VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍDICÍ SYSTÉM S EMBEDDED PANELOVÝM POČÍTAČEM PPC-5 A S OS LINUX

CONTROL SYSTEM WITH EMBEDDED PPC-5 COMPUTER AND OS LINUX

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE JAN KUBIZŇÁK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2008

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Automatizační a měřicí technika

Student:	Kubizňák Jan	***ID:***	78550
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Řídicí systém s embedded panelovým počítačem PPC-5 a s OS Linux

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s OS Linux a jeho použitím v embedded systémech určených pro řízení. Zaměřte se na panelový embedded počítač PPC-5.
2. Seznamte se s problematikou regulace teploty v obytných místnostech.
3. Navrhněte připojení V/V modulů s A/D a D/A převodníky k panelovému počítači PPC-5.
4. Vytvořte a odlaďte softwarové vybavení pro embeded počítač PPC-5, které umožní funkci systému jako regulátoru teploty v minimálně 4 místnostech.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání:	1.2.2008	***Termín odevzdání:***	2.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práve 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ANOTACE V ČESKÉM JAZYCE + KLÍČOVÁ SLOVA

Anotace

Obsahem této bakalářské práce je návrh vhodného řešení pro panelový počítač PPC-5 firmy ELNICO s.r.o. tak, aby mohl být použit pro měření a řízení teploty v obytných místnostech. Řešeny jsou tedy dva základní problémy. První se zabývá návrhem vhodného externího zařízení pro tento panelový počítač tak, aby bylo umožněno měření teploty. Úkolem druhé části je pak tvorba uživatelského software, který zajistí funkci systému jako regulátoru teploty, uživateli zprostředkuje výsledky měření a umožní mu nastavovat především požadované hodnoty teplot v jednotlivých místnostech.

Klíčová slova

Embedded systém, inteligentní teploměr, ELinOS, GTK.

ANOTACE V ANGLICKÉM JAZYCE + KLÍČOVÁ SLOVA

Abstract

The subject of this bachelor's thesis is to make a suitable solution for the PPC-5 panel computer made by ELNICO Ltd. company as it would be used for temperature measuring and regulation in residences. The thesis solves two basic problems. The first problem is to design a useful extern device, which should enable the panel computer to measure temperature. The second problem is to make a user application, that opens up the function of temperature regulation, shows the measurements and gives user a possibility of changing demanded temperatures in single rooms.

Keywords

Embedded system, intelligent thermometer, ELinOS, GTK.

Bibliografická citace

KUBIZŇÁK, J. *Řídicí systém s embedded panelovým počítačem PPC-5 a s OS Linux.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 53 s., 6 příloh. Vedoucí semestrální práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řídicí systém s embedded panelovým počítačem PPC-5 a s OS Linux" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a 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: Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za průběžné vedení a cenné rady během celé doby tvorby této práce a firmě ELNICO s.r.o. za poskytnutí prostor a hardwarového i softwarového vybavení, a zároveň za některé důležité připomínky a financování celého projektu.

V Brně dne: Podpis:

Obsah

1 ÚVOD **12**

2 MOŽNÉ PŘÍSTUPY K NÁVRHU A REALIZACI EMBEDDED SYSTÉMŮ **13**

2.1 Charakteristika embedded systémů 13
2.2 Embedded systémy bez OS 13
2.3 Embedded systémy s OS 14
2.3.1 OS pro embedded systémy 15

3 REGULACE TEPLOTY V OBYTNÝCH MÍSTNOSTECH **16**

3.1 Možné přístupy k regulaci teploty v obytných místnostech 16
3.1.1 Měření teploty 16
3.1.2 Řídicí členy 17
3.1.3 Akční členy 17
3.1.4 Rozmístění jednotlivých prvků v místnosti 18
3.2 Situace na trhu 18

4 VOLBA KONCEPCE INTELIGENTNÍHO REGULÁTORU TEPLOTY **20**

5 PANELOVÝ EMBEDDED POČÍTAČ PPC-5 **21**

5.1 Popis hardware panelového počítače PPC-5 21
5.2 Operační systém ELinOS v. 4.2 22
5.2.1 Zavádění systému 22
5.2.2 Umístění jádra a souborového systému 22
5.2.3 Struktura souborového systému 23
5.2.4 Grafické uživatelské rozhraní 24
5.2.5 Komunikace s PC 25
5.3 Konfigurace OS ELinOS 25
5.4 Vývoj vlastní aplikace 27
5.4.1 Tvorba aplikace 27
5.4.2 Ladění aplikace 27

6 NÁVRH VSTUPNÍCH A VÝSTUPNÍCH OBVODŮ PRO INTELIGENTNÍ REGULÁTOR TEPLOTY 28
6.1 Komunikace po sběrnici I^2C 28
6.2 Převodní část Modulu MAD 30
6.2.1 Obvod pro úpravu vstupního signálu 30
6.2.2 A/D převodník 31
6.2.3 D/A převodník 32
6.2.4 Paměť EEPROM 33
6.2.5 Napěťový a proudový výstup 33
6.3 Galvanické oddělení 36
6.4 Napájení 36
6.5 Adresy obvodů Modulu MAD připojených ke sběrnici I^2C 37
6.6 Provedení desky plošných spojů 38

7 PROPOJENÍ INTELIGENTNÍHO REGULÁTORU TEPLOTY S OKOLÍM 39

8 APLIKAČNÍ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRO REGULACI TEPLOTY 41
8.1 Program ModMad - měření a řízení 41
8.1.1 Zdrojové soubory programu 41
8.1.2 Vývojový diagram programu 42
8.2 Program TempReg - uživatelské rozhraní 45
8.2.1 Grafické rozhraní programu 45
8.2.2 Zdrojové soubory programu 47
8.3 Sdílené zdrojové soubory 48

9 ZÁVĚR 49

10 LITERATURA 51

Seznam obrázků

1 Systémy pro automatizaci budov: zleva RT-WP, METASYS, SyncoLiving . . . 19
2 Čelní pohled na panelový počítač PPC-5) . . . 22
3 Grafické rozhraní ELK . . . 26
4 Možné zapojení obvodu s komunikačním rozhraním I^2C (z [31]) . 28
5 Princip přenosu dat a adres sběrnice (z [5]) . . . 29
6 Start a stop přenosu bitů (z [5]) . . . 29
7 Vnitřní struktura filtru ACF321825 (z [1]) . . . 30
8 Vstupní filtr, dělič a přepěťová ochrana . . . 31
9 Blokové schéma ADS1112 (z [3]) . . . 32
10 Operační zesilovač jako neinvertující napěťový zesilovač . . . 33
11 Operační zesilovač jako zdroj proudu řízený napětím . . . 34
12 Galvanické oddělení panelového počítače PPC-5 a externího modulu 36
13 Napájení . . . 37
14 Propojení inteligentního regulátoru teploty s okolím . . . 39
15 Přípojení teplotního snímače PT100 k Modulu MAD . . . 40
16 Časová závislost teploty v místnosti při použití reléového regulátoru s hysterezí . . . 40
17 Základní bloky vývojového diagramu programu ModMad . . . 42
18 Inicializace programu ModMad . . . 43
19 Hlavní smyčka programu ModMad . . . 44
20 Uvolnění prostředků programu ModMad . . . 45
21 Hlavní okno programu TempReg . . . 46
22 Okno pro nastavení: vlevo nastavení času, vpravo nastavení manuálního režimu . . . 46
23 Okno pro nastavení: obojí nastavení automatického režimu . . . 47

Seznam tabulek

1 Rozlišení adres součástek pro možnost připojení dvou zařízení typu ModulMAD . . . 38

Seznam zkratek

Zkratka	Popis
ABS	Anti-lock Braking System
ARM	Acorn RISC Machine
BASH	Bourne-Again SHell, unixový příkazový interpret
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DDD	Data Display Debugger, grafické rozhraní pro příkazový debugger GDB, debugger jazyků Python, Perl a dalších
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM	Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory
ELK	Embedded Linux Konfigurator, grafické rozhraní pro tvorbu a nastavování operačního systému ELinOS
GDB	GNU Debugger, standardní debugger unixových systémů, možné ladění programů v jazycích C, C++, Fortran a dalších
Gnome	GNU Network Object Model Environment, desktopové prostředí pro unixové systémy
GNU	Rekurzivní zkratka GNU's Not Unix, projekt určený pro tvorbu programů se svobodnou licencí
GPL	GNU General Public License, licence pod kterou je šířen svobodný software OS Linux
GPS	Global Positioning System
GTK+	The GIMP ToolKit, open source knihovna pro vytváření grafických uživatelských rozhraní
I^2C	Inter-Integrated Circuit Bus, dvouvodičová komunikace mezi integrovanými obvody
IrDA	Infrared Data Association
IDE	Integrated Development Environment, integrované vývojové prostředí

JFFS2	Journalling Flash File System verze 2
KDE	Kool Desktop Environment, desktopové prostředí pro unixové systémy
MIPS	Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages
NFS	Network File System, síťový souborový systém
NPTL	Native Linux Thread Library, současná implementace vláken pro jádra řady 2.6.x, i bez její podpory lze však používat standardní linuxová vlákna
OS	Operační systém
OZ	Operační zesilovač
PC	Personal Computer, osobní počítač
PDA	Personal Digital Assistant
PGA	Programmable Gain Amplifier, programovatelný zesilovač
SDA	Serial Data, datová linka komunikace I^2C
SCL	Serial Clock, linka hodinového signálu I^2C
SH	SuperH
TFTP	Trivial File Transfer Protocol

1 ÚVOD

V posledních letech se na trhu stále více začínají prosazovat embedded systémy s OS[1] - stačí se podívat např. na současnou nabídku mobilních telefonů. Řízení průmyslových procesů je dnes realizováno spíše jinými prostředky (např. PLC), avšak i do tohoto odvětví nejspíše operační systémy v brzké době výrazněji proniknou.

Výrobcem embedded systémů je i společnost ELNICO s.r.o., na jejíž podnět je tato bakalářská práce zadána. Tato firma se zabývá vývojem a výrobou elektrických zařízení, přičemž důraz klade právě na embedded a řídicí systémy. Jedním z nich je i panelový počítač PPC-5, který je postaven na operačním systému Linux.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout pro tento počítač vzorovou aplikaci, která umožní měření a regulaci teploty. Důležitá je přitom jak správná konfigurace operačního systému panelového počítače PPC-5, tak i vhodná práce se zařízeními, která budou vlastní měření a řízení zprostředkovávat. Neméně důležitá je však i tvorba vhodného grafického rozhraní, prostřednictvím kterého bude mít potenciální uživatel možnost tento inteligentní teploměr konfigurovat.

Vzhledem k tomu, že do panelového počítače PPC-5 dosud žádná větší aplikace implementována nebyla, je zároveň úkolem porovnat možnosti tvorby aplikací pro tento počítač a zhodnotit jejich použitelnost.

[1] OS - Operační systém

2 MOŽNÉ PŘÍSTUPY K NÁVRHU A REALIZACI EMBEDDED SYSTÉMŮ

2.1 Charakteristika embedded systémů

Personální počítač (PC), který dnes již používáme denně, je v podstatě multifunkční počítač určený pro vykonávání různorodých a nesouvisejících úkonů. Oproti tomu embedded systém je počítač navržený pro vykonávání jedné či několika málo funkcí. Často je však velmi důležité, aby tato jedna či několik málo funkcí bylo vykonáváno s velkou spolehlivostí, protože chyba není dovolitelná.

Embedded systém může být také součástí nějakého celistvého funkčního celku a na první pohled vůbec nemusí být zřejmé, že v takovém celku je přítomen. Embedded systémy jsou obsaženy v domácích spotřebičích, digitálních fotoaparátech či mobilních telefonech, zasluhují se například o řízení strojů ve výrobních procesech. Přítomny jsou hojně v moderních automobilech nebo letadlech. Jejich rozšíření je v dnešní době tedy obrovské.

2.2 Embedded systémy bez OS

Jádrem těchto embedded systémů je obvykle mikrokontrolér. Na něm lze pak vybudovat i poměrně složitý komplexní počítač s grafickým displejem, klávesnicí, analogovými a digitálními vstupy a výstupy. Není to však podmínkou, existuje mnoho embedded systémů, které skutečně plní význam slova embedded a jsou tedy vnořené v nějakém složitějším zařízení a provádí například řízení pomocí několika málo vstupu a výstupů. Uživatel k nim pak fakticky nemá přístup.

Hlavním rysem programu pro embedded systém bez OS je pak běh v tzv. super-smyčce. Takový program tedy běží v nekonečném cyklu - postupně například čte ze vstupů, poté provede určitý výpočet a výsledek opět pošle na výstupy. Řízení je tak realizováno velmi jednoduchým způsobem.

Mezi výhody embedded systémů bez OS lze pak zařadit především onu jednoduchost a z ní plynoucí rychlost. Významným faktorem je pak i nízká cena výrobku. Na druhou stranu může být u takových systémů poměrně složitým problémem rozšiřitelnost. Chyba v programu lehce způsobí pád celé aplikace, což může mít leckdy velmi nepříjemné důsledky. Při tvorbě složitějších systémů, které obsahují více externích zařízení (klávesnice, displej), je pak také samozřejmě nutné psát pro všechna taková zařízení ovladače, což může výrazně prodloužit dobu vývoje takového systému. Složitější může být i řešení komunikace s okolními počítači

a dnes velmi podstatná připojitelnost k síti Internet.

2.3 Embedded systémy s OS

Tyto embedded systémy se od předchozí skupiny embedded systémů bez OS výrazně odlišují. Jejich koncepce se totiž blíží koncepci stolních počítačů, ačkoli i od nich se dosti odlišují. Zatímco dnešní PC mohou mít vzhledem k potřebě uživatele takřka neomezené paměťové a výpočetní prostředky, u embedded počítačů je situace zcela odlišná. Jejich obvody musí být totiž často natolik malé, že není možné použít například klasické diskové jednotky, ale místo nich jen menší paměti - jak prostorově, tak v důsledku i výslednou velikostí paměti (obvykle se používají paměti typu FLASH). Často také není možné použít chlazení, což přináší další omezení především pro výběr procesoru, který je výrazným topným tělesem počítače. Procesory embedded počítačů jsou také velmi odlišné od procesorů PC. Zatímco pro PC je používáno jen několik málo architektur, embedded počítače mohou být postaveny na poměrně velkém množství typů procesorů. Ze známějších uvádím 32-bitové procesory ARM[2], MIPS[3], SH[4].

Základním rysem embedded systémů je pak operační systém, tvořící základní programové vybavení počítače. Zprostředkovává styk mezi aplikacemi a hardwarem počítače pomocí ovladačů zařízení, přiděluje aplikacím systémové zdroje (procesor, paměť), je schopen spouštět a ukončovat procesy a umožnit komunikaci mezi nimi.

Operační systém tvoří v podstatě hlavní nevýhodu, ale i výhodu celého řešení. Nevýhodou je daleko vyšší náročnost na hardware (procesor, paměť) a často z toho plynoucí i značné snížení výkonu počítače. Z toho plyne i zvýšená cena výrobku. Na druhou stranu však OS výrazně zrychluje vývoj aplikace. Poskytuje totiž knihovny pro vývoj či dokonce hotové volně použitelné aplikace. Dále OS umožňuje rozdělení celé úlohy na více samostatných částí - procesů, které mohou být odděleně laděny, což vede k zjednodušení a zvýšení přehlednosti při vývoji aplikace. Pokud potom embedded systém vykonává více úloh rozčleněných do několika aplikací, pak chyba v jedné aplikaci rozhodně nemusí způsobit nefunkčnost celého systému, což je také velkou výhodou.

[2] ARM - Acorn RISC Machine
[3] MIPS - Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages
[4] SH - SuperH

2.3.1 OS pro embedded systémy

V dnešní době existuje skutečně velké množství embedded systémů. Vyjmenovat a popsat všechny však rozhodně není náplní této práce, proto jsou zde uvedeny a stručně okomentovány jen některé, které jsou pravděpodobně nejrozšířenější:

Windows CE Operační systém společnosti Microsoft, který však používá jiný typ jádra než klasické operační systémy Windows. Je portován na procesory MIPS, ARM a SuperH a jsou na něm založeny další platformy jako Smartphone, Windows Mobile či Pocket PC.

Windows XP Embedded Opět operační systém společnosti Microsoft, oproti předchozímu Windows CE se však výrazně liší. Je totiž v podstatě plně kompatibilní se stolní verzí Windows XP, proto je také schopen běžet pouze na počítačích kompatibilních s platformou PC.

Embedded Linux Embedded operačních systémů postavených na Linuxu existuje poměrně velké množství. Jejich výhodou mohou být mj. volně šiřitelné zdrojové kódy, tato skutečnost totiž značně usnadňuje vývojáři tvorbu nových či úpravu stávajících aplikací. Ze známějších komerčních linuxových embedded OS lze vyjmenovat například RTLinux, který je schopen práce v reálném čase typu hard real-time, či operační systémy ELinOS a PikeOS společnosti SYSGO AG. Existují však i volně dostupné implementace embedded Linuxu jako Embedded Debian či Embedded Gentoo.

QNX Velmi známý komerční OS založený na Unixu a standardu POSIX, schopný práce v reálném čase. Na rozdíl od předchozích uvedených embedded OS využívá architekturu jádra mikrokernel. Obsahuje také velmi výraznou podporu pro multimédia. Stávající verze na trhu QNX Neutrino je pro nekomerční použití volně dostupná.

Palm 0S Operační systém pro PDA[5] a nově i Smartphone (kombinace PDA a mobilního telefonu). Zaměřuje se na intuitivní grafické ovládání, komunikaci přes IrDA[6] a Bluetooth, hojné využití je pro GPS[7] navigaci.

Symbian Operační systém pro mobilní telefony, využívající architekturu jádra mikrokernel. Podporovány jsou platformy ARM a x86.

[5]PDA - Personal Digital Assistant
[6]IrDA - Infrared Data Association
[7]GPS - Global Positioning System

3 REGULACE TEPLOTY V OBYTNÝCH MÍSTNOSTECH

3.1 Možné přístupy k regulaci teploty v obytných místnostech

Řízení teploty v obytných místnostech je možné provést několika způsoby. Pro každé provedení však budeme jistě potřebovat snímač teploty, kterým budeme teplotu v místnosti měřit, řídicí člen, který určí ze změřené teploty a požadované teploty akční zásah a pošle ho na vstup třetího nutného prvku, akčního členu. Ten pak provádí vlastní topení.

3.1.1 Měření teploty

Snímačů teploty existuje celá řada, pro obytné místnosti se však pro teplotní měření obvykle používají jen některé. Časté je použití termistorů, méně často se pak vyskytují odporové kovové snímače teploty či termočlánky.

Termistory se vyznačují tím, že jejich odpor (resp. teplotní součinitel odporu) je závislý na teplotě. Rozlišovány jsou dva typy: NTC termistory, jejichž teplotní součinitel odporu je záporný a PTC termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. Odpor NTC termistorů exponenciálně klesá s rostoucí teplotou. PTC termistory se vyznačují prudkou změnou odporu v okolí tzv. Curiovy teploty, která závisí na chemickém složení. Proto se používají spíše jako dvoustavové snímače (pro určení, zda je teplota menší či větší než Curiova teplota). Jejich odporová závislost na teplotě je také nelineární.

Odporové kovové snímače teploty jsou teploměry, jejichž odpor je také závislý na teplotě. Jsou velmi přesné a používají se především při měření teploty v průmyslu. Nejznámější je platinový odporový teploměr, u kterého jsou rozlišovány dvě toleranční třídy: třída A pro rozsah teplot od -200 °C do 650 °C a třída B pro rozsah teplot od -200 °C do 800 °C. Dále lze platinové teploměry rozlišit podle odporu při 0 °C: nejobvyklejší hodnota odporu při této teplotě je $100\,\Omega$, teploměr je pak pojmenován PT100. Vyrábějí se však i platinové snímače teploty s odporem $50\,\Omega$, $100\,\Omega$, i $2\,k\Omega$ při teplotě 0 °C. Velkou výhodou platinových snímačů teploty je oproti ostatním kovovým teplotním snímačům (např. niklový) téměř lineární závislost odporu na teplotě.

Termočlánky jsou oproti předchozím dvěma skupinám založeny na principu převodu tepelné energie na elektrickou (Seebeckův jev). Využíváno je spojení dvou

vodičů vyrobených z různých materiálů. V obou vodičích vzniká různé termoelektrické napětí, jehož rozdíl (obvykle v řádu μV až mV) pak měříme. Termočlánků je vyráběno poměrně široké spektrum (použity jsou různé kovy, slitiny), napěťová závislost na teplotě většiny z nich je lineární.

3.1.2 Řídicí členy

Rozlišovat můžeme především spojitou a nespojitou regulaci. Spojitá se vyznačuje tím, že akční zásah je určován podle rozdílu měřené a požadované teploty, a je obvykle realizována P, PS či PSD regulátory. Tímto způsobem lze dosáhnout vysoké přesnosti teploty v místnosti, realizace je možná použitím regulačních ventilů ústředního topení.

Nespojitá regulace používá pro regulaci reléové prvky, řídicí člen tedy pracuje jako spínač. Jako spínací obvody mohou být voleny např. elektromagnetická relé či polovodičové spínací prvky, které jsou výhodnější především díky daleko vyšší životnosti. Aby nedocházelo ke spínání a vypínání spínacích prvků příliš často, zavádí se obvykle do řídicího obvodu uměle hystereze (záleží na požadované přesnosti, obvykle pro obytné místnosti volena např. 0,5 °C až 1 °C).

Další dělení je možné provést podle typu přístroje realizujícího řízení. Jednoduché pokojové mechanické termostaty jsou schopny udržovat přednastavenou teplotu v místnosti nezávisle na čase. Složitější a v nynější době asi nejpoužívanější jsou programovatelné elektronické termostaty, které umožňují nastavovat teplotu v závislosti na denním čase, a to pro celý den, popřípadě i celý týden. Moderní přístup, který je však výrazně cenově náročnější, tvoří složitější embedded systémy. Ty mohou být schopny nejen řídit vytápění místností podle času, ale mohou například ovládat i klimatizaci, natáčení žaluzií, spínání osvětlení společných prostor apod. Jejich velkou výhodou může být i připojitelnost k internetu a tím i možnost upravit si aktuální denní nastavení ze vzdáleného umístění podle potřeby. Dále je možné např. ukládat průběhy teploty i v delších časových intervalech, výsledky poté analyzovat a upravit nastavení tak, aby při stejném komfortu došlo k výrazným úsporám energie.

3.1.3 Akční členy

Mezi běžné akční členy používané v obytných místnostech patří především ústřední topení a elektrické přímotopy. Při regulaci teploty v místnosti využitím ústředního topení je ohřívána voda v kotli, řízen je pak její průtok radiátory. Tento způsob regulace může způsobovat velkou hysterezi řízené soustavy vlivem dopravního

zpoždění přesunu vody od kotle do radiátorů a přesunu teplého vzduchu od topení ke snímači teploty. Zároveň je přítomna velká setrvačnost z důvodu dlouho trvajícího chladnutí vody v radiátoru.

Regulace pomocí elektrických přímotopů je většinou realizována spínáním a vypínáním topení. Dynamické vlastnosti tohoto přístupu jsou lepší než u ústředního topení, avšak i v tomto případě vzniká hystereze vlivem dopravního zpoždění přesunu teplého vzduchu od přímotopu k snímači teploty.

Ačkoli se elektrické přímotopy jeví pro řízení teploty v místnosti možná vhodnější než ústřední topení (další výhodou pro ně mohou být i nižší pořizovací a instalační náklady), jsou dnes používány spíše méně. Důvodem je především poměr cen energie, který vyznívá ve prospěch ústředního topení.

3.1.4 Rozmístění jednotlivých prvků v místnosti

Aby bylo vytápění místností co nejvíce efektivní a zároveň přesné, je samozřejmě nutné zvolit správně umístění jednotlivých prvků regulačního obvodu v místnosti, především tedy snímače teploty a akčního členu (topení). Platí, že tyto dva prvky by neměly být příliš blízko sebe - topení by pak v případě reléového řízení příliš často spínalo a vypínalo a zároveň by mohlo dojít k situaci, kdy by na druhém konci místnosti, než je topení, byla teplota výrazně nižší než v místě topení. Příliš vzdálené umístění těchto dvou prvků zase způsobuje velkou setrvačnost a možné přetápění. Vzhledem k tomu, že umístění akčního členu volíme obvykle poblíž okna (aby od něho nevycházel do místnosti studený vzduch), pak je pravděpodobně nejvhodnější volit umístění snímače teploty někde na půl cesty mezi topením a od něj nejvzdálenějšího místa v místnosti.

3.2 Situace na trhu

Z široké nabídky pokojových regulátorů teploty a zařízení pro automatizaci budov lze uvést například následující:

RT-WP prostorový termostat Programovatelný pokojový termostat společnosti Taconova s digitálním displejem nabízí možnosti denního a týdenního programování teploty v místnosti. Přes propojovací modul je schopen řídit regulační ventil ústředního topení. Podrobnější popis viz. [26].

METASYS Systém pro automatizaci budov společnosti Johnson Controls nabízí regulaci vytápění, klimatizace i osvětlení objektu. Navíc přináší i řešení

požárního hlášení či zabezpečení objektu. Více podrobnějších informací je dostupných v [24].

SyncoLiving Bezdrátový řídicí systém firmy Siemens, určený především pro řízení teploty v jednotlivých místnostech. Zároveň je schopen ovládat osvětlení, žaluzie, domácí spotřebiče či zabezpečení objektu. Systém sestává z centrální jednotky a z jednotek přípojných (např. pokojová jednotka měřící teplotu či detektor kouře), které mohou být rozmístěny různě po budově. Možné je ovládání centrální jednotky i přes internet emaily či zasláním SMS z mobilního telefonu. Více informací viz. [18].

Obrázek 1: Systémy pro automatizaci budov: zleva RT-WP, METASYS, SyncoLiving

4 VOLBA KONCEPCE INTELIGENTNÍHO REGULÁTORU TEPLOTY

Požadavkem firmy ELNICO s.r.o., na jejíž podnět byla tato bakalářská práce vypracována, byl návrh regulátoru teploty v obytných místnostech s využitím panelového počítače PPC-5 s OS Linux. Tento návrh by měl být pouze prvním, avšak velmi důležitým, krokem k vytvoření systému pro automatizaci budov. Takový systém by pak kromě teploty v místnostech mohl řídit dále i např. klimatizaci, osvětlení společných prostor, natáčení žaluzií podle osvětlení, případně i ovládání zdrojů alternativní elektrické energie. Využití by mohl mít jak pro obytné, tak pro kancelářské prostory. Samotné použití panelového počítače PPC-5 pouze pro řízení teploty v obytných místnostech by bylo příliš drahé.

Aby mohl být panelový počítač PPC-5 použit pro měření analogových hodnot, je potřeba provést některé úpravy a rozšíření. Zde je nutné se odkázat dopředu na stručnou HW konfiguraci panelového počítače PPC-5 v kapitole 5. Tento panelový počítač je vybaven dvanácti binárními vstupy a výstupy, které lze určitě využít např. pro reléové řízení. Dále je možné ho rozšířit Modulem A, který je připojitelný přes rozhraní SPI, a využít ho k měření analogových hodnot. Problém však spočívá v nedostupnosti ovladače rozhraní SPI v operačním systému panelového počítače PPC-5. Jsou tedy možná dvě řešení: buď naprogramovat ovladač tohoto rozhraní a k regulaci využít Modul A nebo navrhnout jiný vstupně/výstupní modul např. s rozhraním I^2C, jehož ovladače jsou v operačním systému dostupné.

Vzhledem ke skutečnosti, že již dostupný Modul A obsahuje pouze analogové vstupy, ne však již analogové výstupy, bylo ve firmě dohodnuto navrhnout nový modul s komunikačním rozhraním I^2C, který bude obsahovat i analogové výstupy. Požadavkem na tento modul je možnost umístění jednoho kusu v pouzdře panelového počítače PPC-5 tak, aby mohl být použitelný pro různá měření a řízení, nejen teploty.

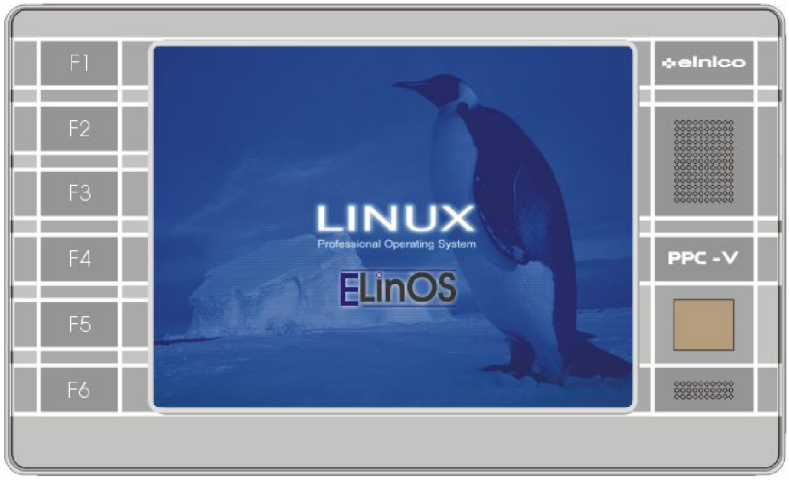
5 PANELOVÝ EMBEDDED POČÍTAČ PPC-5

Panelový počítač PPC-5, navržený společností ELNICO s.r.o., je založen na 32-bitovém mikroprocesoru SH4 (podrobnější popis hardwaru počítače je v kapitole 5.1), na jehož architekturu lze portovat některé embedded operační systémy. Momentálně je jako operační systém použit embedded OS linuxového typu - ELinOS (více v kapitole 5.2). Portaci provedla firma SYSGO AG.

5.1 Popis hardware panelového počítače PPC-5

Základní rysy panelového embedded počítače PPC-5 (z prospektu výrobku dostupného na [7])):

- 12 číslicových vstupů 24V/0,01A opticky oddělených
- 12 číslicových výstupů 24V/0,7A opticky oddělených
- Rozšiřující modul A: 24bitový A/D převodník sigma-delta, zdroj (SPI)
- Rozšiřující modul B: doteková čtečka otisků (paralelní rozhraní)
- Slot pro paměťové karty SD/SDmicro, skrytá klávesa pro metrologii
- 2x komunikační linka RS232 / RS485, galvanicky oddělené
- 2x CAN 2,0A/CAN 2.0B, galvanicky oddělené
- Ethernet 10/100Mb, TCP/IP, USB 1.1 HOST s možností expanze
- LCD grafický displej color TFT 320x240 s podsvitem
- Touchscreen a 6 nebo 12 tlačítková membránová klávesnice
- Zvuk AC97/stereo: micro, line IN, line OUT, repro 1W
- Paměť FLASH 64MB, SDRAM 64MB, FRAM 64kB, DiscOnChip 128MB
- 32bitový mikroprocesor SH4 200 MHz, reálný čas, watchdog, ISP
- Vše pro teplotní rozsah -25°C až +70°C
- Napájecí napětí 18-36V, příkon 8W, rozměry ŠxVxH 198x118x25 mm



Obrázek 2: Čelní pohled na panelový počítač PPC-5)

5.2 Operační systém ELinOS v. 4.2

ELinOS je komerční operační systém firmy SYSGO AG, založený na jádře OS Linux. Aktuální verze jádra v ELinOSu v. 4.2 je 2.6.22, pro panelový počítač PPC-5 je však použito jádro starší, a sice verze 2.6.18. OS ELinOS nabízí v podstatě podobné možnosti a nástroje, jako klasické desktopové či serverové linuxové distribuce, přidává však i něco navíc - ovladače pro speciální zařízení panelového počítače PPC-5 jako dotykový displej, binární vstupy a výstupy, či CAN.

5.2.1 Zavádění systému

Aby mohl být systém správně nastartován, je nutné použít zavaděč - U-Boot, umístěný ve Flash paměti panelového počítače PPC-5, nebo TFTP bootloader.

Zavaděč nejprve natáhne linuxové jádro do operační paměti, rozbalí jej (je generováno jako binární soubor) a spustí. Poté, co jsou zinicializovány všechny ovladače zařízení a potřebné datové struktury, je teprve možné rozbalit a připojit souborový systém. Následuje poslední akce jádra při zavádění - spuštění procesu /sbin/init. Ten pokračuje ve startu, spouští démony a programy nutné pro správný běh systému.

5.2.2 Umístění jádra a souborového systému

K dispozici jsou následující dvě možnosti umístění obrazu jádra a souborového systému:

- Flash paměť

- jiný počítač, který umožní při bootu panelového počítače PPC-5 stažení jádra přes protokol TFTP[8] a následně sdílí souborový systém využitím služby NFS[9]

Pro reálnou aplikaci je obvykle vhodnější umístit jak jádro, tak i souborový systém do Flash paměti. Použít lze dvě varianty, které operační systém ELinOS nabízí:

1. Jádro i souborový systém umístit do společného archivu - zImage, který je rozbalen při startu systému.
2. Vytvořit ve Flash paměti oddělené sekce - partitiony. V jedné z těchto sekcí je pak uloženo komprimované jádro - zImage, v druhé (naformátované pro systém souborů JFFS2[10]) pak souborový systém.

Umístění jádra i souborového systému na jiném počítači (PC) má však také využití. Jednak výrazně urychluje vývoj aplikace, s výhodou by však tato varianta byla použitelná např. i u distribuovaných systémů.

5.2.3 Struktura souborového systému

Struktura souborového systému je obdobná ostatním operačním systémům linuxového typu a vypadá následovně:

/bin	Složka obsahuje spustitelné soubory nebo symbolické odkazy na ně.
/demo	Zde jsou umístěny uživatelské programy připravené k běhu či testování.
/dev	Sestává ze speciálních souborů pro všechna zařízení.
/etc	Konfigurační soubory.
/home	Domovský adresář uživatelů.
/lib	Obsahuje sdílené knihovny.
/mnt	Přípojné místo pro další diskové systémy.
/proc	Virtuální souborový systém - v paměti ho vytváří jádro a je možné z něj za běhu získávat informace o procesech.

[8] TFTP - Trivial File Transfer Protocol
[9] NFS - Network File System
[10] JFFS2 - Journalling Flash File System verze 2

/sbin Obsahuje systémové spustitelné soubory.

/tmp Úložiště dočasných a pracovních souborů.

/usr Zde jsou standardně nainstalovány programy.

/var Obsahuje soubory měnící se s během systému.

5.2.4 Grafické uživatelské rozhraní

ELinOS nabízí, podobně jako ostatní linuxové operační systémy, několik možností zobrazení grafických aplikací:

X Window System Standardní okenní systém operačních systémů založených na Unixu. Používá koncepci server (řízení grafického displeje)-klient (aplikace), díky níž je možné spouštět aplikace i přes síť. V dnešní době je přítomen v podstatě ve všech desktopových i serverových distribucích založených na Linuxu. Pro panelový počítač PPC-5 však není příliš vhodný díky velké režii spojené s jeho provozem. Jeho použití nicméně ale možné je.

Framebuffer Abstraktní vrstva pro zobrazení grafických aplikací bez X-serveru. Přenáší obrazovou informaci z bufferu, ve kterém je pro každý pixel uchovávána číselná hodnota odpovídající barvě. Framebuffer lze na panelovém počítači PPC-5 použít pro zobrazení aplikací s grafickým uživatelským prostředím navrženým v GTK+[11], s konkurenčním toolkitem Qt má však framebuffer potíže.

Pro tvorbu grafické aplikace je tedy možné použít tzv. toolkity:

GTK+ Multiplatformní toolkit pro tvorbu grafických aplikací pomocí programovacího jazyka C. Je na něm založeno desktopové prostředí Gnome[12], pro které je možné používat při návrhu i další programovací jazyky jako C++, Python, či Perl. Od začátku je založen na licenci GPL, která zajišťuje svobodné použití. Mezi nevýhody patří určitě poměrně nízká rychlost zobrazování. Návrh rozhraní tzv. klikací metodou je možný využitím programů Glade-2 či Glade-3, které jsou schopny generovat zdrojový kód navrženého grafického rozhraní.

[11] GTK+ - The GIMP ToolKit
[12] Gnome - GNU Network Object Model Environment

Qt Multiplatformní toolkit společnosti Trolltech (která je dnes již součástí firmy Nokia). Tvoří základ desktopového prostředí KDE[13], nově je uvolněn také pod licencí GPL. Pro návrh rozhraní lze použít program Qt Designer, který generuje kód v programovacím jazyku C++.

5.2.5 Komunikace s PC

Standardně jsou při vývoji používána zároveň dvě komunikační rozhraní: ethernet s protokolem TCP/IP a sériový port. Na vývojářském počítači pak běží server DHCP[14], který svému hostu, panelovému počítači PPC-5, přiřadí při startu IP adresu a další zdroje. Pro komunikaci lze pak využívat následující programy:

Picocom Jednoduchý program zprostředkovávající komunikaci přes sériový port. Je používán k základní konfiguraci zavádění systému. Lze nastavit umístění, ze kterého má systém bootovat (z paměti FLASH či ze sítě prostřednictvím TFTP). Zároveň je zde možné nahrát zaváděcí obraz ze sítě do paměti FLASH a vlastní zavádění spouštět.

Telnet Přes ethernetové rozhraní zpřístupňuje konzoli embedded zařízení stolnímu PC. Tím je možno spouštět programy na PPC-5 či sledovat stav jeho systému z vývojářského počítače. To je vhodné, protože panelový počítač obvykle nemá například klávesnici, i když je připojitelná.

Ssh Používá také ethernetové rozhraní pro zpřístupnění konzole panelového počítače PPC-5 stolnímu PC. Má tedy v podstatě podobné využití jako program telnet, zprostředkovává však oproti němu výrazně bezpečnější komunikaci.

5.3 Konfigurace OS ELinOS

K podrobnému nastavení vlastností OS ELinOS je firmou SYSGO AG dodáván program ELK[15], který umožňuje poměrně jednoduše a rychle nastavit embedded operační systém ELinOS pro panelový počítač PPC-5. Vhodné je vycházet ze vzorových projektů dodaných firmou SYSGO AG. Dostupných je totiž hned několik konfigurací vhodných pro různé účely. Ty lze v programu ELK klonovat a následně upravovat, pokud je potřeba.

Konfigurace součástí operačního systému pak probíhá následovně:

[13] KDE - Kool Desktop Environment
[14] DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol
[15] ELK - Embedded Linux Konfigurator

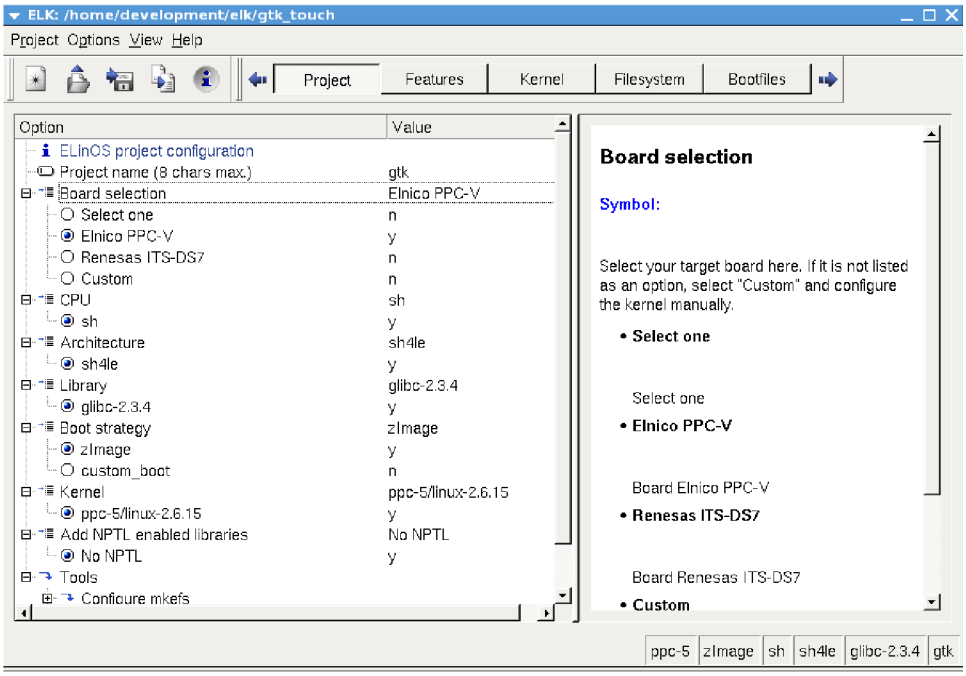
1. V záložce Project je potřeba provést základní nastavení - typ modulu, pro který se má tvořit operační systém, architekturu jeho procesoru, knihovnu jazyka C, strategii bootování systému, verzi jádra či povolení NPTL[16] knihoven. Jak je patrné z obrázku 3, nastavení pro panelový počítač PPC-5 je jasné a vcelku intuitivní.

2. V záložce Features lze poté přidávat různé komponenty operačního systému: ovladače zařízení či standardní programy OS Linux. Konfigurovat lze ale i např. způsob zavádění OS.

3. Přesněji specifikovat některé komponenty (například upřesnit nastavení vybraných ovladačů) lze následně v záložce Kernel.

4. Předposlední záložka Filesystem slouží k přidávání vlastních aplikací do vygenerovaného souborového systému.

5. Nakonec je možné v záložce Bootfiles projekt validovat a spustit proces vytvoření zaváděcího obrazu systému (zImage) a souborového systému.



Obrázek 3: Grafické rozhraní ELK

[16]NPTL - Native Linux Thread Library, současná implementace vláken pro jádra řady 2.6.x, i bez její podpory lze však používat standardní linuxová vlákna (přeloženo z [22])

5.4 Vývoj vlastní aplikace

Při použití vývojářského počítače s operačním systémem Linux je možné uživatelské aplikace nejprve překládat pro stolní počítač a ladit je na něm. Překlad pro panelový počítač PPC-5 je pak možné provést až poté, co je aplikace odladěná a zdá se funkční. Tím lze vývoj značně urychlit. Pokud však uživatelská aplikace pracuje například se vstupy a výstupy, je takový postup samozřejmě nemožný a je nutné ji překládat přímo pro panelový počítač a na něm také ladit.

5.4.1 Tvorba aplikace

Operační systém Linux je téměř výhradně založen na jazyku C, proto je vhodné psát vlastní aplikace také v tomto jazyku. Možné je však i použití C++, ostatní programovací jazyky již příliš obvyklé nejsou (alespoň pro operační systém ELinOS). Nejjednodušším způsobem je pak použití libovolného textového editoru pro úpravu zdrojových kódů a souboru makefile, ve kterém jsou specifikovány parametry překladu. Možné je také využít integrované vývojové prostředí Codeo dodávané firmou SYSGO AG. To zjednodušuje správu projektů i jejich překlad a ladění.

5.4.2 Ladění aplikace

Čistě teoreticky je možné aplikaci psát i ladit přímo a pouze na panelovém počítači PPC-5. Potřebné nástroje, jako je linuxový debugger GDB, je totiž možné klidně do souborového systému přidat. Avšak tento způsob není příliš vhodný zejména kvůli omezeným systémovým prostředkům embedded systému. Proto je vhodnější využít jinou možnost, kterou je gdbserver. Tato aplikace běží na vývojářském počítači a ladění pak probíhá přes komunikační rozhraní (možný je sériový port či ethernet). Jako grafické rozhraní pro debugger lze použít program DDD či rozhraní IDE Codeo, pokud je pro tvorbu programu používáno.

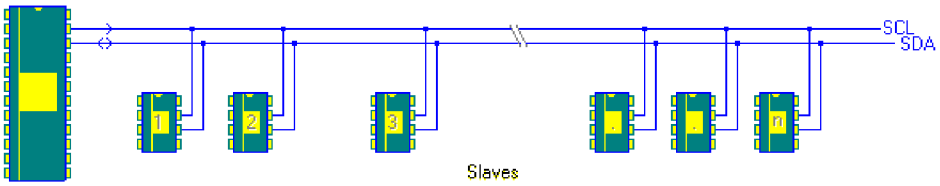
6 NÁVRH VSTUPNÍCH A VÝSTUPNÍCH OBVODŮ PRO INTELIGENTNÍ REGULÁTOR TEPLOTY

Pro použití panelového počítače PPC-5 k měření a řízení bylo nutné navrhnout externí zařízení, schopné vyhodnocovat analogové vstupy. Bylo by sice možné použít Modul A firmy ELNICO s.r.o., ten je však schopen pouze komunikace přes rozhraní SPI, pro které PPC-5 nemá funkční ovladač. Navržené zařízení pak obsahuje podle požadavků firmy A/D a D/A převodník a paměť (např. pro uchovávání kalibračních konstant). Další požadavek firmy spočívá v připojitelnosti alespoň 2 ks Modulu MAD a v možnosti umístění jednoho kusu tohoto výrobku do pouzdra panelového počítače PPC-5.

Pro tvorbu elektronického schématu a následný návrh desky plošných spojů byl použit software PADS Powerlogic a PowerPCB verze 5.0, obojí dostupné ve firmě ELNICO s.r.o.

6.1 Komunikace po sběrnici I^{2}C

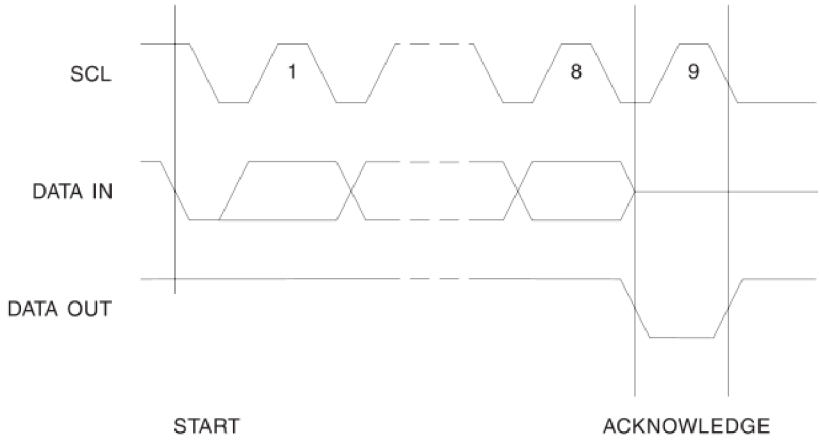
Sběrnice I^{2}C (cit. z [10]) je dvouvodičové datové propojení mezi jedním nebo několika procesory (Masters - řídí tok zpráv) a speciálními periferními součástkami (Slaves - zařízení řízená Masterem). Protože tato sběrnice není vybavena adresovou sběrnicí, jsou adresy i data přenášeny shodným způsobem datovým vodičem, přičemž přenos je možný obousměrně. Sběrnice je tvořena pouze dvěma linkami, které tvoří datový vodič SDA[17] a vodič hodinového signálu SCL[18]. Z hlediska rychlosti je možné použít standardní mód 100 kHz, rychlý mód 400 kHz a vysokorychlostní mód 3,4 MHz. Připojení součástek na sběrnici I^{2}C je znázorněno na obrázku 4.



Obrázek 4: Možné zapojení obvodu s komunikačním rozhraním I^{2}C (z [31])

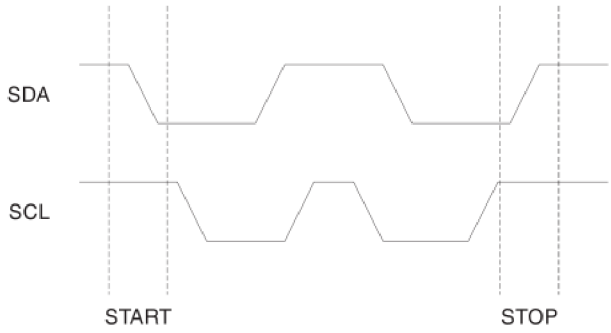
[17]SDA - Serial Data
[18]SCL - Serial Clock

Následující obrázek 5 zobrazuje princip přenosu dat a adres přes sběrnici I^{2}C. Bity jsou přenášeny vždy během hodinového impulzu SCL, přičemž během celého tohoto impulzu musí přenášená data zůstat neměnná. Přeneseno je vždy 8 bitů (1 byte, počínaje nejvyšším bitem a konče nejnižším), poté následuje devátý bit pro potvrzení úspěšnosti přenosu - ACK (acknowledge). ACK je logická 0, kterou generuje přijímač dat po přijetí každého bytu přenosu zároveň s potvrzovacím hodinovým impulzem. V klidovém stavu (nejsou přenášena žádná data) jsou oba kanály SDA i SCL v logické 1.



Obrázek 5: Princip přenosu dat a adres sběrnice (z [5])

Jak bylo uvedeno v minulém odstavci, přenášená data musí být během trvání každého hodinového impulzu neměnná. To má svůj důvod. Sběrnice I^{2}C totiž používá k označení začátku a konce přenosu dva speciální stavy sběrnice, jak je uvedeno na obrázku 6. Zahájení přenosu je uskutečněno sestupnou hranou na lince SDA (tzv. signál START), jeho ukončení je pak definováno náběžnou hranou (tzv. signál STOP), obojí v době trvání hodinového impulzu SCL.



Obrázek 6: Start a stop přenosu bitů (z [5])

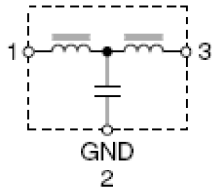
6.2 Převodní část Modulu MAD

Protože bylo vybráno komunikační rozhraní I^{2}C, je nutné pro obvod vybírat takové součástky, které jsou schopny s tímto rozhraním komunikovat. To se týká A/D a D/A převodníků a paměti EEPROM.

6.2.1 Obvod pro úpravu vstupního signálu

Obvod pro úpravu vstupního signálu pro A/D převodník je tvořen vstupním filtrem, vstupním děličem a přepěťovou ochranou (viz. obrázek 8)

Vstupní feritový filtr L5 Je tvořen dvěma tlumivkami a kondenzátorem (vnitřní zapojení je zobrazeno na obrázku 7) a zajišťuje obousměrné tlumení vstupního signálu A/D převodníku na kmitočtu v rozmezí 11 až 55 MHz.



Obrázek 7: Vnitřní struktura filtru ACF321825 (z [1])

Vstupní dělič Je zde zaveden pro možnost měření různých napěťových rozsahů vstupních signálů. Pro aplikaci měření teploty je dělič navržen však tak, aby vstupní napětí pokud možno vůbec nesnižoval (výstup ze snímače teploty by naopak potřeboval spíše zesílit). Podle toho jsou také zvoleny hodnoty odporů: $R_1 = 27\,k\Omega$, $R_5 = 100\,\Omega$.Zesílení vstupního děliče A je pak rovno:

$$A = \frac{R_1}{R_5 + R_1} = \frac{27\,k\Omega}{27\,k\Omega + 100\,\Omega} \doteq 0,996\,[-] \quad (1)$$

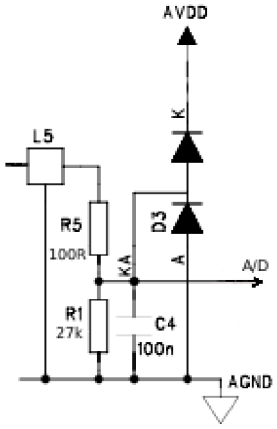
Zároveň dělič v součinnosti s kondenzátorem funguje jako dolní propust s časovou konstantou:

$$\tau = \frac{R_5 \cdot R_1}{R_5 + R_1} \cdot C = \frac{27 \cdot 10^3 \cdot 100}{27 \cdot 10^3 + 100} \cdot 100 \cdot 10^{-9} \doteq 9,96\,ns \quad (2)$$

a horním mezním kmitočtem:

$$f_H = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \cdot 9,96 \cdot 10^{-9}} \doteq 16\,MHz \quad (3).$$

Přepěťová ochrana D3 Je tvořena integrovaným obvodem BAV199, který obsahuje dvě křemíkové diody zapojené tak, jak je viditelné na obrázku 8. Pokud bude na výstupu děliče vysoké napětí (větší než AVDD=5 V, přičemž maximální povolené vstupní napětí A/D převodníku je jeho napájecí napětí - 5 V + 0,3 V), pak dojde k otevření horní diody v závěrném směru a tím k snížení napětí na 5 V. V případě záporného napětí na výstupu děliče se zase otevře spodní dioda v závěrném směru, a záporné napětí se svede na GND.



Obrázek 8: Vstupní filtr, dělič a přepěťová ochrana

6.2.2 A/D převodník

Pro převod analogové hodnoty napětí na digitální hodnotu zpracovatelnou panelovým počítačem PPC-5 byl vybrán 16-bitový A/D převodník ADS1112. Tento převodník má čtyři analogové vstupy, které lze zapojit buď jako dva diferenční nebo jako tři jednotlivé, čtvrtý je pak připojen na zem jako referenční. Obvod sestává ze vstupního multiplexeru, programovatelného zesilovače signálu (PGA[19]) s možnými zesíleními 1, 2, 4 nebo 8, vlastního sigma/delta převodníku, napěťové reference 2,048 V, vlastního generátoru hodinového signálu a pro aplikaci nepostradatelného rozhraní I^2C. Rychlost je možné volit 15, 30, 60 nebo 240 vzorků za sekundu (s vyšší rychlostí však klesá rozmezí hodnot, tedy přesnost). Maximální chyba je při napětí 0 - 2,048 V udávána pouze ±0.05 %. Napájecí napětí je možné volit v rozmezí 2,7 - 5,5 V. Čtení z převodníku přes rozhraní I^2C je možné pomocí tří nebo čtyř bytů, přičemž první byte tvoří adresu zařízení, další dva byty odpovídají přenášenému 16-bitovému kódu a poslední volitelný byte je

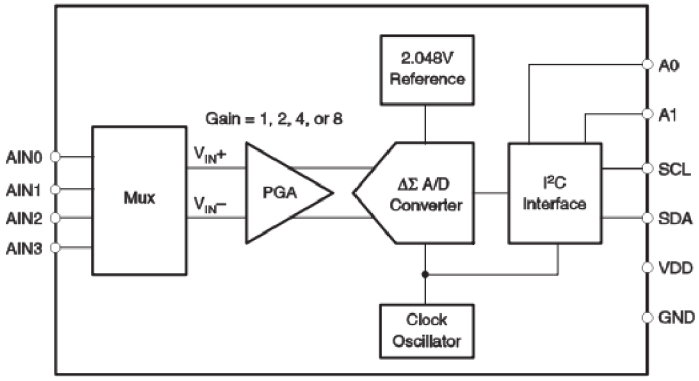
[19]PGA - Programmable Gain Amplifier

konfigurační. Při zápisu je kód pouze dvoubytový a sestává z adresy zařízení a konfiguračního bytu. Adresování je možné pomocí vstupů A_0, A_1.

V Modulu MAD je ADS1112 zapojen jako diferenční a při zachování maximální přesnosti bude výstupní kód vypadat následovně:

$$out = -1 \cdot min \cdot PGA \cdot \frac{U_{IN+} - U_{IN-}}{REF} = 32768 \cdot PGA \cdot \frac{U_{IN+} - U_{IN-}}{2,048\,V},$$

kde $min = -32768$ je minimální možná hodnota 16-bitového výstupu.



Obrázek 9: Blokové schéma ADS1112 (z [3])

6.2.3 D/A převodník

Pro převod vypočteného akčního zásahu na řídící napětí byl zvolen 12-bitový čtyřkanálový D/A převodník DAC7574. Vnitřní obvod sestává ze vstupního registru, kam je přiváděn digitální kód, odporové sítě vykonávající samotný D/A převod a výstupního zesilovače. Výstupní napětí je udáváno 0 - V_{DD}, kde V_{DD} je napájecí napětí převodníku (tedy 5 V). Přesný přepočet je dán vztahem: $V_{OUT} = V_{DD} \cdot \frac{D}{4096}$, kde D je dekadický ekvivalent binárního čísla vstupujícího do vstupního registru a V_{OUT} je výstupní napětí D/A převodníku. Pro DAC7574 je možné volit napájecí napětí v rozmezí 2,7 - 5,5 V, v Modulu MAD je voleno 5V. Maximální chyba je na celém rozsahu udávána 1 %. Abychom na výstupu dosáhli řídicího napětí 0 - 10 V, bude tedy nutné výstupní napětí převodníku ještě dvakrát zesílit. Zápis prostřednictvím sběrnice I^2C je při standardním a rychlém módu možný pomocí čtyř bytů sestávajících z 1-bytové adresy zařízení, jednoho kontrolního bytu a dvou bytů, ve kterých je uložen 12-bitový výstupní kód. Možné je i zpětné čtení dat podobným způsobem. K adresování se používá vstupů A_0, A_1.

6.2.4 Paměť EEPROM[20]

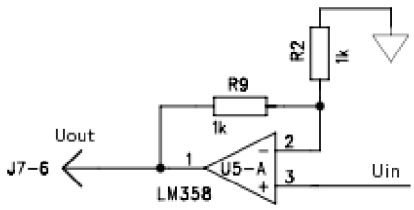
Pro možné uchovávání kalibračních konstant je na sběrnici I^{2}C připojena sériová paměť AT24C164. Ta poskytuje 16384 bitů elektricky mazatelných a programovatelných, organizována je do 2048 slov, z nichž každé má 8 bitů. Interně je uspořádána do 256 8-bytových stránek. Napájecí napětí je možno volit 5 V, 2,7 V, 2,5 V a 1,8 V. Adresování je možné pomocí vstupů A_0, A_1, A_2.

Pro aplikaci měření teploty tato paměť využita není, nebyl k tomu příliš důvod. Její umístění na Modulu MAD bylo však požadavkem firmy ELNICO s.r.o.

6.2.5 Napěťový a proudový výstup

Důležitým požadavkem na Modul MAD byla možnost napěťového (0-10 V) a proudového (0-20 mA) výstupu. Maximální výstupní napětí z D/A převodníku odpovídá jeho napájecímu napětí, tj. 5 V, proto je nutné použít k zesílení výstupní signálu operační zesilovač (dále jen OZ) - konkrétně byl vybrán integrovaný obvod LM358, který je tvořen dvěma OZ s plně dostačujícím maximálním zesílením 100 dB. Zapojen je nesymetricky, napájecí napětí je voleno 12 V.

Za prvé je tedy požadováno řídicí napětí 0-10 V. Použito je neinvertujícího zapojení OZ tak, aby výstupní napětí bylo zesilováno právě dvakrát (viz. obrázek 10).



Obrázek 10: Operační zesilovač jako neinvertující napěťový zesilovač

Máme-li tedy vstupní napětí U_{in} a odpory děliče R_2 a R_9 , pak pro výstupní napětí U_{out} z OZ platí (z [19]):

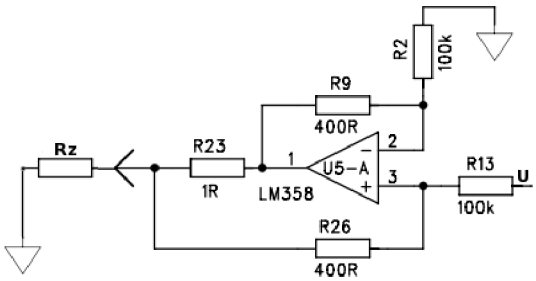
$$U_{out} = \left(1 + \frac{R_9}{R_2}\right) U_{in} \quad (4)$$

Z tohoto vzorce je ihned zřejmé, že pro požadované $U_{out} = 2 \cdot U_{in}$ musí platit $R_9 = R_2$. Potlačení vlivu parazitních vstupních kapacit, které způsobují derivaci a tedy zesilování vysokofrekvenčních rušivých signálů od kmitočtu $w = \frac{1}{R_2 \cdot C_{vst}}$

[20]EEPROM - Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory

, je zde realizováno (podle [19]) použitím rezistorů s poměrně nízkým odporem ($R_2 = R_9 = 1\,k\Omega$) tak, aby se kmitočet w posunul do co nejvyšších frekvencí. Ověření funkčnosti napěťového výstupu viz. Příloha 5 Ověření funkce napěťového a proudového výstupu Modulu MAD.

Druhým požadavkem bylo řízení elektrickým proudem, a to 0-20 mA. Použité zapojení a dále uvedený výpočet pro správné nastavení hodnot rezistorů jsou převzaty z [28] a experimentálně ověřeny.



Obrázek 11: Operační zesilovač jako zdroj proudu řízený napětím

Použijeme-li označení veličin podle obrázku 11, kde U je vstupní napětí OZ (výstupní z D/A převodníku) a R_2, R_9, R_{13}, R_{23} a R_{26} jsou hodnoty odpovídající příslušným rezistorům, pak podle pravidel pro OZ musí platit: $I_{R2} = I_{R9}$, $I_{R13} = I_{R26}$ a $I_Z = I_{R23} + I_{R26}$, kde proudy I_{R2} až I_{R26} jsou proudy tekoucí odpovídajícími rezistory a proud I_Z je žádaný proud na výstupní zátěži R_Z. K popisu návrhu dále budou potřeba U_Z - napětí na zátěži R_Z, U_{R23} - napětí na rezistoru R_{23}, U_P - napětí na neinvertujícím vstupu OZ a U_N - napětí na invertujícím vstupu OZ.

Pokud zvolíme $R_{26} = R_9 = k \cdot R_{13}$, můžeme celý proudový výstup popsat následujícími rovnicemi:

$$\frac{U - U_P}{R_{13}} = \frac{U_P - U_Z}{k \cdot R_{13}} \quad (5),$$

$$\frac{U_N}{R_2} = \frac{U_{R23} - U_N}{k \cdot R_{13}} \quad (6),$$

$$I_Z = \frac{U_{R23} - U_Z}{R_{23}} + \frac{U_P - U_Z}{k \cdot R_{13}} \quad (7).$$

Z rovnice 5 lze pak stanovit vstupní napětí OZ:

$$U_P = \frac{U_Z + k \cdot U}{k + 1} \quad (8),$$

z rovnice 6 pak napětí na rezistoru R_{23}:

$$U_{R23} = U_N \cdot \left(1 + \frac{k \cdot R_{13}}{R_2}\right) \quad (9).$$

Podle teorie operačních zesilovačů platí, že napětí mezi invertujícím a neinvertujícím vstupem je nulové (pro tento konkrétní případ tedy $U_N = U_P$). Dosazením rovnice 8 do rovnice 9 pak získáváme:

$$U_{R23} = \frac{U_Z + k \cdot U}{k+1} \cdot \left(1 + \frac{k \cdot R_{13}}{R_2}\right) \quad (10).$$

Po dosazení U_P a U_{R23} do rovnice 7 dostáváme:

$$I_Z = \left(\frac{1}{(k+1) \cdot R_{13}} + \frac{k \cdot (k \cdot R_{13} + R_2)}{(k+1) \cdot R_{23} \cdot R_2}\right) \cdot U +$$

$$+ \left(\frac{R_2 \cdot R_{23} + k \cdot R_{13}(k \cdot R_{13} + R_2)}{k(k+1) \cdot R_2 \cdot R_{13} \cdot R_{23}} - \frac{R_{23} + k \cdot R_{13}}{k \cdot R_{13} \cdot R_{23}}\right) \cdot U_{Z.} \quad (11)$$

Člen u U_Z musí být roven 0, aby výstupní proud nezávisel na výstupním napětí na zátěži. To bude splněno, pokud:

$$R_3 = \frac{k \cdot R_{13}^2}{R_{23} + k \cdot R_{13}} \quad (12).$$

Výsledný výstupní proud pak bude:

$$I_Z = \frac{R_{23} + k \cdot R_{13}}{R_{13} \cdot R_{23}} \cdot U \quad (13).$$

Tento vztah lze ještě zjednodušit v případě, že budeme volit $R_{23} << k \cdot R_{13}$:

$$I_Z = \frac{k}{R_{23}} \cdot U \quad (14).$$

Aby tedy bylo možné využít posledně uvedeného vztahu, je volen $R_{23} = 1\Omega$. Vstupní napětí OZ odpovídá výstupnímu napětí D/A převodníku a může nabývat hodnot 0-5 V, přičemž minimální hodnota tohoto napětí má odpovídat proudovému výstupu 0 mA a maximální hodnota výstupu 20 mA. Musí tedy platit:

$$I_Z = \frac{k}{1\Omega} \cdot 5\,V = 20\,mA \quad (15).$$

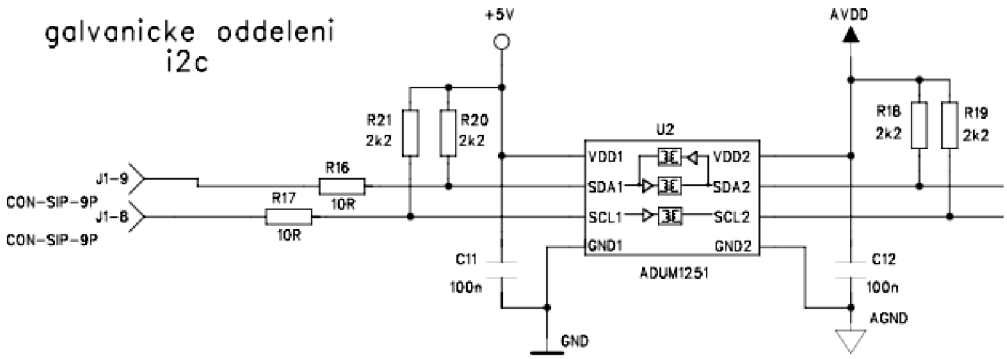
Potom $k = 0,004$, $\frac{1}{k} = 250$. Proto musí platit $R_2 = R_{13} = 250 \cdot R_9 = 250 \cdot R_{26}$. Hodnoty rezistorů jsou podle dostupnosti hodnot voleny $R_9 = R_{26} = 400\,\Omega$ ($400\,\Omega \doteq 410\,\Omega = 820\,\Omega||820\,\Omega$)a $R_2 = R_{13} = 100\,k\Omega$. Nevýhodou tohoto zapo-

jení je závislost výstupního proudu na zátěži na výstupu a díky nesymetrickému zapojení OZ i určitá nepřesnost v okolí 0 mA. Celý rozsah 0 - 20 mA proudového výstupu byl však proměřen pro různé zátěže 12 - 470 Ω (požadováno) a výsledné charakteristiky (viz. Příloha 5 Ověření funkce napěťového a proudového výstupu Modulu MAD) byly po domluvě ve firmě ELNICO s.r.o. uznány jako dostačující.

6.3 Galvanické oddělení

Komunikace I^{2}C je oboustrannou bránou pro rušení. Jednak je vyzařováno rušení vznikající na DPS Modulu MAD, zároveň je přijímáno rušení z obvodů panelového počítače PPC-5. Proto je navrženo galvanické oddělení (realizované integrovaným obvodem ADUM1251) komunikace I^{2}C mezi panelovým počítačem PPC-5 a Modulem MAD, které tyto části fyzicky i elektricky rozdělí (zapojení je na obrázku 12)

Rezistory R_{18} a R_{19} mezi linkami SDA, SCL a kladným pólem napájecího napětí jsou pull-up (zdvihací) odpory I^{2}C komunikace. Ty musí být na obou stranách galvanického oddělení komunikace I^{2}C, proto jsou zde navrženy i rezistory R_{20} a R_{21}, které však v případě panelového počítače PPC-5 nebudou osazeny, protože jsou umístěny už u procesoru počítače. Zbylé rezistory R_{16} a R_{17} jsou zde zapojeny pro ochranu výstupu v případě zkratu. Kondenzátory C_{11} a C_{12} jsou lokální blokovací kondenzátory sloužící jako lokální zdroj energie pro integrovaný obvod ADUM1251.



Obrázek 12: Galvanické oddělení panelového počítače PPC-5 a externího modulu

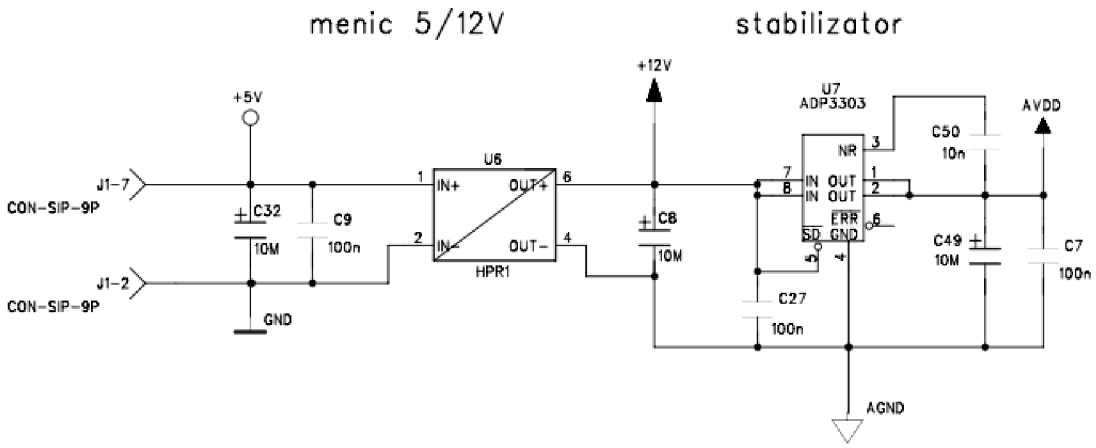
6.4 Napájení

Pro Modul MAD jsou potřeba dvě různá napájecí napětí: 12 V pro operační zesilovač a 5 V pro zbylé části obvodu. Na straně panelového počítače PPC-5 je

přitom napětí 5 V.

Měnič 5/12 V Pro změnu napětí z 5 V na 12 V je použit DC/DC měnič firmy VITEC VMH-0512. Mezi konektorem a měničem je zapojena paralelní kombinace vysokokapacitního elektrolytického (C_{32}) a keramického kondenzátoru (C_9), která slouží jako širokopásmový filtr od napájecího zdroje. Stejnou funkci tvoří také dvojice kondenzátorů C_8, C_{27} a C_{19}, C_7.

Stabilizátor ADP3303 Je lineární regulátor napětí pro rozsah 3,2 - 12 V. V Modulu MAD provádí regulaci napětí z 12 V (napájecí napětí pro OZ) na 5 V (napájecí napětí pro A/D a D/A převodník a paměť EEPROM; na obrázku 13 značeno AVDD). Pro potlačení šumu zesílení regulační smyčky je zapojen kondenzátor C_{50}. Pin SD (active low shutdown pin) je připojením na vstup nevyužit, stejně jako pin ERR, který není připojen vůbec. Vysoký ztrátový výkon stabilizátoru by způsoboval přehřátí součástky, avšak po sečtení proudových spotřeb všech integrovaných obvodů a uvažování proudové spotřeby stabilizátoru je $P_{Z,MAX} \doteq 150\,mW$. Teplota stabilizátoru by se pak při udávaném teplotním odporu stabilizátoru 170°C/W měla teoreticky pohybovat okolo provozní teploty navýšené o 25°C.



Obrázek 13: Napájení

6.5 Adresy obvodů Modulu MAD připojených ke sběrnici I²C

Požadavkem firmy ELNICO s.r.o. je připojitelnost dvou zařízení typu Modul MAD k panelovému počítači PPC-5. Proto je důležité rozlišit adresy součástek

obou zařízení. Nastavení zobrazuje následující tabulka 1 (nastavitelné bity jsou zobrazeny modrou barvou).

	Modul MAD 1									Modul MAD 2							
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0		7	6	5	4	3	2	1	0
24C16	1	0	0	0	x	x	x	R/W		1	0	1	1	x	x	x	R/W
ADS1112	1	0	0	1	0	0	x	R/W		1	0	0	1	0	1	x	R/W
DAC7574	1	0	0	1	1	1	1	R/W		1	0	0	1	1	1	0	R/W

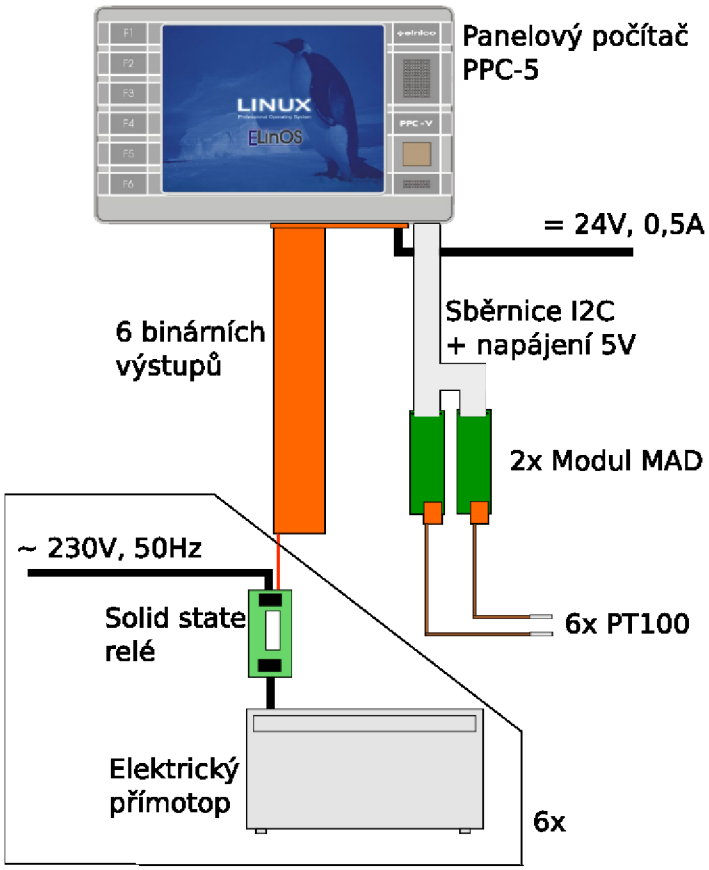
Tabulka 1: Rozlišení adres součástek pro možnost připojení dvou zařízení typu ModulMAD

6.6 Provedení desky plošných spojů

Požadovaná velikost DPS Modulu MAD je 67x24mm z důvodu, aby se zařízení vešlo do pouzdra panelového počítače PPC-5. Vzhledem k malé složitosti obvodu byla vybrána dvouvrstvá DPS, přičemž vrchní vrstva TOP obsahuje součástky a spoje mezi nimi, spodní vrstva BOTTOM je tvořená rozlitou mědí pro zemnění a několika málo spoji, které se již nepodařilo realizovat ve vrstvě TOP. Pro eliminaci rušení bylo při návrhu DPS postupováno tak, aby jednotlivé funkční bloky byly od sebe fyzicky odděleny a plošné spoje mezi nimi byly co nejkratší.

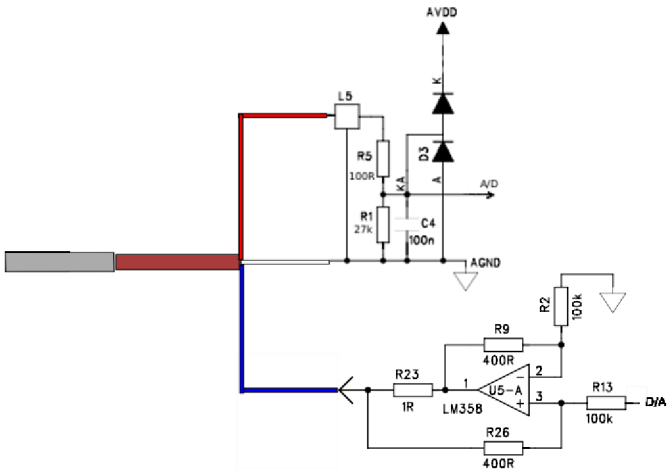
7 PROPOJENÍ INTELIGENTNÍHO REGULÁTORU TEPLOTY S OKOLÍM

Na obrázku 14 je znázorněn způsob propojení jednotlivých komponent regulačního obvodu pro řízení teploty až v šesti místnostech. Jádrem je inteligentní regulátor teploty - panelový počítač PPC-5, napájený stejnosměrným napětím 24 V. Ten vyhodnocuje měřenou teplotu a podle ní nastavuje binární výstupy.



Obrázek 14: Propojení inteligentního regulátoru teploty s okolím

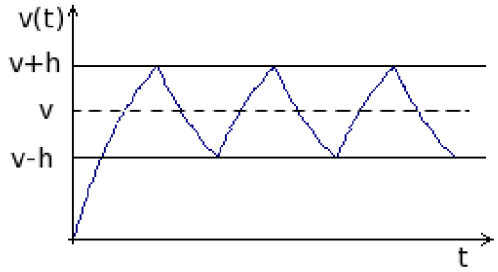
Teplota je měřena teplotním snímačem PT100 (dohromady 6ks, pro každou místnost 1ks, ke každému kusu Modulu MAD jsou připojeny tři, což je maximální možný počet). Platinový odporový snímač je zvolen čistě z praktických důvodů, protože je dostupný ve firmě ELNICO s.r.o. Pro pokojové měření teploty jsou ale vhodnější z hlediska ceny NTC termistory. Připojení PT100 k Modulu MAD je znázorněno na obrázku 15: jeden kabel snímače je připojen na zem Modulu MAD, druhý na jeho proudový výstup (kde je nastavena z D/A převodníku hodnota 0.5 mA), třetí kabel je pak připojen na vstup A/D převodníku - je na něm tedy měřena hodnota napětí.



Obrázek 15: Přípojení teplotního snímače PT100 k Modulu MAD

Tato hodnota (až 16 bitová) je následně čtena panelovým počítačem PPC-5 prostřednictvím sběrnice I^{2}C a je převedena na teplotu, která je zobrazena na displeji. Zároveň je podle rozdílu požadované a měřené teploty sepnut binární výstup, kterým je ovládáno topení v příslušné místnosti. Zde je uměle zavedena hystereze $h = 0,5$ °C, která výrazně sníží počet sepnutí a vypnutí topení. Průběh teploty v čase pak kmitá kolem požadované teploty ν v rozmezí teplot $\nu + h$ a $\nu - h$, jak je znázorněno na obrázku 16.

Hodnota na binárním výstupu panelového počítače PPC-5 řídí příslušné solid state relé. To v logické 1 binárního výstupu sepne napájení ($\sim$ 230 V, 50 Hz) pro elektrický přímotop, v logické 0 pak napájení rozepne.



Obrázek 16: Časová závislost teploty v místnosti při použití reléového regulátoru s hysterezí

Na závěr nutno dodat, že toto zapojení slouží především pro demonstraci. Jak již bylo uvedeno, bylo by vhodnější použít jiný typ teploměru. Zároveň 1 ks Modulu MAD obsahuje pouze dva proudové výstupy (dohromady jsou tedy 4 pro 6 snímačů PT100), což není dostačující. Zdroj konstantního proudu by bylo ale také vhodnější navrhnout jinak, rozhodně ne výstupem z D/A převodníku.

8 APLIKAČNÍ PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRO REGULACI TEPLOTY

OS Linux je víceúlohový operační systém, proto byla pro programové řízení teploty zvolena koncepce dvou oddělených programů. Jeden z těchto programů zprostředkovává vlastní měření a řízení, druhý zobrazuje výsledky na displeji a umožňuje uživateli interakci s celou aplikací. Komunikaci mezi těmito dvěma oddělenými programy zajišťuje sdílená paměť. Synchronizace přístupu do této paměti, která tvoří kritickou sekci celé aplikace, je zajištěna využitím semaforů.

8.1 Program ModMad - měření a řízení

Program ModMad tvoří pro celou aplikaci stykovou vrstvu mezi hardwarem (Modulem MAD a binárními výstupy panelového počítače PPC-5) a grafickým rozhraním - programem TempReg. Provádí tedy vlastní měření a řízení a výsledky zprostředkovává uživateli prostřednictvím programu TempReg, od kterého zároveň získává hodnoty požadovaných teplot v jednotlivých místnostech.

Pro práci s A/D a D/A převodníkem, které jsou obsaženy v Modulu MAD, je v programu využito driveru pro sběrnici I^2C, obsaženého v OS ELinOS. Stejně tak je v něm obsažen driver pro binární výstupy, který je také použit. Oba tyto drivery byly dodány firmou SYSGO AG.

8.1.1 Zdrojové soubory programu

Program ModMad je členěn do několika zdrojových souborů:

main.c Tvoří tělo programu. Využívá funkce z ostatních zdrojových souborů.

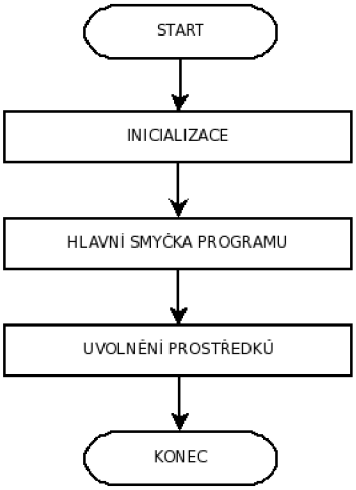
adtest.c, adtest.h Obsahují strukturu, reprezentující A/D převodník ADS1112, potřebné konstanty a především funkce pro inicializaci adresy A/D převodníku, dále pro jeho připojení a čtení jím měřených hodnot. Důležitý doplněk tvoří korekce driveru I^2C pro tento převodník (bez něj byly původně čteny poměrně často nesmyslné - jednou kladné, podruhé záporné hodnoty) a filtr, který využívá medián několika posledních hodnot k odstranění drobného rušení, které se však při měření odporovým snímačem teploty PT100 projevovalo díky nízké hodnotě měřeného napětí poměrně výrazně. Rychlost A/D převodníku je možné volit od 15 vzorků/s až do 240 vzorků/s, což je pro aplikaci měření teploty naprosto dostačující.

datest.c, datest.h Obsahují strukturu, reprezentující D/A převodník DAC7574, konstanty a funkce pro inicializaci jeho adresy, připojení D/A převodníku a zápis hodnot na jeho kanály.

i2c.c, i2c.h Obsahují především některé konstanty, které je vhodné použít při práci se sběrnicí I^2C.

8.1.2 Vývojový diagram programu

Program ModMad se skládá ze tří ucelených částí: inicializace, hlavní smyčky a části před ukončením programu, ve které jsou uvolněny systémové prostředky. Hrubý vývojový diagram je znázorněn na obrázku 17, jednotlivé bloky jsou blíže specifikovány ve vývojových diagramech na obrázcích 18, 19 a 20.



Obrázek 17: Základní bloky vývojového diagramu programu ModMad

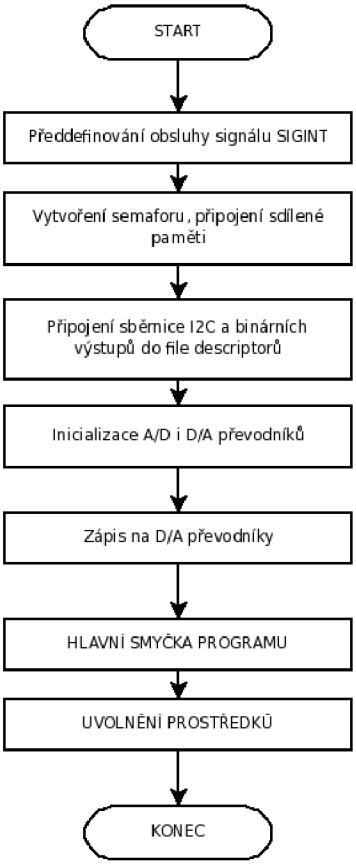
Po startu programu nastává inicializace. V té je nejprve nastavena obsluha přerušení signálem SIGINT - nastavena je příslušná globální proměnná (příznak, že má být program ukončen). Tím je zajištěna případná potřeba ukončení programu - tento signál je totiž generován stiskem kombinace kláves Ctrl+C v konzoli panelového počítače PPC-5. Obslužná funkce pak provede přerušení hlavní smyčky, odskok do bloku, kde jsou uvolněny systémové prostředky, a ukončení programu.

Následně je vytvořen semafor a připojena sdílená paměť. To jsou prostředky pro synchronizaci dat (měřených a požadovaných teplot) mezi programem ModMad a grafickým rozhraním TempReg.

V dalším kroku jsou připojena zařízení do souborových deskriptorů. Jedná se o I^2C adaptér, ke kterému jsou připojeny oba dva kusy Modulu MAD, a o binární výstupy (připojeno je jen prvních šest, které jsou potřebné pro reléové řízení).

Poté jsou inicializovány oba A/D i oba D/A převodníky (na každém Modulu MAD je jeden A/D a D/A převodník). Upravena je jejich adresa (bitovým posunem vpravo), protože driver I^2C pracuje pouze se 7-bitovou adresou bez posledního bitu, který normálně slouží k označení, zda jde o čtení či zápis. Dále jsou nastaveny kontrolní byty všech převodníků.

Poslední krok inicializace tvoří zápis takových hodnot na oba kanály obou D/A převodníků, které odpovídají na jejich proudových výstupech el. proudu 0,5 mA (samozřejmostí je fakt, že Modul MAD musí být osazen tak, aby umožňoval proudový výstup 0-20 mA). Tyto proudové výstupy poté slouží jako zdroje konstantního proudu pro teplotní snímače PT100.



Obrázek 18: Inicializace programu ModMad

Po inicializaci se program dostane do hlavní smyčky, viz. obrázek 19. V té je nejprve testováno, zda byla provedena obsluha přerušení signálem SIGINT. V případě, že ano, jsou uvolněny systémové prostředky a program je ukončen. V opačném případě jsou postupně připojeny A/D převodníky obou Modulů MAD, z jejichž všech tří kanálu jsou postupně čteny hodnoty odpovídající teplotám v místnostech, ve kterých je měřeno.

V dalším kroku jsou přečtené hodnoty filtrovány. Využit je mediánový filtr, který vrací průměr prostředních tří hodnot z posledních deseti čtených a seřazených podle velikosti. Tím je částečně eliminováno rušení na DPS Modulu MAD.

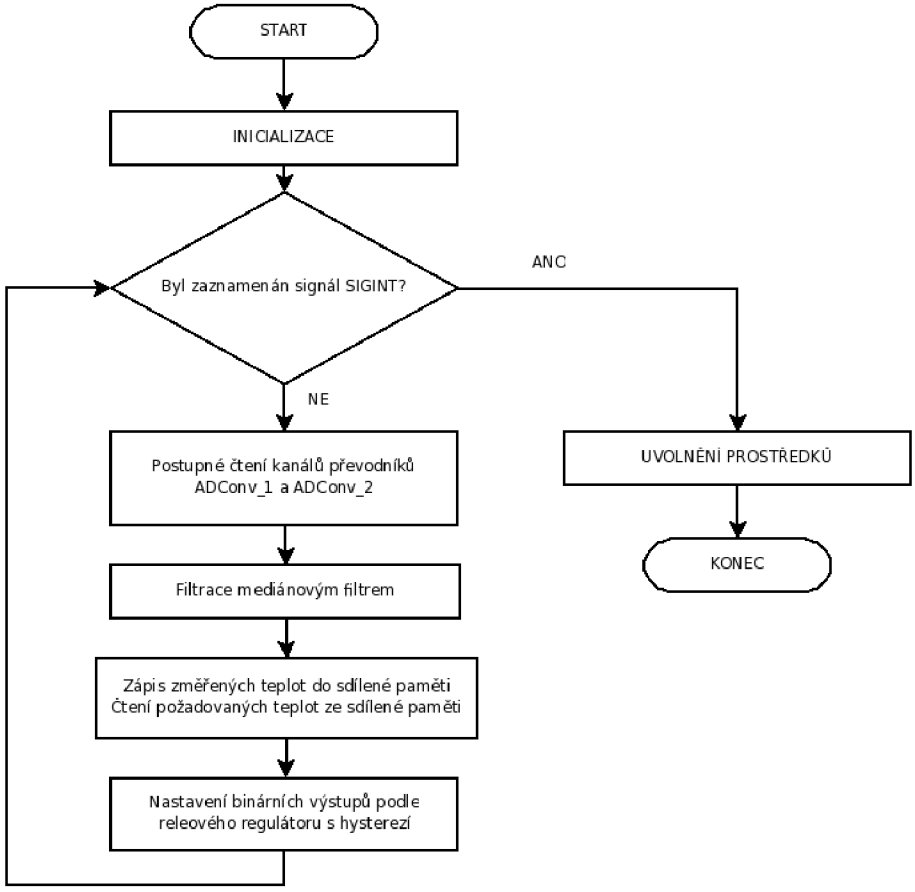
Následně je semaforem uzamčen přístup do kritické sekce, kterou tvoří zápis změřených teplot do sdílené paměti a čtení požadovaných teplot ze sdílené paměti. Poté je semaforem přístup do této kritické sekce opět odemčen.

Poslední akcí, která je provedena ve smyčce, je nastavení binárních výstupů. K nastavení výstupu do logické 1 (které způsobí zapnutí topení) dojde, platí-li:

$$t_p - t_m > h,$$

kde t_p je požadovaná teplota, t_m je teplota měřená a h je uměle zavedená hystereze (0,5 °C). Naopak nastavení výstupu do logické 0 (a tedy vypnutí topení) je provedeno, pokud:

$$t_m - t_p > h.$$



Obrázek 19: Hlavní smyčka programu ModMad

Program ModMad může být v hlavní smyčce regulérně ukončen jediným způsobem - odchycením signálu SIGINT. Když je tento signál zaregistrován, je přerušena hlavní smyčka programu a dojde k uvolnění systémových prostředků, které program používá. Uzavřeny jsou všechny otevřené deskriptory souborů - tedy deskriptory pro sběrnici I^2C a pro binární výstupy. Nakonec je odpojena sdílená paměť, je zrušen semafor a program je ukončen (uvolnění prostředků viz. obrázek 20).

Obrázek 20: Uvolnění prostředků programu ModMad

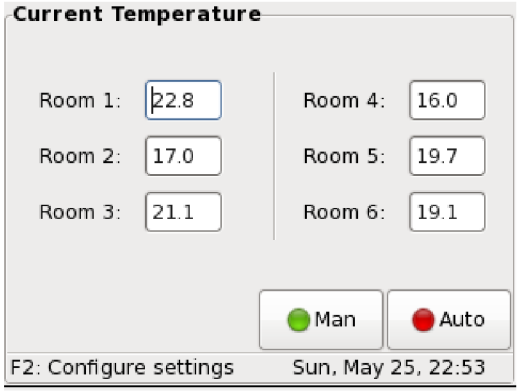
8.2 Program TempReg - uživatelské rozhraní

Styk aplikace s uživatelem je zajišťován uživatelským rozhraním, realizovaným programem TempReg. Návrh grafické části aplikace byl zpočátku poměrně nejasný: uvažovalo se o knihovnách GTK+, Qt či tvorbě vlastního, byť výrazně jednoduššího toolkitu, který by byl schopen alespoň částečně nahradit dvě uvedené knihovny. Nakonec bylo vybráno grafické rozhraní s knihovnou GTK+, protože operační systém ELinOS pro ni má poměrně výraznou podporu (na rozdíl od Qt). Jeho nevýhodou je však jednoznačně malá rychlost zobrazování.

8.2.1 Grafické rozhraní programu

K návrhu grafické části programu TempReg byl použit program Glade-2 verze 2.12.1, který rozmísťování jednotlivých komponent (tlačítek, textových polí, ...) značně usnadnil. Snahou bylo vytvořit jednoduché, přehledné a intuitivní rozhraní pro uživatele, které by přitom poskytovalo maximum funkcí.

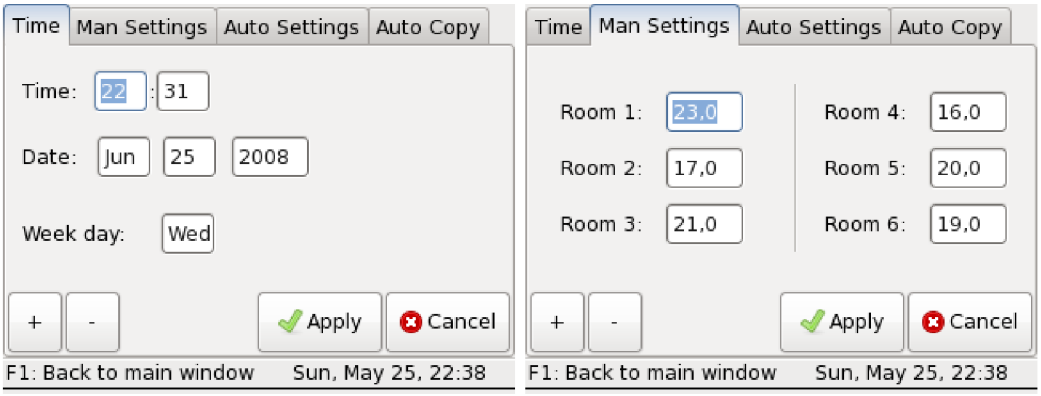
Grafické rozhraní je rozděleno do dvou oken - okna hlavního, kde jsou zobrazovány aktuální naměřené teploty, a okna, ve kterém je možné provádět nastavení. Konfigurovat lze přitom aktuální datum a čas a požadované teploty pro manuální a automatický režim.



Obrázek 21: Hlavní okno programu TempReg

Na obrázcích 22 a 23 jsou zobrazeny jednotlivé záložky s nastaveními. V záložce Time lze nastavovat aktuální datum a čas. Ten je uchován i v případě výpadku elektřiny či vypnutí systému díky timekeeperu panelového počítače PPC-5. Nastavovat lze vše kromě dne v týdnu, který je automaticky vybrán podle systémového kalendáře.

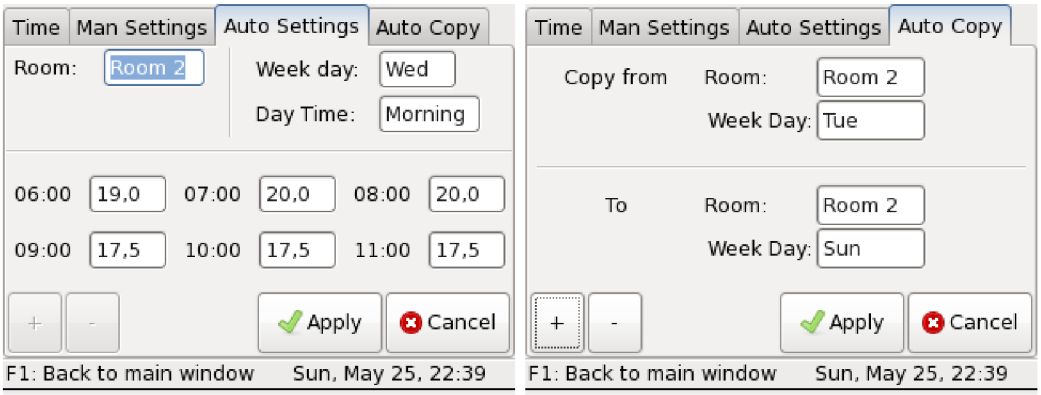
V záložce Man Settings může uživatel nastavit požadované teploty pro manuální režim, při kterém jsou teploty v místnostech udržovány regulátorem nezávisle na čase.



Obrázek 22: Okno pro nastavení: vlevo nastavení času, vpravo nastavení manuálního režimu

V záložkách Auto Settings a Auto Copy lze upravovat požadované teploty pro automatický režim. Ten je charakteristický možností nastavení teplot zvlášť

pro každý pokoj a den v týdnu, a to vždy po jedné hodině. Výhodou je možnost zkopírování nastavení mezi pokoji a dny v týdnu, čímž je potenciálnímu uživateli výrazně zkrácena doba, kterou by musel věnovat konfiguraci požadovaných teplot.



Obrázek 23: Okno pro nastavení: obojí nastavení automatického režimu

Podrobnější návod k používání aplikace viz. Příloha 5 Návod k uživatelskému programu TempReg.

8.2.2 Zdrojové soubory programu

Program TempReg využívá následující zdrojové soubory:

main.c Po počáteční inicializaci (připojení sdílené paměti, nastavení periodicky volaných funkcí pro obnovování času v liště a především čtení aktuálně měřených teplot ze sdílené paměti) je zde volána funkce gtk_main(), která ponechává řízení programu uživateli.

callbacks.c, callbacks.h Obsahují funkce obsluh signálů - např. stisknutí tlačítka -> inkrementace hodnoty v textovém poli.

interface.c, interface.h Zdrojové soubory automaticky vygenerované programem Glade-2. Obsahují popis grafického rozhraní. Není doporučováno je upravovat a upravovány také nebyly.

support.c, support.h V těchto zdrojových souborech, také automaticky vygenerovaných programem Glade-2, jsou umístěny podpůrné funkce. Opět není doporučováno je upravovat a upravovány také nebyly.

graphics.c, graphics.h Největší soubory celého projektu. Obsahují funkce pro správné fungování grafiky, periodický přístup do sdílené paměti, nastavování

data a času či zálohování nastavení (požadovaných teplot pro manuální i automatický režim) do souboru.

8.3 Sdílené zdrojové soubory

V této kapitole jsou popsány zdrojové soubory, které mezi sebou oba programy sdílejí:

shmem.c, shmem.h Komunikace, resp. sdílení měřených a požadovaných teplot mezi oběma programy ModMad a TempReg je realizováno prostřednictvím sdílené paměti. Zdrojové soubory shmem.c a shmem.h proto obsahují jednu funkci pro program ModMad a jednu pro program TempReg. Obě tyto funkce zajišťují pro volající program připojení, čtení, zápis a odpojení sdílené paměti.

sem.c, sem.h Sdílená paměť aplikace tvoří kritickou sekci, proto je nutné vyloučit situaci, kdy by k ní oba programy přistupovali najednou. Sadu funkcí pro vytvoření a odstranění semaforu, zamknutí a odemknutí přístupu do kritické sekce obsahují právě zdrojové soubory sem.c a sem.h.

conf_backup.c, conf_backup.h Požadované teploty manuálního i automatického režimu nastavené uživatelem jsou uchovávány ve strukturách programu TempReg. Jsou však zároveň zálohovány do souborů man.conf a auto.conf. V případě ukončení či pádu aplikace jsou tedy hodnoty zálohovány a při startu programu opětovně načteny do struktur v programu TempReg.

9 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá implementací inteligentního teploměru do panelového počítače PPC-5 společnosti ELNICO s.r.o. Po prvotním seznámení s tímto embedded systémem s OS Linux bylo navrženo externí zařízení, pojmenované Modul MAD (pozn. M=Memory, A=A/D, D=D/A). Jak již název napovídá, toto zařízení lze použít pro měření analogových veličin, a to využitím 16-ti bitového A/D převodníku. Navíc modul obsahuje i 12-ti bitový D/A převodník, pro který je realizován napěťový výstup 0 - 10 V a proudový výstup 0 - 20 mA. Přítomna je i 16-ti kilobitová paměť EEPROM. Všechny tyto obvody jsou připojeny na sběrnici I^2C, přes kterou jsou schopny komunikovat s panelovým počítačem PPC-5.

Dalším krokem byla tvorba software pro práci s Modulem MAD, přičemž vytvořena byla jakási nadstavba driveru I^2C, který byl dodán s operačním systémem firmou SYSGO AG. Vytvořeny byly především funkce pro čtení z A/D převodníku a zápis na D/A převodník. Důraz byl kladen na zjednodušení práce s těmito obvody tak, aby další potenciální programátor již pouze nastavil určité proměnné (např. kanál, ze kterého chce číst, či rychlost převodníku) a nemusel se již příliš zabývat tím, jak tyto obvody fungují.

Poté již bylo přikročeno k návrhu aplikace pro řízení teploty až v šesti místnostech. Vytvořeny byly dva programy: ModMad a TempReg. Program ModMad z větší části využívá již popsané funkce pro A/D a D/A převodník, navíc přistupuje i k binárním výstupům panelového počítače PPC-5. Zcela jinou funkci má program TempReg - ten se věnuje grafickému zobrazení a interakci s uživatelem, přičemž jako toolkit pro tvorbu jeho grafického rozhraní bylo zvoleno multiplatformní GTK+. Sdílení dat mezi těmito dvěma programy je provedeno prostřednictvím sdílené paměti.

Tvorba bakalářské práce, jak tomu už asi bývá, se bez potíží neobešla. Vyskytly se problémy s některými drivery dodanými firmou SYSGO AG. Chybu při čtení A/D převodníku, který bohužel kvůli nesprávně funkčnímu driveru I^2C četl klidně střídavě kladnou a zápornou hodnotu, ačkoli napětí na jeho vstupu se vůbec nezměnilo, se podařilo napravit v aplikačním software. Další problém se vyskytl u driveru touchscreenu, který na některých kusech panelového počítače PPC-5, přítomných ve firmě ELNICO s.r.o., rozhodně nereagoval na dotyk tak, jak by měl. Toto již napraveno nebylo, nutno ale dodat, že to ani nebylo náplní bakalářské práce.

Problémy se vyskytly i u Modulu MAD. Největším z nich je pravděpodobně rušení na vstupních kanálech A/D převodníku. Ačkoli se šum na osciloskopu jevil

jako nepatrný, při měření velmi malých napěťových signálů z teplotního snímače PT100 způsoboval poměrně výrazné kolísání vypočtené teploty. Použití mediánového filtru sice kolísání umírnilo, bohužel ale zároveň teplotní měření zpomalilo.

Jako poslední problém je nutné uvést rychlost grafické aplikace s rozhraním GTK+. Bohužel se ukázalo, že i při čtení teploty jednou za několik sekund jsou odezvy aplikace dosti pomalé. Tento problém bohužel nijak odstranit nelze a pro další aplikaci je proto nutné uvažovat spíše o jiné možnosti pro tvorbu grafického rozhraní, než je GTK+.

10 LITERATURA

[1] *ACF321825* [online]. Poslední revize 12.10.2004 [cit. 2007-10-17]. Dostupné z <http://parts.digikey.com/1/parts/672776-filter-3-term-17mhz-300ma-smd-acf321825-223-td01.html>.

[2] *ADP3303* [online]. Poslední revize 1998 [cit. 2007-10-20]. Dostupné z <www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADP3303.pdf>.

[3] *ADS1112 (Burr-Brown)* [online]. Poslední revize březen 2004 [cit. 2007-10-22]. Dostupné z <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/D/S/1/ADS1112.shtml>.

[4] *ADUM1251* [online]. Poslední revize 2007 [cit. 2007-12-03]. Dostupné z <http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADP3303.pdf>.

[5] *AT24C164 (Atmel)* [online]. Poslední revize červenec 1998 [cit. 2007-10-13]. Dostupné na <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/2/4/C/1/24C16.shtml>.

[6] *DAC7574* [online]. Poslední revize červen 2003 [cit. 2007-10-12]. Dostupné z <www.chipcatalog.com/TI/DAC7574.htm>.

[7] *ELNICO s.r.o. - Webová stránka společnosti* [online]. [cit. 2007-11-28]. Dostupné z <www.elnico.cz>.

[8] *Embedded Linux* [online]. Poslední revize 15.11.2007 [cit. 2007-12-11]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_Linux>.

[9] *Embedded System* [online]. Poslední revize 11.12.2007 [cit. 2007-12-11]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system>.

[10] HANKOVEC, D. *Sběrnice I^2C, o co jde a jak pracuje* [online]. [cit. 2007-12-09]. Dostupné z <http://www.dhservis.cz/iic.htm>.

[11] KREIDL, M. Měření teploty - senzory a měřicí obvody. 1. vyd. 2005. ISBN 80-7300-145-4.

[12] *Linux - Dokumentační projekt.* 1. vyd. 1998. ISBN 80-7226-114-2.

[13] *LM158/LM258/LM358/LM2904* [online]. Poslední revize říjen 2005 [cit. 2007-11-28]. Dostupné z <http://www.national.com/ds/LM/LM158.pdf>.

[14] MACHO, T. *Operační systémy a sítě (MOSS).* 2006.

[15] MATTHEW, N., STONES, R.. *Linux - Začínáme programovat.* 1.vyd 2000. ISBN 80-7226-307-2.

[16] MATOUŠEK, D. *Udělejte si z PC - generátor, čítač, převodník, programátor..: Měření, řízení a regulace pomocí sériového portu PC a sběrnice I^2C. 1.díl.* 1.vyd. 2001. ISBN 80-7300-036-9.

[17] MITCHELL, M., OLDHAM, J., SAMUEL, A. *Pokročilé programování v operačním systému Linux.* 2002. ISBN 80-86497-29-1.

[18] *Nový bezdrátový systém Synco living společnosti Siemens zvyšuje pohodlí bydlení* [online]. 31.1.2007 [cit. 2008-05-25]. Dostupné z <http://vytapeni.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3860>.

[19] PATOČKA, M., VOREL, P. *Řídící elektronika - aktivní obvody 2.díl.* 2004.

[20] RIPKA, P., ĎAĎO, S., KREIDL, M., NOVÁK, J. *Senzory a převodníky.* 2005. ISBN 80-01-03123-3.

[21] *Symbian OS* [online]. Poslední úprava 26.5.2008. [cit. 2008-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Symbian_OS>.

[22] SYSGO AG. *ELinOS - A Development Environment for Embedded Linux Applications.* Tenth Edition 2006.

[23] SYSGO AG. *ELinOS - A Development Environment for Embedded Linux Applications.* Eleventh Edition 2007.

[24] *Systém automatizace budov METASYS* [online]. 1.10.2002 [cit. 2008-05-25]. Dostupné z <http://elektro.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1138>.

[25] ŠOLC, V., VÁCLAVEK, P., VAVŘÍN, P. *Řízení a regulace II - Analýza a řízení nelineárních systémů.* Verze 1.5 2006.

[26] *Taconova - přehled sortimentu výrobků* [online]. [cit. 2008-05-25]. Dostupné na <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=6&i=30842>.

[27] VLČEK, J. *Regulace teploty v budovách - teoretická základna* [online]. 2007 [cit. 2008-05-15]. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4015>.

[28] VRBA, K., VRBA, K. ML. *Technika analogových obvodů a systémů - Sbírka příkladů.* 3. vyd. 1989. ISBN 80-214-1060-4.

[29] *Windows CE* [online]. Poslední úprava 26.5.2008 [cit. 2008-05-26]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Windows_CE>.

[30] *Windows XP Embedded* [online]. [cit. 2008-05-26]. Dostupné z <http://www.microsoft.com/cze/windows/embedded/WindowsXP_Embedded.mspx>.

[31] WOLF, A. *I2C (Inter-Integrated Circuit) Bus Technical Overview and Frequently Asked Questions (FAQ)* [online]. 2000 [cit. 2007-12-10]. Dostupné z <http://www.esacademy.com/faq/i2c/>.

[32] ZÁHLAVA, V. *Metodika návrhu plošných spojů*. 1. vyd. 2000. ISBN 80-01-02193-9.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Elektrické schéma Modulu MAD

Příloha 2 Plošný spoj Modulu MAD

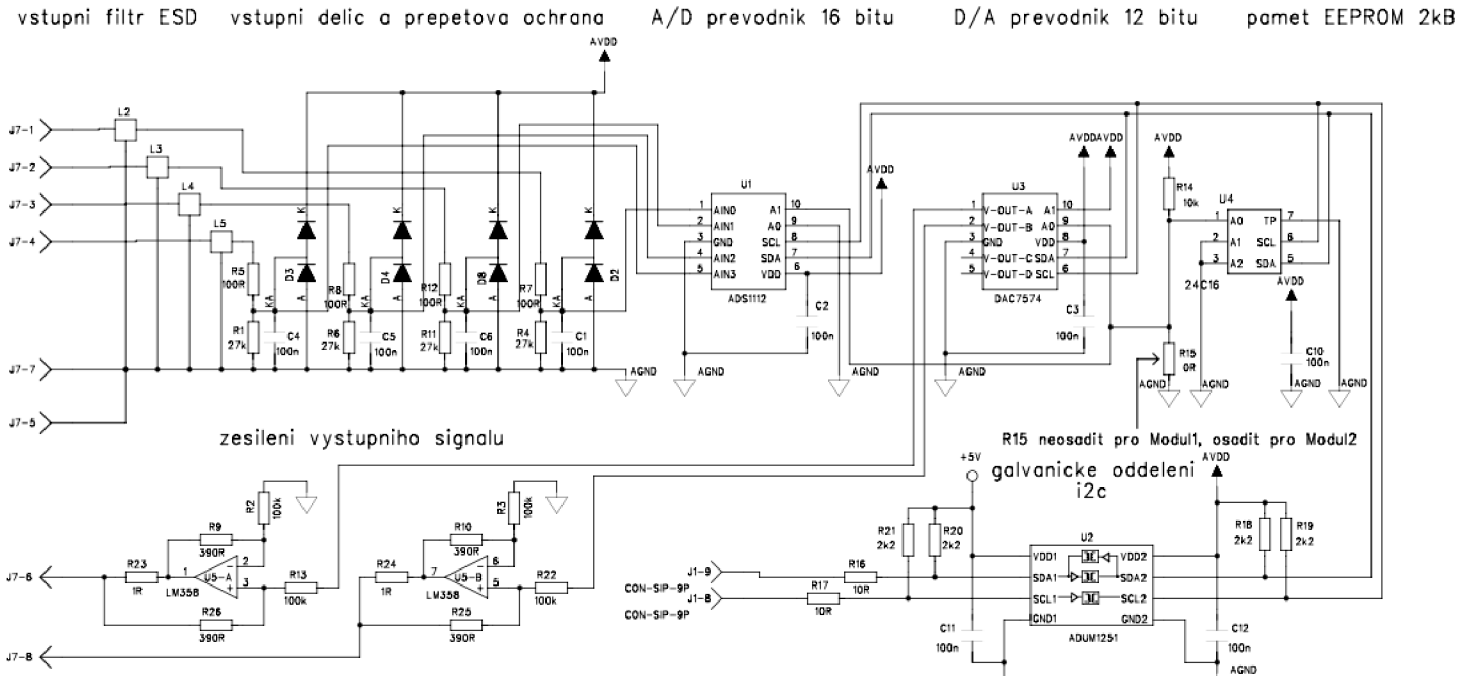
Příloha 3 Seznam součástek pro Modul MAD s proudovým výstupem 0 - 20 mA

Příloha 4 Seznam součástek pro Modul MAD s napěťovým výstupem 0 - 10 V

Příloha 5 Ověření funkce napěťového a proudového výstupu Modulu MAD

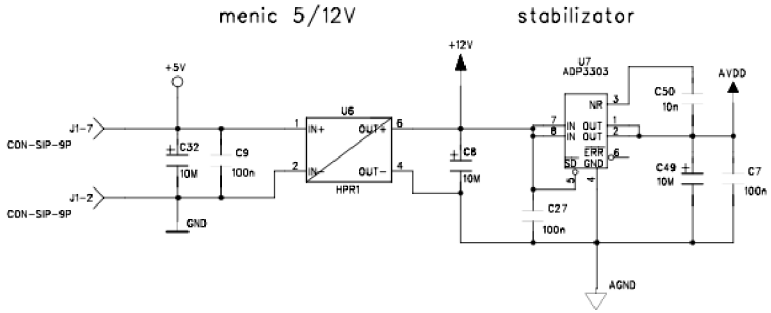
Příloha 6 Návod k uživatelskému programu TempReg

Příloha 1 Elektrické schéma Modulu MAD



Uvedene zapojeni operacnich zesilovacu je pro proudovy vystup 0-20mA

Pro napetovy vystup 0-10V:
Rezistory R23, R13 a R24, R22 nahradit 0R
Rezistory R26 a R25 neosazovat
Rezistory R2 a R3 nahradit 1k



Tabulka prepinani adres:

Modul1	7	6	5	4	3	2	1	0	
24c16	1	0	1	1	x	x	x	x	0xBX
ads1112	1	0	0	1	0	1	0	x	0x94
dac7574	1	0	0	1	1	1	1	x	0x9E

Modul2	7	6	5	4	3	2	1	0	
24c16	1	0	1	0	x	x	x	x	0xAX
ads1112	1	0	0	1	0	0	0	x	0x90
dac7574	1	0	0	1	1	1	0	x	0x9C

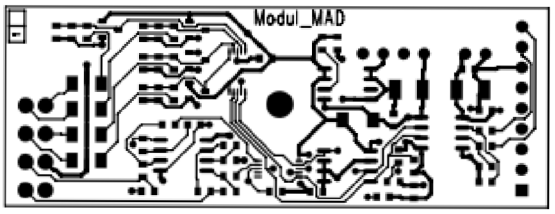
upinaci otvor

X1

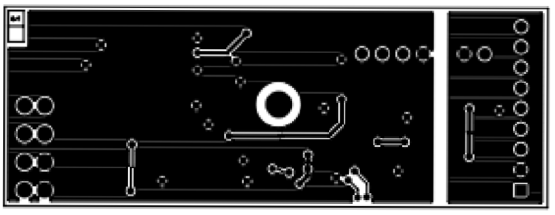
List cislo / Celkovy pocet	Nazev :
1/1	ModulMAD
Dne: 9.5.2007	Kresili: ELNICO – Jan Kubiznak

Příloha 2 Plošný spoj Modulu MAD

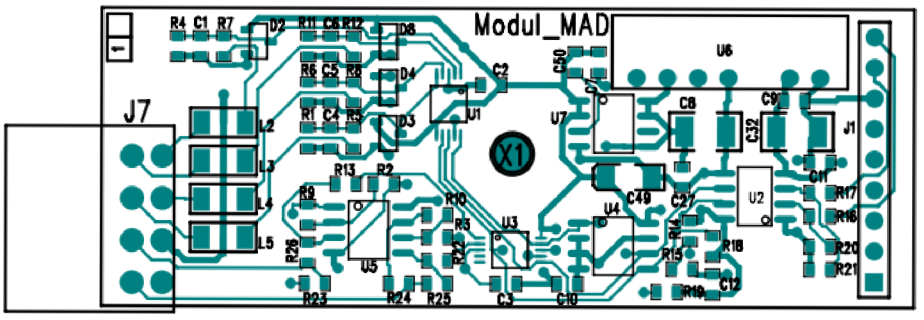
Strana TOP



Strana BOTTOM



Rozmístění součástek (zvětšeno 1,5x)



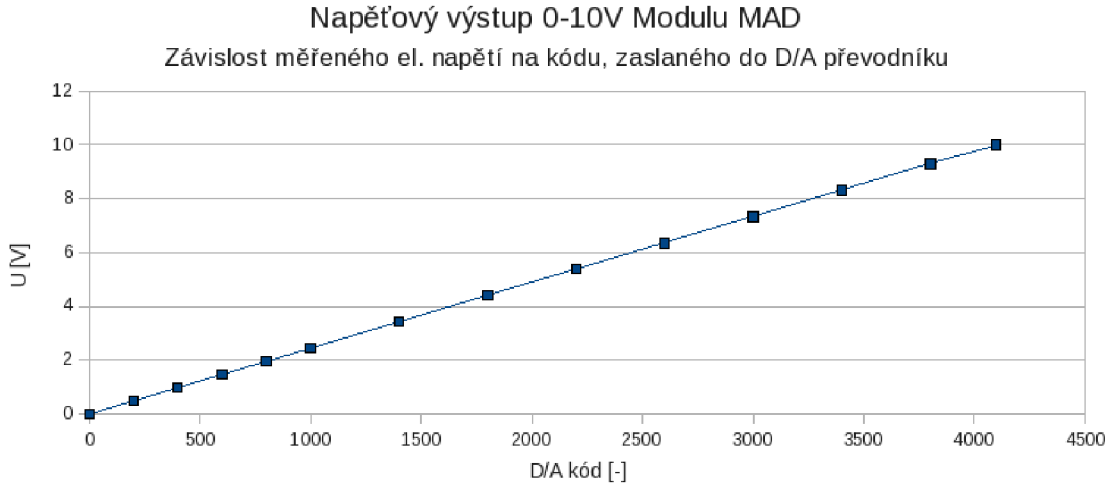
Příloha 3 Seznam součástek pro Modul MAD s proudovým výstupem 0 - 20 mA

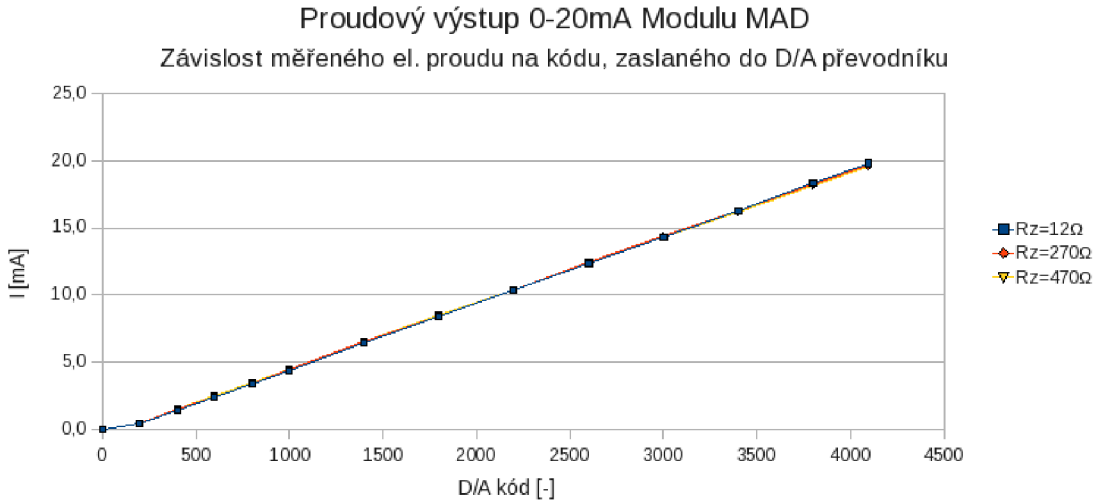
Označení	Popis	Typ	Hodnota	Počet
U1	Integrovaný obvod	ADS1112	-	1
U2	Integrovaný obvod	ADUM1251	-	1
U3	Integrovaný obvod	DAC7574	-	1
U4	Integrovaný obvod	24C16	-	1
U5	Integrovaný obvod	LM358	-	1
U6	Napěťový měnič	VMH-0506	-	1
U7	Integrovaný obvod	ADP3303	-	1
J1	Konektor	CON-SIP-9P	-	1
J7	Konektor	CON/S2L/35/8/90	-	1
L2, L3, L4, L5	Feritový filtr	ACF321825	-	4
D2, D3, D4, D8	Pouzdro s dvěma diodami	BAV199	-	4
C8, C32, C49	Kondenzátor	CSMD1206	10u	3
C50	Kondenzátor	CSMD0603	10n	1
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10, C11, C12, C27	Kondenzátor	CSMD0603	100n	12
R15	Odpor	RSMD0603	0R	1
R23, R24	Odpor	RSMD0603	1R	2
R16, R17	Odpor	RSMD0603	10R	2
R9, R10, R25, R26	Odpor	RSMD0603	390R	4
R18, R19, R20, R21	Odpor	RSMD0603	2k2	8
R1, R4, R6, R11	Odpor	RSMD0603	27k	4
R14	Odpor	RSMD0603	10k	1
R5, R7, R8, R12	Odpor	RSMD0603	100R	4
R2, R3, R13, R22	Odpor	RSMD0603	100k	4

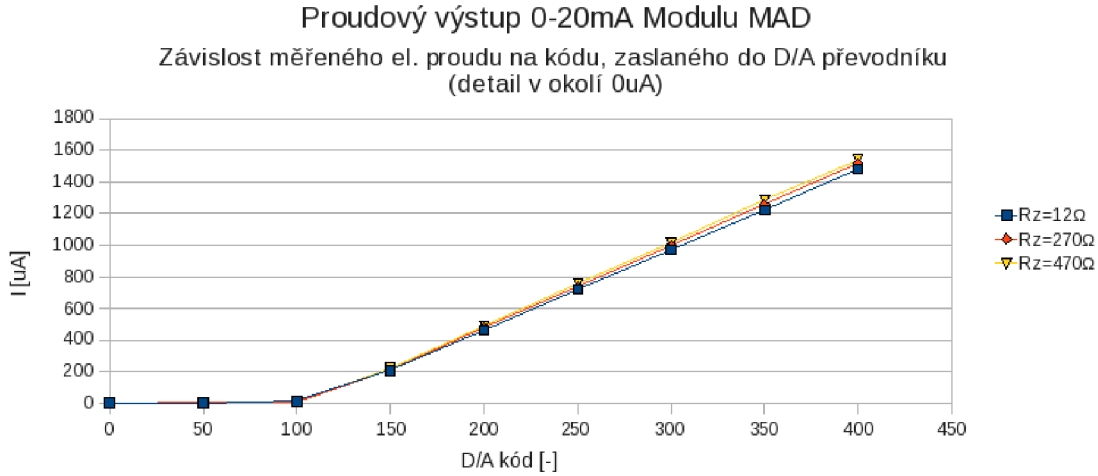
Příloha 4 Seznam součástek pro Modul MAD s napěťovým výstupem 0 - 10 V

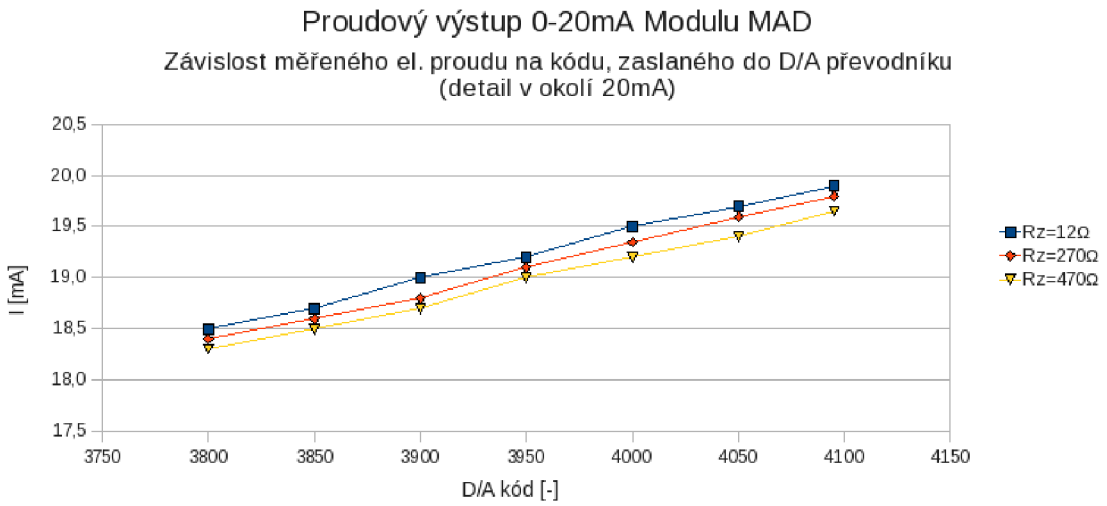
Označení	Popis	Typ	Hodnota	Počet
U1	Integrovaný obvod	ADS1112	-	1
U2	Integrovaný obvod	ADUM1251	-	1
U3	Integrovaný obvod	DAC7574	-	1
U4	Integrovaný obvod	24C16	-	1
U5	Integrovaný obvod	LM358	-	1
U6	Napěťový měnič	VMH-0506	-	1
U7	Integrovaný obvod	ADP3303	-	1
J1	Konektor	CON-SIP-9P	-	1
J7	Konektor	CON/S2L/35/8/90	-	1
L2, L3, L4, L5	Feritový filtr	ACF321825	-	4
D2, D3, D4, D8	Pouzdro s dvěma diodami	BAV199	-	4
C8, C32, C49	Kondenzátor	CSMD1206	10u	3
C50	Kondenzátor	CSMD0603	10n	1
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C9, C10, C11, C12, C27	Kondenzátor	CSMD0603	100n	12
R15	Odpor	RSMD0603	0R	1
R16, R17	Odpor	RSMD0603	10R	2
R2, R3, R9, R10	Odpor	RSMD0603	1k	4
R18, R19, R20, R21	Odpor	RSMD0603	2k2	4
R1, R4, R6, R11	Odpor	RSMD0603	27k	4
R14	Odpor	RSMD0603	10k	1
R5, R7, R8, R12	Odpor	RSMD0603	100R	4
R13, R22, R23, R24	Odpor	RSMD0603	0R	4
R25, R26	neosadit	-	-	0

Příloha 5 Ověření funkce napěťového a proudového výstupu Modulu MAD





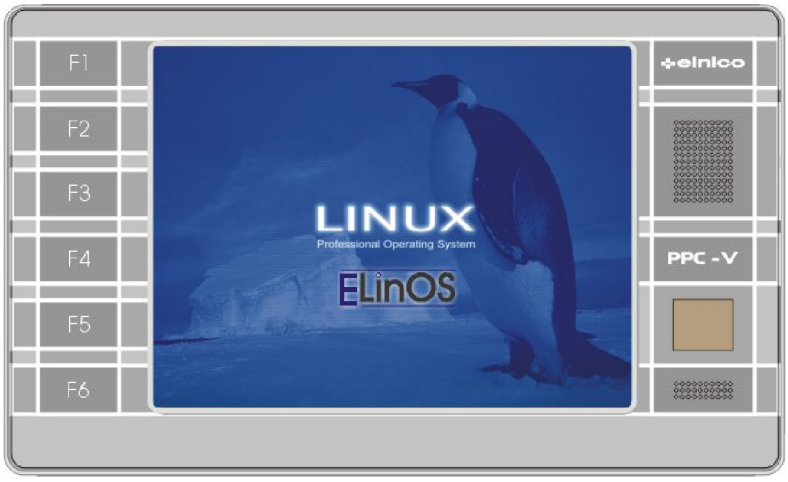



Proudový výstup 0-20mA Modulu MAD
Závislost měřeného el. proudu na kódu, zaslaného do D/A převodníku
(detail v okolí 20mA)
I [mA]
20,5
20,0
19,5
19,0
18,5
18,0
17,5
3750
3800
3850
3900
3950
4000
4050
4100
4150
D/A kód [-]
Rz=12Ω
Rz=270Ω
Rz=470Ω

Příloha 6 Návod k obsluze programu TempReg

elnico

Vývojová a výrobní laboratoř pro elektroniku



Návod k obsluze

==========

PPC-5 TempReg - automatické řízení vytápění budovy

elnico

elnico

Vývojová a výrobní laboratoř pro elektroniku

Obsah

1 Úvod **3**

2 Popis přístroje **3**

3 Hlavní okno programu programu TempReg **4**

4 Okno nastavení programu TempReg **4**

4.1 Nastavení data a času 5

4.2 Nastavení manuálního režimu 5

4.3 Nastavení automatického režimu 6

5 Servisní informace **7**

Seznam obrázků

1 Panelový počítač PPC-5 3

2 Hlavní okno programu TempReg 4

3 Nastavení data a času 5

4 Nastavení předvolených teplot pro manuální režim 5

5 Nastavení předvolených teplot pro automatický režim 6

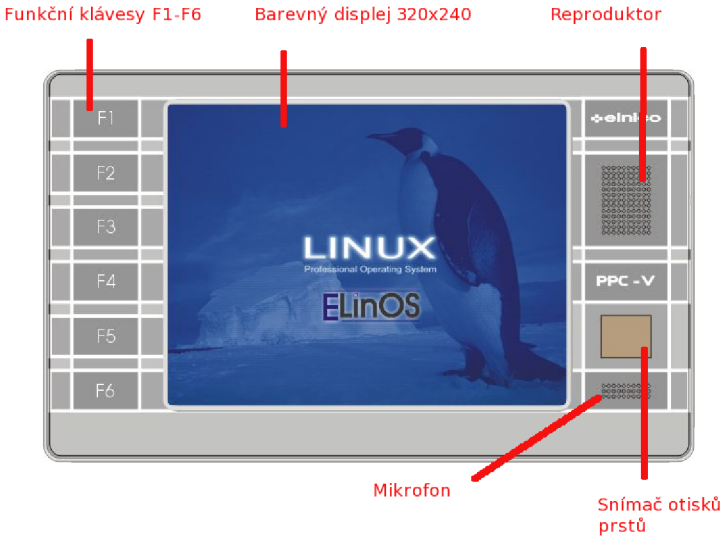
6 Kopírování nastavení 7

1 Úvod

Panelový počítač PPC-5 je výkonný embedded systém s operačním systémem Linux, díky němuž je koncovému uživateli dostupné komfortní grafické rozhraní pro ovládání aplikace. Dále je u něho možné využít např. možnosti internetového připojení, volitelně může obsahovat i zvukový vstup a výstup či snímač otisků prstů.

Uživatelský program **TempReg**, který je na tomto počítači předinstalován, slouží k řízení teploty až v šesti místnostech. Popis jeho ovládání bude popsán v kapitolách 3 a 4.

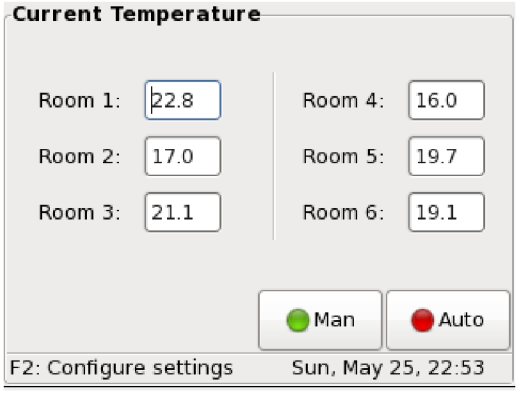
2 Popis přístroje



Obrázek 1: Panelový počítač PPC-5

Obrázek 1 zobrazuje čelní panel panelového počítače PPC-5. Ten obsahuje šest funkčních kláves F1 až F6, dále barevný displej s rozlišením 320x240 pixelů, volitelnými součástmi jsou 1 W reproduktor, mikrofon a snímač otisků prstů.

3 Hlavní okno programu programu TempReg



Obrázek 2: Hlavní okno programu TempReg

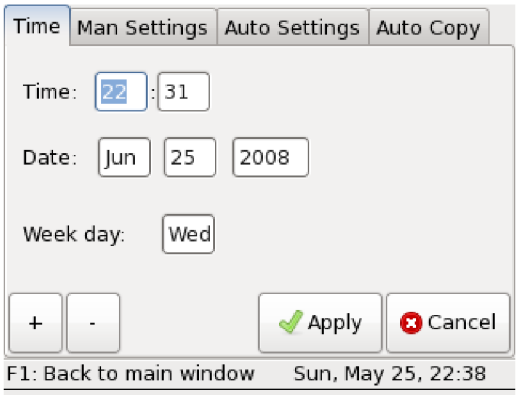
Jak je jistě z hlavního okna aplikace na obrázku 2 patrné, slouží k zobrazení aktuálních měřených teplot v až šesti místnostech (Room 1 - Room 6). Dále je zde možné přepínat mezi manuálním (Man) a automatickým (Auto) režimem. Manuální režim je vhodné využít pro volbu pevného nastavení předvolených teplot pro každou místnost nezávisle na čase (více v kapitole 4.2), v automatickém režimu je pak možné nastavit si požadované teploty pro každou místnost zároveň také ve vztahu ke dni v týdnu a dennímu času (více v kapitole 4.3).

Lišta ve spodní části grafického rozhraní zobrazuje uživateli informace. Na obrázku 2 je tedy zobrazena informace naznačující, že při stisku funkční klávesy F2 na čelním panelu počítače se zobrazí okno „Configure Settings". V tom je možné upravit nastavení programu podle potřeb uživatele. Zároveň je v liště zobrazen aktuální datum a čas, který je samozřejmě také nastavitelný (kapitola 4.1).

4 Okno nastavení programu TempReg

Do režimu nastavení se uživatel přepne stisknutím funkční klávesy F2. Zde je možné nastavovat aktuální datum a čas a předvolené teploty pro manuální i automatický režim. V liště ve spodní části okna jsou opět zobrazovány informace uživateli a aktuální datum a čas. Přepnutí zpět do hlavního okna je možné stisknutím funkční klávesy F1 na krytu panelového počítače PPC-5.

4.1 Nastavení data a času

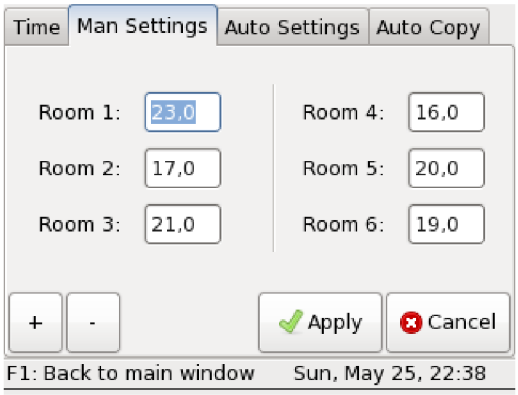


Obrázek 3: Nastavení data a času

Nastavovat aktuální datum a čas je možné v záložce Time. Editace libovolné položky (např. aktuální hodiny) lze dosáhnout klepnutím do odpovídajícího textového pole a následným stiskem tlačítka +/- podle toho, zda chce uživatel hodnotu zvýšit či snížit. Na závěr - poté, co je vše nastaveno podle potřeby, je nutné stisknout tlačítko Apply, čímž dojde k nastavení systémového času. Zrušení nastavení je možné tlačítkem Cancel.

Tímto způsobem lze editovat aktuální hodinu, minutu, den v měsíci, měsíc a rok. Den v týdnu je nastavován automaticky podle systémového kalendáře, proto editovat nelze.

4.2 Nastavení manuálního režimu

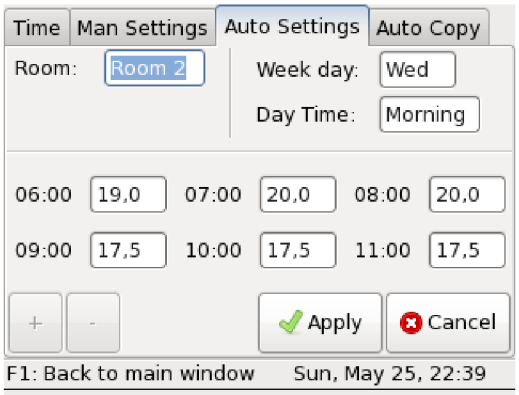


Obrázek 4: Nastavení předvolených teplot pro manuální režim

V záložce Man Settings jsou zpřístupněny přednastavené teploty pro manuální režim. Ten je doporučeno používat v situaci, kdy pro uživatele není příliš důležité nastavení teploty v místnosti podle dne v týdnu a denního času. Vhodný je také např. pro letní období - uživatel si pak může nastavit poměrně nízké teploty pro všechny místnosti a topení sepne jen v případě výrazného ochlazení.

Nastavení aktuální teploty lze provést podobným způsobem jako nastavit čas v okně Time. Nejprve je nutné klepnout do textového pole pokoje, jehož přednastavenou teplotu chceme změnit. Poté lze stiskem tlačítka +/- tuto hodnotu upravit, přičemž teplota roste či klesá vždy po 0,5 °C. Na závěr je opět nutné vše potvrdit tlačítkem Apply či zrušit tlačítkem Cancel.

4.3 Nastavení automatického režimu

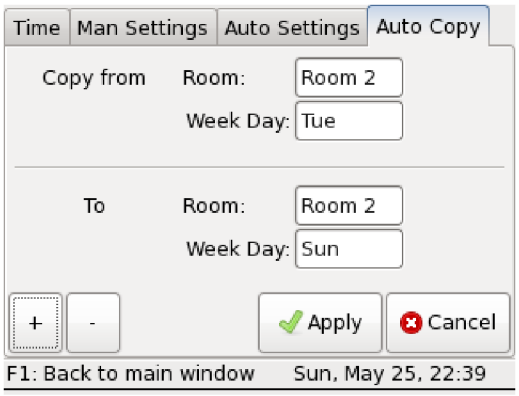


Obrázek 5: Nastavení předvolených teplot pro automatický režim

Pro nejčastější využití je doporučován automatický režim, jehož konfiguraci lze upravit v záložce Auto Settings, popřípadě Auto Copy. V záložce Auto Settings je možné ručně nastavit předvolené teploty zvlášť pro každý pokoj, den v týdnu i denní dobu, a to vždy po jedné hodině. Pokud si uživatel nastaví např. teplotu v 18:00 rovnu 19 °C, v 19:00 pak 21 °C, je nutné si uvědomit, že topení začne topit na požadovaných 21 °C až začátkem 19h a vydrží také až do 20:00. Kvůli tomu také nebude platit, že hned v 19:00 bude v pokoji požadovaná teplota. Tuto skutečnost je nutné uvažovat při nastavování teplot podle denní potřeby.

Nastavování teplot je obdobné jako v záložkách Time a Man Settings. Uživatel nejprve vybere v textových polích pokoj, den v týdnu a denní dobu, vše opět klepnutím do příslušného textového pole a stiskem tlačítka +/-. Poté již může nastavovat jednotlivé teploty (pro denní dobu Morning jsou to teploty od 6 h ráno do 11 h dopoledne). Výběr a editace teplot je umožněn opět klepnutím do příslušného textového pole odpovídající teploty a následným stiskem tlačítka +/-. Na závěr je nutné změny potvrdit tlačítkem Apply či vyvrátit tlačítkem Cancel.

UPOZORNĚNÍ: Pokud uživatel změní nějakou hodnotu teploty a chce pokračovat v nastavení pro jiný pokoj, den či denní dobu, musí nejprve změny potvrdit tlačítkem Apply či vyvrátit tlačítkem Cancel. Pokud změny nejsou potvrzeny, změna pokoje, dne či denní doby není umožněna!



Obrázek 6: Kopírování nastavení

Pro zjednodušení nastavování lze využít záložku Auto Copy. V té je možné zkopírovat nastavení zvoleného pokoje a dne do jiného pokoje či dne, což může ušetřit spoustu času při nastavování např. dvou různých pokojů, ve kterých je ale nastavení požadováno úplně nebo alespoň téměř shodné.

Uživatel si nastaví pokoj a den, z kterého se má nastavení kopírovat (Copy from) a do kterého budou nastavení uložena (To). Toto nastavení lze provést opět klepnutím do příslušného textového pole a stiskem tlačítka +/- pro změnu údaje v textovém poli. Po požadovaném výběru místnosti a dne v týdnu je potřeba akci potvrdit tlačítkem Apply či zrušit tlačítkem Cancel.

PŘÍKLAD 1: Chceme-li například mít v pokoji Room 2 stejné nastavení teplot jako v pokoji Room 1 pro celý týden, pak v textovém poli Room (Copy from) vybereme pokoj Room 1, v textovém poli Room (To) pak vybereme pokoj Room 2. Poté nastavíme v polích Week Day (Copy from i To) vždy stejný den (Sun - Sun, apod.) a stiskneme tlačítko Apply.

PŘÍKLAD 2: Máme-li v pokoji Room 1 nastaveny požadované teploty pro pondělí (Mon) a chceme-li toto nastavení použít v tomto pokoji i pro ostatní všední dny, postupujeme následovně: V textových polích Room (Copy from i To) vybereme pokoj Room 1 a v poli Week Day (Copy from) zvolíme Mon (pondělí). V poli Week Day (To) nastavíme neprve úterý (Tue) a stiskneme tlačítko Apply. Stejný postup opakujeme pro středu (Wed), čtvrtek (Thu) i pátek (Fri).

5 Servisní informace

V případě problémů či připomínek nás prosím kontaktujte:

ELNICO s.r.o.
Vývojová a výrobní laboratoř pro elektroniku
Heydukova 2923
544 01 Dvůr Králové nad Labem
Tel./FAX:499 321 019
www.elnico.cz kubiznak.jan@elnico.cz