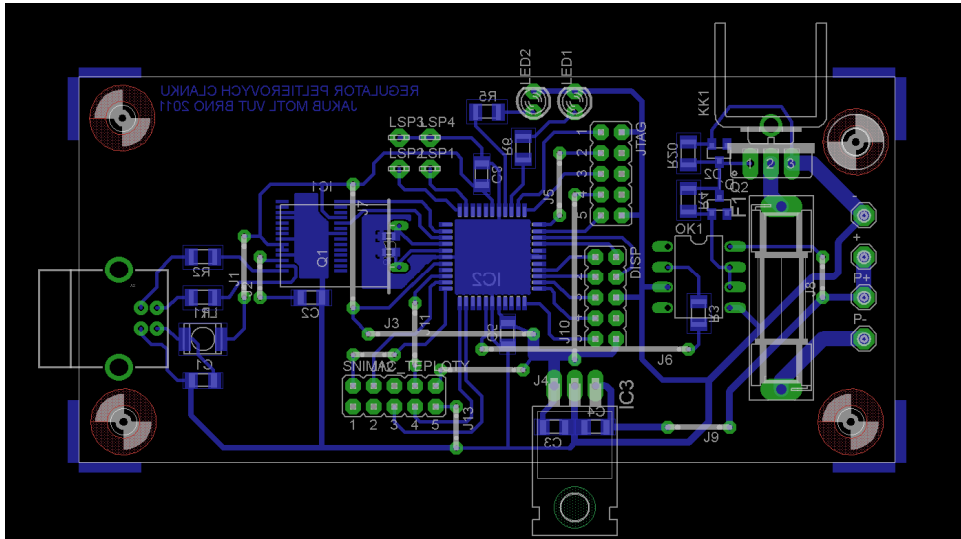
Pro zápis dat do paměti Atmega16 slouží programátor JTAG AVR-USB v2. Je určen pro ladění a programování mikrokontrolérů z rodiny AVR je 100% kompatibilní s originálním JTAG rozhraním společnosti ATMEL. Kompatibilní s AVR Studiem obsahuje jumper, kterým může být zajištěno napájení přímo z USB obslužného počítače.

8.3.1 Schéma zapojení

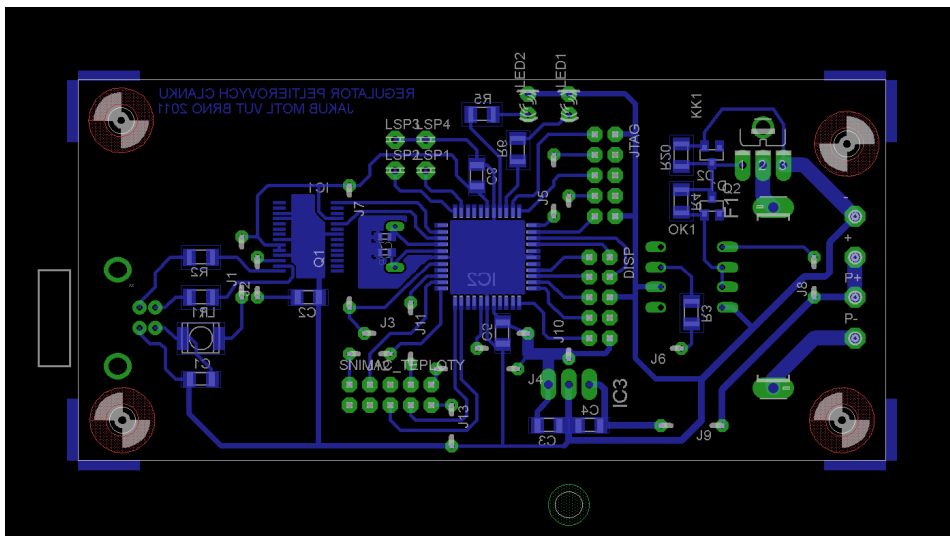
K realizaci stavby prototypu měřicího systému bylo nutné vytvořit celkové obvodové schéma. Jak již bylo zmíněno, vytvoření schématu probíhalo v programu Eagle. Nejdříve bylo nutné vytvořit knihovny specifických součástek, které nebyly součástí standardních knihoven. Vytvořené knihovny součástek jsou k dispozici na přiloženém CD-ROM. Zapojení jednotlivých komponent je zajištěno dle doporučení výrobců, aby byla zaručena plná funkčnost a splněny správné pracovní podmínky.

8.3.2 Deska plošných spojů

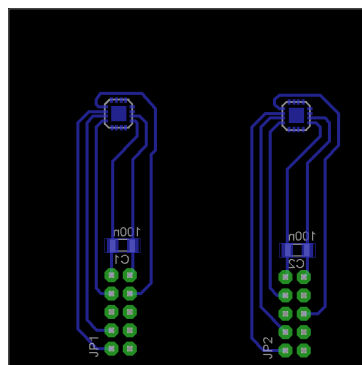
Hlavní deska regulačního systému i desky plošných spojů pro teplotní snímače jsou vzhledem k požadavkům na rychlou a snadnou výrobu navrženy jako jednostranné s kladeným důrazem na dostupné výrobní technologie. Vytvoření desky plošných spojů probíhalo taktéž v programu Eagle.



Obr. 8.5 Deska plošných spojů tepelně-regulačního systému



Obr. 8.6 Deska plošných spojů tepelně-regulačního systému – bez pouzder



Obr. 8.7 Deska plošných spojů teplotních snímačů

8.3.3 Obsluha periférií mikrokontroléru

Pro obsluhu periférií byly vytvořeny samostatné zdrojové soubory, aby byla zajištěna skladebnost programu. Funkce, které jsou těmto modulům poskytovány, jsou využity i v ostatních zdrojových souborech.

8.3.3.1 Obsluha univerzální sériové sběrnice USB

Funkce pro obsluhu univerzální sériové sběrnice jsou obsaženy v souboru pod názvem UART.c a jeho hlavičkovém souboru UART.h. Implementace je založena na návrhu daný výrobcem mikrokontroléru. Funkce pro komunikaci je pojmenována USART0.

Inicializace USART

Pro inicializaci USART0 slouží funkce USART0_Init (baudrate). Nachází se zde, nastavení portu v našem případě se jedná o COM4, přenosové rychlosti (115200) s parametry přenosu (8 datových bitů, jeden stopbit, bez paritního bitu).

Příjem dat

Pro čtení dat z přijímacího bufferu je zajištěno voláním funkce USART0_Receive(). Tato funkce vrací nejstarší přijatý byte z přijímacího bufferu. Příjem dat je ošetřen asynchronně v přerušení, které reaguje na příjem nového byte, vektor přerušení USART_Rx_vect.

Odeslání dat

Pro odeslání dat slouží funkce USART0_Transmit(data) a vstupním parametrem předává jeden byte určený k odeslání. Usart_Transmit(data) zapisuje data k odeslání do kruhového bufferu. Data z kruhového bufferu jsou poté odesílána vyvoláním přerušení. Přerušení reaguje na vyprázdnění odesílacího bufferu (vektor přerušení, USART0 Data Register Empty).

Zajištění integrity přijatých dat

K ověření, zda byla data správně přijata, slouží funkce DataInReceiveBuffer(). Tato funkce kontroluje v přijímacím kruhovém bufferu, jestli se zde nenachází nějaká data. Jestliže se zde nachází data, pak vrátí logickou hodnotu „1“(true). Pakliže vrátí logickou

„0“ (false) v přijímacím kruhovém bufferu se nenachází žádná data. Konkrétní zdrojový kód viz příloha I.

8.3.3.2 Obsluha LCD displeje

Programování řídicí aplikace probíhá ve vyšším programovacím jazyce C. Pro LCD displej byly vytvořeny samostatné zdrojové soubory lcd.c. Pro komunikaci s LCD displejem je využita knihovna lcd.h. Před začátkem připojení k mikrokontroléru si musíme provést základní inicializaci displeje, zvolit datovou komunikaci.

Inicializace displeje

Pro inicializaci LCD displeje slouží funkce `lcd_init(LCD_DISP_ON)`. Zde se nastavuje typ komunikace. Nastaví se počet bitů datové komunikace se směrem psaní znaků, posun řádku, pozici kurzoru a blikání kurzoru. Po této inicializaci je displej připraven ke komunikaci. V našem zapojení je komunikace realizována v režimu čtyřbitovém.

Smazání obsahu displeje

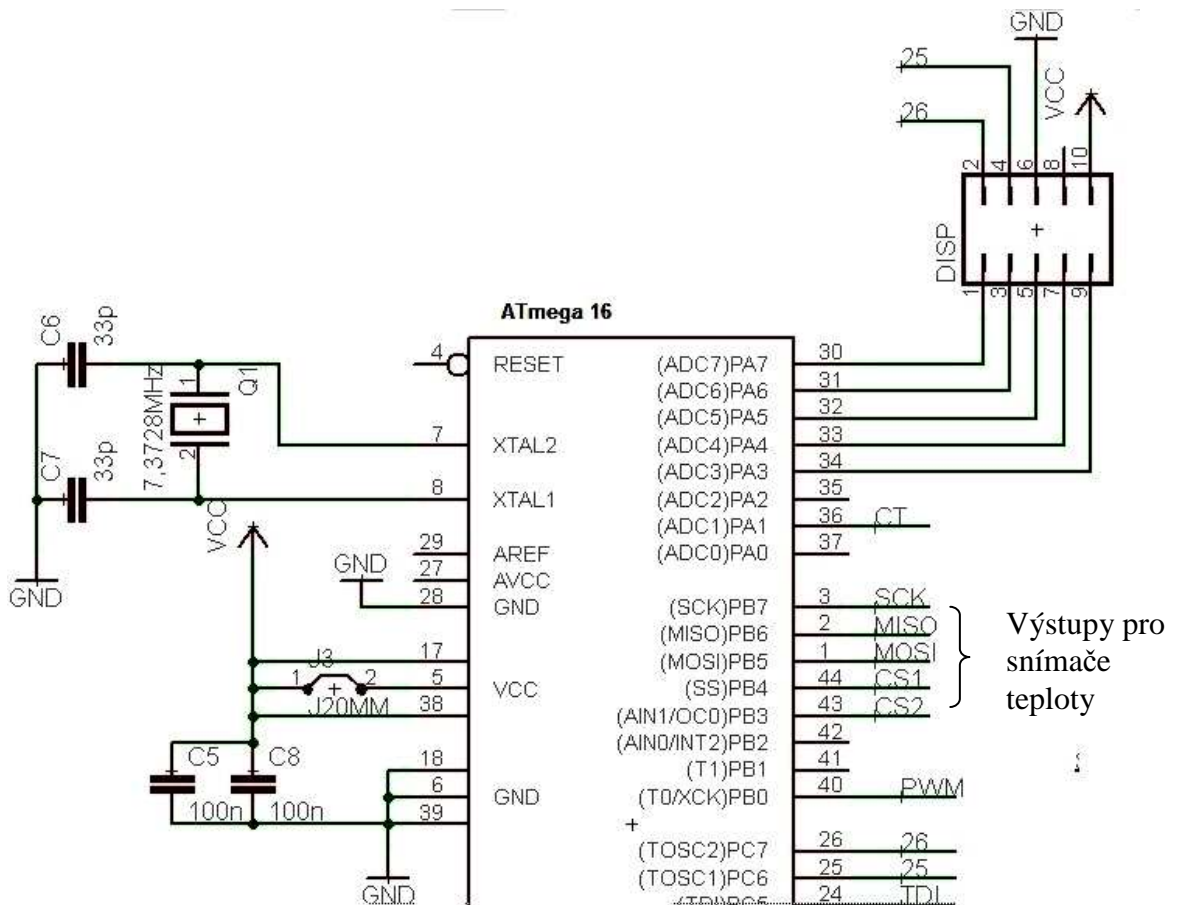
Pro smazání obsahu displeje slouží funkce `lcd_clrscr()`.

Pozice kurzoru

Nastavení pozice kurzoru ve směru osy x a y se odehrává po zavolání funkce `lcd_gotoxy()`.

Zobrazení znaku na displeji

K zobrazení znaku na displeji slouží funkce `lcd_putc()`, k výpisu řetězce znaků na místě kurzoru slouží funkce `lcd_puts(buffer)`. Formátovaný vstup a výstup umožňuje vykonávat převod mezi vnitřním tvarem a znakovou reprezentací (ASCII) tvaru. Pro tento účel slouží příkaz `sprintf` pomocí tohoto příkazu je vypisován text na LCD displej. Konkrétní zdrojový kód viz příloha I.



Obr. 8.8 Schéma zapojení ATmega16 a LCD displeje

8.3.3.3 Obsluha teplotních snímačů

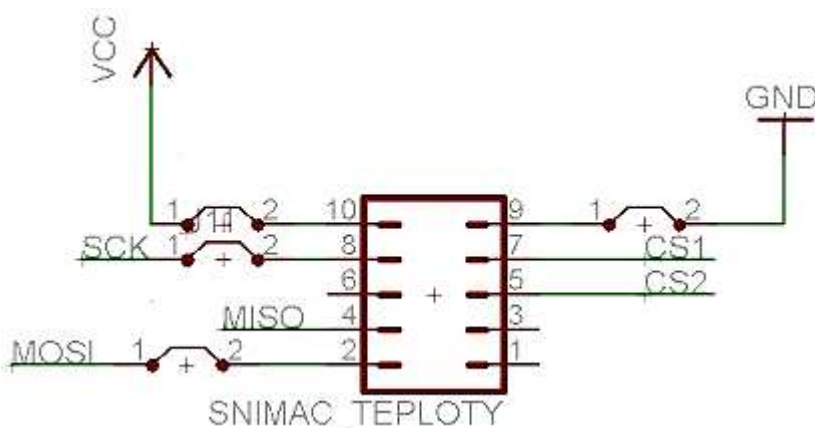
Teplotní snímače využívají sériového periferního rozhraní, SPI. Vyčítání teplot z teplotních snímačů probíhá v průběžném čtecím módu každých 240ms. Čtení teplot snímačů T1 a T2 je řešeno nastavením ChipSelectu (CS). CS pro snímač T1 je vyveden na port PB4 programové nastavení CS je formě $PORTB \&= \sim(1 \ll PB4)$ podobně pro snímač T2 na port BP3 je toto nastavení $PORTB \&= \sim(1 \ll PB3)$ viz. příslušný zdrojový kód. Pro snímače teploty byly vytvořeny zdrojové soubory SPI_Master.c Pro komunikaci se snímači teploty je využita knihovna SPI_Master.h.

Inicializace teplotních snímačů

Pro inicializaci teplotních snímačů slouží funkce `Init_Master ()`; Zde se nastavuje typ komunikace v našem případě master mód. Nastaví se jednotlivé výstupy pro přenos dat pomocí výstupu MOSI na portu PB5, dále pak nastavení synchronizačních pulzu SCK na portu PB7 a ChipSelectů CS1 na PB4 a CS2 na PB3.

Příjem dat z teplotních snímačů

Pro příjem dat z teplotních snímačů je využita funkce Master_Send. Hodnoty teploty se ukládají do kruhového bufferu. Hodnoty jsou vyčítány z SPDR SPI data register, který je určen pro zápis a čtení. Pro teplotní snímač č.1 jsou data rozdělena na data1_cs1 a data2_cs2, která jsou následně sečtena výsledná hodnota těchto dat je dělena 16. Tento přepočítání je požadováno při 13bitovém teplotním datovém formátu. Hodnota těchto dat vyjadřuje výstupní teplotní hodnotu ve stupních Celsia, která je pak odeslána prostřednictvím mikrokontroléru a dále zobrazována na displeji.



Obr. 8.9 Schématické zapojení konektorů pro teplotní snímače

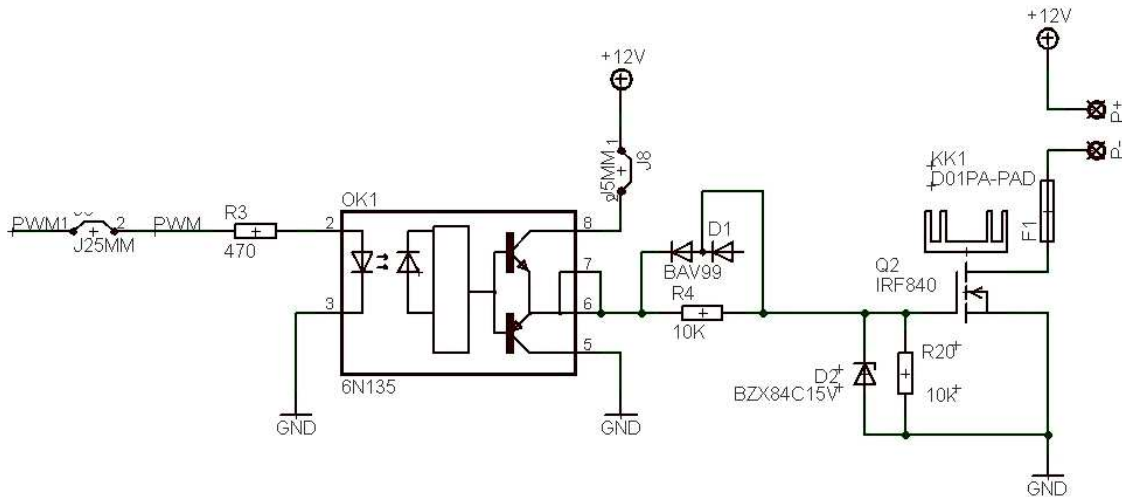
8.4 Spínání tranzistoru IRF2807

Ke spínání on/off regulátoru s hysterezí stavu zapnuto/vypnuto slouží unipolární tranzistor. Jedná se o MOSFET (unipolární tranzistor s izolovaným hradlem). Skládá se s polovodičů typu N a P. Přenos náboje je uskutečňován pouze majoritními nositeli. Požadavky na daný tranzistor jsou následující. Hlavní požadavek je z hlediska maximálního ztrátového výkonu, maximálního protékajícího proudu tranzistorem. Námí vybraný tranzistor IRF2807 má následující vlastnosti:

- maximální spínací proud až do 82A při $T = 25^{\circ}\text{C}$
- $P_D =$ maximální ztrátový výkon 230W

Má velikou výhodu také v tom, že se méně zahřívá oproti bipolárním tranzistorům podmínkou je, ale také to že musí být dobře vybuzený.

K buzení tranzistoru slouží optočlen, budič MOSFET nebo IGBT tranzistorů TLP250 od společnosti Toshiba. Tato součástka také slouží k oddělení výkonových prvků z hlediska rušení. P+, P – představují výstupní svorky Peltierova článku.



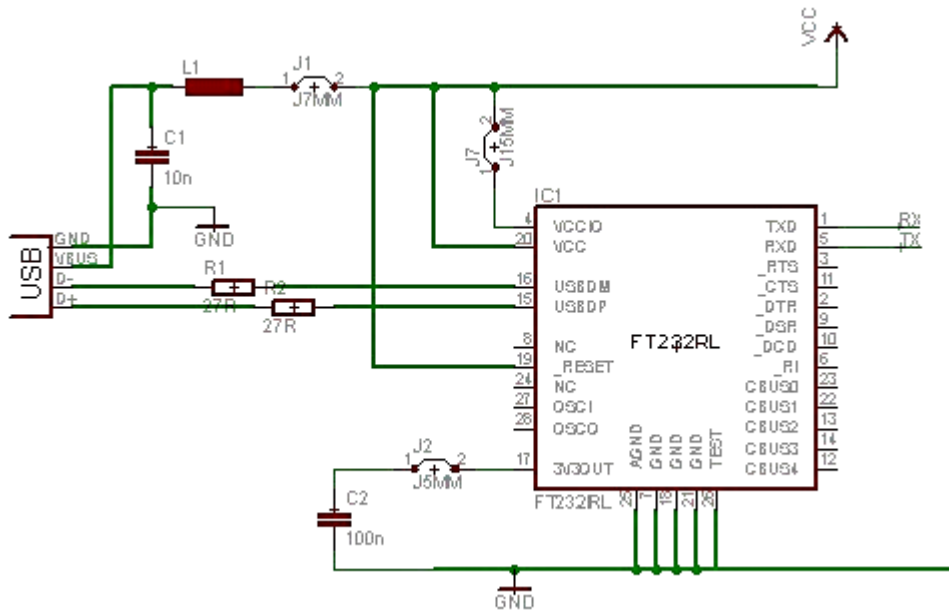
Obr. 8.10 Schéma zapojení optočlenu TLP250

8.5 Dálkové ovládání s využitím Matlabu

Mikrokontrolér ATmega16 je schopen komunikovat s PC pomocí sériového rozhraní přes USART (Univesal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitterů. V dnešní době nejsou všechny PC vybaveny sériovým portem (COM), řešením je náhrada tohoto portu za mnohem rozšířenější USB (Universal Serial Bus), kterým jsou v dnešní době již všechny PC vybaveny. Mikrokontrolér ATmega16 jím také není vybaven, lze však využít speciálního integrovaného obvodu FTDI (Future Technology Devices International Ltd.).

8.5.1 FTDI (Future Technology Devices International)

Integrovaný obvod FTDI slouží k převodu dat z USART na USB díky tomu se připojené zařízení přes USB jeví na straně PC jako virtuální COM port. FTDI disponuje přenosovou rychlostí 300Bd až 3MBd, také obsahuje vyrovnávací paměť. FTDI chip umožňuje i komunikaci přes rozhraní RS232. Napájecí napětí může být jak 5V tak 3,3V. Námí používaná varianta má označení FT232RL.



Obr. 8.11 Schéma zapojení FTDI chipu

8.5.2 Popis programu pro komunikaci

Pro softwarovou část v PC bylo vybráno prostředí Matlab. Ovládání požadované aplikace je naprogramováno pod názvem interruptFunction_source.m. Komunikace prochází v jednotlivých krocích. V úvodní části se definuje port, ze kterého budou data přijímána. To se provádí příkazem seriál.

```
s=serial('COM4','BaudRate',115200,'Parity','none','DataBits',8,'StopBits',1,'Terminator','');
```

V prvním parametru se definuje virtuální port, v našem případě COM4, skrze který je zařízení připojeno. Tento port zjistíme v osobním PC ve správci zařízení. Druhý parametr BaudRate udává přenosovou rychlost 115200Bd. Třetím parametrem se nastavuje parita následujícím počet datových bitů a stopbitů. Posledním parametrem je Terminator, který slouží k zakončování znaků, prázdné apostrofy říkají mikrokontroléru, že už nenásledují žádné data nebo užitečné informace.

```
fopen(s); %otevreni serioveho portu
```

```
%hlavni smycka programu bezi dokud uzivatel nestiskne tlacitko stop
while (get(handles.start_pushbutton,'UserData') ==1)
```

```
fprintf(s,'1'); %odeslani prikazu pro vyceteni merenych teplot
```

```

pause(0.5);          %casove zpozdeni pul sekundy
teplota=fread(s,4);  %nacteni 4B z bufferu serioveho portu

%prepocet zmerenych dat snimacel na hodnotu ve oC
teplotaFloat=(teplota(1)*256)+teplota(2);
teplotaFloat=teplotaFloat/16;

data(i)=teplotaFloat;  %ulozeni teploty do vektoru pro vykresleni
casoveho prubehu teploty1
set(handles.t1_text, 'String', num2str(teplotaFloat));  %vypsani
teploty1 v textovem poli GUI

%data ze snimace2 se zpracuji obdobne jako u snimacel
teplotaFloat=(teplota(3)*256)+teplota(4);
teplotaFloat=teplotaFloat/16;
data2(i)=teplotaFloat;
set(handles.t2_text, 'String', num2str(teplotaFloat));

%vygeneruje se casova osa pro vykresleni grafickych prubehu od zacatku
aktualniho mereni
i=i+1;
cas=0:0.5:((i-2)/2);

%vykresleni casovych prubehu teploty pro oba snimace a nastaveni
rozsahu osy y
plot (cas, data);
axis([-Inf Inf 9 35])
hold on
plot (cas, data2, 'r');

    if (get(handles.tempp, 'UserData') ==1)      %pokud bylo stisknuto
        tlacitko pro zvyšení teploty
        set(handles.tempp, 'UserData', 0);      %vynuluje se promenna pro
        detekci stisknuti tlacitka
        fprintf(s, 'p');                          %seriovym portem se
        odesle prikaz pro zvyšení požadované teploty o čtvrt oC

    end

    if (get(handles.tempm, 'UserData') ==1)      %tlacitko pro snizeni
        požadované teploty se obsluhuje obdobne jako tlacitko pro zvyšení
        set(handles.tempm, 'UserData', 0);
        fprintf(s, 'm');

    end

end

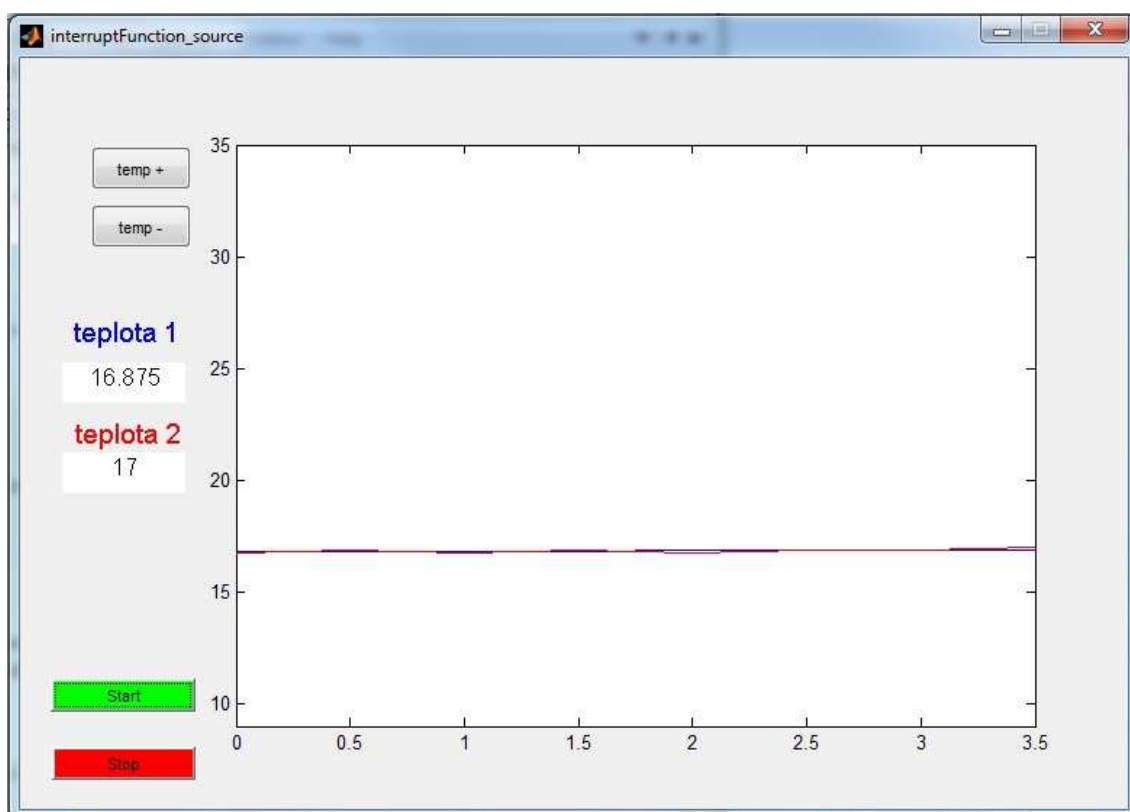
fclose(s); %zavreni serioveho portu   po stisknuti tlacitka stop

guidata(hObject, handles);

```

Pro vytvoření vzhledu aplikace k ovládání systému bylo použito grafické rozhraní GUI (graphical user interface). V tomto rozhraní je možné utvořit si snadno vzhled aplikace a definovat tlačítka, roletové menu, grafy atd.

Na obrázku 8.12 je znázorněn princip ovládání systému z prostředí Matlab. Teplota 1 představuje měřenou aktuální hodnotu teploty z teplotního snímače spodní chladicí plochy. Při stisku tlačítka se hodnota teploty inkrementuje o $0,25^{\circ}\text{C}$. Teplota 2 představuje měřenou aktuální hodnotu teploty z teplotního snímače horní chladicí plochy. Tlačítko temp + slouží k zvyšování požadované teploty naopak temp – k jejímu snížení. Dále jsou zde implementovány další dvě tlačítka start a stop, které slouží k zastavení samotné aplikace. Na tomto obrázku je patrné vyregulování (ustálení) teploty Peltierova článku resp. teploty chladicích ploch mezi nimiž je vložen měřený vzorek.



Obr. 8.12 Dálkové ovládání tepelně-regulačního systému z Matlabu

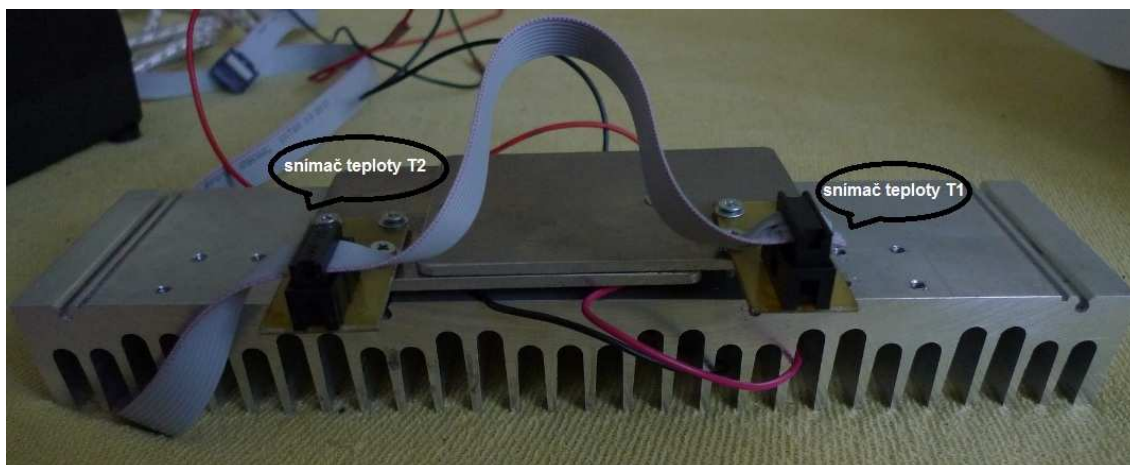
8.6 Mechanické a konstrukční uspořádání

Na obrázku 8.13 je zobrazeno konstrukční uspořádání osazených součástek na DPS.



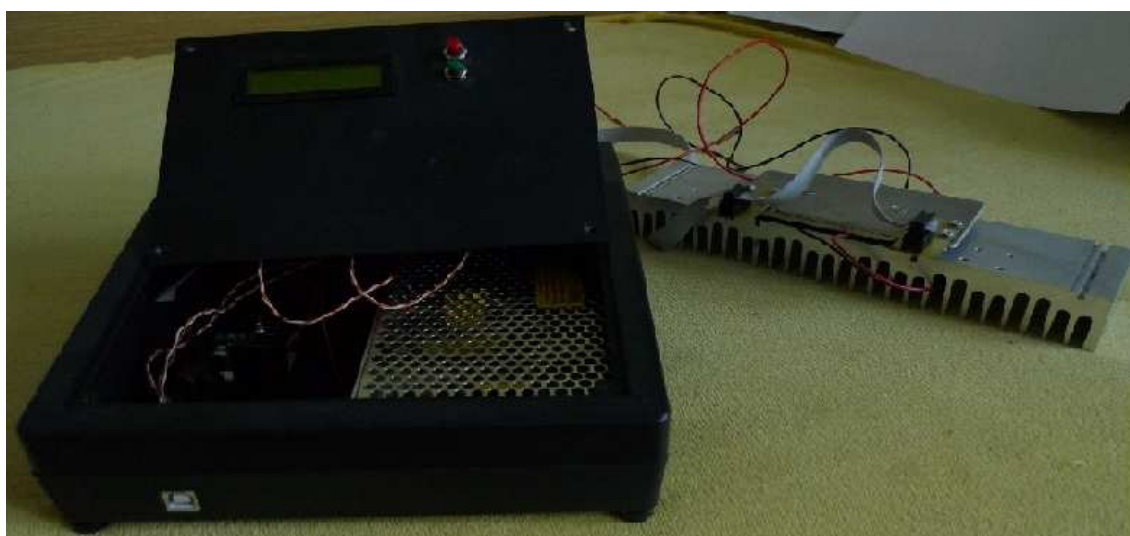
Obr. 8.13 Procesorová deska zajišťující řídicí funkce

Na obrázku 8.14 je znázorněno měření teploty chladících ploch, mezi které se vkládá měřený vzorek. Teplota spodní chladící plochy a teplota vrchní chladící plochy je měřena pomocí digitálních teplotních snímačů. ADT7320. Pod chladícími plochami se nachází Peltierův článek na straně žebrovitého chladiče odvádí teplo z teplé strany Peltierova článku a studenou stranou je předáváno teplo chladícím plochám na kterých jsou osazeny snímače teploty. Mezi Peltierovým článkem a chladícími plochami na teplé i studené straně je použito teplovodivé, aby docházelo k co nejmenším ztrátám a věrně předané hodnoty do chladících ploch.



Obr. 8.14 chladicí plochy, peltierův článek, digitální teplotní snímače

Na obrázku 8.15 je zobrazen výsledný prototyp měřicího systému, který slouží pro přesnou stabilizaci teplotních vzorků. Slot USB vpředu čelního panelu slouží pro dálkovou komunikaci mezi osobním PC. Na panelu je LCD displej, zde se zobrazují výsledné hodnoty teploty teplotních snímačů. Dále se zde pomocí tlačítek nastavuje velikost požadované hodnoty teploty. Na čelním panelu je výstup LED diody, která signalizuje kdy je peltierův článek aktivní a kdy ne. Uvnitř přístrojové krabice se nachází spínaný zdroj v krytu určený pro napájení konstrukčních zařízení pro malé napětí ze sítě nízkého napětí (230V) s výstupními parametry 12V/8,5A a výkonem 100W. Výstupem z přístrojové krabice je napájení Peltierova článku a vstup teplotních snímačů.



Obr. 8.15 měřící přípravek s termoelektrickým modulem

9. ZÁVĚR

Před samotným návrhem řešení jsem se musel seznámit s funkcí jednotlivých komponent zařízení jako je Peltierův článek, LCD displej, teplotní senzory, mikrokontroléry řady AVR společnosti ATMEL. S problematikou regulátorů jsem měl nějakou zkušenost z předchozího studia. V případě Peltierova článku jsem se musel seznámit s poměrně rozsáhlou dokumentací. Stejně tomu bylo s mikrokontroléry řady AVR společnosti ATMEL. V tomto případě jsem zvolil řešení v podobě mikrokontroléru ATmega16. Dále jsem se podrobně seznámil se senzory teploty. Vybral jsem si digitální snímač ADT7320 protože oproti použití analogového teplotního snímače podstatně zjednodušuje návrh zařízení. Není potřeba navrhovat obvody pro úpravu signálu z analogového snímače. Zobrazovací jednotka je tvořena LCD displejem (DEM16217SYH) s řídicím obvodem HD44780 firmy Hitachi, pomocí kterého budou výsledná data z teplotních snímačů zobrazována. V této práci by měla být teoreticky vysvětlena většina dílčích komponent, ze kterých se má skládat mnou vytvořený tepelně-regulační systém pro přesnou stabilizaci teploty.

Výsledkem praktické části je zkonstruovaný tepelně-regulační systém, který umožňuje s minimální chybou nastavovat, udržovat i monitorovat teplotu zkoumaného vzorku. V této práci jsem realizoval autonomně pracující procesorem řízenou jednotku. Tato jednotka umožňuje řízení z osobního počítače prostřednictvím sběrnice USB, k tomuto účelu je zde využito rozhraní USART a tzv. FTDI chipu, který na straně PC vytváří virtuální COM port. K jednotce je možné připojit dva tepelné senzory. Tepelně-regulační systém dále splňuje zadané požadavky a to přesnost do $0,3^{\circ}\text{C}$, aby byla regulace opravdu věrná je třeba zakomponovat alespoň ventilátor k chladiči teplé strany z důvodu velké setrvačnosti chladiče. V budoucnu bude tento tepelně-regulační systém vybaven vodou chlazeným chladičem. Zařízení je uzpůsobeno k lokálnímu i dálkovému ovládání a zobrazování nastavených a měřených teplot na displeji.

Jádrům celého systému je mikrokontrolér řady AVR ATmega16 společnosti Atmel, do kterého je nahrán obslužný program. Funkci regulátoru plní dvoustavový regulátor s hysterezí, který nám zaručuje přesnost do $0,3^{\circ}\text{C}$. V budoucnu však tato přesnost může být ještě větší zařazením PID regulátoru, kde návrh takového typu regulátoru je popsán v kapitole 7.3.

K zobrazení průběhů, nastavování žádaných hodnot a zobrazování měřených teplot na straně PC v prostředí Matlab je vytvořena grafická aplikace tvořená v grafickém rozhraní GUI, které je součástí Matlabu.

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Popis
A/D	analog/digital
ALU	Arithmetic logic unit
AVR	Augmented Virtual Reality
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FTDI	Future Technology Device International
GND	Ground
HMI	Human-Machine Interface
I ² C	Inter-Integrated Circuit
I/O	Input/Output
ISP	In System Programmable
JTAG	Join Test Action Group
kB	kilobajt
LED	Liquid crystal display
MCU	Multipoint Control Unit
Nibble	1 nibble = 4bity
PC	personal komputer
PSD	Proportional-Sumation-Differetiation
PWM	Pulse-width modulation
RAM	Random Access Memory
RTC	Real-time clock
SPI	Serial Peripheral Interface
TQFP	thin quad flat pack
USB	Universal Serial Bus
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter
VCC	Common-collector voltage

SEZNAM LITERATURY

- [1] Termoelektrický jev. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrick%C3%BD_jev>.
- [2] Peltierův článek. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Peltier%C5%AFv_%C4%8DI%C3%A1nek>.
- [3] SPI. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/SPI>>.
- [4] I^2C : *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-12-15]. Sběrnice SPI a I2C. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c>>.
- [5] *ADT7320 : Analog Devices* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT7320.pdf>.
- [6] KREIDL, Marcel. Měření teploty. 1. Praha : BEN, 2005. 240 s. ISBN 80-7300-145-4
- [7] *ADT7420 : Analog Devices* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADT7420.pdf>.
- [8] skripta [UAMT] Řízení a regulace I (Ing. Petr Bláha, Ph.D., Prof. Ing. Petr Vavřín, DrSc.)
- [9] *LM92 : National Semiconductors* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LM/LM92.pdf>>
- [10] *ATmega16 : Atmel* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf>.
- [11] *LCD displej : DEM16217SYH* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2001 [cit. 2010-12-15]. Dostupné z WWW: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/118384/ETC1/DEM16217SYH.html>>.
- [12] skripta [UREL] Mikroprocesorová technika (Ing. Tomáš Frýza Ph.D. Ing. Zbyněk Fedra, Ph.D., Ing. Jiří Šebesta, Ph.D.)

- [13] Matoušek D.: Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16. 4.díl
Technická literatura BEN, Praha 2006.
- [14] Váňa V.: Mikrokontroléry ATMEL AVR Popis procesoru a instrukčního
souboru. Technická literatura BEN, Praha 2003.
- [15] Váňa V.: Mikrokontroléry ATMEL AVR Programování v jazyce C. Technická
literatura BEN, Praha 2003.
- [16] *Thermoelectric module* [online]. 2008 [cit. 2010-12-17]. Tec-microsystems.
Dostupné z WWW: <[http://www.tec-
microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html](http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)>.

PŘÍLOHA I – UKÁZKA ZDROJOVÉHO KÓDU, KTERÝ JE NAHRÁN V MIKROKONTROLÉRU ATMEGA16

```
#include <inttypes.h>
#include <stdio.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "lcd.h"
#include "SPI_master.h"
#include "UART.h"

#define CS1      //povoleni komunikace se snimacem 1
#define CS2      //povoleni komunikace se snimacem 2

//funkce pro bliknuti LED1
void blik(void){
int i=0;
PORTC |= (1 << PC1);
for(i=0;i<32000;i++) asm volatile ("nop");
PORTC &= ~(1 << PC1);
for(i=0;i<32000;i++) asm volatile ("nop");
}

//funkce pro bliknuti LED2
void blik2(void){
int i=0;
PORTC |= (1 << PC0);
for(i=0;i<32000;i++) asm volatile ("nop");
PORTC &= ~(1 << PC0);
for(i=0;i<32000;i++) asm volatile ("nop");
}

int main(void)
{
//promenne pro komunikaci se snimacem1
char data0_cs1=1;
char data1_cs1=2;
char data2_cs1=3;

//promenne pro komunikaci se snimacem2
char data0_cs2=1;
char data1_cs2=2;
char data2_cs2=3;

char data;      //pomocna promenna pro odesilani dat do PC
char prikaz;    //pomocna promenna pro nacteni prikazu prijateho z PC

//promenne pro odeslani merenych teplot do PC
short teplotaPC1 = 0;
short teplotaPC2 = 0;

float teplota_poz=22, t1=0, t2=0, pomT, hystereze=0.25; //promenne s
nastavenou, merenymi teplotami a hystereze
char retezec[6];      //pomocna promenna pro prevod float cisla na
retezec
char retezec2[6];
int i;      //pomocna promenna pro zpozdovali cykly
```

```

DDRC  |= (1 << PC0);
//DDRC  |= (0 << PC1);      //vystup - LED
//DDRC &=~ (1 << PC1);      //vystup - LED

DDRD  &=~(1 << PD3);      //vstup - tlacitko
PORTD |= (1 << PD3);      //aktivuje vnitřni pull-up R

DDRD  &=~(1 << PD4);      //vstup - tlacitko
PORTD |= (1 << PD4);      //aktivuje vnitřni pull-up R

PORTC |= (1 << PC1);      //aktivuje vnitřni pull-up R

Init_Master ();          //inicializace SPI
DDRB |= (1 << PB0);      //PWM

PORTB |= (1 << PB4);      //CS pro snimac
PORTB |= (1 << PB3);      //CS pro snimac
retezec[0]=0xAB;

//inicializace seriove komunikace s PC
USART0_Init( 115200 );
//inicializace LCD se skrytym kurzorem
lcd_init(LCD_DISP_ON);

//globalni povoleni preruseni
sei();

//vymaze LCD
lcd_clrscr();

//konfigurace snimace1
PORTB &= ~(1 << PB4);
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop");
SPDR = 0x54;              // send Character
while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
data0_cs1=SPDR;
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop");
PORTB |= (1 << PB4);

//konfigurace snimace2
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop");
PORTB &= ~(1 << PB3);
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop");
SPDR = 0x54;              // send Character
while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
data0_cs2=SPDR;
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop");
PORTB |= (1 << PB3);

for(;;)
{
    for(i=0;i<6;i++) retezec[i]=0;          //smazani pomocne promenne
    sprintf(retezec, "%.2f", teplota_poz); //prevede pozadovanou teplotu
na retezec
}

```

```

    lcd_gotoxy(8,0); //nastavi kurzor LCD na 1.
radek, 9.sloupec
    lcd_puts(retezec); //vypise nastavenou teplotu

#ifdef CS1 //spodni snimac
    data0_cs1=0;
    data1_cs1=0;
    data2_cs1=0;

    //vycteni teploty ze snimace 1 ve forme 2B
    PORTB &= ~(1 << PB4); //CS1
    for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop":);
    SPDR = 0x00; // send Character
    while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
    data1_cs1=SPDR;
    SPDR = 0x00; // send Character
    while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
    data2_cs1=SPDR;
    for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop":);
    PORTB |= (1 << PB4);
    blik2();

    //prevod 2B teploty ze snimace na hodnotu ve oC
    t1=0;
    teplotaPC1=0;
    teplotaPC1 = data1_cs1<<5;
    teplotaPC1= teplotaPC1 & 0x1FFF;
    data2_cs1=data2_cs1 & 0xF8;
    teplotaPC1 +=(data2_cs1>>3);
    t1=teplotaPC1;
    t1=t1/16;

    pomT=t1; //ulozeni teploty ze spodniho snimace do pomocne
promenne pro regulator

    //vypise teplotul na LCD 1. radek 1. sloupec
    lcd_gotoxy(0,0);
    for(i=0;i<6;i++) retezec[i]=0;
    sprintf(retezec, "%.2f", t1);
    lcd_puts(retezec);

#endif

blik2();

//obsluha druhého snimace identicka se snimacem 1
#ifdef CS2 //horni snimac

    data0_cs2=0;
    data1_cs2=0;
    data2_cs2=0;

    PORTB &= ~(1 << PB3); //CS2
    for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop":);
    SPDR = 0x00; // send Character
    while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
    data1_cs2=SPDR;

```

```

SPDR = 0x00; // send Character
while (!(SPSR & (1<<SPIF))); // wait until Char is sent
data2_cs2=SPDR;
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop"::);
PORTB |= (1 << PB3);
blik2();

teplotaPC2=0;
teplotaPC2 = data1_cs2<<5;
teplotaPC2= teplotaPC2 & 0x1FFF;
data2_cs2=data2_cs2 & 0xF8;
teplotaPC2 +=(data2_cs2>>3);
t2=teplotaPC2;
t2=t2/16;

lcd_gotoxy(0,1);
for(i=0;i<6;i++) retezec2[i]=0;
sprintf(retezec2, "%.2f", t2);
lcd_puts(retezec2);

#endif

//regulator
if (pomT> teplota_poz) PORTB |= (1 << PB0);
if (pomT< (teplota_poz + hystereze)) PORTB &= ~(1 << PB0);

//obsluha komunikace s PC
if (DataInReceiveBuffer()) //pokud je z pc prijat prikaz, nacte se do
promenne prikaz
{
    prikaz= USART0_Receive( );
}

if (prikaz=='p') { //prikaz pro zvyšení požadované teploty
    prikaz=0;
    asm volatile ("nop"::);
    teplota_poz+=0.25;
}
if (prikaz=='m') //prikaz pro snížení požadované teploty
{
    prikaz=0;
    asm volatile ("nop"::);
    teplota_poz-=0.25;
}

if (prikaz=='1') { //prikaz pro vyceteni merenych teplot do PC

//nejprve se odesle významnější byte teploty1
data=teplotaPC1>>8;
USART0_Transmit(data);
//potom méně významný byte teploty1
data=teplotaPC1 & 0xFF;
USART0_Transmit(data);

//odeslání významnějšího byte teploty2
data=teplotaPC2>>8;
USART0_Transmit(data);

```

```

//odeslani mene vyznamneho byte teploty2
data=teplotaPC2 & 0xFF;
USART0_Transmit(data);

}

if ((PIND & (1 << PD3))==0) //obsluha tlacitka1 pro zvyseni
pozadovane teploty
{
teplota_poz+=0.25; //zvyseni pozadovane teploty
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop"); //ochranne
zpozdeni
}

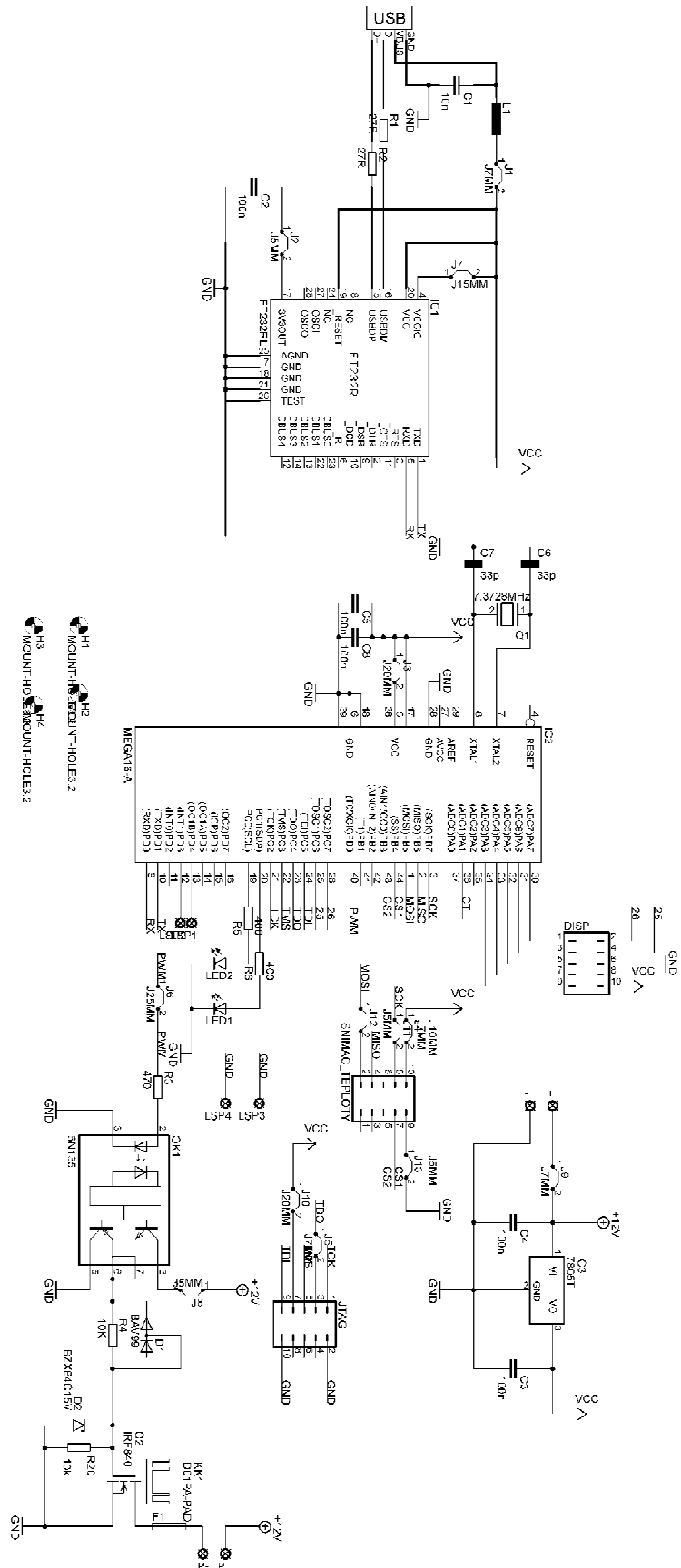
if ((PIND & (1 << PD4))==0) //obsluha tlacitka pro snizeni
pozadovane teploty
{
teplota_poz-=0.25; //snizeni pozadovane teploty
for(i=0;i<1000;i++) asm volatile ("nop"); //ochranne
zpozdeni
}

} //konec for(;;)

} //konec main

```

PŘÍLOHA II – SCHÉMA ZAPOJENÍ TEPELNĚ-REGULAČNÍHO SYSTÉMU



PŘÍLOHA III – VZHLED ZAŘÍZENÍ

