



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH A REALIZACE VÍCEKANÁLOVÉHO MĚŘENÍ TEPLOTY POMOCÍ MIKROŘADIČE

DESIGN OF MULTICHANNEL TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM WITH MICROCONTROLLER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Sobotka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Tomáš Sobotka
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a realizace vícekanálového měření teploty pomocí mikrořadiče

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je návrh a realizace vícekanálového měření a záznamu teploty pomocí mikrořadiče a digitálních teploměrů. Realizované zařízení bude možné konfigurovat pomocí obslužné aplikace z PC s možností průběžného vyčítání dat.

Cíle bakalářské práce:

1. Provést přehled dostupných digitálních teploměrů.
2. Návrh konstrukce měřicí jednotky.
3. Realizace měřicí jednotky.
4. Návrh obslužné aplikace na PC.

Seznam literatury:

Burkhard, M. (2012): C pro mikrokontroléry, BEN - technická literatura, ISBN 978-80-7300-457-6

Verle, M. (2008): PIC Microcontrollers, mikroElektronika, 1st edition (2008), ISBN-13: 978-86-844-7-15-4

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Návrh měřicí jednotky schopné pracovat s maximálně osmi teplotními senzory na jedné sběrnici při využití jejich adresného sériového čísla a vytvoření aplikace pro komunikaci s jednotkou.

ABSTRACT

Design of measurement unit, which is able to function with the maximum of 8 temperature sensors on one bus using the adress serial number and design the application for communication with measurement unit.

KLÍČOVÁ SLOVA

Digitální teplotní senzory, mikrořadič PIC, 1-Wire vyhledávací algoritmus, obvod reálného času, komunikace s PC přes UART, aplikace v LabVIEW.

KEYWORDS

Digital temperature sensors, PIC microcontroller, 1-Wire search algorithm, real time clock circuit, communication with PC via UART, LabVIEW application.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOBOTKA,T. *Návrh a realizace vícekanálového měření teploty pomocí mikrořadiče*, Brno. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2016, 49 s. 2 přílohy, Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Andrš, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování za tuto práci patří Ing. Ondřeji Andršovi Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky při tvorbě práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, kterou jsem zpracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Andrše Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2016

.....
Sobotka Tomáš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MĚŘENÍ TEPLoty	17
2.1	Současné měřicí systémy a jednotky	17
2.2	Vlivy teploty	17
2.3	Principy elektrického měření teploty	17
2.3.1	Odporové kovové senzory	17
2.3.2	Odporové polovodičové senzory	18
2.3.3	Odporové polovodičové senzory - monokrystalické senzory	18
2.3.4	Monokrystalické PN senzory	18
2.3.5	Termoelektrické senzory	18
2.3.6	Krystalové senzory	18
2.4	Výstupní signál	18
2.4.1	Analogové zpracování signálu	19
2.4.2	Digitální zpracování signálu	19
3	POŽADAVKY NA NAVRHOVANOU JEDNOTKU	21
3.1	Obecné požadavky	21
3.2	Doplňující požadavky	21
4	PŘEHLED DOSTUPNÝCH DIGITÁLNÍCH TEPLotNÍCH SENZORŮ	23
4.1	DS18B20	23
4.2	TMP102AIDRLT	23
4.3	MCP9843	24
4.4	Si7055-A20-IM	24
4.5	ADT7476A	25
5	NÁVRH MĚŘICÍ JEDNOTKY	27
5.1	Hardwarové vybavení	27
5.2	Blokový diagram	27
5.3	Schéma zapojení	28
6	REALIZACE MĚŘICÍ JEDNOTKY	31
6.1	Softwarové vybavení	31
6.2	Inicializace	31
6.3	Vyhledávací algoritmus	31
6.4	Komunikace s PC přes UART	32
6.5	Měřicí cyklus	32
6.6	Návrh desky plošného spoje	32
6.7	Výroba měřicí jednotky	33
7	OBSLUŽNÁ APLIKACE	35
7.1	Návrh obslužné aplikace	35
7.2	Realizace obslužné aplikace	35
8	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	37
9	ZÁVĚR	39
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41

11 SEZNAM OBRÁZKŮ	43
12 SEZNAM PŘÍLOH.....	45

1 ÚVOD

Měření teploty je jedno z nejčastějších měření vůbec. V každodenním životě lze za nejčastěji měřenou veličinu považovat čas a hned po něm následuje teplota prostředí, ve kterém se nacházíme nebo nacházet budeme. To vychází z faktu, že nevhodné teplotní podmínky mohou člověka přímo ohrozit na zdraví či dokonce životě. Tak jako na nás i na všechna průmyslová odvětví teplota působí nezanedbatelnými vlivy, na některá dokonce tak velkými, že na ní přímo závisí úspěch, či neúspěch procesu. Z těchto a mnohých dalších důvodů je nutné teplotu měřit, analyzovat a také regulovat.

Práce s teplotou jako fyzikální veličinou se vyvinula v samostatnou vědní disciplínu, zvanou termometrie. Byla zavedena spousta stupnic, z nichž některé se již nepoužívají, a mnoho způsobů, principů a pravidel pro měření teploty. Přístroje pro měření teploty se nazývají teploměry. Využívají účinků teploty na tělesa a látky, které jinak považujeme za nežádoucí, aby mohly s určitou přesností určit (přirovnáním ke konkrétní stupnici) teplotní stav.

V technické praxi je měření teploty velmi důležité, zvláště kvůli jejím převážně nežádoucím účinkům. Souběžně s vývojem techniky bylo nutné objektivněji a přesněji měřit teplotu. Tato měření však nejsou vždy jednoduchá, neboť teplota se může v závislosti na podmínkách měnit různě v různých prostředích a látkách.

S vývojem výpočetní techniky, automatizace a numerického řízení vyvstala i nutnost měřit teplotu digitálně pro lepší analýzu, včetně možnosti jejího zohlednění v programovém vybavení. V některých systémech je však pouze jeden údaj o teplotě nedostačující, a proto, abychom se dostali k objektivnějším výsledkům, je nutné měřit teplotu na více místech či úsecích současně. Navíc je často žádoucí tyto informace nějakým způsobem zaznamenávat, (popř. archivovat) a to často i s časovou stopou měření pro jejich pozdější využití či analýzu, vedoucí ke zlepšování procesů a lepšímu pochopení účinků teploty při konkrétní operaci.

Tato práce se bude zabývat konstrukcí měřicí jednotky schopné měřit teplotu na více kanálech, a proto s ní bude možné měřit teplotu i při dynamických dějích. Jednotka bude schopna komunikovat s PC a odesílat data o teplotách v konkrétních časech. Dále bude možné teplotu sledovat na LCD displeji v reálném čase [1][3].

2 MĚŘENÍ TEPLoty

2.1 Současné měřicí systémy a jednotky

Teplota je jednou ze sedmi základních veličin soustavy SI. Jednotkou teploty je Kelvin [K]. Tuto jednotku používají především fyzikové (pod názvem termodynamická teplota). Kelvin je definován tak, aby nemohl nabývat záporných hodnot, proto 0 K je teplota absolutní nuly (teplota při které ustává pohyb elementárních částic látky). Pro praktické účely je taková stupnice nepříliš vhodná, proto se užívají jednotky, jejichž nulové hodnoty jsou bližší přirozenému prostředí. Především je to stupeň Celsia [°C]. Velikost °C je stejná jako K, avšak nulová hodnota (0 °C) je stanovena jako bod tání ledu při atmosférickém tlaku (273,15 K).

V angloamerických zemích jsou používány tyto stupnice: Fahrenheitova, která má odlišnou velikost stupně ($1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$) a jejíž nulová hodnota nastává při $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ (255.37 K) a Rankinova [°R] nebo [°Ra], u které se velikost stupně rovná stupni Fahrenheitovu, ovšem nulová hodnota nastává při absolutní nule ($0\text{ }^{\circ}\text{Ra} = 0\text{ K} = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Z dalších stupnic lze jmenovat např. Newtonovu, Réamurovu nebo Delisleovu, ty se však v současnosti již nepoužívají [1][2].

2.2 Vlivy teploty

Teplota má nezanedbatelný vliv na vlastnosti látek a těles. Především je to délková a objemová roztažnost, změna elektrického odporu ve vodičích, změny viskozity tekutiny, změny mechanických vlastností materiálů a další. Tyto vlastnosti mají v technické praxi významnou roli, proto je nutné s teplotou nejen počítat v návrzích konstrukcí, ale také jí měřit a analyzovat, často v reálném čase. Projevy změny teploty jsme někdy schopni korekci odstranit, avšak většinou mají silně nežádoucí účinek [2].

2.3 Principy elektrického měření teploty

Tak jako má teplota vliv např. na objem, je možno při změnách teploty pozorovat změny chování různých veličin, které je možné měřit elektricky, nebo je elektronicky zaznamenat. Sledování změn těchto veličin v závislosti na teplotě je podstatou elektronického snímání teploty. Podle toho kterou veličinu tyto teploměry sledují, dají se principiálně rozdělit. Každý princip snímání teploty má své výhody a nevýhody, proto je nutné pro konkrétní aplikaci volit nejvhodnější senzor [5][2].

2.3.1 Odporové kovové senzory

Odporové kovové senzory teploty využívají principu změn elektrických vlastností kovu, kterým protéká elektrický proud. V kovech jsou valenční elektrony k jádrům atomů velice slabě vázány a tím zajišťují tzv. elektronový plyn. Při ohřevu kovu se jednotlivé atomy v krystalické mřížce rozkmitávají a tím více brání průchodu elektronů, tzn. zvyšuje se elektrický odpor kovu. Pro výrobu těchto typů senzoru se nejčastěji používá platina. Jejímí přednostmi je chemická netečnost, časová stálost, vysoká teplota tání (možnost použití i za vysokých teplot) a možnost dosažení vysoké čistoty. Dále připadají v úvahu i kovy jako nikl, měď, molybden a některé slitiny [3][4].

2.3.2 Odporové polovodičové senzory

Odporové polovodičové senzory jsou známé také pod názvem termistory. Termistory se dělí do dvou základních skupin: NTC a PTC.

U NTC (Negative Temperature Coefficient) termistorů se se vzrůstající teplotou snižuje elektrický odpor. Je možné je vyrobit jak pro běžné teploty, tak pro velmi nízké teploty (cca od 4 K) i pro vysoké (do 1000 °C). Jejich zásadní nevýhodou je však silná nelinearita.

PTC (Positive Temperature Coefficient) termistory jsou naopak konstruovány tak, že při zvyšující se teplotě se zvyšuje elektrický odpor. PTC mívají menší rozsah teplot, avšak jejich výhodou je větší citlivost. Své uplatnění tyto senzory našly především mezi prvky ochrany proti přehřátí [4][2].

2.3.3 Odporové polovodičové senzory - monokrystalické senzory

Pro výrobu těchto senzorů je možno použít křemík, germanium nebo galium. Vyrábí se však výhradně z křemíku. Tyto senzory pracují na principu nevlastního polovodiče typu N (s elektronovou vodivostí). S rostoucí teplotou se nosiče náboje více rozptylují po mřížce a klesá tím jejich vodivost (zvyšuje se elektrický odpor), podobně jako u PTC termistorů nebo kovových odporových snímačů. Nelinearita je u nich značná, avšak dá se vhodnými metodami korigovat [4].

2.3.4 Monokrystalické PN senzory

Využívají jinak nežádoucích vlivů závislosti napětí přechodu PN v propustném směru na teplotě. Dají se jednoduše zakomponovat do integrovaných senzorů společně s elektronickým obvodem, čímž se zajistí lineární závislost elektrického proudu na teplotě [5].

2.3.5 Termoelektrické senzory

Princip termoelektrických senzorů je odvozen od Seebeckova jevu. Seebeckův jev spočívá v přeměně tepelné energie na elektrickou. Ten probíhá při spojení dvou vodičů nebo polovodičů z různých materiálů. Termoelektrické senzory jsou tedy senzory aktivní, tzn. samy produkují elektrickou energii. Disponují širokým pracovním rozsahem teplot, jednoduchostí a odolností. Z těchto důvodů jsou hojně používány. Zvláště vhodné jsou pro měření rychlých změn teploty díky své nízké hmotnosti a teplotní setrvačnosti. Při uvážení velkých rozsahů měřených teplot se vyznačují téměř lineárními charakteristikami, avšak výstupní napětí jsou velmi malá [5][6][7].

2.3.6 Krystalové senzory

Krystalové senzory využívají závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu na teplotě. Jejich předností je velice vysoká přesnost, dokáží snadno pracovat s rozlišovací schopností 10^{-4} K [6].

2.4 Výstupní signál

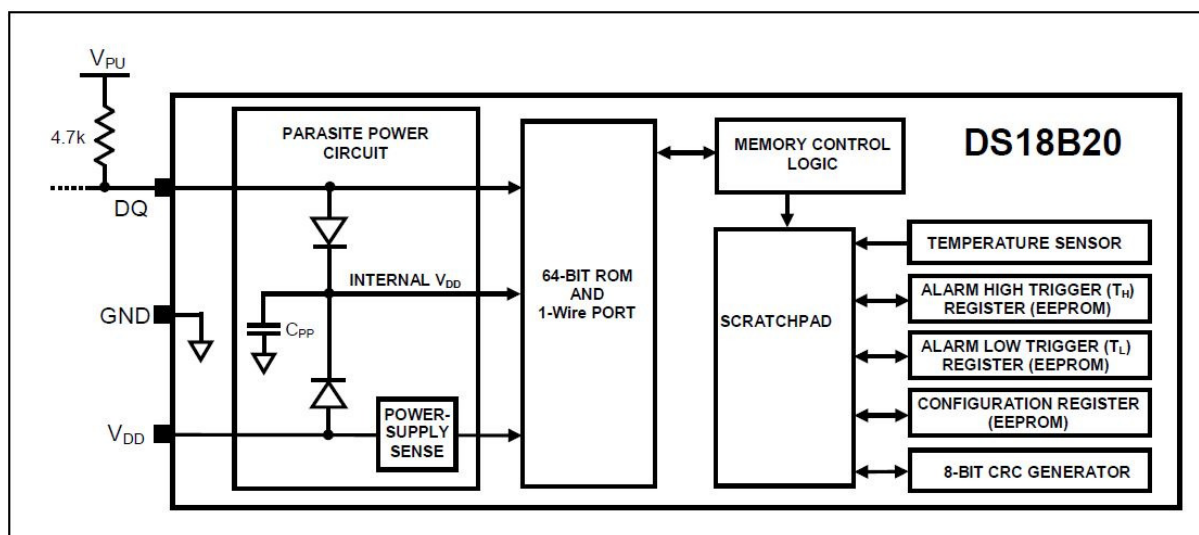
V závislosti na využití elektrického zpracování signálu je nutné uvažovat o volbě teploměrů nejen z hlediska jejich parametrů, ale také zohlednit, jaké signály jsme schopni zpracovat. Proto lze výstupy z teploměrů rozdělit do dvou základních kategorií: analogové a digitální.

2.4.1 Analogové zpracování signálu

V případě analogového výstupu z teploměru nám teploměr na první pohled neposkytuje žádné informace o teplotě, avšak v závislosti na ní mění jiné elektrické veličiny (popsány principem funkce v kap. 2.3). Zjištěné hodnoty elektrických veličin se poté převádějí na konkrétní teplotní hodnoty v řídicí jednotce nebo se mohou vynášet na stupnice, které jsou překalibrované na teplotní jednotky. Analogově je možno měřit s teoreticky neomezeným rozlišením, avšak signál je náchylnější na rušení. Často je k jejich správné funkci nutné použít další podpůrné elektronické součástky. Proto jsou poněkud náročnější na sestavení a zapojení a zvyšuje se i složitost řídicího programu, neboť konverzi charakteristické veličiny na teplotu je nutné správně kalibrovat [13].

2.4.2 Digitální zpracování signálu

S rozvojem digitálního řízení v automatizaci a v měřicí technice vzrostla potřeba používat teploměry, které nebudou vnášet do digitálního řízení analogové signály. Zde vznikl prostor pro teploměry digitální, jejichž výstupem je konkrétní teplotní hodnota v dané digitální podobě. Tato hodnota je také již přímo kalibrována na stupnici a v programu je možné s ní pracovat bez dalších úprav. Signál v digitální podobě je také velice odolný proti rušení. Digitální teploměry ovšem nemají spojitý výstup – údaje o teplotě řídicí jednotce dodají pouze na vyžádání. To však nijak nebrání efektivnímu a jednoduchému měření při použití těch nejjednodušších zapojení. Zpravidla jsou tyto senzory již z výroby kalibrovány. Digitální teplotní senzory obsahují integrovaný snímač teploty a obvod pro další komunikaci. Příklad blokového diagramu viz obr. 1) [13].



Obr. 1) Blokový diagram teplotního senzoru DS18B20 [14].

3 POŽADAVKY NA NAVRHOVANOU JEDNOTKU

Při stavbě nové měřicí jednotky je nutné nejdříve stanovit požadavky tak, aby byla schopna plnit všechny funkce, které od ní očekáváme. To umožní návrh správného řešení hardwarového a softwarového vybavení.

3.1 Obecné požadavky

Tyto požadavky budou vycházet z charakteristiky teploty jako fyzikální veličiny. Pro navrhovanou jednotku bude použita Celsiova teplotní stupnice. Tato stupnice je v běžném životě i technické praxi nepoužívanější a nejsnáze se v ní orientujeme. V případě nutnosti se také nabízí velice snadný přepočítání do základních jednotek SI - Kelvinů.

Dalším kritériem zde bude předpoklad, že měření bude probíhat v prostředí pro člověka příznivém. Z toho lze odvodit přibližný rozsah od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Abychom však mohli měřit i např. var vody, rozšíříme horní hranici měření na $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rozsah pro návrh je tedy $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Důležité je také zvážit možnosti přesnosti senzorů. Přesnost měření je problém zvláště při rychlých změnách teploty. Každému teploměru určitý čas trvá, než se sám ohřeje na teplotu, kterou potřebujeme měřit - má tedy určitou odezvu. Vzhledem k tomuto jevu a také z rozumných požadavků na přesnost se spokojíme s přesností $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Přesnost měření lze tedy definovat jako $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2 Doplnující požadavky

Tyto požadavky jsou především nároky na měřicí jednotku a charakterizace toho, jaké operace bude muset provádět.

Pro efektivitu a jednoduchost budou použity teploměry s digitálním výstupem. Ponechána však bude i možnost pozdějšího připojení analogových teploměrů.

Teploměry budou komunikovat současně po jedné sběrnici. Pro měření bude vyhrazen pouze 1 pin mikrořadiče a jednotka bude připravena pro připojení až osmi snímačů na sběrnici.

Pro záznam dat bude možné připojit jednotku k PC a zaznamenávat data pro jejich další zpracování a analýzu přes komunikaci UART (Universal asynchronous receiver and transmitter) - USB (Universal serial bus). Tato komunikace bude realizována přes převodník a virtuální port RS232. Z PC bude také možno jednotku nastavit.

Aby bylo možno teploty přímo sledovat, bude jednotka také osazena alfanumerickým LCD displejem o dvou řádcích a 16 znacích na řádek.

Pro možnost přiřazení teplotních hodnot k času bude jednotka osazena RTC obvodem s nezávislým podpurným zdrojem elektrické energie pro stálé udržení času a data i při odpojení hlavního napájení.

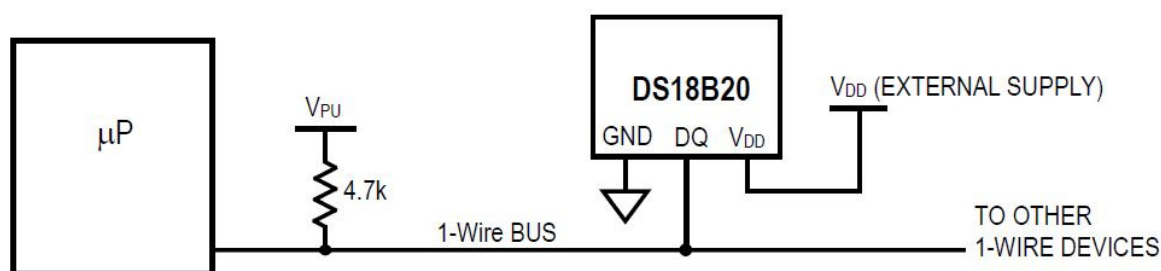
4 PŘEHLED DOSTUPNÝCH DIGITÁLNÍCH TEPLOTNÍCH SENZORŮ

Na základě požadavků uvedených v kapitole 3 lze vyhledat vhodné dostupné digitální senzory.

4.1 DS18B20

DS18B20 je teploměr patřící do rodiny asi nejznámějších teploměrů vůbec, teploměrů „Dallas“. Tyto teploměry vyrábí americká firma Maxim Integrated se sídlem v San Jose.

DS18B20 nabízí 9 - 12bitové měření teploty. Je zde přítomna funkce teplotního alarmu s horní a dolní programovatelnou hodnotou. Komunikace je na principu 1-Wire®, tzn. teploměr potřebuje ke komunikaci pouze jednu datovou linku. Jeho provozní teplota je mezi -55 °C a $+125\text{ °C}$ a při teplotách mezi -10 °C a $+85\text{ °C}$ je schopen měřit s přesností $\pm 0,5\text{ °C}$. Mezi jeho další vlastnosti patří schopnost parazitního napájení z datové linky, což eliminuje potřebu externího napájecího zdroje, a také označení každého teploměru 64bitovým sériovým číslem, kterým je možné každý teplotní senzor jednoznačně identifikovat. Lze tedy použít více senzorů DS18B20 pro jednu datovou sběrnici, takže není problém měřit např. teplotu na více místech rozlehlých prostor. Proto jsou vhodné pro použití ve HVAC (Heating, ventilation and air conditioning - vytápění, větrání a klimatizace) zařízeních, ale také například pro monitoring teploty v budovách, strojích, zařízeních a technologických procesech. Schéma zapojení senzoru je zobrazeno na obr. 2). Maloobchodní cena tohoto teploměru se pohybuje kolem 60 Kč [14][8][9].

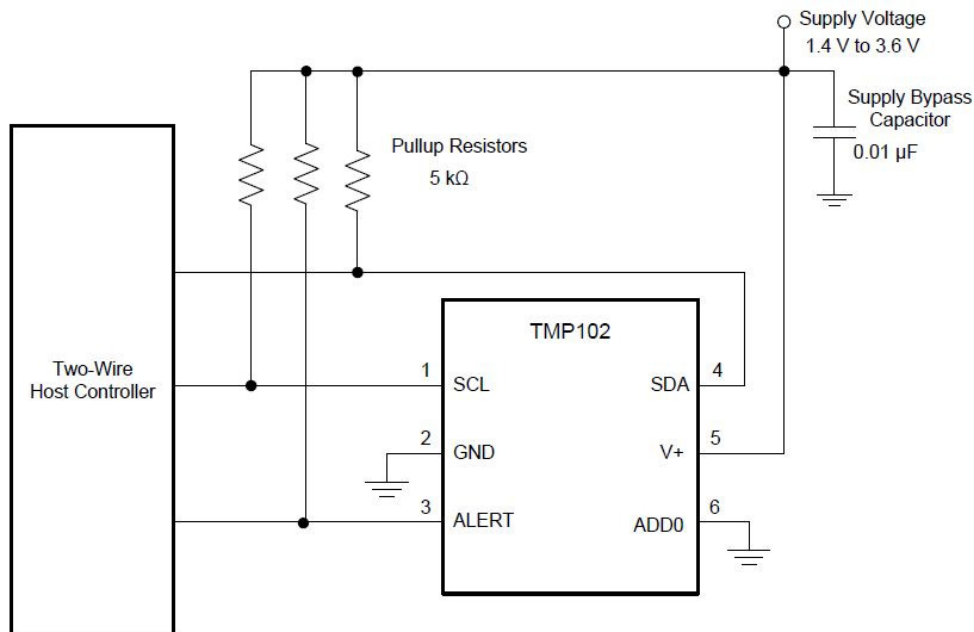


Obr. 2) Schéma zapojení teplotního senzoru DS18B20 [14].

4.2 TMP102AIDRLT

TMP102 jsou digitální senzory teploty vyráběné firmou Texas Instruments vhodné pro nahrazení NTC/PTC teploměrů tam, kde je vyžadována vysoká přesnost. Pro přesnost teploměru $\pm 0.5\text{ °C}$ není vyžadována kalibrace ani externí komponenty pro úpravu signálu. Teplotní snímač je vysoce lineární a nevyžaduje matematické operace pro získání výstupních teplot. Základní nastavení výstupu teploty je 12bitové, tzn. pracuje s rozlišením 0.0625 °C při rozsahu -40 °C - 125 °C . TMP102AIDRLT je kompatibilní s komunikačním rozhraním SMBus™, two-wire a I2C, přičemž je možno připojit až čtyři zařízení na jeden kanál. Při připojení přes SMBus podporuje funkci alarmu. TMP102AIDRLT je vhodný pro rozšířené

měření teploty, uplatňuje se například ve výpočetní technice, v technice prostředí, průmyslu nebo v komunikační technologii. Zapojení tohoto senzoru je zobrazeno na obr. 3). Orientační cena teploměru při maloobchodním odběru je 40 Kč [15][9].



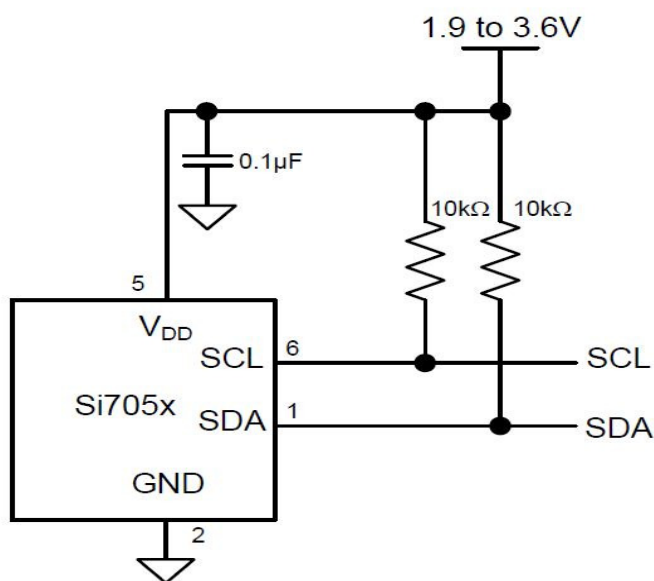
Obr. 3) Schéma zapojení teplotního senzoru TMP102AIDRLT [15].

4.3 MCP9843

Teploměr MCP9843 od firmy Microchip Technology Inc. převádí teplotu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ na digitální slovo. Přesnost teploměru je $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C} / \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (typická/maximální). Senzor využívá uživatelsky programovatelné registry zajišťující flexibilitu pro snímání teploty v mnoha aplikacích. Tyto registry pak umožňují nastavení módů vypnutí nebo nízkého napájení a specifikují výstupní formát teploty. Podporuje také funkci alarmu na zvláštním pinu a uživatel si může vybrat logickou hodnotu funkce alarmu. Senzor komunikuje přes standardní I2C rozhraní s možností připojení osmi teploměrů k jedné sběrnici. Maloobchodní cena teploměru je 40 Kč [16][9].

4.4 Si7055-A20-IM

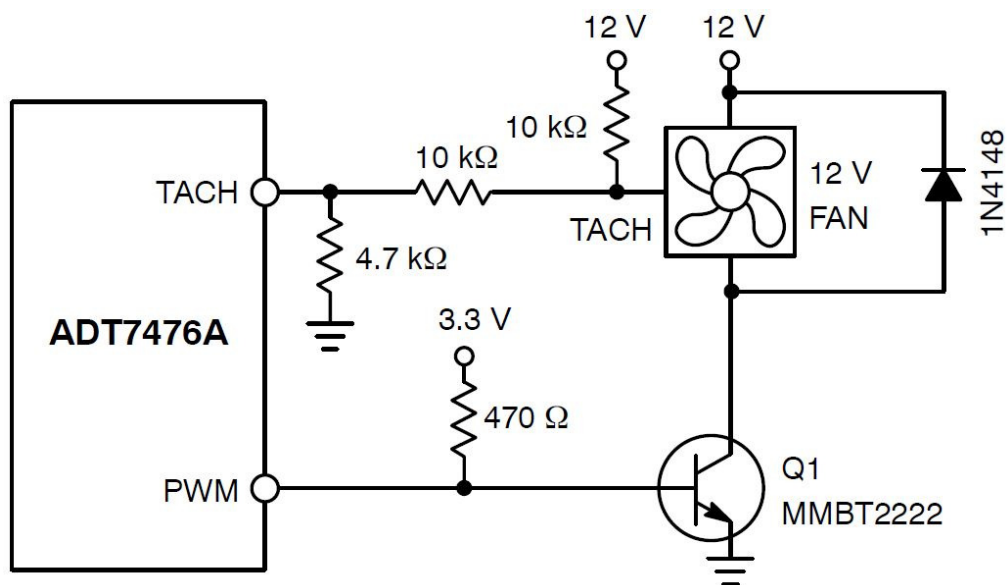
Teplotní senzory z rodiny Si705X od firmy Silicon Labs v sobě spojují požadavky na nízkoenergetičnost s vysokou přesností napříč širokým spektrem napájení a teplotních rozsahů. Nabízí až 14bitové rozlišení teploty a standardní komunikaci přes rozhraní I2C. Senzor Si7055-A20-IM disponuje přesností měření $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a rozsahem měřených teplot $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je továrně kalibrován a nevyžaduje další zásahy do přepočtu teploty. Vzhledem k velmi nízké spotřebě (průměrně kolem 195 nA) je vhodný pro použití v přenosných zařízeních napájených bateriovým zdrojem. Tyto teploměry však není možné připojit vícekanálově. Cena se pohybuje kolem 40 Kč [17][9].



Obr. 4) Zapojení teplotního snímače Si7055-A20-IM [17].

4.5 ADT7476A

ADT7476AARQZ-R je teplotní senzor primárně určený pro řízení ventilátoru aktivního chlazení. Jeho výrobcem je firma ON Semiconductor. Je vybaven jedním vnitřním snímačem a přípravou pro připojení dvou externích teplotních snímačů. Rozsah měřených teplot vnitřního snímače je $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ a je schopen měřit s přesností $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Komunikace probíhá na principu SMBus. Senzory však nepodporují připojení k jedné sběrnici. Zapojení tohoto senzoru je zobrazeno na obr. 5). Cena za kus je kolem 80 Kč [18][9].



Obr. 5) Zapojení teplotního senzoru ADT7476A pro řízení ventilátoru [18].

5 NÁVRH MĚŘICÍ JEDNOTKY

5.1 Hardwarové vybavení

Měřicí jednotka bude využívat teplotní senzory DS18B20, které budou komunikovat na společné sběrnici. Tyto senzory splňují veškeré nároky na návrh jednotky z hlediska přesnosti a rozsahu. Možnosti připojení k jedné sběrnici přesahují požadavky návrhu vzhledem ke způsobu adresování a komunikace. Bude nezbytné, aby mikrořadič z teploměru nejprve získal jejich sériové číslo, kterým jsou tyto teploměry z výroby vybaveny. Pomocí tohoto čísla bude poté možné adresovat příkazy konkrétnímu teploměru přes hromadnou sběrnici.

Jako RTC obvod bude použit obvod DS1302 od firmy Maxim Integrated. Z něj se budou vyčítat parametry rok, měsíc, den, hodina, minuta a sekunda. DS1302 nabízí více funkcí, např. den v týdnu nebo RAM paměť navíc, ty jsou však pro účely jednotky nepodstatné.

Jako zobrazovací zařízení bude použit alfanumerický LCD displej o dvou řádcích a šestnácti znacích na řádek. Nejvhodnější pro tyto účely je displej z rodiny WH1602 od výrobce Winstar.

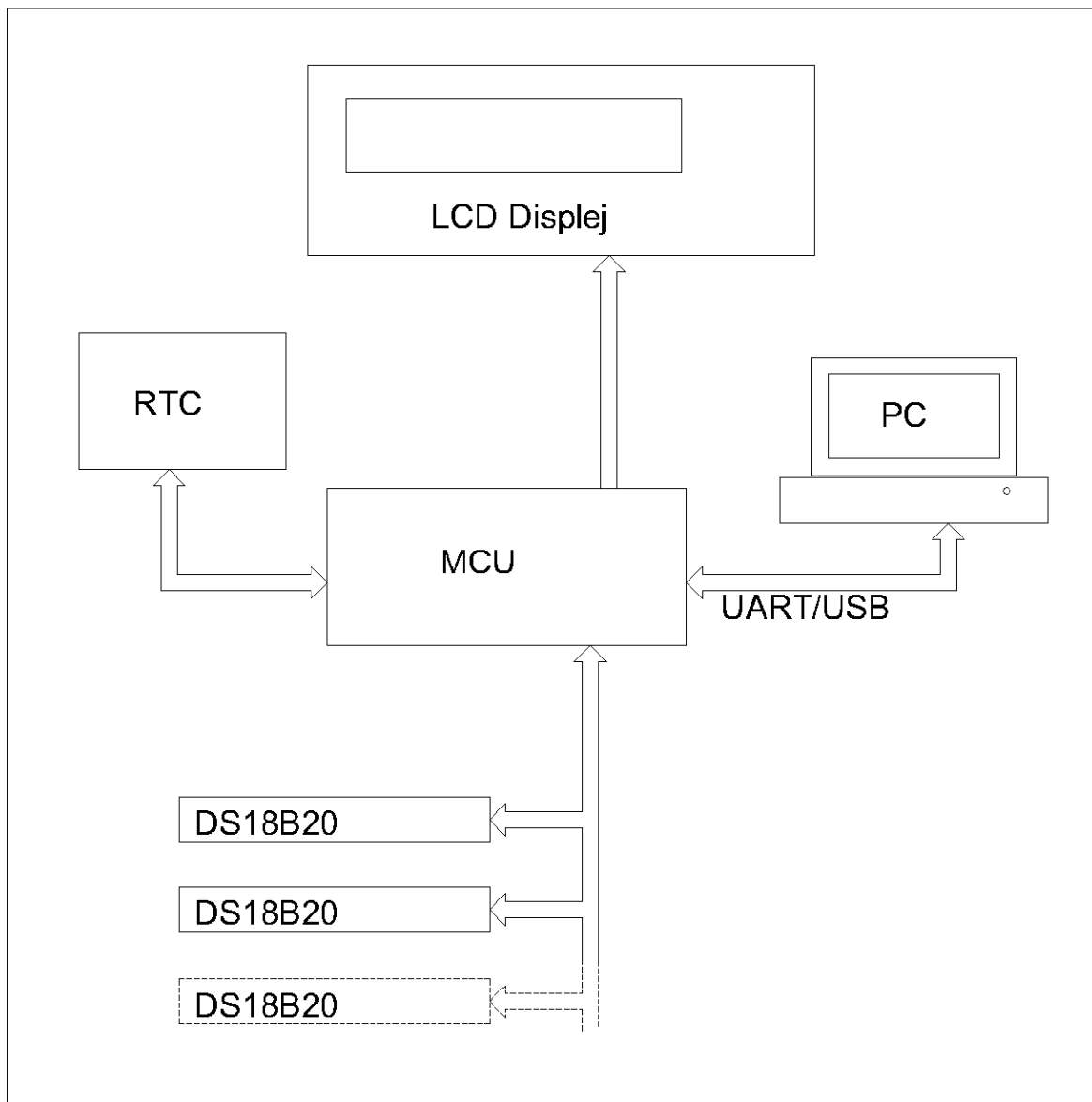
Srdcem jednotky bude mikrořadič PIC16F877A-I/P taktovaný externím krystalem na frekvenci 8 MHz. Tento mikrořadič disponuje dostatečným paměťovým prostorem a dostatečným množstvím vstupně-výstupních portů. Jeho výhodou je snadná dostupnost a přijatelná cena. Toto provedení je v pouzdru PDIP40, což umožní jeho umístění do patice, takže nebude nutné pájet přímo na kontaktech mikrořadiče. Důležitý na tomto mikrořadiči je modul USART (Universal synchronous/asynchronous receiver and transmitter), přes který bude jednotka komunikovat s PC a odesílat data k analýze, ale také data přijímat. Jednotka bude navržena tak, aby k ní bylo v případě potřeby možno připojit i analogové teplotní snímače, které mohou využívat A/D (Analog/Digital) převodník, který je také integrován přímo v mikrořadiči [14][20][21][19][8].

5.2 Blokový diagram

Na blokovém diagramu je možno vidět směry komunikace mikrořadiče s ostatními elementy měřicí jednotky. S RTC obvodem probíhá oboustranná komunikace, ovšem předávání dat z mikrořadiče do RTC je pouze pro nastavení data a času, během pracovního cyklu už bude mikrořadič data výhradně jen vyčítat. S LCD displejem probíhá pouze jednostranná komunikace. Je sice možnost z displeje data i vyčítat, to ovšem vzhledem k charakteru jednotky není nutné. Dále je nutná komunikace s PC. Ta bude probíhat na datovém přenosu UART/RS232 kde port RS232 bude nahrazen USB převodníkem se softwarovým virtuálním sériovým portem. PC pak bude skrz tuto komunikaci mít k dispozici všechny údaje okamžitě poté, co je měřicí jednotka zpracuje. Navíc bude tato linka použita také pro možnost instruktáže jednotky - typicky nastavení/seřízení času a data.

Hlavní je ovšem komunikace mikrořadiče se samotnými teplotními senzory. Jak je vidět na obr. 6). je tato komunikace vedena pouze po jedné lince, takže při každém datovém proudu (výjimku tvoří instrukce od MCU shodná pro všechny senzory současně) bude nutné

adresovat jednotlivé senzory pomocí jejich sériových čísel. Blokový diagram je možno vidět na obr. 6).



Obr. 6) Blokový diagram měřicí jednotky.

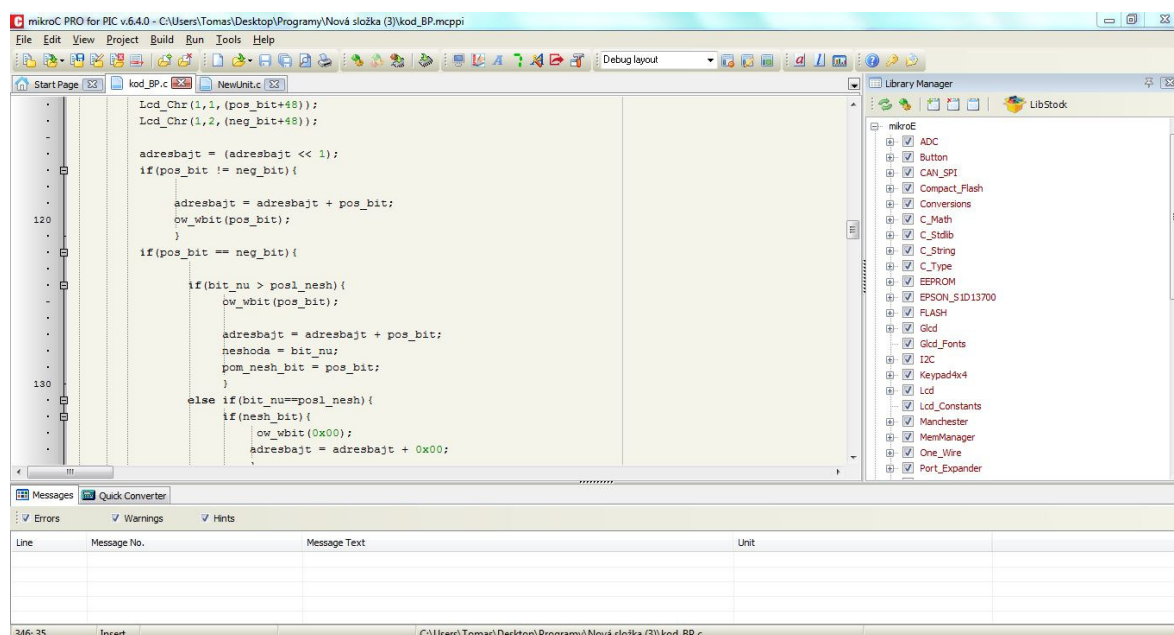
5.3 Schéma zapojení

Pro vytvoření schématu zapojení je použitý program EAGLE. Tento program má vloženou knihovnu součástek a navíc je možno do ní součástky i vkládat, nebo je vytvářet. Na obr. 7) je znázorněno konkrétní propojení jednotlivých komponent. PORT B mikrořadiče je vyhrazen přenosu signálu do displeje. Tento přenos probíhá přes 6 linek, takže dva piny mikrořadiče zůstanou neobsazené. Datový přenos s RTC obvodem probíhá na třech linkách, konkrétně na PORTu C, pinech 0, 1 a 2. Piny 6 a 7 PORTu C jsou využity pro datový přenos UART s připojením PC. Na PORT D pin 0 je připojena datová linka pro komunikaci s teplotními

6 REALIZACE MĚŘICÍ JEDNOTKY

6.1 Softwarové vybavení

Software pro měřicí jednotku je vytvořen ve vývojovém prostředí programu MikroC PRO for PIC vydaný firmou MikroElektronika D.O.O. Tento program disponuje rozsáhlou databází knihoven, kterou je možno dále rozšiřovat a také širokou paletou integrovaných funkcí. Grafickou podobu programu MikroC PRO for PIC je možno vidět na obr. 8). Pro programování softwaru mikrořadiče je zde používán jazyk C.



Obr. 8) Vývojové prostředí programu MikroC PRO for PIC.

6.2 Inicializace

Běh softwaru začíná nejprve inicializací všech rozhraní a komponent pro budoucí komunikaci. Vzhledem k tomu že komunikace s teplotními čidly probíhá po jedné lince, je nutné v dalším kroku získat jejich adresné číslo (ROM code) o velikosti 8 bajtů, aby bylo možno poté tímto číslem adresovat konkrétní teploměr [14].

6.3 Vyhledávací algoritmus

Vyhledávací algoritmus pracuje na principu patrném z vývojového diagramu v příloze č. 2. Pokud nejsou zařízení jednoznačně adresována, tak se automaticky neúčastní komunikace s mikrořadičem. Toto je možné obejít pouze příkazem „Skip ROM“ (CCh). Komunikace začíná „Reset“ pulsem, na který všechna čidla odpoví „Presence“ pulsem. Pokud mikrořadič neobdrží „Presence“ puls, funkce je ukončena. Následuje příkaz „Search ROM“ (F0h). Poté čidla odesílají postupně: nultý bit svého sériového čísla a negaci nultého bitu svého sériového čísla. Tyto dva bity vyslané od všech čidel současně se na lince logicky sečtou takže

mikrořadič může rozeznat, že na lince je více zařízení. Zpět na linku pak mikrořadič odešle hodnotu bitu, který přečetl jako pozitivní. Čidla, která mají nultý bit odlišný od toho, který zaslal mikrořadič se odmlčí a až do dalšího „Reset“ pulsu se nebudou účastnit žádné komunikace. Zbývající čidla pokračují v odesílání dalších bitů a jejich negací tak dlouho, dokud nezůstane aktivní pouze jedno. Tímto způsobem je identifikována celá ROM adresa prvního zařízení. Při dalších hledáních je postup obdobný, avšak algoritmus se vydává cestami opačných hodnot bitů na místech, kde příchozí bit a jeho negace jsou shodné. V softwaru mikrořadiče je vyhledávací algoritmus realizován funkcí „ds_search()“, kterou je možno vidět v příloze č. 1. Tato funkce je volána uvnitř cyklu „for“ který probíhá maximálně osmkrát a je zastaven ve chvíli, kdy jsou všechna zařízení nalezena. Pokud by byl k jednotce připojen senzor až po provedení vyhledávacího algoritmu, mikrořadič jej nebude adresovat ani vyčítat. Naopak v případě, že senzor bude odpojen nebo dojde k poruše, jednotka vyčte pouze nulové hodnoty [14][11][12].

6.4 Komunikace s PC přes UART

Vzhledem k jednoduchosti a přehlednosti byl pro komunikaci s PC přes UART použit textový řetězec. Slovo řetězce odesílaného z mikrořadiče do PC je formátu: &A&BBB.BB&CC/CC/CC CC:CC:CC, kde „A“ značí číslo zařízení, „B“ údaj o teplotě a „C“ informace o datu a čase. Podobný formát je využíván i pro odesílání dat do mikrořadiče. Formát slova v této podobě je jednoduše dekodovatelný jak pro mikrořadič, tak pro PC. Navíc informace odesílané v takovémto řetězci jsou patrné i pokud nejsou dekodované. Přenášené slovo je také jednoduše přístupné pro případné další zpracování.

6.5 Měřicí cyklus

Měřicí cyklus nejprve všechna zařízení inicializuje, tzn. všechna zařízení současně provedou konverzi teploty. Následně mikrořadič informuje senzory o odeslání adresy a odešle adresu konkrétního teploměru, který pak jako jediný reaguje na žádost o odeslání teploty. Tato teplota je pak Zobrazena na displeji a odeslána přes UART k dalšímu zpracování [14].

6.6 Návrh desky plošného spoje

Stejně tak jako pro schéma zapojení, je i pro návrh desky plošného spoje použit program EAGLE. Tento návrh je možné vidět na obr. 9). Uprostřed jednotky je umístěn mikrořadič v pouzdře PDIP40, s krystalem 8 MHz a kondenzátory C1 a C2. Dále je zde integrovaný obvod DS1302, ke kterému je připojena podpůrná baterie CR2032 a quartz krystal 32,768 kHz. Konektor SV1 slouží pro připojení UART linky a konektor SL1 pro připojení programátoru mikrořadiče. Funkce „Reset“ mikrořadiče zajišťuje tlačítko a dva rezistory (10kΩ a 220Ω). LCD displej je připojen přes JP1 s trimrem pro řízení jasu. Teplotní senzory jsou připojeny na svorkovnici X1 v zapojení s pull-up rezistorem 4,7kΩ. Celá jednotka je napájena externím zdrojem 5V přes konektor KN1 s použitím kondenzátoru C3 jako filtru. Piny mikrořadiče s možností analogového vstupu byly vyvedeny na konektor SV2.

7 OBSLUŽNÁ APLIKACE

7.1 Návrh obslužné aplikace

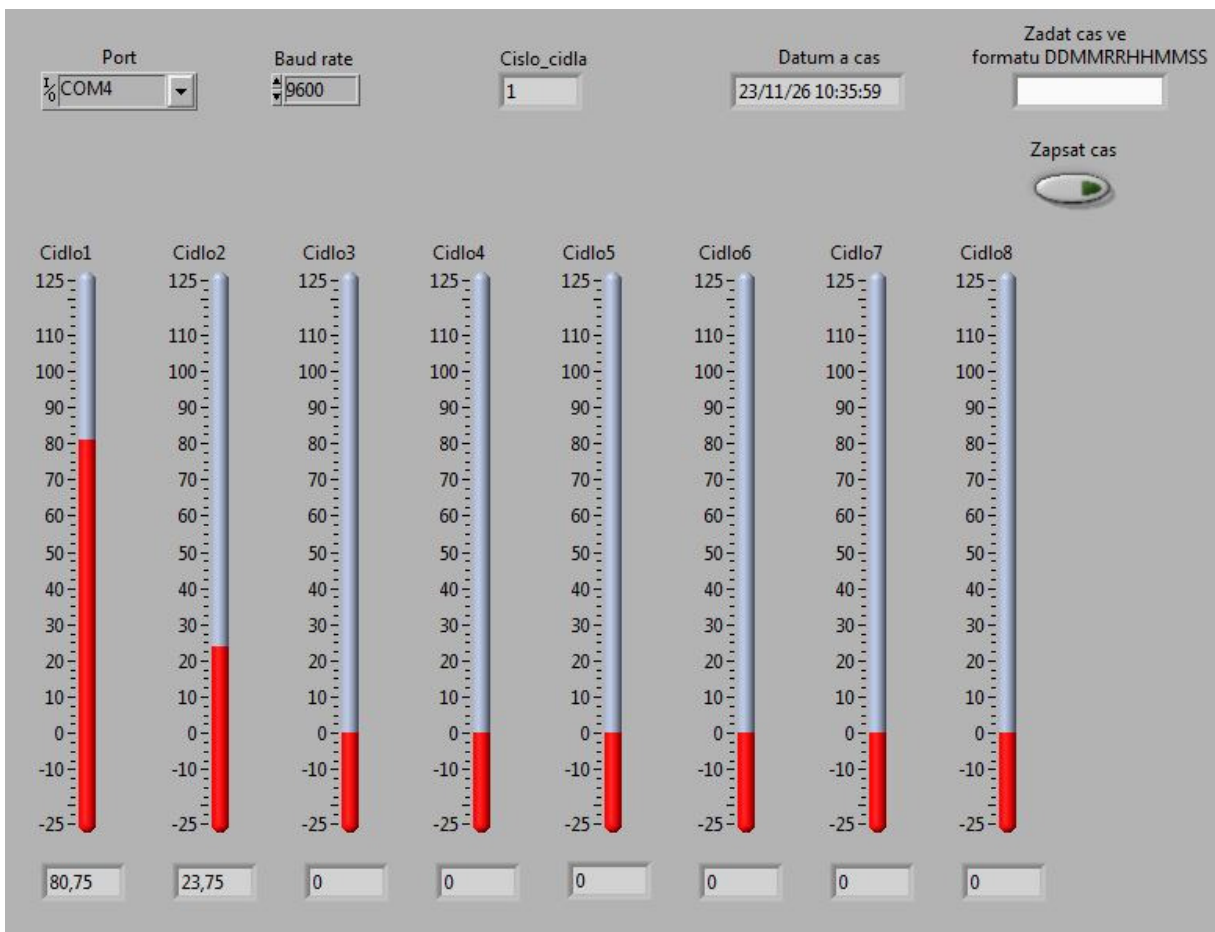
Vzhledem k tomu, že z měřicí jednotky jsou data odesílána přes UART, je nutné tato data také vyčítat. Při měření na osmi teplotních čidlech je z hlediska přehlednosti displej na jednotce nedostačující, takže je vhodné data zobrazovat přehledněji v PC. Navíc pro seřízení času je možno použít pouze datovou linku UART, takže aplikace bude muset disponovat i touto funkcí.

7.2 Realizace obslužné aplikace

Obslužná aplikace je navržena v programu LabVIEW od firmy National Instruments. Prací obslužné aplikace na PC je vyčítat data z jednotky a zobrazovat je ve formě pohyblivých sloupcových grafů, podobně jako na kapalinovém teploměru, a možnost seřadit časový obvod v měřicí jednotce. Pro výčet a odesílání dat je použitý virtuální sériový port, skrz který aplikace pracuje.

Řetězec odesílaný z mikrořadiče přes datovou linku UART je obslužnou aplikací rozložen na subřetězce a tyto subřetězce jsou upraveny do číselných hodnot. Číslo čidla určí, na který graf se hodnota teploty vynese. Teplotní hodnota se vynese na graf a v číselné podobě zobrazí pod ním. Časový údaj se pouze zobrazuje na příslušném místě.

Pro seřízení časového obvodu je třeba zapsat požadovanou hodnotu v daném formátu do příslušného pole a kliknou na tlačítko pro zápis času. Tyto informace o datu a čase jsou odeslány do jednotky ve formě textového řetězce, ze kterého jednotka extrahuje data a nastaví RTC obvod na požadovaný datum a čas. Podoba obslužné aplikace je zobrazena na obr. 11). Na něm čidla 3 až 8 nejsou připojena, čidlo 1 je ponořené do horké vody a čidlo 2 ponecháno volně na vzduchu.



Obr. 11) Vzhled obslužné aplikace.

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V práci je pojednáno o elektrickém měření teploty a o principech, na kterých pracují reálné teplotní senzory. Nejběžnější principy snímání byly popsány a byly analyzovány jejich výhody a nevýhody. Tento popis je nutný k tomu, aby bylo zjevné, že ne každý způsob je vhodný pro tu konkrétní aplikaci.

Rešerše digitálních teploměrů udává hrubou představu o dostupnosti a cenách nejběžnějších digitálních teploměrů. Dále popisuje jejich základní parametry a vlastnosti. Tento přehled je východiskem k návrhu měřicí jednotky.

Navržená měřicí jednotka zpracovává data z až osmi teplotních čidel. Je schopna jimi měřit teplotu a tato data následně zobrazovat na displeji, resp. odesílat k jejich dalšímu zpracování nebo k archivaci. Splňuje tedy všechny požadavky, které na ni byly kladeny. Navíc je osazena obvodem pro měření času, který ke každé hodnotě připojuje její časovou stopu. Obslužná aplikace zřehledňuje naměřená data. Jejich vynášení na grafy umístěné vedle sebe poskytuje komplexnější pohled na stav teplot na čidlech než displej jednotky. Aplikace také disponuje možností seřizovat čas v jednotce jeho přímým zadáním v určeném formátu.

9 ZÁVĚR

Elektrické měření teploty nabízí široké možnosti využití pro téměř každou oblast průmyslu, ale i pro amatérské využití. Jsou k dispozici způsoby měření teplot velmi nízkých, ale i vysokých, s vysokou přesností i menší přesností, s velkým i menším rozsahem měřených teplot. Všechny tyto principy mají však společné to, že jsou založeny na jevech jinde nežádoucích.

V práci byla provedena rešerše nejběžněji dostupných digitálních teplotních senzorů. Tyto senzory se pro jednoznačnost výstupních dat jeví jako vhodné do téměř všech profesionálních, ale i amatérských aplikací. V amatérských projektech je jejich výhodou přijatelná cena a široké možnosti využití, přičemž veškeré potřebné údaje o senzorech jsou uvedeny v dokumentaci vydávané přímo výrobcem. Lze si však všimnout, že téměř každý výrobce se drží svých ověřených komunikačních protokolů a každý senzor je vybaven jinými vlastnostmi, co se týče formátu výstupního signálu, rozsahem použitelnosti, přesností a dalších.

Všechna teplotní čidla jsou připojena pouze k jedné sběrnici a k činnosti vyžadují jako podpůrnou součástku pouze jeden rezistor. Skutečnost, že jsou všechna čidla připojena k jedné sběrnici, šetří v praxi mnoho spojovacích vodičů a zjednodušuje celkové zapojení měřicí soustavy. Použitý vyhledávací algoritmus však adresuje jednotky postupně pouze podle jejich adresných čísel, proto pro umístění konkrétního čidla na konkrétní pozici je nutno jej buď nejdříve adresovat a poté umístit, nebo si po zaadresování držet konkrétní přehled adres. Toto se může stát předmětem dalšího zkoumání v budoucnu.

Hodnoty vyčítané z teplotních senzorů jsou odesílány současně s časem měření, ve kterém byly hodnoty naměřeny. Vzhledem k tomu, že jednotka odesílá data do PC, může být tato funkce nadbytečná, neboť čas měření je možné získat i přímo z PC. V takovém případě by však potenciálně mohlo dojít k nesouladu v jednotce a PC, což by mohlo být problematické z hlediska přehlednosti, popř. archivace.

Jazyk C, ve kterém je napsán řídicí software mikrořadiče, nabízí širokou škálu možností pro tento typ programování. V kombinaci s vývojovým programem MikroC PRO for PIC a jeho integrovanými knihovnamí a funkcemi disponuje jednoduchostí a možnostmi pro řešení každého konkrétního problému. Jednou z velice důležitých částí softwarového vybavení mikrořadiče je nepochybně vyhledávací algoritmus. Je to ta část kódu, která ve své podstatě umožňuje měřit vícekanálově. V práci je použita jeho nejzákladnější varianta, která má za úkol pouze získat adresy teploměrů. ROM adresa také může poskytnout například i údaje o typu zařízení. Vzhledem k tomu, že všechna připojená zařízení jsou shodná, základní varianta vyhledávacího algoritmu je zde dostačující. Zobrazení měřicí jednotka

Obslužná aplikace zajišťuje jednoduchou obsluhu jednotky a práci s ní. Všechny informace, které jednotka odesílá jsou přehledně uspořádány a orientace v nich je intuitivní. Program LabVIEW je pro tyto aplikace mimořádně vhodný, především pro svojí jednoduchost a přehlednost, ale také obsahem množstvím vnitřních funkcí. To celý návrh aplikace značně zjednodušuje. Nezastupitelnou funkcí aplikace je možnost seřizovat čas a datum v jednotce.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Paul WALKER, DUB, Pert (ed.). *Fyzika*. 2. přeprac. vydání. Brno: VUTIUM, 2013. ISBN 978-80-214-4123-1.
- [2] ZÁBRANSKÝ, Jaroslav. *Korekce a kompenzace při měření teplot*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT FSI. Vedoucí práce Ing. František Vdoleček CSc.
- [3] VOJÁČEK, Antonín. Přehled principů el. měření teploty - 1. díl. In: *Hw.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>.
- [4] Měření teploty - kovové odporové senzory teploty. *Hw.cz* [online]. 2004 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-kovove-odporove-senzory-teploty.html>
- [5] Měření teploty - polovodičové odporové senzory teploty. *Hw.cz* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [6] ĎADO, Stanislav a Marcel KRIEDL. *Senzory a měřící obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01500-9.
- [7] Termoelektrické snímače. *Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Energetický ústav, FSI VUT Brno* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-06.htm>
- [8] *GM electronic* [online]. Praha: GM Electronic spol s r. o., 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/>
- [9] *Mouser Electronic* [online]. Mansfield: Mouser Electronics, Inc., 2016 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://cz.mouser.com/>
- [10] DS1302: Trickle-charge timekeeping chip. *Maxim Integrated* [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/real-time-clocks/DS1302.html>
- [11] 1-Wire Search Algorithm: Application note 187. *Maxim Integrated* [online]. 2002 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/187>
- [12] 1-Wire Communication Through Software: Application note 126. *Maxim Integrated* [online]. 2002 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/126>
- [13] KARAS, Ondřej, LEHOČKÝ, Zdeněk (ed.). Počítačové zpracování signálů I - základní úvod. In: *Programujte.com* [online]. 2009 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2008102400-pocitacove-zpracovani-signalu-i-zakladni-uvod/>
- [14] MAXIM. *DS18B20: Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer* [online]. Maxim Integrated Products, 2008 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [15] TEXAS INSTRUMENTS. *TMP102 Low-Power Digital Temperature Sensor With SMBus™ and Two-Wire Serial Interface in SOT-563* [online]. F. Texas Instruments, 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/gpn/tmp102>

- [16] MICROCHIP. *MCP9843: Memory Module Temperature Sensor w/ EEPROM for SPD* [online]. Microchip Technology, 2009 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22153c.pdf>
- [17] SILICON LABS. *Si7050/3/4/5-A20: I2C TEMPERATURE SENSORS* [online]. 11/14. Silicon Labs, 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si7050-1-3-4-5-A20.pdf>
- [18] ON SEMICONDUCTOR. *ADT7476A: Remote Thermal Controller and Voltage Monitor* [online]. 5. Semiconductor Components Industries, 2012 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/ADT7476A-D.PDF>
- [19] MICROCHIP. *PIC16F87XA: 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers* [online]. Microchip technology, 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582C.pdf>
- [20] MAXIM INTEGRATED. *DS1302: Trickle-Charge Timekeeping Chip* [online]. Maxim Integrated Products, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1302.pdf>
- [21] WINSTAR. *WH1602A* [online]. Winstar Display, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.winstar.com.tw/download.php?ProID=21>

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Blokový diagram teplotního senzoru DS18B20 [14].....	19
Obr. 2)	Schéma zapojení teplotního senzoru DS18B20 [14].	23
Obr. 3)	Schéma zapojení teplotního senzoru TMP102AIDRLT [15].	24
Obr. 4)	Zapojení teplotního snímače Si7055-A20-IM [17].....	25
Obr. 5)	Zapojení teplotního senzoru ADT7476A pro řízení ventilátoru [18].	25
Obr. 6)	Blokový diagram měřicí jednotky.	28
Obr. 7)	Schéma zapojení měřicí jednotky.	29
Obr. 8)	Vývojové prostředí programu MikroC PRO for PIC.....	31
Obr. 9)	Návrh desky plošného spoje.	33
Obr. 10)	Měřicí jednotka.	33
Obr. 11)	Vzhled obslužné aplikace.	36

12 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Funkce pro prohledávání adres teploměrů

Příloha č. 2: Vývojový diagram vyhledávacího algoritmu

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA Č. 1: FUNKCE PRO VYHLEDÁVÁNÍ ADRES TEPLOMĚŘŮ

```

unsigned short posl_nesh = 0; //promenne pro prohledavani pameti ROM
unsigned short pocet_zar = 0; //funkcich

unsigned short Adresapole[8][8]; //Adresné pole sériových čísel teploměřů

//Funkce pro prohledávání adres teplotních senzorů DS18B20
unsigned short ds_search(unsigned short cislo_zar){
    unsigned short neshoda = 0; //pozice posledni neshody
    unsigned short res;
    unsigned short bit_nu = 0; //poradove cislo prohledavaneho bitu
    unsigned short pos_bit; //přečtený bit
    unsigned short neg_bit; //a jeho negace
    unsigned short pom_nesh_bit;
    unsigned short m,n;
    unsigned short adresbajt; //bajt pro ukládání dílců adresy do paměti
    unsigned short adres;

    res=Ow_Reset(&PORTD,0);
    if(res == 1){
        Lcd_Out(2,1,"Bez zarizeni");
        return cislo_zar; //pokud neni presence pulz, funkce konci
    }
    Ow_Write(&PORTD, 0, 0xF0); //prohledávání paměti ROM (prikaz Search ROM
    F0h)
    Delay_ms(1);

    for(m=0;m<=7;m++){
        adresbajt=0x00;
        for(n=0;n<=7;n++){
            pos_bit=ow_rbit();
            neg_bit=ow_rbit();
            Lcd_Chr(1,1,(pos_bit+48));
            Lcd_Chr(1,2,(neg_bit+48));

            adresbajt = (adresbajt << 1);
            if(pos_bit != neg_bit){
                adresbajt = adresbajt + pos_bit;
                ow_wbit(pos_bit);
            }
            if(pos_bit == neg_bit){
                if(bit_nu > posl_nesh){
                    ow_wbit(pos_bit);
                    adresbajt = adresbajt + pos_bit;
                    neshoda = bit_nu;
                    pom_nesh_bit = pos_bit;
                }
                else if(bit_nu==posl_nesh){
                    if(nesh_bit){
                        ow_wbit(0x00);
                        adresbajt = adresbajt + 0x00;
                    }
                    else{
                        ow_wbit(0x01);
                        adresbajt = adresbajt + 0x01;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
else if(bit_nu < posl_nesh){
    adres = (Adresapole[(cislo_zar -1)][m]);
    adres = adres<<n;
    if(adres & 0x80){
        ow_wbit(0x01);
        adresbajt = adresbajt + 0x01;
    }
    else{
        ow_wbit(0x00);
        adresbajt = adresbajt + 0x00;
    }
    neshoda=bit_nu;
}
}
bit_nu = bit_nu + 1 ;
}
(Adresapole[cislo_zar][m]) = adresbajt;
}
nesh_bit = pom_nesh_bit;
posl_nesh=neshoda; //pokud se posl. neshoda rovna nule, vse nalezeno
return (cislo_zar + 1);

```

PŘÍLOHA Č. 2: VÝVOJOVÝ DIAGRAM VYHLEDÁVACÍHO ALGORITMU

