

Obvody ADuC pro řízení tepelné pohody

Integrated Circuits ADuC for drive thermal comfort

Bc. Jaroslav Řehák

Diplomová práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky
akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav ŘEHÁK**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Obvody ADuC pro řízení tepelné pohody**

Zpracujte analýzu zadání, navrhnete strukturu uživatelského programu, naprogramujete uživatelský program v C jazyku, provedte otestování a ověření v simulačním režimu .
Charakter práce: vývoj řídicího systému prostředky ADuC

Zásady pro vypracování:

Zpracovat analýzu zadání.
Navrhnout strukturu uživatelského programu.
Naprogramovat uživatelský program v C jazyku.
Provést otestování a ověření v simulačním režimu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

ĎAĎO, S.-KREIDL, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, 1996.

WEBSTER, J., G. The measurement, instrumentation, and sensor handbook. New York: CRC Press LLC; Springer-Verlag, 1999, s. 1932. ISBN 3-540-64830-5

FRADEN, J. Handbook of Modern Sensors. Physics, designs, and Applications. New York: Springer Verlag, 1996, s.556. ISBN 1-56396-538-0

HRUŠKA, F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2001, s. 107. ISBN 80-7318-026-X.

HRUŠKA, F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, s. 118. ISBN 80-7318-053-7.

Firemní literatura firmy Analog Devices.

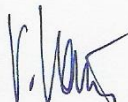
Malík, R.: Embedded řešení s obvodem ADuC. Diplomová práce, UTB, FT, IRPAI, 2005.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Hruška, Ph.D.**
Ústav elektrotechniky a měření


Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
pověřený děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na tvorbu embedded aplikace pomocí obvodu ADUC845, který je vyráběn světoznámým výrobcem mikrokontrolerů, firmou Analog Devices. ADUC845 je postaven na architektuře 8051. Je doplněn o analogové funkce na vysoké úrovni, které umožňují dosahovat výborných výsledků v oblasti měření, řízení a vyhodnocování dat.

Cílem této embedded aplikace je, vytvořit simulační sestavu pro matematicko – fyzikální vyhodnocování parametrů tepelné pohody. Realizace bude provedena za pomoci vývojového kitu : Accutron Upgrade KIT podpořený programovým vývojovým prostředím QuickStart™ Development System.

Klíčová slova:

embedded aplikace, ADUC845, mikrokontroler, Analog Devices, architektura 8051, simulační sestava, tepelná pohoda, Accutron Upgrade KIT, QuickStart™ Development System.

ABSTRACT

The Master is bent on production embedded application by the help of periphery ADUC845, that is of producing renowned producer microconverter, company Analog Devices. ADUC845 is built on architecture 8051. It's supplemented about analog function on high level, which enable reach excellent results in the area metering, drive and plotting dates.

Target this embedded application is, create simulation group for mathematically – physical plotting parameters thermal comfort. Realization will be effected with the help of evolutionary kit Accutron Upgrade KIT seconded programme developmental environment QuickStart™ Development System.

Keywords :

Embedded solutions, ADUC845, microconverter, Analog Devices , architecture 8051, simulation group, thermal comfort, Accutron Upgrade KIT, QuickStart™ Development System.

Zde bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Františku Hruškovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, při mé tvorbě této práce. Zároveň chci také poděkovat všem, kteří mě při realizaci diplomové práce podporovali.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce, ředitele ústavu a institutu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 22. 05. 2006

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 EMBEDDED SYSTÉMY	10
1.1 POJEM EMBEDDED SYSTÉM	10
1.1.1 Použití embedded systémů	11
1.2 KONSTRUKCE EMBEDDED SYSTÉMŮ	12
1.2.1 Výrobci embedded systémů	13
1.3 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ PRO EMBEDDED SYSTÉMY	14
1.3.1 Trendy mezi programovacími jazyky	15
1.3.2 Kompilátor C pro mikrokontrolery	16
1.3.1 Jazyk C a architektury MCU	19
1.4 MIKROKONTROLÉR ŘADY 8051	21
1.4.1 Funkce mikroprocesoru	21
1.4.2 Mikroprocesor jako součást mikrokontroléru 8051	22
1.5 MIKROKONTROLÉR ADUC845	24
1.5.2 Architektura mikrokontroléru ADUC845	24
1.5.3 Vývojová programová podpora mikrokontrolerů ADUC	27
2 TEORIE TEPELNÉ POHODY	29
2.1 VÝZNAM POJMU TEPELNÁ POHODA.....	29
2.1.1 Tepelná pohoda ve vytápěných interiérech	29
2.2 TECHNICKÉ ASPEKTY TEPELNÉ POHODY	29
2.2.1 Podmínky tepelné pohody	29
2.2.2 Faktory tepelné pohody	31
2.2.3 Subjektivní tepelné pocity osoby	32
2.3 HODNOCENÍ TEPELNÉ POHODY	36
2.3.1 Výpočty parametrů tepelné pohody	36
2.3.2 Podmínky měření	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
3 NÁVRH STRUKTURY UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU	47
3.1 TVORBA SIMULAČNÍ SESTAVY PRO VYHODNOCOVÁNÍ TEPELNÉ POHODY	47
3.2 SYSTÉM REGULACE A ŘÍZENÍ PARAMETRŮ TEPELNÉ POHODY	52
3.2.1 Matematicko-fyzikální model prostředí z hlediska tepelné pohody.....	52
3.2.2 Vztahy pro vyhodnocování ukazatelů tepelné pohody.....	54
3.3 NÁVRH STRUKTURY UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU	56
3.3.1 Simulační programová sestava : Měření fyzikálních veličin	56
3.3.2 Simulační programová sestava : Vyhodnocování parametrů T.P.....	57

4	REALIZACE UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU V C JAZYCE	59
4.1	TVORBA PROGRAMU PRO MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN	59
4.1.1	Nastavení speciálních funkčních registrů... ..	59
4.1.2	Popis funkčnosti programu	61
4.2	TVORBA PROGRAMU PRO VYHODNOCOVÁNÍ PARAMETRŮ TEPELNÉ POHODY	62
4.2.1	Nastavení speciálních funkčních registrů.....	62
4.2.2	Způsoby vytvoření programu.....	62
ZÁVĚR		64
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		65
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		66
SEZNAM OBRÁZKŮ.....		68
SEZNAM TABULEK		69
SEZNAM PŘÍLOH.....		70

ÚVOD

Tématem diplomové práce je tvorba embedded (vestavný) systému. Vestavný systém je pojem, který v dnešním technickém světě ovládá neustále více zařízení. Tímto zařízením může být jakýkoliv domácí spotřebič, automobil, lékařské, vojenské, kosmické či vědeckotechnické zařízení. Jedná se o miniaturní počítačový systém implementovaný uvnitř zařízení, prezentovaný běžícím programem uloženým v procesorovém modulu, který se nazývá „ mikrokontrolér“. Mikrokontrolér je integrovaný obvod, jehož základem je procesor doplněný o periferní části jako jsou paměti, vstupně-výstupní obvody, AD převodníky a jiné. Dnešní trh nabízí nepřehledné množství mikrokontrolérů vyvíjených právě pro tyto embedded aplikace.

Jedním ze zástupců obvodů osazených mikroprocesorem řady 8051 je obvod ADuC845 od společnosti Analog Devices. Obvod je osazen 24-bitovým AD převodníkem, což je výborná úroveň tohoto obvodu, která je ideálním parametrem pro zpracování a vyhodnocování sensorických signálů.

Pomocí tohoto obvodu se pokusím vytvořit aplikaci, jejímž stěžejním úkolem bude právě vyhodnocování sensorických signálů, které vyústí ve vyhodnocování parametrů tepelné pohody. Pojem „ tepelná pohoda “ v sobě skrývá vyhodnocení teplotně-vlhkostního mikroklimatu prostředí (interiéru), ve kterém se člověk zdržuje.

Práce je rozdělena na dvě části.

První teoretická část rozebírá problematiku embedded systémů, microcontrollerů a vyvíjení aplikací. Teoretická část také obsahuje teorii tepelné pohody. Její význam, způsoby vyhodnocování parametrů tepelné pohody, matematický aparát, který je podstatnou částí této problematiky.

Druhá praktická část obsahuje tvorbu vestavné aplikace, která obsahuje návrh struktury uživatelského programu, vytvoření programu v jazyce C včetně ověření aplikace na simulační úrovni.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 EMBEDDED SYSTÉMY

1.1 Pojem embedded systém

Brzy po vyzkoušení mikroprocesorů ve výpočetních aplikacích se ukázalo, že se jedná o součástku mnohem universálnější, která se uplatní nejen ve výpočetních, ale i v řídicích aplikacích, kde významným způsobem zjednoduší a zlevní návrh řídicího hardware. Ukázalo se rovněž, že sestava řídicího systému s mikropočítačem může být optimalizována, tj. minimalizována z hlediska rychlosti, šířky zpracovatelného slova, kapacity operační paměti, množství vstupně-výstupních obvodů i rozsahu řídicího programu. Postupně se tak vyvíjel minimalizovaný systém řídicího mikropočítače, který pak výrobci začali integrovat do jednoho čipu. Vznikl tak mikrokontrolér, mikrořadič, jednočipový mikropočítač (anglicky embedded microcontroller), který je svou architekturou přizpůsoben speciálně pro monitorování a řízení různých mechanismů a procesů.

Přeložením slova embedded - vestavěný, vytvořený uvnitř tedy zjistíme, že jde o vybudování téměř celé technologie – architektury procesorového řízení na jednom místě, uvnitř zařízení, které je tímto embedded systémem řízeno.

Fyzicky si představíme takový systém jako desku plošného spoje osazenou mikrokontrolérem doplněným o diskrétní součástky, které jsou nezbytné pro ucelenou spolupráci této desky s okolním zařízením, či podobnými deskami.

Technicky se dá embedded systém formulovat jako :

- vestavný malý počítačový systém, zabudovaný uvnitř zařízení (el. systému , spotřebiče , stroje), pomocí něhož dosahujeme vyšší inteligence, lepší a efektivnější činnosti daného zařízení
- dedikovaný počítač pracující v reálném čase jako součást uceleného systému. Slouží pro řízení celého systému a poskytuje výpočetní služby ostatním částem systému
- systém osazený daným počtem procesorů, jehož úkolem je řídit nepřeberné množství periférií jako např.: motory, světla, displeje a jiné přístroje. Řízení je docíleno pomocí programu prováděného mikroprocesorem. Tento program je jakýmsi mozkiem celého daného zařízení.
- zabudovaný počítač v systému, který pro uživatele není viditelný. [4]

1.1.1 Požití embedded systémů

Dnes již sotva existuje technický obor z běžného života, ať již je to oblast multimédií, komunikací, automobilové techniky nebo průmyslu, v níž nejdůležitější řídicí funkce nepřevzaly mikrokontroléry. Nové, stále výkonnější výrobky, jako jsou :

- satelitní přijímače,
- set-top-boxy,
- internetové boxy,
- DVD přehrávače,
- navigační systémy GPS
- mobilní telefony,

kladou stále rostoucí požadavky jak na mikrokontroléry, tak na software, který je nutno pro ně vyvinout.

Mezi mikrokontroléry rozdělenými podle šířky registrů a datové sběrnice na 8, 16 a 32 bitové typy, jsou doposud nejrozšířenější 8 a 16 bitové mikrokontroléry, které představují 80% všech případů aplikací. Podíl 32 bitových typů v „embedded systems“ roste především ve vysoce integrovaných čípech, jako jsou :

- dekodéry MPEG
- přípravky GPS u nichž jen jedna komponenta je 32 bitová CPU.

Pro mnoho aplikací však 8 bitová MCU zůstává z hlediska poměru cena/výkon tím nejlepším řešením. Výzkumy dokládají, že poptávka po 8 bitových mikrokontrolérech bude značná ještě po dlouhou dobu i v 21. století.

Není divu, že trh mikrokontrolérů existující už více jak 20 let je oživován novými rodinami a architekturami. V poslední době se objevily mj. nové [5] :

- 8 bitové rodiny mikrokontrolérů PIC, AVR
- 16 bitové rodiny jako H8S, XA, C167, M16C

Které se stále více uplatňují v nepřeborném množství níže uvedených řídicích a monitorovacích funkcí :

- řízení se může týkat různých regulačních pohonů, pohyblivých částí stroje (termohla vice, ser vopohony, ventily, pístové členy)
- monitorování, které je zajištěno pomocí senzorů nejrůznějších typů (monitoring nejrůznějších fyzikálních veličin - tlaku, teplot, rychlosti, hmotnosti, pohybu...)
- ovládání zařízení, která přímo obsluhuje člověk (klávesnice, displeje, terminály)
- řízení chodu kompletního zařízení

Proto není divu, že dnes embedded systémy ovládají oblasti jako je :

- průmyslová automatizace (nejrůznější výrobní linky včetně robotických zařízení)
- automobilový elektronický systém (antiblokovací systém (ABS), automatické zamykání dveří, řízení palivové jednotky)
- telekomunikační zařízení (mobilní telefony, zařízení ustředen)
- lékařské přístroje (invalidní vozíky, různé diagnostické přístroje)
- vojenská technika (navigační systémy, GPS, satelitní systémy)
- celá spotřební elektronika (audio/video, bílá technika)

1.2 Konstrukce embedded systémů

Celá architektura procesorového řízení je vytvořena na jednom čipu. Tento čip je označován jako „mikrokontrolér“, nebo také MCU (MicroController Unit) jehož základem je jeden, nebo i více mikroprocesorů doplněných o podpůrné obvody, kterými jsou :

- paměti RAM, ROM, EPROM, EEPROM a Flash,
- AD a DA převodníky,
- řadiče přerušení
- čítače vnějších událostí, časovače pro generování časových intervalů a hodiny reálného času (Real Time Clock – RTC),
- sériové komunikační kanály,
- obvody pro generování pulsní šířkové modulace (Pulse Width Modulation – PWM)

- řadiče sběrnic datových sítí jako SPI a I²C (pro spotřební elektroniku), dále také Ethernet, CAN (pro průmysl), USB, J1850 (sběrnice v automobilní technologii),
- binární v/v rozhraní pro styk s okolní technikou [4]

1.2.1 Výrobci embedded systémů

Největšího rozšíření z hlediska aplikací doznaly mikrokontroléry dvou významných výrobců mikroprocesorů - firem Motorola a Intel (podobně jako v technice stolních mikropočítačů). Spektrum výrobců jednočipových mikropočítačů je však velmi široké, mimo již jmenované firmy jsou to například americké Texas Instruments, National Semiconductors, evropské Philips, Siemens, japonské OKI, NEC, Toshiba, Hitachi apod. Charakteristické pro historický vývoj mikrokontroléru však je, že se zde neprojevuje snaha o drastické zvýšení rychlosti a kapacity paměti jako u osobního počítače. Je to dáno zejména faktem, že nasazením řídicího mikropočítače v dané aplikaci musí dojít k podstatnému zjednodušení výroby a tím ke snížení ceny výsledného výrobku. Stačí-li proto například k vykonání specifického řídicího programu operační paměť 64 bytů, není výrobce ničím motivován, aby použil mikrokontrolér s pamětí 128 bytů, protože by tím jen zdražil výsledný výrobek. Obecně platí, že se pro aplikaci použije ten nejjednodušší mikrokontrolér, který pro danou aplikaci vyhovuje. Tato motivace je proto také důvodem k tomu, že výrobci jednočipových mikropočítačů nabízejí velmi široké spektrum konfigurací mikrokontrolérů, lišící se i drobnými změnami v kapacitě pamětí (RAM i ROM), počtu vstupů/výstupů, použitelných periférií apod. Přitom záměr výrobce aplikace je co nejjednodušší (a tím nejlevněji vyrobitelná a nejspolehlivější) sestava potřebného řídicího hardware, nejlépe složená pouze z vlastního mikrokontroléru. Historické řady mikrokontrolérů se proto spíše liší šířkou nabízených modifikací periferních obvodů, než vlastní sestavou řídicího mikropočítače. Z rozšiřování řídicího systému mikrokontroléru je patrná snaha o rozšíření kapacity pevné paměti PROM na čipu, z původních 1-4 kB u řady MCS-48 fy Intel na současných 32 kB u řady MCS-96 téže firmy, adresovatelného prostoru paměti, z původních 64 kB (řada Intel MCS-51) na 16 MB (řada Intel MCS-251), zrychlení provádění instrukcí (z původních max. 24 hodinových cyklů na 2 hodinové cykly u těchže řad) a o komfort programování (zdrojové programy pro řadu MCS-251 mohou být v jazyce C). Snaha je též o zaintegrování specializovaných obvodů pro řízení periférií, které pak minimálně zatěžují centrální jednotku mikrokontroléru. Mezi takové specializované obvody patří například zrychlení obsluhy přerušení, tzv. jednot-

ka zpracování událostí apod. Jednotlivé generace jednočipových mikročipů se tak liší počtem časovačů, počtem a druhy vstupně výstupních obvodů, počtem přerušovacích vstupů, přítomností A/D převodníku na čipu a jeho rozlišením, případně přítomností speciálních generátorů řídicích signálů (pulsní šířkově modulovaný výstup u řady MCS-96). V současné době jsou známy řady 8, 16 a 32bitových jednočipových mikročipů (poslední vyrábí například Motorola, Texas Instruments a Hitachi).

Jednočipové mikročipové jsou vyráběny, podobně jako mikroprocesory, buď technologií MOS (nebo jejími mutacemi HMOS, HMOS II apod.) nebo CMOS (nižší rychlost a spotřeba) [5].

1.3 Programové vybavení pro embedded systémy

Proto, aby takový vestavný systém byl zařazen do zařízení a byl schopen procesorového řízení, musí být mikrokontrolér vybaven programem, který je speciálně vyvinut pro konkrétní situaci použití. K tomuto slouží speciální vývojová prostředí. Je trendem, že každý výrobce mikrokontrolérů má pro své řady vyvinut své vlastní vývojové prostředí.

Až do nedávna se převážná většina programového vybavení vestavného systému vytvářela v nižším programovacím jazyce – „assembleru“. Důvodem byla malá rychlost a paměťová kapacita dřívějších systémů.

Dnes se výrobci procesorových jednotek snaží optimalizovat architekturu přímo pro vyšší programovací jazyky. A proč se přechází z nižšího na vyšší programovací jazyk.

Důvodem dnes je :

- vývoj efektivnějších překladačů, které dokáží vygenerovat takový kód, který je objemově menší a ještě rychlejší
- takový kód je daleko přehlednější, snáze upravovatelný
- je přenositelný mezi procesory různých výrobců, tzn. je tu možnost využití odladěných ověřených algoritmů
- vývoj celého produktu je tak méně náročný jak finančně, tak z pohledu vývojového týmu

Do kategorie vyšších programovacích jazyků vhodných pro vývoj embedded systémů patří určité jazyky jako : C, dnes už i C++ , Basic nebo Java [5].

Jako operační systémy se pro vestavné aplikace používají operační systémy reálného času (Real-Time Operating System – RTOS) .

Nejčastěji užívané jsou :

- Windows CE (PocketPC), - Palm OS, - CMX, - RTLinux, - Symbian [4].

1.3.1 Trendy mezi programovacími jazyky Embedded Systems

Značné změny v poslední době doznal způsob programování mikrokontrolérů. Klíčové slovo Time-to Market znamená kratší doby vývoje softwaru při rostoucí složitosti aplikací a zachování nebo zvýšení kvality. Dále jsou to z toho plynoucí požadavky na :

- opakovatelnou použitelnost,
- průhlednost,
- přenosnost,
- udržovatelnost softwarových modulů

které vyžadují použití vyšších programovacích jazyků a speciálních vývojových nástrojů.

Jazyk ANSI-C (American National Standard Institute) v posledních letech dokázal, že je pro požadavky oboru mikrokontrolérů velmi vhodný. C je v současné době nejčastěji používaný programovací jazyk, a to nejen při programování mikrokontrolérů. Jeho blízkost hardwaru a efektivní a pružná práce s paměťmi a přídatnými zařízeními uspokojuje zejména požadavky „ embedded systems „ .

I když se zdá přechod z assembleru na jazyk C obtížný, pochybnosti týkající se velikosti kódu a rychlosti zpracování však již u moderních mikrokontrolérů a kompilátorů C nejsou na místě [5].

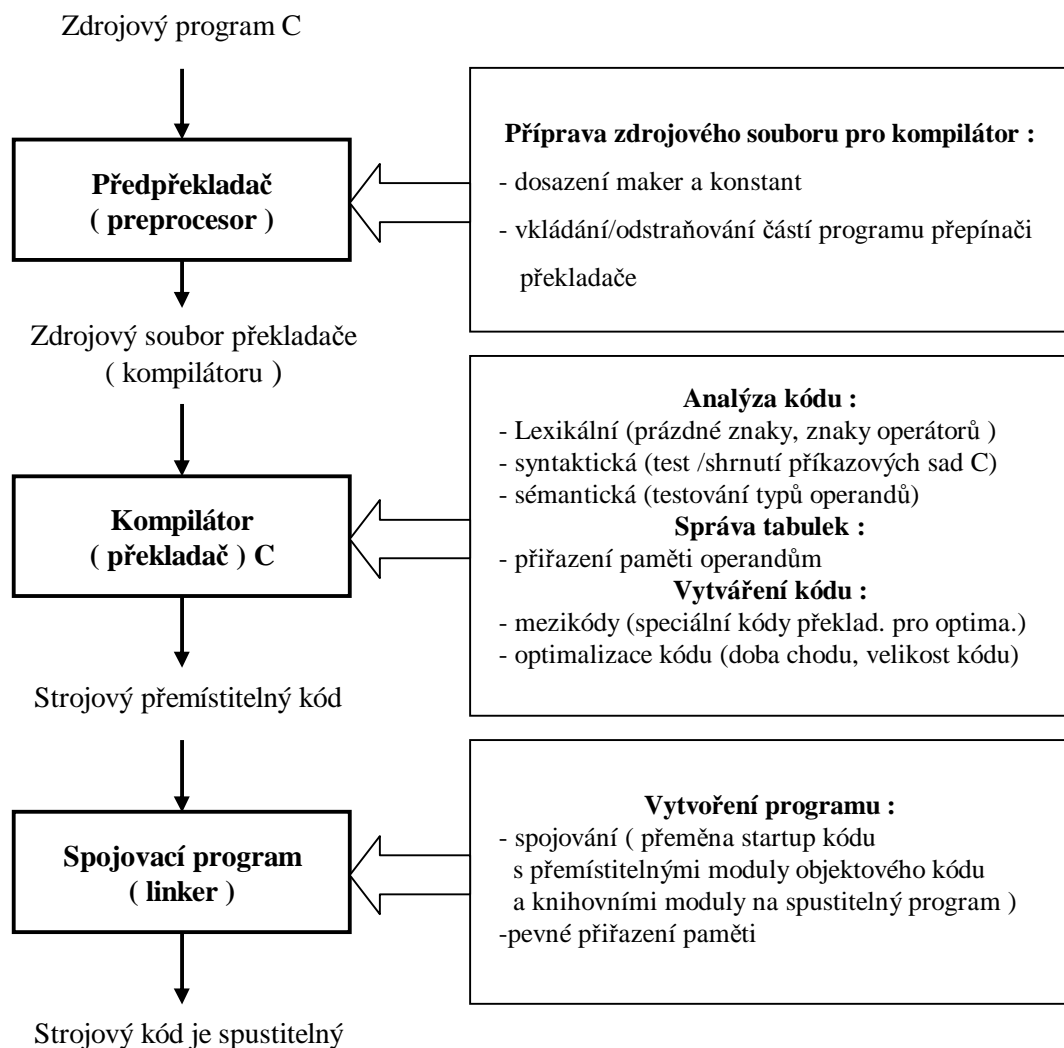
1.3.2 Kompilátor C pro mikrokontroléry

V mnoha oblastech a aplikacích je již dlouho běžné použití jazyka C. Nabídek vyšších programovacích jazyků je dostatek, od kompilátoru C až po interpret Basicu. V nynější době u většiny firem se hovoří o architektuře MCU s podporou programovacích jazyků vyšší úrovně HLL (High Level language). Jde o oboustranně přizpůsobené řešení architektury MCU a kompilátoru C. Tím se nyní změnil svět zejména pro malé MCU, kde se jazyk C také používá ve stále větší míře. U těchto menších MCU, které disponují menšími systémovými zdroji musí kompilátor podporovat následující oblasti, aby s danými systémovými zdroji pro příslušnou aplikaci vystačil :

- Řízení rozmístování dat a kódu (location) ,
- Speciální datové typy (bitová proměnná, registrová proměnná) ,
- Zvláštní metody adresování (short addressing) ,
- Modely paměti specifické pro aplikaci ,
- Systémové řízení na úrovni přerušení.

Průběh vytváření kódu kompilátorem je složitý proces. První fáze je příprava zdrojového textu předpřekladačem (preprocesorem) pro vlastní běh kompilátoru. V závislosti na direktivách předpřekladače se zavádějí nebo odstraňují části kódu, zavádí se obsah souborů include a dosazují se hodnoty symbolických konstant a maker. Teprve potom začíná práce kompilátoru, který vytváří přirozený zdrojový kód v závislosti na architektuře a instrukční sadě mikrokontroléru [5].

Na obr.1 je znázorněno vytváření kódu od zdrojového programu po strojový kód.



Obr. 1. Průběh tvorby kódu

Funkce kompilátoru, která si zasluhuje mimořádnou pozornost je optimalizace kódu. Je potřeba hned na začátku říct, že optimalizace začíná už u programátora, který musí vytvořit základnu pro optimalizaci kompilátoru použitím :

- účinného algoritmu,
- promyšleně zvolených typů proměnných a paměťových tříd.

Kompilátor může pouze na tomto základě přispět svým dílem a nalézt optimální překlad z hlediska doby běhu a velikosti kódu. Optimalizační moduly jsou dobře hlídaným

kapitálem zkušeností tvůrce překladače, jsou průběžně ošetřovány, dále rozvíjeny a zdokonalovány. Mezi architekturou MCU a příslušnou příkazovou sadou je však vždy těsný vztah.

Je známa řada standardních metod, které v optimalizačních modulech kompilátorů vždy znovu nalzáme. Tyto metody lze obecně rozdělit do dvou tříd a některé z nich vidíme v tabulce 1. [5].

Způsob optimalizace závislý na hardwaru	Popis
Registr Variable (registrové proměnné)	Automatické proměnné a parametry funkcí se pokud možno co nejvíce umisťují do registrů. Tím je přístup efektivnější a nezabírají žádné paměťové místo v RAM.
Simple Access Optimization (optimalizace jednoduchým přístupem)	Přístupy na interní datové a bitové adresy jsou optimalizovány strojovými instrukcemi závislými na MCU, využívají se speciální posloupnosti strojových příkazů
Code Rearrangement (reorganizace kódu)	Jeli smyčka FOR efektivnější než programátorem použitá smyčka WHILE, kompilátor kód změní.
Způsob optimalizace nezávislý na hardwaru	
Constant folding (zpracování konstant)	Výpočty které obsahují konstanty, jsou v co největší míře prováděny již kompilátorem
Local Common/Global Common Subexpression Elimination (vyloučení opakujících se výpočtů, částí výrazů)	Opakované výpočty, stejné části výrazů jsou pokud možno co nejvíce eliminovány a počítají se jen jednou.
Dead Code Elimination (vyloučení mrtvého kódu)	Odstranění nepoužívaného pasivního kódu.
Jump Negation (negace skoků)	Testy pro podmíněné skoky se invertují, pokud se tím odstraní jiné skoky či kód.
Data Overlay (překrývání dat)	Datové segmenty funkcí jsou označeny jako staticky překrývané. Spojovací program má pak možnost překrývat segmenty.
Loop Rotation (rotace smyček)	V programových smyčkách se zamění uspořádání kódu, dosáhne-li se tím rychlejšího a efektivnějšího kódu.

Tab. 1. Způsoby optimalizace softwarového kódu

1.3.3 Jazyk C a architektura MCU

Výkonnost mikrokontroléru je dána :

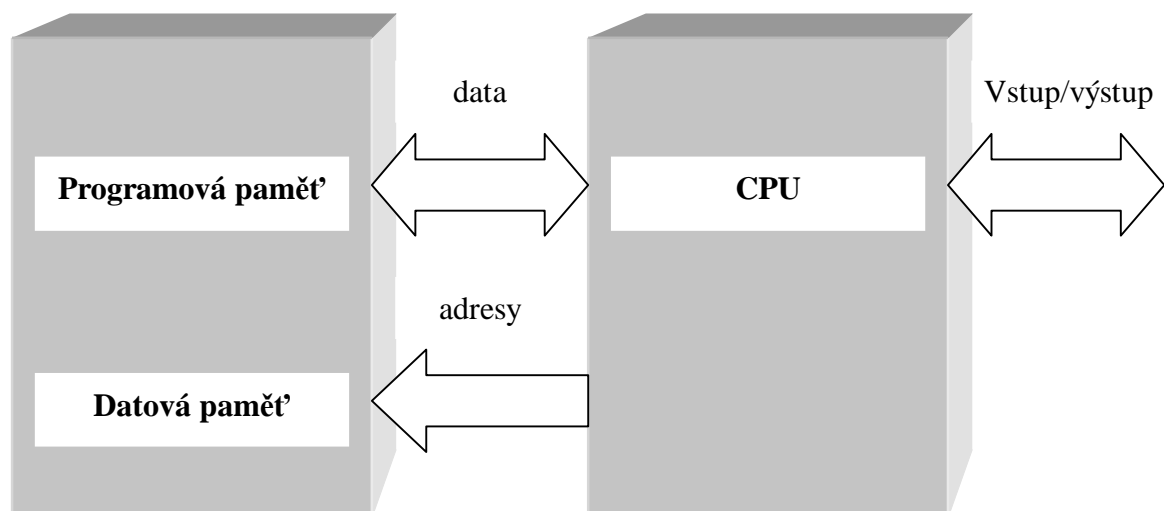
- jeho *architekturou* (registry a šířka sběrnic pro data, adresy, programový kód),
- rozsahem příkazů, maximální *hodinovou frekvencí* a počtem hodinových cyklů na příkaz (interprety příkazů),
- efektivností programového kódu

Pokud jde o architekturu, používají se doposud hlavně :

- von Neumannova architektura
- Harvardská architektura
- kombinace obou předchozích архитектур

Von Neumannova architektura

Vyznačuje se tím, že datová a programová paměť používají společná vedení (adresní a datová sběrnice).



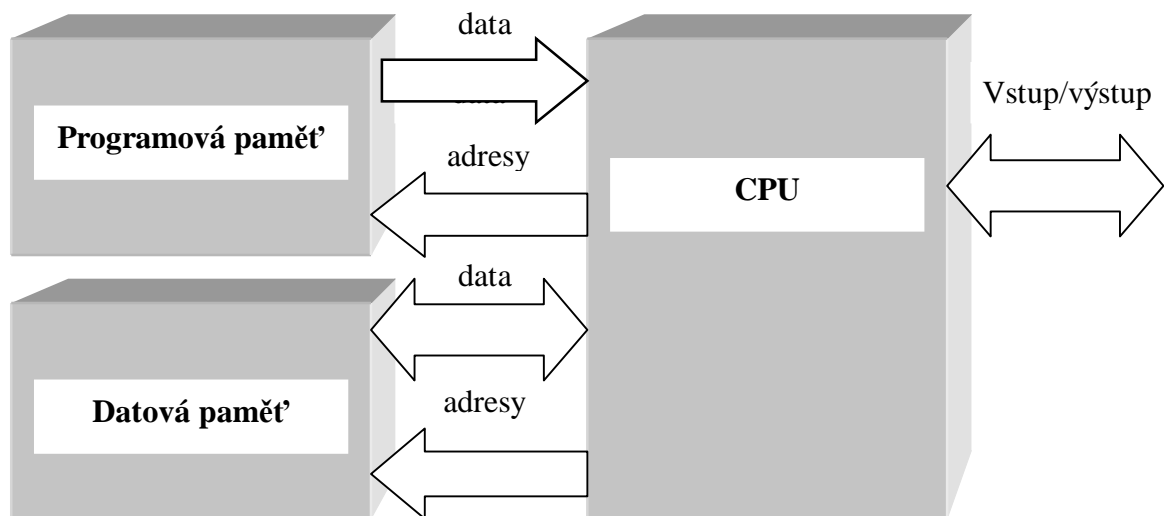
Obr. 2. Von Neumannova architektura MCU

Výhodou je hospodárné využití sběrnicových systémů, jehož výsledkem je snížení počtu vývodů MCU při použití externí paměti.

Nevýhodou je ovšem neodvratné snížení rychlosti zpracování, protože programová i datová paměť musí sdílet tatáž adresní a datová vedení. Datová a programová paměť pokrývá tutéž oblast paměti, o volbě paměti rozhodují pouze řídicí linky.

Harwardská architektura

Je architekturou starší. Má oddělené sběrnicové systémy pro programovou a datovou paměť. Díky tomu je možno se současně obracet na data i příkazy, což je základním předpokladem pro vysokou rychlost zpracování. Typická je i rozdílná bitová šířka datové a programové paměti. Programová paměť je hned navržena tak, že se jedním přístupem může číst příkaz i operand.



Obr. 3. Harwardská architektura MCU

CISC (Komplex Instruction Set Computer)

Je to tradiční interpret příkazů. Existuje mnoho výkonných příkazů, tzn. Zadáním jediného příkazu je možno realizovat složité zpracování, čímž se ušetří paměťové místo. To samo-

zřejmě vypadá zpočátku velmi dobře, ale tyto příkazy vyžadují složitý interpret příkazů, který příslušné příkazy zpracovává během více hodinových cyklů. Ukázalo se však, že programátor v assembleru, ani kompilátor C nevyužívají kompletní rozsah příkazů, ani nevyhledávají optimální posloupnost příkazů.

RISC (Reduced Instruction Set Computer)

Ze zkušenosti s architekturou CISC se přešlo k architektuře RISC, silně redukované sadě příkazů obsahující převážně asi 50 příkazů. Všechny příkazy mají stejnou bitovou šířku, jsou méně složité a vyžadují méně složitý interpret příkazů. Tím je možno příkazy podstatně efektivněji dekodovat a zpracovávat, zpravidla v jednom hodinovém cyklu. Tím se neobvykle zvyšuje rychlost zpracování, ale bohužel také velikost programu při téže prováděné funkci [5].

1.4 Mikrokontrolér řady 8051

Úvodem této problematiky bude dobré osvětlit tři základní pojmy mikroprocesorové techniky.

Mikroprocesor – jako centrální procesorová jednotka (CPU), která je základem všech počítačů, realizována na jednom čipu. Mikroprocesor sám o sobě nedokáže pracovat a je tedy pouze součástí, která tvoří základ mikropočítače.

Mikropočítač – který, vznikne doplněním mikroprocesoru o další podpůrné obvody, především paměť, vstupně/výstupní obvody (Hardware) a program (Software). Činnost mikropočítače je řízena programem. V této sestavě je mikropočítač schopen pracovat samostatně. Integrováním všech těchto prvků do jednoho čipu získáme mikrokontrolér.

Mikrokontrolér – jako mikropočítač realizovaný na jednom čipu, převážně určený pro řídicí aplikace.

1.4.1 Funkce mikroprocesoru

Mikroprocesor v sobě skrývá čtyři základní části :

Řadič – jako soubor obvodů, které řídí chod mikroprocesoru – řadič jednotlivých programových instrukcí

ALU – aritmeticko/logická jednotka se zabudovanou násobičkou a děličkou

Registry – sada speciálních registrů a registrů pro obecné použití – registry pro zápis dat, instrukcí, stavu.

V/V obvody – obvody pro spolupráci s okolím mikroprocesoru

Činnost, kterou mikroprocesor vykonává, je určena programem. Proto musí být mikroprocesor doplněn především pamětí, ve které program bude umístěn. Základní program se umístí do paměti typu **ROM (Read Only Memory)**. Program, kterým je mikroprocesor řízen je posloupnost instrukcí, které musí mikroprocesor vyzvednout z paměti, dekodovat a vykonat. Tato činnost se nazývá **instrukční cyklus**. Provádění všech operací instrukčního cyklu je řízeno řadičem mikroprocesoru ve spolupráci se speciálními registry. Řadič mikroprocesoru je taktován oscilátorem který vytváří *hodinové signály*, od jejichž periody je odvozeno časování všech signálů mikroprocesoru. Provedení instrukce může trvat i několik desítek period hodinového signálu. Proto se doba instrukce neuvádí v hodinovém signálu, ale ve strojových cyklech. *Strojový cyklus* je určen definovaným počtem period hodinového signálu.

1.4.2 Mikroprocesor jako součást mikrokontroléru 8051

Mikrokontrolér řady 8051 jako mikropočítač realizovaný na jednom čipu musí tedy podle obr.4 obsahovat následující bloky :

Mikroprocesor – nebo také centrální procesorová jednotka (CPU), která je základním prvkem jednočipového mikrokontroléru

Paměť - Paměť programu (ROM) může mít kapacitu 64 kB právě tak jako paměť dat (RAM). To je kapacita, kterou je tento jednočipový mikropočítač schopen adresovat ať se jedná o paměť na čipu nebo externí paměť. Na čipu je však umístěno jen max. 256 bytů paměti dat a max. 32 kB paměti programu. Tento vzájemný poměr kapacity paměti programu a operační paměti je charakteristický pro řídicí softwarové aplikace, neboť ty neobsahují programové operace náročné na operační paměť.

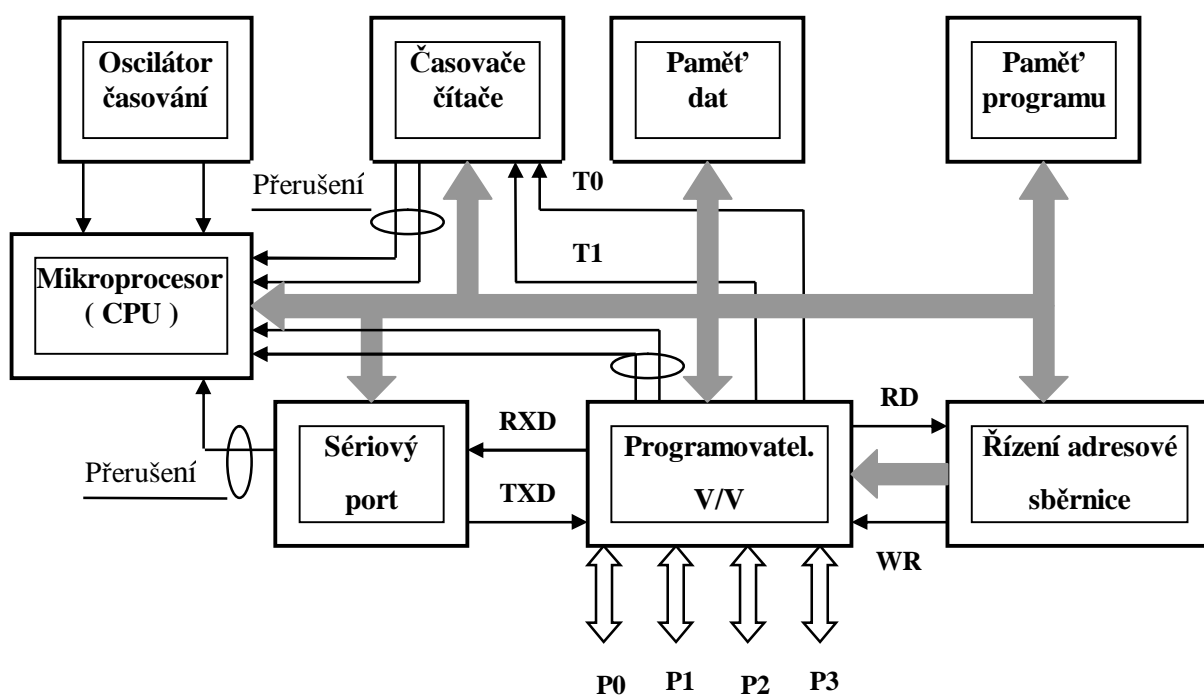
V/V obvody - Mikrokontrolér má čtyři 8bitové obousměrné paralelní porty pro vstup/výstup číslicových logických signálů

Časovače/čítače - Může mít až tři programovatelné až 16bitové čítače/časovače, použitelné buď odděleně pro komunikaci s vnějším prostředím, nebo lze jeden z nich využít pro generaci přenosové rychlosti sériového kanálu.

Port sériového přenosu - jeden sériový port pro asynchronní a synchronní sériovou komunikaci a pro komunikaci v multiprocessorových systémech.

Oscilátor - Pracovní kmitočet hodinového signálu se může pohybovat v rozmezí od 0 do 16 MHz [10].

Blokové schéma mikrokontroléru řady 8051 je na následujícím obr. 4.



Obr. 4. Blokové schéma mikrokontroléru řady 8051

1.5 Mikrokontrolér ADUC845

Analogové mikrokontroléry Analog Devices je rodina přesných analogových mikrokontrolérů, spojujících precizní analogové funkce, jako vysoké rozlišení AD a DA převodníků,

referenční napětí, vnitřní teplotní senzor, vestavěné flash paměti ve spojení s průmyslově-standartními mikrokontroléry předurčují toto zařízení k širokému spektru aplikací a možností využití .

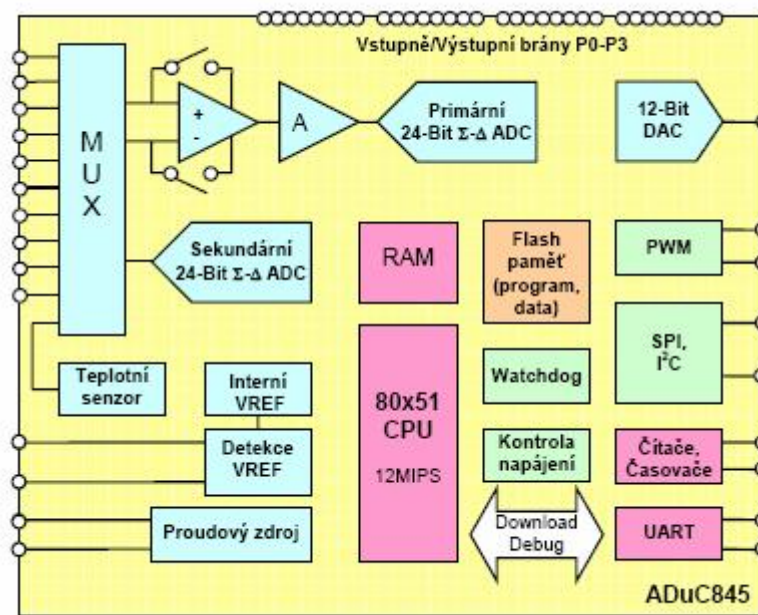
Předpoklady pro aplikace jsou mimo jiné :

- Multikanálový senzorový monitoring
- Průmyslově/ekologický nástroj
- Váhová měření, senzoring tlaku, monitorování teploty
- Přenosný nástroj, s bateriově napájecím systémem
- Datové protokolování, výtečný monitorovací systém

1.5.1 Architektura mikrokontroléru ADUC845

Mikrokontrolér ADUC 845 je plně integrovaný duální 24-bitový, mnoho-kanálový Sigma Delta AD převodník ($\Sigma - \Delta$ ADC) s flexibilním, až 10-kanálovým vstupním multiplexem a vestavěným rychlým 8-bitovým MCU na jednom čipu. Toto zařízení je optimalizováno pro aplikace průmyslového řízení, inteligentních senzorů, které požadují precizní přínos od multiplexovaného kanálu. ADC je integrací pružného vstupního multiplexu s A-D převodníkem a s teplotním senzorem dovolujícím přímé měření nízkých úrovní signálu.

Vnitřní blokové schéma obvodu ADUC845 je zobrazeno na následujícím obrázku č. 5. [8]



Obr. 5. Vnitřní blokové schéma obvodu ADuC845

Výše uvedené aplikační předpoklady mikrokontroléru jsou podpořeny následující technickou specifikací :

- ADC (analogově-digitální převodníky) pomocí technologie s vysokou rozlišitelností Sigma-Delta ($\Sigma - \Delta$ ADC)
- 10 kanálů jako jednoduchý vstup
- 5 kanálů jako diferenční vstupní nastavení
- Jeden 12 bitový napětově výstupní DA převodník
- Na čipu umístěný teplotní senzor
- Dva nezávisle, pulsně šířkově modulované výstupy (PWM)
- procesorové rozšířené jádro 8052 s výkonem 12.58MIPs
- 32 kHz externí krystal
- 62 kB flash/EE programovatelná pamět programu
- 4 kB flash/EE datové paměti
- 2304 B paměti RAM na čipu

AD převodníky (ADC)

Základem je duální 10-ti kanálový multiplexovaný 24-bitový, precizní převodník ($\Sigma - \Delta$ ADC).

- programově tvořený, samokalibrovaný 24 bitový primární AD převodník
- samokalibrovaný pomocný 24 bitový AD převodník

Paměti

- 62 kB Flash/EE programovatelná paměť programu přímo na čipu
- 4 kB Flash/EE datové paměti přímo na čipu
- Odolnost Flash/EE – 100K cyklů, udržitelnost – 100let
- 3 úrovně bezpečnosti programování paměti Flash/EE
- Vysoká rychlost stažení dat z/do paměti uživatelem (5 sekund)
- 2304 B data paměti RAM na čipu

Procesor

- Jádro založeno na platformě 8051
- 32 kHz externí krystal
- 3 x 16 bitový čítač/časovač
- 24 programovatelných I/O kontaktů
- 8 analogových nebo digitálních vstupních kontaktů
- 11 zdrojů přerušení, dvě prioritní úrovně
- Duální datový Pointer, externí 11 bitový Stack Pointer

Periferie na čipu

- Interní zapínací a resetovací obvod
- 12 bitový napěťový, digitálně-analogový převodníkový výstup (DAC)
- Duální 16 bitový Sigma-Delta ($\Sigma - \Delta$) digitálně-analogový převodník (DAC)
- Teplotní senzor přímo na čipu
- Duální referenční proudový zdroj (200 μ A)
- Časově intervalový čítač (wake-up/RTC timer)
- Komunikační podpora – UART, SPI a I²C sériový I/O
- Obvod Watchdog timer (WDT)
- Obvod monitoringu napájení – Power supply monitor (PSM)

Pouzdro

ADUC845 je dostupný ve dvou variantách

- 52-pin MQFP (14 mm x 14 mm), - 40°C do +125°C
- 56-pin CSP (8 mm x 8 mm), - 40°C do +85°C

Pracuje se 3V nebo 5V napájecího výkonu v teplotě pro standardní průmyslové řady [8].

1.5.2 Vývojová programová podpora mikrokontrolérů ADUC

Jako všechny mikrokontrolérové produkty od Analog Device, je také toto zařízení podporováno vývojovým systémem QuickStart a QuickStart-Plus.

Vývojová sada ADuC845 QuickStart+ je rozšířená vývojová sada od Analog Devices

Obsahuje veškeré nezbytné nástroje pro vývoj embedded aplikací s obvody řady ADuC.

Těmito nástroji jsou především:

- vývojová deska osazená patřičným mikrokonvertorem a pomocnými obvody
(příloha 2)

- zdroje napětí a seriové kabely pro propojení s PC
- programové vybavení:

Aspire - Integrované vývojové prostředí (manažer projektů, editor kódu, integrovaný assembler, simulátor, základní C kompilér, a další utility pro nahrávání programu do paměti mikrokontroleru) .

Příklady - programových kódů (v assembleru i C kódu)

- Desku Emulátoru **Accutron Spear** – umožňující programování v jazyku C
- Dokumentace

Po sestavení těchto součástí, instalaci a připojení k PC pomocí seriového kabelu je tak k dispozici kompletní integrované prostředí pro rychlý a efektivní návrh embedded aplikací ve standardním C jazyku. Pro řešení složitějších úloh je navíc potřeba instalovat pokročilejší kompilátor, jako je například C51 firmy Keil. [4]

2 TEORIE TEPELNÉ POHODY

2.1 Význam pojmu tepelná pohoda

2.1.1 Tepelná pohoda ve vytápěných interiérech

V moderní industriální společnosti stráví člověk větší část svého života, často i 23 hodin denně, v interiérovém prostředí – domov, pracoviště, dopravní prostředek. Nejdůležitější složkou tohoto životního prostředí je tepelně vlhkostní mikroklima, charakterizované zajištěním optimálního tepelného stavu interiéru – Tepelné pohody .

Narušení tepelně vlhkostního mikroklimatu ohrožuje homoiotermii jako základní podmínku existence lidského organismu. Přestože se člověk v souvislosti se svým fyzickým a psychickým stavem může přizpůsobit určitému mikroklimatu, existuje rozpětí (neutrální zóna), v níž se cítí nejlépe. Součástí této neutrální zóny optimálního tepelně vlhkostního mikroklimatu je i zóna tepelné pohody. Tu podmiňují subjektivně příjemné pocity při objektivně rovnovážné tepelné bilanci člověka v prostředí, které nezatěžují jeho termoregulační systém. Je to tedy takový stav, při němž člověk nepocítuje chlad, ani nadměrné teplo [6].

2.2 Technické aspekty tepelné pohody

2.2.1 Podmínky tepelné pohody

Z definice tepelné pohody je zřejmé, že nezbytnou podmínkou takového stavu je tepelná rovnováha mezi subjektem – člověkem a interiérem, ve kterém se nachází, tj. mezi teplem vyprodukovaným lidským tělem a jeho ztrátami do interiéru, bez zatížení termoregulačního systému.

Matematickým vyjádřením tepelné rovnováhy je rovnice ve tvaru :

$$\mathbf{q_m} \pm \mathbf{q_w} - \mathbf{q_e} - \mathbf{q_d} = \pm \mathbf{q_{cl}} = \pm \mathbf{q_s} \pm \mathbf{q_k} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1.1)$$

kde $\mathbf{q_m}$ - hustota tepelného toku při metabolismu (W/m^2)

$\mathbf{q_w}$ - hustota tepelného toku při práci venku (W/m^2)

$\mathbf{q_e}$ - hustota tepelného toku (ztráta) vypařováním (W/m^2)

q_d - hustota tepelného toku (ztráta) dýcháním (W/m^2)

q_{cl} - hustota tepelného toku přes oblečení (W/m^2)

q_s - hustota tepelného toku sáláním (W/m^2)

q_k - hustota tepelného toku konvekcí (W/m^2)

Platnost rovnice (1.1) je první podmínkou pro vytvoření optimálního tepelného stavu interiéru pro osoby, které v něm setrvávají, přičemž jejich produkce tepla je uvedena v tab.2.

Činnost člověka	Produkce tepla	
	(W/m^2)	(met)
Ležící	46	0,8
Sedící, odpočívající	58	1,0
Sedící, aktivní (kancelář, škola)	70	1,2
Stojící, mírně aktivní (lehký průmysl, laboratoř)	93	1,6
Stojící, středně aktivní (prodavač, domácí práce)	116	2,0
Chodící rychlostí :		
- 2 km/h	110	1,9
- 3 km/h	140	2,4
- 4 km/h	165	2,8
- 5 km/h	200	3,4

Tab.2. Vnitřní produkce tepla lidmi

Požadavek nezatížení termoregulačního systému v podmínkách tepelné pohody v rovnici tepelné rovnováhy vyjadřuje kritérium výskytu průměrné povrchové teploty pokožky a množství vylučovaného potu v určitých mezích, protože ty jsou jedinými fyziologickými veličinami, které vyjadřují stav tepelné pohody.

Matematicky se průměrná povrchová teplota pokožky θ_k , jakož i hustota tepelného toku (ztráta) vypařováním q_e ve stavu tepelné pohody v závislosti na činnosti subjektu vyjádří vztahy :

$$\theta_k = 35,7 - 0,0275 * (q_m - q_w) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1.2)$$

$$q_e = 3,05 \cdot 10^{-3} * (256 * \theta_k - 3\,373 - p_i) + 0,42 * (q_m - q_w - 58,15) \quad (\text{W/m}^2) \quad (1.3)$$

kde θ_k je průměrná povrchová teplota pokožky ($^\circ\text{C}$)

q_e - hustota tepelného toku (ztráta) vypařováním (W/m^2)

Vztahy (1.2) a (1.3) jsou považovány za druhou a třetí podmínku tepelné pohody

2.2.2 Faktory tepelné pohody

Stav tepelné pohody lze po úpravě rovnice tepelné pohody (1.1) vyjádřit funkční závislostí šesti nezávislých veličin, které považujeme za její faktory

$$f(q_q, R_{cl}, \theta_i, p_i, v_i, \theta_u) = 0$$

kde q_q - je celková hustota tepelného toku z lidského těla (W/m^2)

$q_q = q_m \pm q_w$, přičemž pro většinu činností $q_w = 0$ a maximálně $q_w = 0,1 * q_m$,

proto je zanedbávaná a místo q_q se dosazuje pouze q_m

R_{cl} - tepelný odpor oblečení ($\text{m}^2 \text{K/W}$)

θ_i - teplota vnitřního vzduchu ($^\circ\text{C}$)

p_i - parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu (Pa)

v_i - rychlost proudění vnitřního vzduchu (m/s)

θ_u - účinná teplota okolních povrchů ($^\circ\text{C}$)

V tab.3 je znázorněna souvislost mezi čtyřmi faktory prostředí a hustotami tepelných toků (zisků či ztrát) ve vztahu k organismu člověka.

Složky tepelné rovnováhy	Veličiny						
	q_m (W/m ²)	q_w (W/m ²)	R_{cl} (m ² K/W)	θ_i (°C)	p_i (Pa)	v_i (m/s)	θ_u (°C)
$q_q = q_m + q_w$	*	*					
q_e			*		*	*	
q_d	*			*	*		
q_s			*				*
q_k			*	*		*	

Tab.3 Vzájemné vztahy nezávislých veličin

Optimální tepelný stav uživatele interiéru budovy je funkcí dvou veličin (q_m , R_{cl}) souvisejících se subjektem – uživatelem, které se nazývají subjektové faktory, a čtyř veličin (θ_i , p_i , v_i , θ_u) charakterizujících tepelný stav prostředí, v němž se nacházejí. Ve vnitřním prostředí jsou výsledkem působení povětrnostních, konstrukčních a provozních faktorů.

Při objektivním určování jednotlivých veličin (faktorů tepelné pohody) se faktory prostředí (θ_i , p_i , v_i , θ_u) obvykle měří a faktory související s uživatelem (q_m , R_{cl}) se předpokládají v závislosti na ročním období, druhu místnosti a budovy a na uvažované činnosti i oblečení osoby viz. tab. 4.

Druh oblečení	Tepelný odpor R_{cl}	
	($m^2 K/W$)	(clo)
Nahý člověk	0	0
Šortky	0,015	0,1
Šortky, košile s krátkým rukávem	0,047	0,3
Dlouhé kalhoty, košile	0,078	0,5
Kalhoty, košile, bunda, obuv	0,124	0,8
Běžný oblek	0,155	1,0
Vlněný oblek s vestou	0,233	1,5
Polární oděv	0,465–0,620	3,0 – 4,0

Tab.4 Tepelný odpor různých druhů oblečení

Prostředí (interiér budovy) charakterizují tyto veličiny :

- Teplota vnitřního vzduchu θ_i - vyjadřuje se v $^{\circ}C$, nebo jako absolutní teplota T_i v K. Definuje se jako teplota vzduchu v daném místě interiéru uvažovaná v okolí lidského těla.
- Absolutní vlhkost vnitřního vzduchu p_i – vyjadřuje se pomocí parciálního tlaku vodní páry vnitřního vzduchu v Pa, definovaného jako tlak vodních par obsažených v určitém objemu vzduchu, který by vyvolaly, kdyby samy při téže teplotě zaujaly tento objem. Na rozdíl od relativní vlhkosti nebo od stupně nasycení, které vyjadřují poměr množství vlhkosti nacházející se ve vzduchu a maximálně možného množství vlhkosti při dané teplotě, parciální tlak vodní páry vyjadřuje množství vlhkosti skutečně se nacházející ve vzduchu.
- Rychlost proudění vnitřního vzduchu v_i – vyjadřuje se v m/s . V souvislosti s tepelným stavem prostředí se definuje jako velikost relativní rychlosti proudění vzduchu v uvažovaném měřicím bodu interiéru. Ve skutečnosti je zcela určena svou velikostí a směrem jako vektor.

- Účinná (průměrná sálavá) teplota θ_u – vyjadřuje se v °C, nebo jako absolutní teplota T_u v K. Je to teplota fiktivního uniformního okolí s absolutně černými povrchy, s nimiž by si subjekt sáláním vyměňoval stejné množství energie jako se skutečným okolím.

2.2.3 Subjektivní tepelné pocity osoby

Při vyhodnocování tepelně vlhkostního mikroklimatu je důležité, aby optimální tepelný stav prostředí, charakterizovaný objektivně měřitelnými fyzikálními veličinami, odpovídal subjektivním tepelným pocitům uživatele. Při takovém anamnestickém hodnocení prostředí lze obecně použít stupnici podle Gates, Stolwijka a Hardyho :

0 – pohoda, 1 – mírná nepohoda, 2 – nepohoda, 3 - značná nepohoda

Při posuzování tepelného stavu prostředí lze tuto stupnici upravit na sedmistupňovou psychofyzikální stupnici s uvažováním kladné (teplé) a záporné (chladné) nepohody :

-3:zima, -2:chladno, -1:mírně chladno, 0:neutrálně, +1:mírně teplo, +2:teplo, +3:horko

Potom tepelný stav konkrétního prostředí vyjadřuje index PMV (Predicted Mean Vote), který předvídá průměrnou hodnotu tepelných pocitů velké skupiny uživatelů

Vycházíme-li ze zobektivněné rovnice tepelné rovnováhy člověka v tepelném prostředí, byla na základě analýzy výsledků experimentálních výzkumů s 1300 subjekty vymezena závislost indexu PMV na konkrétní kombinaci faktorů tepelné pohody tak, že

$$\begin{aligned} \text{PMV} = & [0,303 \exp(-0,036 q_m) + 0,0275] * \{0,601 * (q_m - q_w) - q_m * \\ & * (0,147 - 1,7 * 10^{-5} * p_i - 0,0014 * \theta_i) + 3,05 * 10^{-3} * p_i + 6,937 - 3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * \\ & * [(\theta_{cl} + 273,15)^4 - (\theta_u + 273,15)^4] - h_k * f_{cl} * (\theta_{cl} - \theta_i) \} \end{aligned}$$

kde h_k je součinitel přestupu tepla konvekcí ($W/(K m^2)$)

f_{cl} - poměr plochy povrchu oblečeného a neoblečeného subjektu

θ_{cl} - teplota na vnějším povrchu oblečení ($^{\circ}C$)

Index PMV by se měl používat pouze pro hodnoty mezi -2 (chladno) a +2 (teplo), a když se hodnoty šesti faktorů tepelné pohody nacházejí v těchto rozpětích :

q_m - od 46 do 232 W/m^2 (0,8 – 4,0 met)

R_{cl} - od 0 do 0,31 $m^2 \cdot K/W$ (0 – 2,0 clo)

θ_i - od 10 do 30 $^{\circ}C$

p_i - od 0 do 2700 Pa

v_i - od 0 do 1 m/s

θ_u - od 10 do 40 $^{\circ}C$

Index PMV sice předvídá průměrnou hodnotu tepelného pocitu velké skupiny lidí – uživatelů, kteří se nacházejí v daném prostředí, avšak individuální pocit každého jednotlivce se může pohybovat kolem této hodnoty.

Z tohoto důvodu byl zaveden index PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), který vyjadřuje předpokládané procento osob nespokojených s prostředím, tj. těch, kteří v daném prostředí pociťovali nepohodu nebo značnou nepohodu (jejich tepelný pocit by byl ± 2 , resp. ± 3).

Vzájemný vztah obou indexů vyjadřuje vzorec

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (\%)$$

Kde **PPD** je předpokládané procento osob nespokojených s prostředím (%)

PMV – předpokládaný průměrný tepelný pocit (-)

Hodnoty PMV a PPD se počítají z daných vstupních proměnných dle tab.5

Proměnné	Symby v programu
Oblečení (clo)	CLO
Vnitřní produkce tepla (met)	MET
Vnější práce (met)	WME
Teplota vzduchu (°C)	TA
Průměrná sálavá teplota (°C)	TR
Relativní rychlost proudění (m/s)	Va
Relativní vlhkost vzduchu (%)	RH
Parciální tlak vodní páry (Pa)	PA

Tab.5 Proměnné pro výpočet PMV a PPD

2.3 Hodnocení tepelné pohody

Při posuzování stavu tepelné pohody subjektu – uživatele v konkrétním prostředí za jeho předpokládané činnosti (q_m) a tepelného odporu oblečení (R_{cl}), které představují subjektivní faktory v rovnici tepelné pohody, je potřebné zbylé čtyři faktory, které charakterizují tepelný stav daného prostředí, měřit v podobě fyzikálních veličin θ_i , p_i , v_i , θ_u . [6]

2.3.1 Výpočty parametrů tepelné pohody

Výpočty vycházejí ze základní tepelné bilance člověka, kdy se teplo produkované organismem odvádí do okolí konvekcí, sáláním, dýcháním, pocením a případně vedením. Tepelná rovnováha, tj. stav, při kterém okolí odnímá tělu právě tolik tepla, kolik jej produkuje, je jednou ze základních životních podmínek člověka. Je-li však část tepla odváděna mokřím pocením, nejsou dodrženy podmínky tepelné pohody.

Z řešení tepelné bilance je odvozena rovnice pro výpočet středního tepelného pocitu PMV.

$$PMV = [0.303 * \exp(-0.036 * M) + 0.028] * L$$

M - energetický výdej člověka (W)

L - rozdíl energetického výdeje a tepla odvedeného bez mokrého pocení (W)

Výsledný střední tepelný pocit je hodnocen sedmistupňovou stupnicí, kde +3 je horko, 0 neutrálně (tepelná pohoda) a -3 zima.

Procentuální podíl nespokojených PPD se vyhodnocuje na základě středního tepelného pocitu PMV podle vztahu:

$$PPD = 100 - 95 * \exp[-(0.03353 * PMV^4 + 0.2179 * PMV^2)]$$

Stupeň obtěžování průvanem (DR) je samostatný ukazatel pro posuzování parametrů prostředí podle normy ISO 7730 a vyjadřuje procentuální podíl osob, u kterých převládá pocit obtěžování průvanem. DR lze vypočítat podle vztahu:

$$DR = (34 - t_a) * (v - 0.05)^{0.62} * (0.37 * v * Tu + 3.14)$$

t_a - teplota vzduchu (°C)

v - rychlost proudění vzduchu (m/s)

Tu - místní intenzita turbulence (%)

Do rovnic pro posouzení tepelné pohody vstupuje celá řada parametrů, jejichž určení výpočtem je krajně obtížné, a proto se hodnocení tepelné pohody prostředí prakticky neobejde bez měření. Pouze při použití počítačových simulací energetických bilancí a proudění v prostoru lze vyhodnotit parametry prostředí pro posouzení tepelné pohody z výsledků simulace.

2.3.2 Podmínky měření

Volba míst měření je závislá na činnosti a pohybu osob; doporučené výšky umístění snímacích čidel jsou uvedeny pro úroveň hlavy, břicha a kotníků člověka:

pro sedící osobu - 1,1; 0,6; 0,1 m

pro stojící osobu - 1,7; 1,1; 0,1 m

Počet měřicích míst z hlediska vertikálního rozložení mikroklimatických parametrů je závislý na tom, zda je možné prostředí v blízkosti osoby považovat za homogenní, nebo heterogenní. Jako homogenní prostředí lze označit takové prostředí, kde jsou v daném okamžiku odchylky jednotlivých mikroklimatických veličin měřených v doporučených výškách hlava-břicho-kotníky od jejich střední hodnoty menší než $\pm 5 \%$.

V homogenním prostředí stačí jedno místo měření v prostoru ve výšce břicha stojící nebo sedící osoby. V prostředí heterogenním (např. tam, kde jsou zdroje sálavého tepla nebo chladu, proměnlivé rychlosti proudění vzduchu apod.), nebo v případech, kdy sledovaná osoba pracuje na různých místech, se musí měřit na několika místech v prostoru a ve všech třech výškách, tj. v úrovni hlavy, břicha a kotníků. Z takto naměřených veličin pro všechny tři výšky se stanoví průměrná hodnota. V heterogenním prostředí se výsledná teplota t_g měří vždy ve všech třech výškách. Teplotu vzduchu t_a stačí ve většině případů měřit pouze ve výšce břicha (sálavé složky prostředí, které ovlivňují výslednou teplotu, ovlivňují teplotu vzduchu minimálně), stejně tak vlhkost vzduchu.

Působení rozdílné rychlosti proudění vzduchu se projeví na výsledné teplotě. Pokud nepotřebujeme znát jednotlivé rychlosti proudění vzduchu pro další výpočty nebo pro posouzení lokálního diskomfortu, stačí také jedno měření ve výšce břicha zaměstnance.

Stanovení průměrných hodnot teplot:

Průměrná hodnota pro výslednou teplotu, nebo teplotu sálání v daném okamžiku se určí ze vztahu

$$\theta = (\theta_{\text{hlava}} + 2 * \theta_{\text{břicho}} + \theta_{\text{kotníky}}) / 4$$

Počet měřicích míst z hlediska horizontálního rozložení mikroklimatických parametrů nebo změny činnosti zaměstnance je závislý na tom, jak se mění mikroklimatické veličiny v blízkosti pohybující se osoby v průběhu dne. V prokazatelně stacionárním prostředí, tj. kde jsou v průběhu dne odchylky jednotlivých mikroklimatických veličin od jejich střední hodnoty menší než $\pm 5 \%$, stačí měřit dvě hodiny s pravidelnými půlhodinovými odečty

jednotlivých veličin (respektovat dobu ustálení čidel). Pokud je prostředí nestacionární, nebo pokud se osoba pohybuje na různých místech, musí se mikroklimatické veličiny sledovat tak, aby doba měření umožnila popsat měnící se mikroklimatické parametry během celé směny nebo doby pobytu osoby. Obvykle postačí měřit v případě osmihodinové směny 6 hodin s odečty veličin nejdéle v hodinových intervalech, optimálně v půlhodinových intervalech.

Přípustné tepelné podmínky nebo dlouhodobě a krátkodobě únosné doby práce se hodnotí:

1. Pomocí průměrných hodnot teplot za celou směnu - ve stacionárním prostředí vždy a v prostředí nestacionárním tehdy, jestliže se naměřené hodnoty po dobu trvání celé směny pohybují v rozsahu hodnot přípustných, nebo hodnot neznamenaících pro danou třídu práce omezení pracovní doby, nebo se pohybují v intervalu { časově vážený nebo aritmetický průměr $\pm 20\%$ }.
2. V případě překročení přípustných teplotních podmínek, nebo pohybují-li se naměřené hodnoty mimo interval { časově vážený nebo aritmetický průměr $\pm 20\%$ }, tzn. zaměstnanec se pohybuje ve značně se lišících tepelných podmínkách, nelze použít průměr všech hodnot za celou směnu, ale průměrují se jednotlivé intervaly, ve kterých jsou splněny podmínky bodu 1. Např. jestliže se zaměstnanec pohybuje 3 hod za směnu v prostředí s výslednou teplotou 40 °C a zbytek směny ve 20 °C, nelze z těchto hodnot udělat časově vážený ani aritmetický průměr, ale je třeba hodnotit oba teplotní intervaly samostatně a dobu překročení přípustných teplotních podmínek je třeba porovnat s dlouhodobě a krátkodobě únosnou dobou práce za těchto podmínek.

Celkovou celosměnovou tepelnou zátěž je pak třeba zhodnotit na základě vypočítané produkce potu. Stejným způsobem je třeba zkontrolovat, zda při dvanáctihodinové směně není překročena přípustná produkce potu, tj. 4 litry potu za směnu. Potřebné tepelné odpory oděvů lze stanovit podle ČSN EN ISO 7730. [12]

Součástí měření mikroklimatických parametrů vnitřního prostředí je měření teploty a vlhkosti venkovního prostředí s popisem venkovní klimatické situace (slunečno, zataženo, vítr)

Potřebujeme-li podle požadavků některého předpisu provádět měření v zimním a letním období roku, měříme v zimě při teplotách -10 až 0 °C, v létě při teplotách 25 až 30 °C.

Měření teploty vnitřního vzduchu θ_i (°C)

Při měření teploty lze použít jakékoli teplotní čidlo s požadovanou přesností měření $\pm 0,2$ °C. Musí být brána v úvahu jeho tepelná setrvačnost, výslednou hodnotu lze odečítat až po ustálení čidla. Je zapotřebí snížit vliv okolní radiace na teplotní čidlo, změřená hodnota by pak neodpovídala skutečné teplotě vzduchu, ale ležela by někde mezi teplotou vzduchu a střední radiální teplotou, tzn. Čidlo je třeba chránit před účinky sálání stínidlem z odrazivého materiálu odděleného od vlastního čidla dostatečně širokou vzduchovou mezerou, aby byla zabezpečena přirozená konvekce.

Při měření teploty vnitřního vzduchu se požaduje :

- rozsah 0 až 30 °C,
- přesnost $\pm 0,2$ °C,
- minimální interval měření 3 minuty
- co nejkratší reakční doba přístroje

Při měření lze použít tyto přístroje :

- dilatační teploměry (lihové, rtuťové, bimetalové)
- odporové elektrické teploměry (platinové, termistory)
- termoelektrické teploměry (termočlánky Fe-Ko, Cu-Ko)
- termoanemometry

Měření parciálního tlaku vodní páry vnitřního vzduchu p_i (Pa)

Způsob určení vlhkosti vnitřního vzduchu musí zabezpečit převod na parciální tlak vodní páry vnitřního vzduchu p_i s požadovanou přesností.

V našich podmínkách je zvykem používat jako vlhkostní kritérium relativní vlhkost vzduchu. Je vyjádřena jako poměr tlaku vodní páry ve vzduchu ku tlaku vodní páry v nasyceném vzduchu, je udávána v %, nebo jako bezrozměrná veličina ve tvaru $0, xx$.

Při měření parciálního tlaku vodní páry vnitřního vzduchu se požaduje :

- rozsah 500 až 2500 Pa,
- přesnost ± 150 Pa,
- co nejkratší reakční doba přístroje

Při měření lze použít tyto přístroje :

- dilatační vlhkoměry (vlasové, membránové),
- vlhkoměry na principu zjišťování rosného bodu
- psychrometry (Assmanův, Augustův), kde se hodnota relativní vlhkosti získá z psychrometrické tabulky nebo diagramu na základě změřené suché teploty t_a a mokré teploty t_w nuceně větraného mokrého teploměru
- kapacitní vlhkoměry – na hodnotu vlhkosti se převádí kolísání elektrické kapacity čidla
- hygrometry (litiumchloridové), tj. vlhkoměry založené na prodloužení nebo deformaci organického materiálu, např. blánové a vlasové. Tyto vlhkoměry se musí často kalibrovat a před měřením vždy provést „regeneraci“ organického materiálu (čidlo zabalit do vlhkého materiálu).

V případě psychrometrů je třeba suchý i vlhký teploměr chránit před sáláním. Punčoška vlhkého teploměru musí přesahovat citlivou část čidla, aby se zamezilo chybám měření vlivem kondukce a konstrukce čidla.

Pro stanovení relativní vlhkosti vzduchu metodou „ suché a mokré teploty „ je k dispozici psychrometrická tabulka .

Měření rychlosti proudění vnitřního vzduchu v_i (m/s)

Rychlost proudění vzduchu v prostoru je nutno měřit metodami, které umožňují stanovit s dostatečnou přesností nízké rychlosti proudění 0,05 až 0,5 m.s⁻¹. Protože pohyb vzduchu v prostoru je značně turbulentní a časově velmi proměnný, nelze k vyhodnocení použít oka-

mžité změřené hodnoty, ale pouze střední hodnoty za delší časový interval – minimálně 1 min., optimálně 3 min. Je třeba uvážit citlivost čidla na směr proudění vzduchu.

Doporučovaná jsou všesměrová čidla s krátkou dobou ustálení. Při použití směrového čidla je zapotřebí měřit ve směru, kde byly zjištěny největší okamžité hodnoty.

Je vhodné toto měření minimálně 3x opakovat, aby se vyloučila chyba měření způsobená nesprávným směrem měření. [6]

Pro zjištění rychlosti proudění se požaduje :

- rozsah 0,01 až 10 m/s
- vhodná přesnost $\pm 0,05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- doba reakce přístroje 0,5 s

K měření rychlosti proudění vzduchu se používají tyto přístroje :

- všesměrová čidla, např. anemometr se zahřívanou kuličkou, termistorový anemometr, laserový Dopplerův anemometr, ultrazvukový anemometr
- směrová čidla, např. lopátkové anemometry, anemometr se žhaveným vláknem
- katateploměry

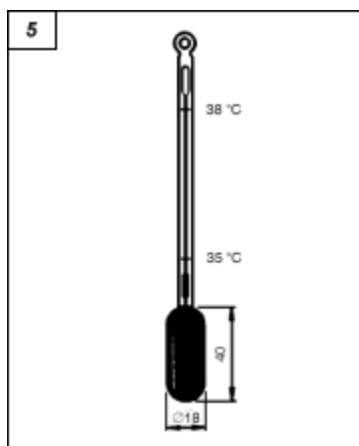
Katateploměry lze využít při běžných měřeních, jimiž se zjišťují průměrné hodnoty za kratší časové období. Při uvážení vlivu sálání je třeba využít běžné katateploměry (podle Hilla) i katateploměry s pokovovanou bankou.

Katateploměr

Klasický Hillův katateploměr (*obr. 5*) má nádobku s teploměrnou kapalinou (rtuť, líh nebo toluol) ve tvaru válce zakončenou dvěma polokoulemi. Průměr nádobky je 18 mm, výška 40 mm. Nádobka přechází v kapiláru, která je na obou koncích rozšířena. Na teploměru jsou vyznačeny dvě teploty: nahoře 38 °C, dole 35 °C (střední teplota 36,5 °C přibližně odpovídá teplotě těla). Při měření se katateploměr nejprve zahřeje na teplotu vyšší než 38 °C, takže teploměrná kapalina vystoupí do horního rozšíření kapiláry.

Potom se teploměr zavěsí na místo, kde je třeba znát tepelnou pohodu, a změří se doba, za kterou údaj teploměru klesne ze 38 na 35 °C. S použitím konstanty katateploměru, zjištěné jeho kalibrací, se vypočítá tzv. katahodnota. Katateploměrem lze také měřit malé rychlosti

proudění vzduchu v místnostech. Často se používá kombinace tří teploměrů: běžný teploměr a dva katateploměry, z nichž jeden má pokovenou nádobku dle obrázku č.. Podobné soustavy dodávají výrobci elektronických teploměrů jako zvláštní vybavení [7]



Obr. 6 Hillův katateploměr

Měření účinné (průměrné sálavé) teploty θ_u (°C)

Při měření účinné teploty se požaduje :

- rozsah 10 až 40°C,
- přesnost $\pm 0,2^\circ\text{C}$,
- co nejkratší doba reakce přístroje

Při měření lze použít tyto přístroje :

- teploměry na měření povrchových teplot,
- kulový teploměr (Vernonův-Joklův)
- dva kulové teploměry (Vernonův-Joklův a tzv. lesklý kulový teploměr s nízkým součinitelem absorpce tepelného záření)
- vyhřívaný kulový teploměr
- katateploměry (běžný i s pokovovanou bankou)

Použití kulového teploměru

Pro měření se používá kulový teploměr Vernon nebo Vernon-Jokl o průměru koule 150 nebo 100 mm, povrch koule černěný plech nebo černý polyuretan. Doba ustálení kulového teploměru je 20 - 30 minut podle fyzikálních vlastností koule a podmínek prostředí. Pro velkou tepelnou setrvačnost není tento přístroj vhodný pro měření v prostředí s rychlými teplotními změnami. Používá se buď v klasickém provedení, tj. se rtuťovým teploměrem, nebo s jakýmkoli teplotním čidlem.

Požadovaná přesnost měření:

- pro rozsah měření 0 až 50 °C je $\pm 0,5$ °C
- pro rozsah měření -20 až 0 °C je $\pm (0,5 + 0,01|\theta_g|)$ °C

Střední radiační teplota se určí podle vztahu

$$\theta_u = [(\theta_g + 273)^4 + 2,9 \cdot 10^8 \cdot v_i^{0,6} (\theta_g - \theta_i)]^{1/4} - 273$$

kde θ_g - výsledná teplota kulového teploměru ϕ 0,10 m (°C)

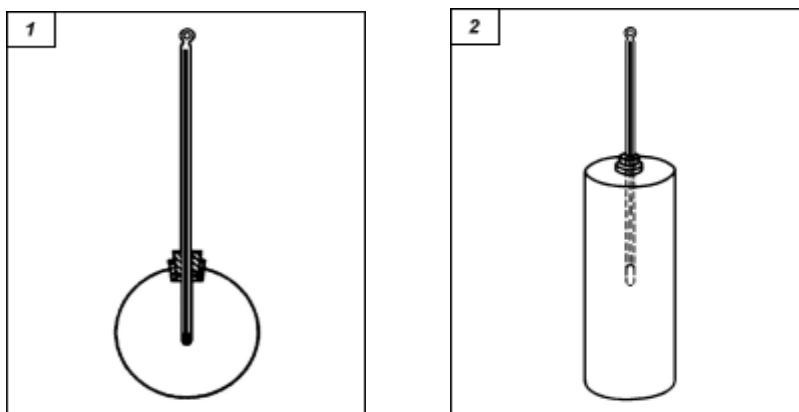
θ_i - teplota vzduchu (°C)

v_i - rychlost proudění vzduchu (m.s⁻¹)

$$\theta_u = [(\theta_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 \cdot v_i^{0,6} (\theta_g - \theta_i)]^{1/4} - 273$$

kde θ_g - výsledná teplota kulového teploměru ϕ 0,15 m (°C)

Výsledný kulový teploměr (Vernonův teploměr viz. 1, Missénárdův teploměr viz. 2): teploměr (nejčastěji skleněný), jehož čidlo je umístěno ve středu kulového pláště o průměru 100 až 150 mm z tenkého měděného plechu, s matným černým nátěrem na vnější stěně. Kulový teploměr udává tzv. výslednou teplotu okolního prostředí, jako míru ochlazovacího účinku tohoto prostředí. [7]



Obr. 7 Vernonův teploměr 1, Missénárdův teploměr 2

Použitím katateploměrů se využívá rozdílného ochlazování běžného a pokovovaného katateploměru. Účinná teplota se pak vyjádří ze vztahu :

$$\theta_u = 100(91,88 - \Delta K/3,07)^{1/4} - 273,15 \quad (^\circ\text{C})$$

kde $\Delta K = K - K_{\text{kov}}$ je rozdíl katahodnot běžného a pokovovaného katateploměru

$$K = Q/\tau, \text{ resp. } K_{\text{kov}} = Q_{\text{kov}}/\tau_{\text{kov}}$$

Q, Q_{kov} - cejchovní hodnoty katateploměrů (J/m^2)

τ, τ_{kov} - doba ochlazení katateploměry z 38 na 35°C (s)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NÁVRH STRUKTURY UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU

Abych vytvořil uživatelský program pro aplikaci, musím zpracovat následující body :

Vytvořit simulační sestavu pro vyhodnocování tepelné pohody

Znázornit systém regulace a řízení parametrů tepelné pohody

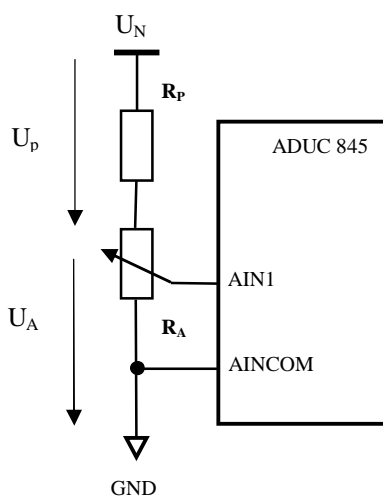
Navrhnout strukturu uživatelského programu

3.1 Tvorba simulační sestavy pro vyhodnocování tepelné pohody

Proto, abych nasimuloval jednotlivé snímače, potřebné k vyhodnocování tepelné pohody prostředí, použiji principu napěťového děliče.

Změnu příslušné fyzikální veličiny budu předstírat připojením trimru na analogový vstup.

Příklad zapojení jednoho takového trimru je na obr.8 .

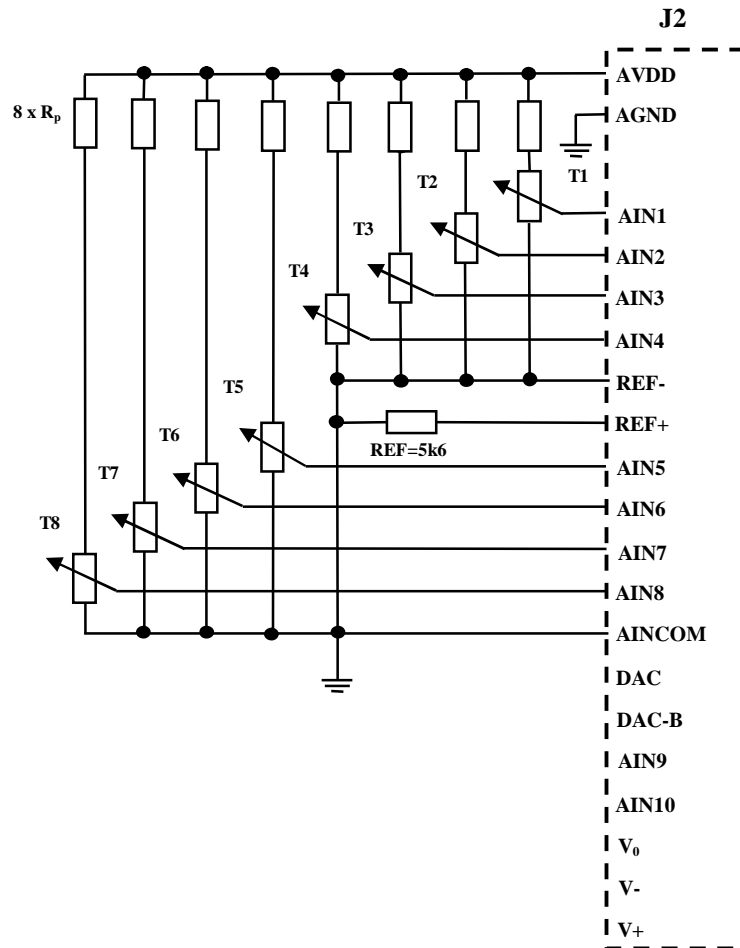


Obr. 8 Aplikace odporového děliče na analogovém vstupu obvodu ADUC

Víme, že obvod ADUC je schopen zpracovat až 10 takových vstupních analogových kanálů zapojených unipolárně, nebo až 5 kanálů zapojených bipolárně.

K realizaci zapojení jsem použil univerzální plošný spoj, na kterém je vytvořena sestava trimrů ošetřených předřadnými odpory pro patřičné napěťové přizpůsobení jednotlivých

vstupních signálů (viz. obr. č.1). Toto zapojení pomocí konektoru připojím na svorkovnici J2 vývojového kitu s mikrokonvertorem ADUC.



Obr. 9 Zapojení analogových vstupů přes konektor J2 k vývojovému kitu

Organizace připojení jednotlivých simulačních veličin (aspektů tepelné pohody) k analogovým vstupům vývojové desky bude následující :

AIN1 - teplota vzduchu - t_a ,

AIN2-6 - střední radiační teplota – t_r^* ,

AIN7 - vlhkost vzduchu - r_h ,

AIN8 - rychlost proudění vzduchu - v_a

* Výsledná hodnota radiační teploty bude vyhodnocena jako střední hodnota z pěti naměřených hodnot, které reprezentují pět různých směrů sálání radiační teploty.

Ošetření analogového vstupu napět'ovým děličem

K vytvoření napět'ových hodnot na analogových vstupech poslouží vývod AVDD (U_N), který je zdrojem napětí pro analogovou část vývojového kitu.

Toto napětí je definováno jako :

$U_N (AVDD) = 5V$...zdroj pro analogovou část vývojového kitu

Protože výše uvedené zapojení je provedeno unipolárním zapojením (tedy analogový vstup AIN proti zemnicí svorce AINCOM) použijí referenční napětí definované jako :

$U_{REF} = 2,5V$... interní referenční napětí pro unipolární zapojení vstupu

- protože můžeme přivést na vstup napětí pouze velikosti $U_{REF} \times 1.024$, což je v našem případě ($2,5 \times 1,024 = 2,56 V$), použijeme pro napět'ové přizpůsobení na analogovém vstupu předřadný odpor R_p o velikosti $4,7k\Omega$ a trimr o velikosti $R_A = 1,1k\Omega$ podle následujících vztahů :

$$I = U_N / R_p + R_A = 5 / (4,7 + 1,1) * 10^3 = 0,862 \text{ mA}$$

$$U_p = R_p * I = 4,7 * 10^3 * 0,862 * 10^{-3} = 4,05 \text{ V}$$

$$U_A = 5 - 4,05 = 0,95 \text{ V}$$

Volba rozsahu vstupu AD převodníku

U_A je tedy maximální napětí, které můžeme na analogovém vstupu naměřit. Tímto způsobem jsem ošetřil všech osm vstupů, které představují snímače potřebné pro simulaci tepelné pohody.

Toto napětí U_A bude odpovídat maximálním hodnotám rozsahů příslušných snímačů, které se při vyhodnocení tepelné pohody používají.

Proto použijí jako rozsah vstupu AD převodníku (span) výběrem z normalizované řady

(20, 40, 80, 160, 320, 640mV, 1.28 a 2.56V) hodnotu : span = 1,28V.

Volba referenčního odporu

Pro realizaci zapojení je důležitá volba referenčního odporu R_{REF} . Ten je spolu s nastavením zesílení převodníku a odporem senzoru součástí pro výpočet normalizovaného výstupu AD převodníku ADC_{NORM} .

Zesílení převodníku A_{ADC} vypočítám ze vztahu : $A_{ADC} = U_R / span$

Kde : U_R je nastavený rozsah vstupu referenčního kanálu (2.5V nebo 1.25V)

$span$ rozsah vstupu AD převodníku jak je uvedeno výše

(v mém případě $span = 1,28V$).

Dosažením tedy dostávám hodnotu : $A_{ADC} = U_R / span = 2,5 / 1,28 = 1,953$

Po dosažení zesílení A_{ADC} do vztahu pro výpočet normalizovaného výstupu AD převodníku ADC_{NORM} pak dostávám výraz :

$$ADC_{NORM} = A_{ADC} * (R_S / R_{REF}) = (U_{REF} / span) * (R_S / R_{REF})$$

Pro maximální hodnotu veličiny, kterou mohu měřit, dosadím do vzorce pro ADC_{NORM} hodnotu odporu senzoru R_S (v mém případě hodnotu trimru : $R_S = 1,09k\Omega$).

Hodnoty $span$ a R_{REF} volím a po dosažení dostávám hodnoty normalizovaného výstupu ADC_{NORM} . Výsledné hodnoty uvádím v tabulce 6. Jako odpory jsem uvedl běžně dostupné odpory řádu $k\Omega$ unifikované řady E12.

ADC_{NORM}		span - nastavené zesílení převodníku (pro $V_{ref}=2.5$) [mV]								
		20	40	60	80	160	320	640	1,28	2,56
Ohm]	1	136,25	68,125	45,417	34,063	17,031	8,5156	4,2578	2,1289	1,0645
	1,2	113,54	56,771	37,847	28,385	14,193	7,0964	3,5482	1,7741	0,887
	1,5	90,833	45,417	30,278	22,708	11,354	5,6771	2,8385	1,4193	0,7096
	1,8	75,694	37,847	25,231	18,924	9,4618	4,7309	2,3655	1,1827	0,5914
dpor	2,2	61,932	30,966	20,644	15,483	7,7415	3,8707	1,9354	0,9677	0,4838
	2,7	50,463	25,231	16,821	12,616	6,3079	3,1539	1,577	0,7885	0,3942
	3,3	41,288	20,644	13,763	10,322	5,161	2,5805	1,2902	0,6451	0,3226
	3,9	34,936	17,468	11,645	8,734	4,367	2,1835	1,0917	0,5459	0,2729
Unifikovaná	4,7	28,989	14,495	9,6631	7,2473	3,6237	1,8118	0,9059	0,453	0,2265
	5,6	24,33	12,165	8,1101	6,0826	3,0413	1,5206	0,7603	0,3802	0,1901
	6,8	20,037	10,018	6,6789	5,0092	2,5046	1,2523	0,6261	0,3131	0,1565
	8,2	16,616	8,3079	5,5386	4,154	2,077	1,0385	0,5192	0,2596	0,1298

Tab. 6 Výsledné hodnoty normalizovaných výstupů ADC_{NORM}

Normovaná hodnota výstupu AD převodníku ADC_{NORM} musí být v rozsahu 0..1.
Pro plné pokrytí specifikovaného rozsahu měření volím při nastaveném rozsahu $span = 1,28V$ odpor $R_{REF} = 5.6 k\Omega$. Hodnota odporu naměřená multimetrem je $5.58 k\Omega$.

Volba měřících rozsahů jednotlivých veličin

Abych tuto simulační sestavu mohl vybavit programem a připravil ji na praktické použití, potřebuji zvolit konkrétní rozsahy měřících snímačů, které jsem podle zásad vyhodnocování tepelné pohody zvolil následovně :

Při měření teploty vnitřního vzduchu se požaduje :

- rozsah 0 až $30^{\circ}C$,

Při měření radiční (sálavé) teploty se požaduje :

- rozsah 10 až $50^{\circ}C$,

Při měření parciálního tlaku vodní páry vnitřního vzduchu se požaduje :

- rozsah 500 až 2500 Pa, což z menší nepřesností odpovídá rozsahu 20 až 100 % relativní vlhkosti

Pro zjištění rychlosti proudění se požaduje :

- rozsah 0,01 až 10 m/s

Pro pozdější praktické využití bude nutné měřící rozsahy nadefinované v programu upravit podle konkrétních použitých snímačů výše uvedených fyzikálních veličin.

3.2 Systém regulace a řízení parametrů tepelné pohody

3.2.1 Matematicko-fyzikální model prostředí z hlediska tepelné pohody

Abych měl jasný přehled o tom co a jak program bude řídit, znázorním zde blokové schéma systému řízení parametrů tepelné pohody.

Vliv fyzikálních parametrů prostředí na tepelnou pohodu člověka budu vyhodnocovat v citlivostní analýze, pro kterou byl vypracován program v Excelu pro výpočty všech parametrů týkajících se problematiky tepelné pohody (viz. příloha č.).

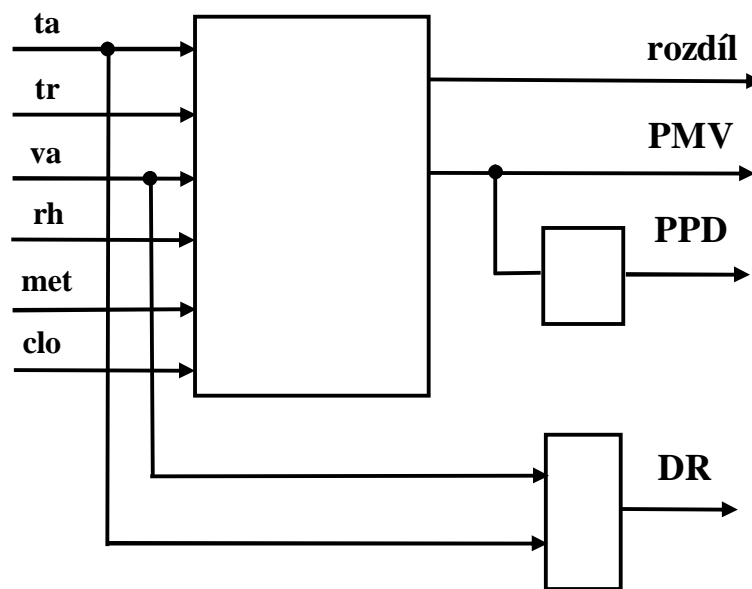
Vliv teploty okolního vzduchu prostředí – t_a a teploty okolních stěn jako střední radiační teplota - t_r budu analyzovat pro :

- konkrétní fyzickou aktivitu ($MW=2$ met),
- oblečení člověka ($I_c = 1$ clo),
- rychlost proudění ($v_a = 0,1$ m/s),
- a vlhkost vzduchu ($rh = 40\%$ rel.vlhkosti).

Tedy program bude pracovat s těmito vstupními daty pro ověření v simulačním režimu.

Pro vyhodnocení podmínek pobytu člověka pro regulaci a řízení moderní techniky prostředí bylo nutné zpracovat matematicky fyzikální parametry prostředí a další údaje na výsledek energetické bilance tepelných toků z těla člověka tj. na ukazatele tepelné pohody.

Blokové schéma vyhodnocování je na obr.10.



Obr. 10 Blokové schéma vyhodnocování ukazatelů tepelné pohody

Fyzikální parametry prostředí :

teplota vzduchu - t_a ,

střední radiační teplota - t_r ,

vlhkost vzduchu - r_h ,

rychlost proudění vzduchu - v_a

naměřené odpovídajícími technickými prostředky vytváří jednu skupinu vstupů tohoto zařízení.

- Hodnota metabolického tepla : **met** - produkovaného v organismu člověka je konstantou stanovenou podle pracovní aktivity.
- Další vstupní hodnotou je údaj tepelného odporu oděvu člověka : **clo**.

Výstupem vyhodnocení bude :

- hodnota rozdílu tepelné bilance toku mezi člověkem a okolím „ **rozdíl** “
- ukazatele tepelné pohody podle ČSN ISO 7730, tj. **PMV**, **PPD** a **DR**. [11]

3.2.2 Vztahy pro vyhodnocení ukazatelů tepelné pohody

Jednotlivé ukazatele tepelné pohody budu vyhodnocovat podle následujících vztahů :

Pomocné výsledky :

- Absolutní teplota vzduchu : $T_a = t_a + 273$ (K)
- Střední radiační teplota : $t_r = tr1 + tr2 + tr3 + tr4 + tr5$ (°C)
- Absolutní teplota radiační : $T_r = t_r + 273$ (K)
- energie externí práce : $w_{me} = 0$ (met)
- Tepelný odpor oděvu : $icl = 0,155 * clo$ (m²K/W)
- Tepelný výkon metabolismu : $T_{met} = met * 58,15$ (W/m²)
- Externí práce : $W = w_{me} * 58,15$ (W/m²)
- Teplota povrchu oděvu : $TCL = 20,17$ (°C)
- Součinitel přestupu tepla konvekcí : $HC = \text{když}(HCF1 > HCN2; HCF1; HCN2)$ (W/m²/K)
- rozdíl $X_n - X_f$: $X_n - X_f = X_{n1} - X_{f1}$
- Tepelný tok přes kůži : $U1 = 3,05 * 0,001 * (5733 - 6,99 * MW - pa)$ (W)
- Tepelné ztráty pocením : $U2 = \text{když}(MW > 58,15 ; 0,42 * (MW - 58,15) ; 0)$ (W)
- Tepelné ztráty latentní respirací : $U3 = 1,7 * 0,00001 * T_{met} * (5867 - pa)$ (W)
- Tepelné ztráty suchou respirací : $U4 = 0,0014 * T_{met} * (34 - t_a)$ (W)
- Tepelné ztráty radiací : $U5 = 3,96 * FCL * ((X_{n1})^4 - (T_r / 100)^4)$ (W)
- Tepelné ztráty konvekcí : $U6 = FCL * HC * (TCL - t_a)$ (W)
- Parciální tlak reálný : $pa = rh * 10 * f_{nps}$ (Pa)
- Parciální tlak nasycení : $f_{nps} = \exp(16,6536 - 4030,183 / (t_a + 235))$ (kPa)
- Produkce tepla v těle : $MW = T_{met} - W$ (W/m²)
- Poměr povrchu oblečení k celkové ploše těla : $FCL = \text{když} (icl < 0,078 ; 1 + 1,29 * icl ; 1,05 + 0,645 - icl)$
- Součinitel přestupu tepla nucenou konvekcí : $HCF = 12,1 * (v_a)^{1/2}$ (W/m²/K)
- Povrchová teplota oděvu úvodní : $TCLA = T_a + (35,5 - t_a) / (3,5 * (6,45 * icl + 0,1))$
- pomocná veličina P1 : $P1 = icl * FCL$
- pomocná veličina P2 : $P2 = P1 * 3,96$
- pomocná veličina P3 : $P3 = P1 * 100$

- pomocná veličina P4 : $P4 = P1 * T_a$
- pomocná veličina P5 : $P5 = 308,7 - 0,028 * MW + P2 * (T_r / 100)^4$
- koeficient přestupu pro přirozenou konvekci : $Xf_2 = Xn_2$; $Xf_1 = 2,931583888$
- koeficient : $Xn_2 = TCLA / 100$
 $Xn_1 = (P5 + P4 * HC_1 - P2 * (Xf_1)^4) / (100 + P3 * HC_1)$
- Součinitel přestupu tepla : $HCN_2 = 2,38 * ABS(100 * Xf_2 - T_a)^{0,25}$;
 $HCN_1 = 4,227895327$

Ukazatele tepelné pohody :

Jsou vyhodnocovány podle následujících vztahů

Střední tepelný pocit PMV :

$$PMV = [0.303 * \exp(-0.036 * T_{met}) + 0.028] * \text{rozdíl} \quad (-)$$

kde :

- tepelný výkon metabolismu T_{met} (W/m²)
- rozdíl = $MW - (U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6)$
 - MW ... produkce tepla v těle (W/m²)
 - U1 ... tepelný tok přes kůži (W)
 - U2 ... tepelné ztráty pocením (W)
 - U3 ... tepelné ztráty latentní respirací (W)
 - U4 ... tepelné ztráty suchou respirací (W)
 - U5 ... tepelné ztráty radiací (W)
 - U6 ... tepelné ztráty konvekci (W)

Procentuální podíl nespokojených PPD :

$$PPD = 100 - 95 * \exp[-(0.03353 * PMV^4 + 0.2179 * PMV^2)] \quad (\%)$$

Stupeň obtěžování průvanem (DR) :

$$DR = (34 - t_a) * (v_a - 0.05)^{0.62} * (0.37 * v_a * Tu + 3.14) \quad (\%)$$

kde : t_a ... teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)

v_a ... rychlost proudění vzduchu (m/s)

T_u ... místní intenzita turbulence (%) (pro běžné podmínky dosazuje se 1)

Výstupní hodnoty vyhodnocované pomocí sestavy ADUC budou sloužit jako :

- ukazatele tepelné pohody pro další zpracování v systému regulace fyzikálních veličin tvořících tepelnou pohodu/nepohodu,
- výstup informací pro hodnocení tepelné pohody člověka v prostředí.

3.3 Návrh struktury uživatelského programu

V předchozí kapitole mám definovány :

- potřebné poznatky k sestavení simulačního přípravku
- všechny potřebné vztahy pro vyhodnocování parametrů tepelné pohody

V této chvíli tedy můžu provést návrh struktur uživatelských programů podle následujících vývojových algoritmů.

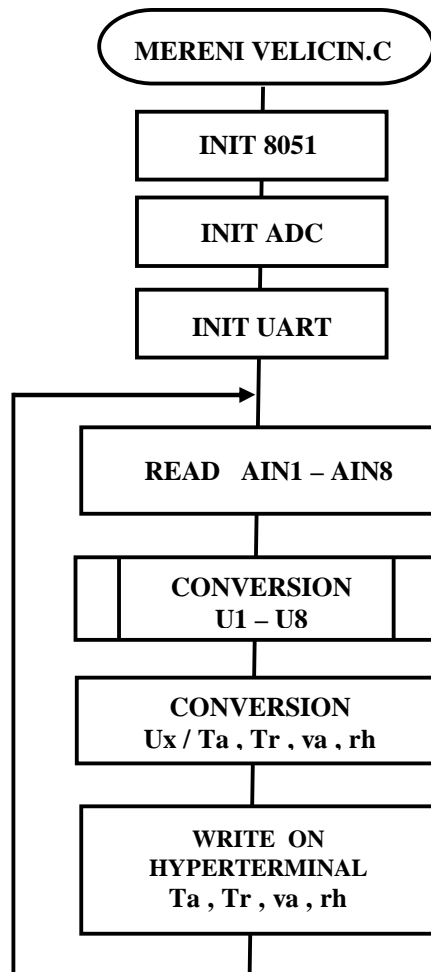
Celý projekt pro vyhodnocování parametrů *tepelné pohody* rozdělím na dva samostatné programy. Je tak uděláno proto, že celý kompletní programový projekt přesahuje kapacitu objemu dat programu, která je limitována v použitém softwarovém balíku.

3.3.1 Simulační programová sestava : Měření fyzikálních veličin

Měření simulovaných fyzikálních veličin jsem realizoval podle následujících bodů a obr.11 :

- Program sejme napětově simulované hodnoty veličin vytvořené pomocí trimrů z analogových vstupů
- tyto napětově úrovně lineárně převede na patřičné hodnoty jednotlivých veličin pro rozsahy jednotlivých veličin dle zásad vyhodnocování tepelné pohody

- a výsledné hodnoty T_a -teplota vzduchu, T_{rs} – střední teplota radiační, v_a – rychlost proudění a rh – relativní vlhkost zobrazí jako výstup na hyperterminálu Windows.

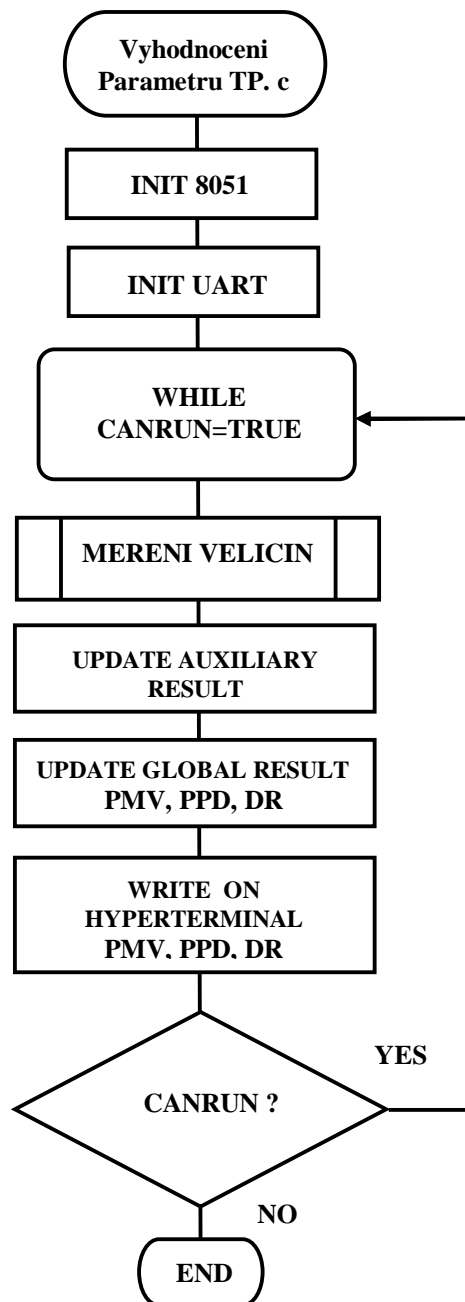


Obr.11 Vývojový diagram průběhu programu měření veličin

3.3.2 Simulační programová sestava : Vyhodnocování parametrů T.P.

Vyhodnocování parametrů tepelné pohody dle obr. bude navazovat na předchozí sestavu :

- Program na základě měnících se fyzikálních veličin, které zpracuje předchozí sestava vyhodnotí všechny pomocné vztahy a mezivýsledky potřebné pro konečné vztahy
- ze zmíněných pomocných vztahů program vypočítá parametry tepelné pohody
- a výsledné hodnoty PMV, PPD a DR zobrazí jako výstup na hyperterminálu Windows.



Obr. 12 Vývojový diagram průběhu programu vyhodnocování parametrů tepelné pohody

4 REALIZACE UŽIVATELSKÉHO PROGRAMU V C JAZYCE

Jelikož vývojové prostředí neumožňuje vytvoření výsledného binárního kódu většího než 2KB, rozdělil jsem aplikaci na dvě části.

První část aplikace řeší měření fyzikálních veličin prostřednictvím vývojového kitu ADUC.

Druhá část je samotné vyčíslování parametrů tepelné pohody.

Programová realizace sestává potom z vytvoření funkčních programů aplikace v jazyku C pomocí vývojového prostředí Aspire dodávaného s vývojovou sadou QuickStart+.

Jde především o správné čtení/zápis dat SFR registrů. Výsledky získané AD převodem jsou zpracovány a výsledná data budou odesílána na obrazovku PC.

Stěžejní prací při programování mikrokontrolérů tedy je správné nastavení SFR - speciálních funkčních registrů.

4.1 Tvorba programu pro měření fyzikálních veličin

4.1.1 Nastavení speciálních funkčních registrů

Nastavení AD převodníku

Pro zpracování signálu lze využít obou převodníků . Zde použiji pouze primární převodník.

ADCMODE - Užívaný pro ovládání provozních režimů obou ADC.

Nastavením registru : 33h – je nastaven průběžný převod obou AD převodníků v režimu " chop on " . S CHOP bit = 0, chopping schéma je aktivováno. Toto je standardní nastavení a dává optimální technické parametry v rámci vyrovnávání chyb offsetu a driftu převodníku (odchylek technických parametrů).

Mé nastavení registru ADCMODE bude : 22h – kde nastavím jednorázový převod primárního ADC s funkcí „ CHOP Enabled „ .

ADC0CON1 - je užíváný pro konfiguraci primárního ADC, nastavení rozsahu vstupů ADC
Nastavením registru : 26h - se nastaví rozsah vstupu na 1,28V (span).

ADC0CON2 - je užíváný pro vyvolený referenční zdroj a kanál pro primární ADC. Aktivuje vstup referenčního napětí .

Nastavením registru : 00h	aktivuji vstup : AIN1 – AINCOM
01h	AIN2 – AINCOM
02h	AIN3 – AINCOM
03h	AIN4 – AINCOM
04h	AIN5 – AINCOM
05h	AIN6 – AINCOM
06h	AIN7 – AINCOM
07h	AIN8 – AINCOM

(proměnná) nastavení postupného vyčítání z více vstupů.

ADC1CON - je užíváný pro konfiguraci pomocného ADC pro volbu kanálu, a jednopólového nebo dvoupólového zapojení. Pomocný ADC je k dispozici jen na ADuC845 .

SF registr - je užíváný pro konfiguraci rychlosti AD převodu, a proto, má přímý vliv na ADC průchodnost.

Nastavením registru : 45h - docílím rychlosti převodu 19,79Hz

ADC0L, ADC0M, ADC0H - nastavení správného čtení těchto tří SFR registrů, ve kterých je uložen výsledek AD převodu primárního ADC. Normalizovaná hodnota (v rozsahu 0 až 1) se získá spojením těchto tří bytů, jak ukazuje obrázek č.13, a dělením hodnotou rozlišení převodníku (2^{24}):

$$ADCNORM = (ADC0H*0x10000 + ADC0M*0x100 + ADC0L)/16777216.0$$



Obr.13 Datové funkční registry AD převodníku (primární ADC)

Tento normalizovaný výstup AD převodníku je poměr vstupního napětí V_{IN} a hodnoty rozsahu měřeného napětí $span$:

$$ADC_{NORM} = U_{IN} / span$$

Nastavení komunikace – konfigurace UART


Program komunikuje tím způsobem, že naměřená data jsou vysílána na COM port PC. Zobrazení je pak umožněné pomocí Hyperterminálu systému Windows. K tomu je třeba konfigurovat komunikační obvod UART. K tomu použijí časovač 3 na rychlosti 9600 baudů v módu 1. K tomu slouží SFR registry T3CON, T3FD, a SCON. [8]

Tento způsob přenosu nastavím takto :

T3CON	0x85 h
T3FD	0x12 h
SCON	0x52 h

4.1.2 Popis funkčnosti programu

Program (viz. příloha P IV) využívá 10-kanálového AD převodníku ke snímání signálů z analogových vstupů. Pomocí matematického převodu získává konkrétní napěťové signály, jako hodnoty měřených fyzikálních veličin na výstupu AD převodníku. Jelikož je program vytvořen pro simulaci, jsou hodnoty veličin vypočteny lineárním převodem mezi rozsahem vstupu AD převodníku a rozsahem měřené fyzikální veličiny podle teorie měření tepelné pohody. Takto naměřené hodnoty teploty ovzduší, teploty radiační, rychlosti proudění a vlhkosti vzduchu program zobrazuje na hyperteminálu systému Windows viz. následující obr.14. Výstupní hodnoty teplot jsou převedeny na teploty absolutní v jednotkách (K). Teplota radiační je počítána jako výsledná střední hodnota složená ze vstupů AIN2 – AIN6. Změna napětí na kterémkoliv z těchto vstupů se úměrně projevuje na výsledné střední hodnotě. Hodnoty reagují na změny nastavení potenciometrů s přesností na dvě desetinná místa v rozsazích, které byly programově nadefinovány.



```
mereni - Hyperterminál
Soubor Úpravy Zobrazit Zavolat Přenos Nápověda
*****
PROGRAM PRO ADUC845 - mereni velicin pro TEPELNOU POHODU
*****
BEGIN:
Ta[K] = 303.15
Trs[K] = 283.15
Va[m/s] = 10.00
rh[] = 100.00
END:
*****
PROGRAM PRO ADUC845 - mereni velicin pro TEPELNOU POHODU
*****
Odpojeno Autodetekce 9600 8-N-1 SCRL ABC 123 Zachytávání Odezva tisku
```

Obr.14 Obrazový výstup programu pro měření veličin

4.2 Tvorba programu pro vyhodnocování parametrů tepelné pohody

4.2.1 Nastavení speciálních funkčních registrů

Nastavení speciálních funkčních registrů bude pro potřebné periferie, které využije tento program, shodné jako v kapitole 4.1.1.

4.2.2 Způsoby vytvoření programu

Jelikož omezená kapacita binárního kódu nedovoluje vytvořit aplikaci pomocí jediného kódu, navrhnul jsem dva způsoby řešení :

První způsob : Vyhodnocování parametrů tepelné pohody vytvořené pro prostředí vývojového kitu ADUC bude připraveno pro verzi softwarového balíku QuickStart, který umožní tvorbu rozsáhlejších projektů podle.

Druhý způsob : Aplikace vyhodnocování parametrů bude vytvořena v console aplikaci na WIN32 (WIN98..WINXP). Aplikace otevře stanovený sériový port, načte data, měřená vývojovým kitem v daném formátu, které převede na hodnoty veličin. Pomocí těchto veličin a sekvence vztahů, potřebných pro výpočty, vyhodnotí aplikace výsledné parametry tepelné pohody. Tyto potom vypíše na consoli.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo vytvoření embedded aplikace pomocí mikrokontroléru ADUC845 pro simulační fyzikálních veličin a na základě těchto hodnot vyhodnocovat parametry tepelné pohody.

Práce jsem začal prostudováním problematiky tepelné pohody, která obsahuje studii patřičných snímačů pro měření teplotně – vlhkostního mikroklimatu prostředí, kde se jedná o snímání teploty okolního vzduchu, radiační teploty, rychlosti proudění vzduchu a vlhkosti. Především problematika vyhodnocení radiační teploty se neustále vyvíjí. Problematika tepelné pohody je především poměrně složitá sekvence matematicko-fyzikálních vztahů, které vyúsťují v trojici parametrů tepelné pohody : PMV – střední tepelný pocit, PPD – procento nespokojených uživatelů s tepelným pocitem a DR – jako stupeň obtěžování průvanem.

Pro vytvoření takovéto embedded aplikace jsem se snažil prostudovat všechny oblasti, které jsou zapotřebí pro vytvoření aplikace, jako použitý mikrokontrolér, vývojové prostředí a programovací jazyk, vhodně navrhnout hardwarovou podporu pro příslušnou aplikaci .

Dále bylo zapotřebí správně signálově přizpůsobit hardwarový simulační přípravek. Tzn. matematicky propočítat velikosti signálů a hodnot součástek přípravku, které mají zaručit správnost měření a nezpůsobit poškození vývojového kitu. To vychází mimo jiné také ze znalosti architektury mikrokontroléru. Kde je potřeba dle dané konkrétní situace správně nastavit SFR registry pro využívané periferie mikrokontroléru jako v mém případě byly AD převodník, podpora komunikace UART a jiné .

Protože velikost binárního kódu nedovolila vytvořit celou simulaci v jednom programovém projektu, byl jsem nucen rozdělit práci na dvě sestavy. První realizovaná sestava pro měření hodnot veličin pracuje dle očekávání a výstupní hodnoty veličin jsou v programem nastaveném intervalu vypisovány na obrazovce hyperterminálu .

Druhá sestava pro vyhodnocování parametrů tepelné pohody se mi nezdařila optimalizovat tak, abych objemem programového kódu nepřesáhl dovolený limit použitého softwarového balíku QuickStartTM , který je 2kB. Navrhl jsem dva způsoby řešení, dle kapitoly 4.2.2.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Hruška, F.: Technické prostředky automatizace IV. Snímače, převodníky a regulátory, průmyslová výpočetní technika a ovládací jednotky. UTB ve Zlíně, FT, září 2001, s.107. ISBN 08-7318-026-X.
- [2] Hruška, F.: Technické prostředky automatizace III. Senzory, jejich principy a funkce. UTB ve Zlíně, FT, únor 2002, s.118. ISBN 80-7318-053-7.
- [3] ĎAĎO, S., KREIDL, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha: ČVUT, 1996.
- [4] Malík, R.: Embedded řešení s obvodem ADuC. Diplomová práce, UTB, FT, 2005
- [5] Burkhard, M.: C pro mikrokontroléry. BEN-technická literatura, Praha 2003
- [6] Petráš D a kolektiv.: Vytápění rodinných a bytových domů. JAGA, Bratislava 2005
- [7] Běťák J.: Měření teploty a teplotních veličin. www.automa.cz, číslo 11/2005
- [8] ANALOG DEVICES: ADuC845 Datasheet, Analog Devices, Inc., 2004.
Dostupné z: <<http://www.analog.com/>>.
- [9] JALOVECKÝ, R.: Mikrokonvertor ADuC812, HW Server, 2001. Dostupné z:
<<http://www.hw.cz/>>
- [10] Chocholáč J.: Elektronické počítače-Mikroprocesorová technika, 1993
- [11] Hruška, F.: Systém regulace a řízení. Automatizace, ročník 44, číslo 11, listopad 2001
- [12] Málek, B; Matthauserová, Z.: Metodický návod pro měření mikroklimatických parametrů pracovního prostředí a vnitřního prostředí staveb, 2004

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A _{ADC}	zesílení AD převodníku.
AD	analogově-číslíkový.
ADC	analogově-číslíkový převodník
ADC _{NORM}	normalizovaná hodnota AD převodu v rozsahu 0 až 1
ADuC	analogově-číslíkový mikrořadič (mikrokonvertor)
AIN	analogový vstup
ALU	aritmeticko-logická jednotka
AVDD	napájení analogové části obvodu
BUF	vyrovnávací paměť
CISP	tradiční interpret příkazů
CPU	centrální procesorová jednotka
DA	číslíkově-analogový
DAC	číslíkově-analogový převodník
EEPROM	elektricky mazatelná programovatelná paměť
EPROM	elektricky programovaná paměť
Flash	programovatelná stálá paměť
HLL	Vyšší programovací jazyk (High Level language)
I _{EXC}	budící proud
JSA	jazyk symbolických adres
MCU	mikrokontrolérová jednotka
MUX	multiplexer
PGA	programově nastavitelný zesilovač
PSM	obvod pro hlídání napětí (Power Supply Monitor)
PWM	pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)

RREF	referenční odpor
RAM	paměť s přímým přístupem (Random Access Memory)
RISC	redukovaná sada příkazů
ROM	paměť určená pouze ke čtení (Read-Only Memory)
RTC	hodiny reálného času
SFR	registr speciálních funkcí
span	rozsah vstupního napětí AD převodníku
UART	komunikační obvod
V _{IN}	napětí na vstupu AD převodníku
WD	hlídací pes (watchdog)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Průběh tvorby kódu	17
Obr. 2. Von Neumannova architektura MCU	19
Obr. 3. Harwardská architektura MCU	20
Obr. 4. Blokové schéma mikrokontroléru řady 8051	23
Obr. 5. Vnitřní blokové schéma obvodu ADuC845	25
Obr. 6. Hillův katateploměr	41
Obr. 7. Vernonův teploměr 1, Missénárdův teploměr 2	43
Obr. 8. Aplikace odporového děliče na analogovém vstupu obvodu ADUC	45
Obr. 9. Zapojení analogových vstupů přes konektor J2 k vývojovému kitu	46
Obr.10. Blokové schéma vyhodnocování ukazatelů tepelné pohody.....	51
Obr.11. Vývojový diagram průběhu programu měření veličin.....	55
Obr.12. Vývojový diagram programu vyhodnocování parametrů tepelné pohody.....	56
Obr.13. Datové funkční registry AD převodníku (primární ADC).....	58
Obr.14. Obrazový výstup programu pro měření veličin	60

SEZNAM TABULEK

Tab.1	Způsoby optimalizace softwarového kódu	18
Tab.2	Vnitřní produkce tepla lidmi	30
Tab.3	Vzájemné vztahy nezávislých veličin	32
Tab.4	Tepelný odpor různých druhů oblečení	32
Tab.5	Proměnné pro výpočet PMV a PPD	35
Tab.6	Výsledné hodnoty normalizovaných výstupů ADC_{NORM}	49

SEZNAM PŘÍLOH

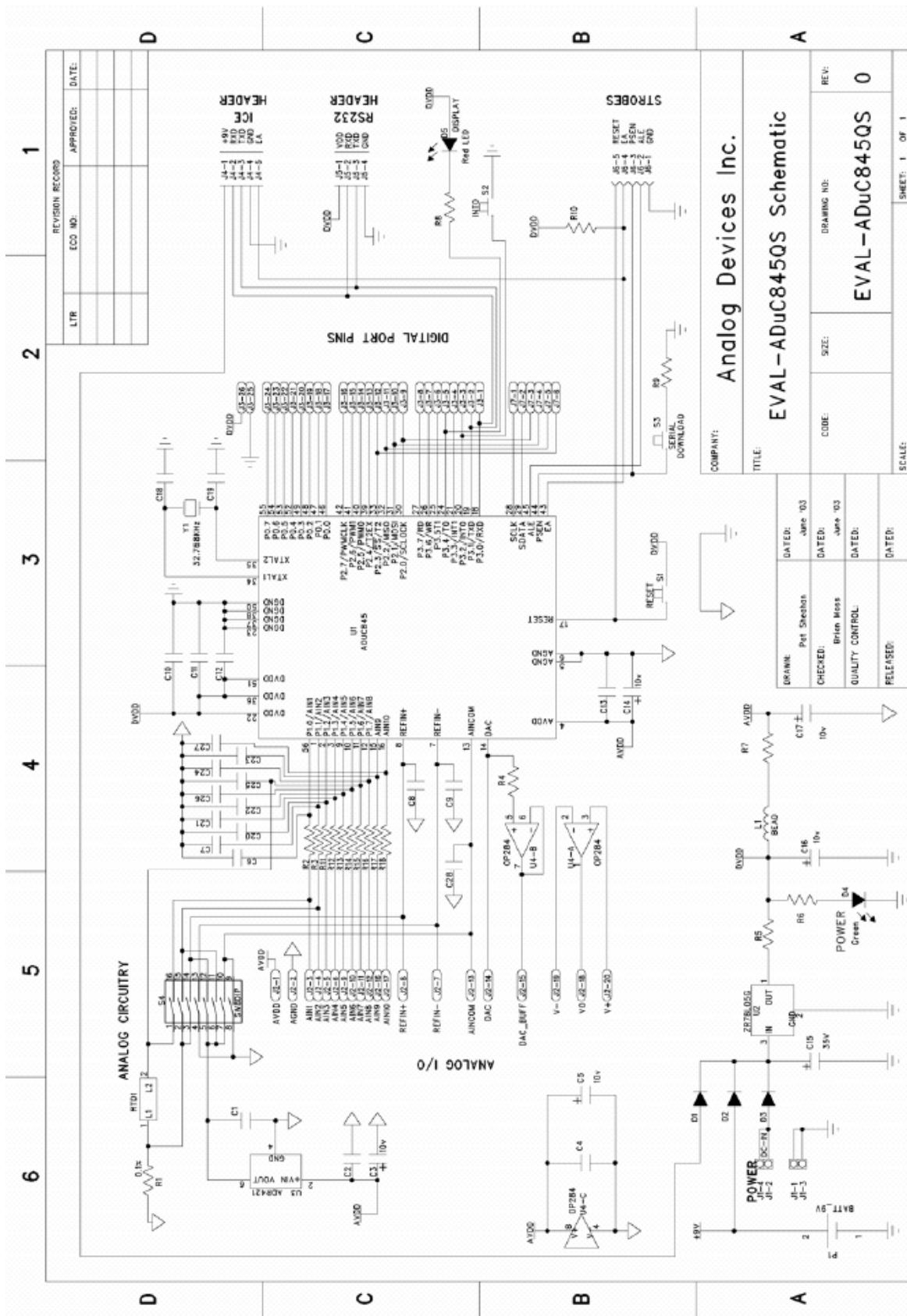
P I : Referenční příručka obvodu ADuC845

P II : Schéma desky vývojového kitu QuickStart

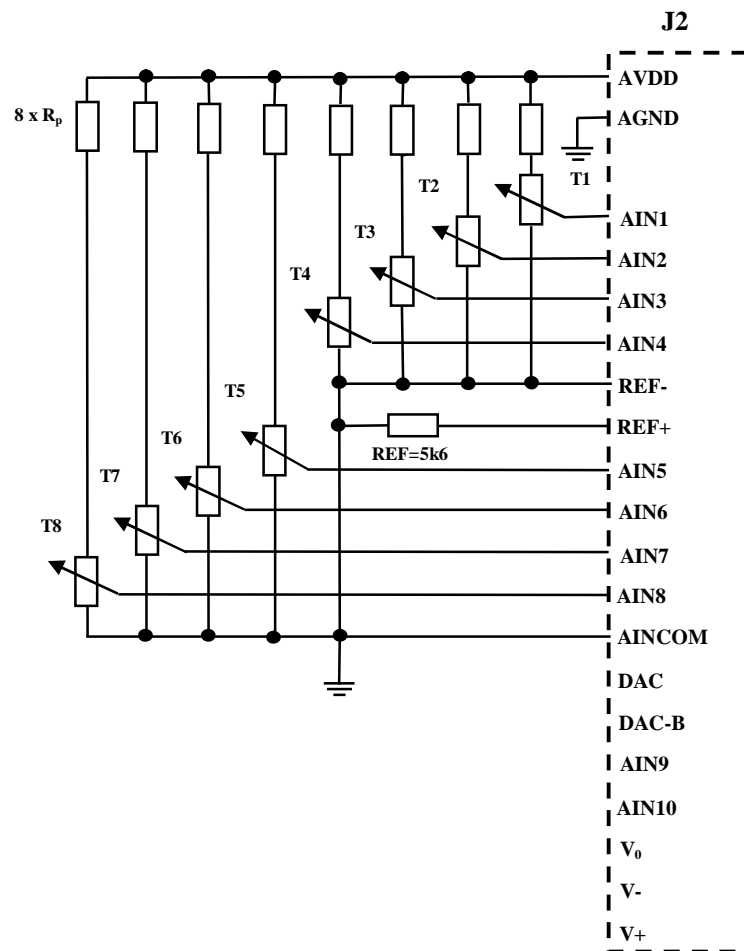
P III : Schéma desky simulačního modulu

P IV : Program - měření fyzikálních veličin

PŘÍLOHA P II: SCHÉMA DESKY VÝVOJOVÉHO KITU QUICKSTART



PŘÍLOHA P III: SCHÉMA DESKY SIMULAČNÍHO MODULU



PŘÍLOHA P IV : PROGRAM - MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN

```
//*****
// Soubor      : merenisignalu.c - Mereni fyzikalnich velicin
// Autor       : Jaroslav Řehák
// Datum      : 18 května 2006
// Compiler    : Keil C51
// Hardware    : Vyvojovy kit s ADUC845, deska simulacniho modulu
// Popis       : Program provadi mereni simulovanych velicin a jejich
//              vypis na terminal
//*****

#include <ADuC845.h>      // SFR registry pro ADuC845
#include <stdio.h>        // standardni I/O funkce
#include <intrins.h>      // definice konstant
#include <math.h>         // matematicka podpora vypoctu

#define span 1.28 // rozsah vstupniho signalu ADC

// nastaveni rozsahu jednotlivych merynych velicin
#define ROZSAH_GATE_1      30.0
#define ROZSAH_GATE_1_OFF  0.0
#define ROZSAH_GATE_26    40.0
#define ROZSAH_GATE_26_OFF 10.0
#define ROZSAH_GATE_7     1000.0
#define ROZSAH_GATE_7_OFF  100.0
#define ROZSAH_GATE_8     80.0
#define ROZSAH_GATE_8_OFF  20.0

// převodní konstanta mezi °C / K
#define CELSIUS_ZERO_KELVIN 273.15

// deklarace funkcí
void Delay(int length);
float CtiADCKanal(int ch);
void BlinkTwice();

// globalni promenne
float VOLTY [8];

float CtiADCKanal(int ch)
{
    float ADC0 = 0.0;
    float Uin = 0.0;
    int gate = 0x00;
    // kdyz je kanal mensi nez nula a vetsi nez 8 tak vystup ven s nulou
    gate = gate + ch; // nastavime konkretni branu
    // nastaveni ADC převodníku
    ADCMODE = 0x22; // rezim prevodu ADC
    ADC0CON1 = 0x26; // 0x26 - unipolar 6: 0..1,28V
    ADC0CON2 = ch; // nastaveni vycitaneho kanalu
    SF = 0x45; // rychlost AD prevodu 19,79 Hz

    while ( !RDY0 )
    {
        // CEKAME NEZ SE NACTE AD
    }

    // nacteni hodnot ze SFR registru
    ADC0 = ((ADC0H*0x10000 + ADC0M*0x100 + ADC0L)/16777216.0)*(float)span;
}
```

PŘÍLOHA P IV : PROGRAM - MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN

```
// prevod hodnoty
Uin = (float)ADC0*(float)span;

// nulovani RDY0 bitu
RDY0=0;

return (float)((ADC0H*0x10000+ADC0M*0x100+ADC0L)/16777216.0)*(float)span;
}

// Indikace pomoci LED (2x blikne)
void BlinkTwice( void )
{
    T0 ^= 1;
    Delay(5000);
    T0 ^= 1;

    Delay(5000);
    T0 ^= 1;
    Delay(5000);
    T0 ^= 1;
}

// Casova prodleva
void Delay(int length)
{
    while (length >=0) { length--; }
}

void main(void)
// hlavni telo programu
{
    int i = 0;
    int x = 0;

    float tmp = 0.0;
    float Ta = 0.0;
    float Va = 0.0;
    float rh = 0.0;
    float Trs = 0.0;
    float tmp1 = 0.0;

    //Konfigurace UART
    T3CON = 0x83;           // nastaveni casovace 3...
    T3FD = 0x12;           // ...9600 Baudu
    SCON = 0x52;           // konfigurace UART s pouzitim casovace 3

    // hlavni telo programu
    while (1)
    {   printf("\r\n");           // název pro výstup na terminál

printf("*****\r\n");
printf(" PROGRAM PRO ADUC845 - mereni velicin pro TEPELNOU POHODU \r\n");
printf("*****\r\n");
printf("\r\n");
```

PŘÍLOHA P IV : PROGRAM - MĚŘENÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN

```
// zablíkej
    BlinkTwice();

// naplním pole voltu
// cyklus vypnut kvůli testum

printf("BEGIN:\n");
printf("\r\n");
for (i = 0; i < 8; i++)
{
    VOLTY[i] = CtiADCKanal(i);
    // printf("%i;%+1.2f;\n", (i+1), VOLTY[i]);
}

// - Absolutní teplota vzduchu :
// Ta= ta+273      ( K )
Ta = (VOLTY[0]/(span/30))+ 273.15 + 0.0; // 0..30
printf("Ta[K] = %1.2f\n", Ta);

// - Střední radiační teplota :
// tr = tr1+tr2+tr3+tr4+tr5 ( oC )
// - Absolutní teplota radiační :
// Trs = tr+273      ( K )

for ( x = 1; x <= 5; x++)
{
    tmp = tmp + (VOLTY[x]/(span/40.0)) + 273.15 + 10.0;
}
Trs = tmp/5.0;
printf("Trs[K] = %1.2f\n", Trs);
tmp = 0.0; // vynulování proměnné

// rychlost proudění vzduchu
Va = (VOLTY[6] / (span / 1000.0)) / 100.0;
printf("Va[m/s] = %1.2f\n", Va);

// relativní vlhkost
rh = (VOLTY[7] / (span / 80.0)) + 20.0;
printf("rh[%] = %1.2f\n", rh);

    printf("\r\n");
printf("END:\n");

    Delay(25000);
}

return;
```

