

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

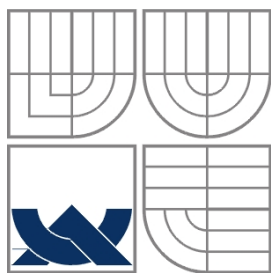
APLIKACE INTELIGENTNÍCH SENZORŮ TEPLoty

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

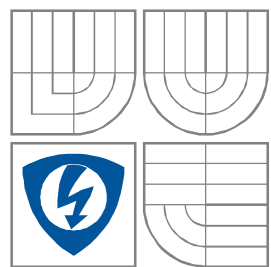
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV BOHUTÍNSKÝ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

APLIKACE INTELIGENTNÍCH SENZORŮ TEPLoty

INTELLIGENT TEMPERATURE SENSORS APPLICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jaroslav Bohutínský

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Martin Čížek

BRNO, 2008

ZADÁNÍ

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jaroslav Bohutínský
Bytem: Pocoucov 23, Třebíč, 674 01
Narozen/a (datum a místo): 24. června 1985 v Třebíči

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Aplikace inteligentních senzorů teploty

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Martin Čížek

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 6. června 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT:

Úkolem práce bylo seznámit se s dostupnými inteligentními senzory teploty od různých výrobců a prostudování jejich vlastností. Po tomto kroku následoval výběr vhodného teplotního senzoru a mikrokontroleru (MCU) pro měření a zpracování teploty. Na trhu se vyskytují výrobky od různých firem jako jsou: Analog Devices, Microchip, Dallas, Maxim, National Semiconductor, Texas Instruments, Smartec aj. Všechny tyto firmy nabízejí nejen teplotní čidla, ale i mikrokontrolery. Každý výrobce má svou realizaci komunikace teplotních čidel. V práci je uvedeno schéma zapojení mikrokontrolerem řízeného modulu pro měření teploty využívajícího inteligentní senzor teploty a návrhy desek plošných spojů.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Inteligentní senzor teploty, mikrokontroler ADuC843, LCD, I²C, RS-232

ABSTRACT:

The aim of this study was to acquaint with smart temperature sensors from different producers and to study their properties. The following step was to choose a suitable temperature sensor and a microcontroller (MCU) for measuring and temperature processing. On the market there are products from different firms such as Analog Devices, Microchip, Dallas, Maxim, National Semiconductor, Texas Instruments, Smartec etc. All those firms offer not only temperature sensors, but also microcontrollers. Every producer has its own realization of the inter-sensors communication. In this study there are introduced a wiring diagram of a microcontroller driven module for a temperature measuring making use of a smart temperature sensor and also designs of printed circuit boards.

KEY WORDS:

Intelligent temperature sensor, microcontroller ADuC843, LCD, I²C, RS-232

Bibliografická citace mé práce:

BOHUTÍNSKÝ, J. *Aplikace inteligentních senzorů teploty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 35 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Čížek.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Aplikace inteligentních senzorů teploty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Poděkování

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

V Brně dne 6. června 2008

.....
podpis autora

Obsah

Úvod	12
1. Druhy a principy snímačů teploty	13
1.1 Odporové – kovové snímače	13
1.2 Odporové – polovodičové snímače	13
1.3 Polovodičové monokrystalické snímače	13
1.4 Monokrystalické PN snímače teploty	14
1.5 Tranzistorové PN senzory	14
1.6 Termoelektrické snímače teploty	14
2. Inteligentní senzory teploty	15
2.1 Senzor teploty AD7414	15
2.2 Blokové schéma, popis vývodů AD7414	15
2.3 AD7414 – sběrnice I ² C, funkce vývodu AS	16
2.4 Registry senzoru AD7414	17
2.5 Teplotní rozsah a převod teploty	18
3. Mikrokontroler ADuC843	19
3.1 Blokové schéma, popis vývodů mikrokontroleru ADuC843	19
3.2 Napájení obvodu ADuC843	20
3.3 Oscilátor	20
3.4 Sériové rozhraní UART	20
3.5 Sériové rozhraní SPI	21
3.6 Sběrnice I ² C	21
3.7 Přerušení mikrokontroleru	21
3.8 Režimy se sníženou spotřebou	21
3.9 Programování mikrokontroleru	21
3.10 Generování přenosové rychlosti rozhraní UART	23
4. Modul LCD	24
5. Využití projektu	28
5.1 Rozhraní	28
5.2 Komunikace s uživatelem	28
6. Zdrojové kódy	29
6.1 Kód pro čtení teploty po I ² C z AD7414	29
6.2 Kód pro převod 10 bitové teploty do BCD kódu	29
6.3 Čtení dat po I ² C	30
6.4 Zápis dat po I ² C	31
7. Závěr	32
8. Literatura	33
9. Seznam zkratk	34
10. Seznam příloh	35

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Struktura monokrystalického snímače [1]	13
Obr. č. 2: PN přechod [1]	14
Obr. č. 3: Přechod BE tranzistoru [1]	14
Obr. č. 4: Termoelektrický článek [1]	14
Obr. č. 5: Blokové schéma AD7414 [2]	15
Obr. č. 6: Rozmístění pinů AD7414 [2]	16
Obr. č. 7: Zapsání adresy registru [2]	16
Obr. č. 8: Zapsání adresy registru a zapsání dat [2]	17
Obr. č. 9: Čtení z vybraného registru [2]	17
Obr. č. 10: Čtení teploty z registru [2]	17
Obr. č. 11: Blokové schéma AduC843 [3]	19
Obr. č. 12: Rozmístění pinů ADuC843 [3]	20
Obr. č. 13: Příklad zapojení MCU pro programování [3]	22
Obr. č. 14: Vzhled programu pro programování [12]	22
Obr. č. 15: Nastavování programu WSD [12]	23
Obr. č. 16: Postup pro inicializaci LCD [9]	25
Obr. č. 17: Schéma základního modulu	Příloha č. 1
Obr. č. 18: Schéma modulu LCD	Příloha č. 2
Obr. č. 19: Schéma modulu s tlačítky	Příloha č. 3
Obr. č. 20: Osazení součástek základního modulu	Příloha č. 4
Obr. č. 21: Osazení součástek modulu LCD	Příloha č. 5
Obr. č. 22: Osazení součástek modulu s tlačítky	Příloha č. 6
Obr. č. 23: Spodní vodivá strana základního modulu	Příloha č. 7
Obr. č. 24: Vodivé cesty modulu LCD	Příloha č. 8
Obr. č. 25: Vodivé cesty modulu s tlačítky	Příloha č. 9
Obr. č. 26: Horní vodivá strana základního modulu	Příloha č. 10
Obr. č. 27: Sada znaků LCD [10]	Příloha č. 11
Obr. č. 28: Fotografie osazené desky modulu	Příloha č. 12

Seznam tabulek

Tab. č. 1: Vývody AD7414 [2]	16
Tab. č. 2: Adresa AD7414 [2]	16
Tab. č. 3: Formát dat teploty [2].....	18
Tab. č. 4: Instrukční sada pro LCD [11]	26
Tab. č. 5: Instrukční sada pro LCD – pokračování [11].....	26
Tab. č. 6: Seznam použitých součástek základního modulu	Příloha č. 13
Tab. č. 7: Seznam použitých součástek modulu LCD.....	Příloha č. 14
Tab. č. 8: Seznam použitých součástek modulu s tlačítky	Příloha č. 15

Úvod

Zadáním práce bylo seznámení se inteligentními senzory teploty od různých výrobců, prostudování jejich vlastností. Dále pak výběr vhodného teplotního senzoru a mikrokontroleru (MCU) pro měření a zpracování teploty. Díky novým technologiím a technikám výroby i náročnosti uživatele je technickoelektrický směr neustále ve vývoji. Proto v dnešní době není problém vybrat si teplotní senzor a MCU dle svých požadavků. Existuje celá škála výrobků, které mají své výhody i nevýhody, některé jsou vhodné a některé zase nevhodné pro daný typ aplikace.

Práce obsahuje návrh desky plošných spojů, návrh programu modulu teplotního čidla. Zařízení je navrženo tak, aby bylo možné využít všestrannosti výrobku a připojovat k němu i další zařízení. Ze senzorů teploty byl vybrán teplotní senzor AD7414 od firmy Analog Devices. Teplotní senzor naměřenou teplotu předává v digitální podobě MCU, který tuto hodnotu zpracovává. Jako MCU byl vybrán ADuC843 od stejné firmy, tedy od Analog Devices. Oba dva obvody podporují komunikaci po I²C sběrnici, tím se stává práce s obvody jednodušší. Na tuto sběrnici je možné podle potřeby připojit i další různé periférie, které rozšíří její vlastnosti a možnosti. Programování tohoto MCU je jednoduché přes rozhraní RS232 pomocí programu, který je volně přístupný pro stažení na stránkách firmy Analog Devices.

1. Druhy a principy snímačů teploty

Existují různé druhy teplotních senzorů: odporové - kovové, odporové - polovodičové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem (diodové, tranzistorové), dilatační, tlakové, speciální. U těchto snímačů bývá výstupní veličina proud, popřípadě napětí. Změna teploty okolí způsobí i změnu této výstupní veličiny. Některé snímače mají lineární závislost, jiné zase exponenciální, či logaritmické.

1.1 Odporové – kovové snímače

Principem odporových – kovových snímačů teploty je změna elektrického odporu v závislosti na teplotě, [1]:

$$R_{\vartheta} = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad (1)$$

kde R_{ϑ} - je odpor při teplotě ϑ , R_0 je měrný tepelný odpor při teplotě 0 °C, $\Delta\vartheta$ je teplotní rozdíl a α je teplotní součinitel odporu odporového materiálu. Jako čidla se používá platina, měď a nikl. [1]

1.2 Odporové – polovodičové snímače

U odporových – polovodičových snímačů je změna odporu způsobena teplotní závislostí koncentrace nosičů náboje. Snímače jsou rozděleny na termistory, negastory (NTC), posistory (PTC), monokrystalické Si snímače.

Negastory mají záporný teplotní koeficient, vyrábí se z $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$, $\text{MnO} + \text{CoO}$, případně z karbidů SiC. Závislost na teplotě je exponenciální, [1]:

$$R_1 = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0} \right)} \quad (2)$$

kde B – teplotní konstanta, teplotní koeficient, [1]:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2} \quad (3)$$

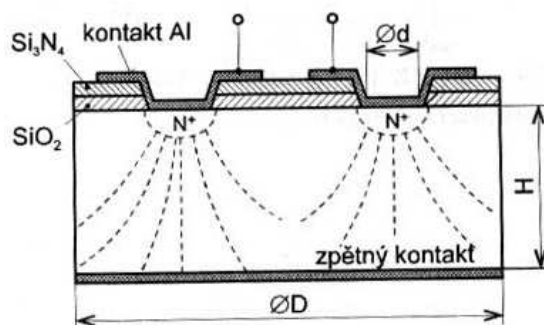
Posistory mají kladný teplotní koeficient, vyrábí se z polykrystalické feroelektrické keramiky (BaTiO_3), [1]:

$$R = R_{\vartheta} \cdot e^{A\vartheta} \quad (4)$$

kde R_{ϑ} - Odpor při teplotě ϑ , A – materiálová konstanta, ϑ - teplota [1]

1.3 Polovodičové monokrystalické snímače

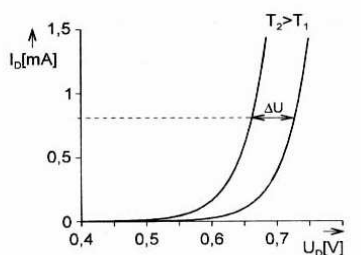
Materiálem polovodičových monokrystalických snímačů je nevlastní polovodič N (Si), dva sériově řazené kontakty kov-polovodič - nezávislost na směru proudu. Princip těchto snímačů je pomocí kuželového rozptylu nosičů proudu, rozptyl je úměrný jejich pohyblivosti a pohyblivost nosičů je úměrná teplotě. [1]



Obr. č. 1: Struktura monokrystalického snímače [1]

1.4 Monokrystalické PN snímače teploty

Monokrystalické PN snímače teploty jsou založeny na principu teplotní závislosti PN přechodu v propustném směru, změna napětí $\Delta U_D/\Delta T = -(2,0 \sim 2,5) \text{ mV/K}$, u diody 1N4007 asi 1 mV/K . Používá se křemíkového přechodu a arsenidgalia. [1]

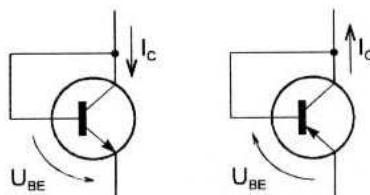


Teplotní závislost napětí $\Delta U_D = f(T)$ PN-diody

Obr. č. 2: PN přechod [1]

1.5 Tranzistorové PN senzory

Při použití tranzistoru jako snímače teploty je jeho princip v podstatě totožný se snímači PN. Zde se využívá přechod BE v propustném směru. [1]



Tranzistorová dioda

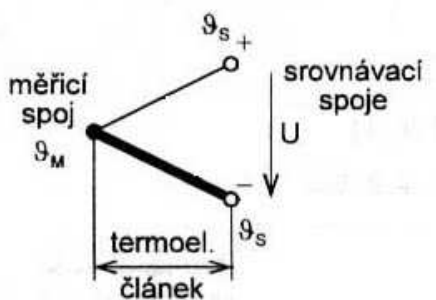
Obr. č. 3: Přechod BE tranzistoru [1]

1.6 Termoelektrické snímače teploty

U termoelektrických snímačů se využívá termoelektrického napětí (Seebeckův jev), materiálem jsou kovy (různé), nebo polovodiče. Vzoreček pro výpočet napětí pro malý rozdíl teplot, [1]:

$$U = \alpha_{12} (\vartheta_m - \vartheta_s) \approx \alpha_{12} \Delta \vartheta \quad (5)$$

termoelektrický koeficient (Kovy řádově $10 \mu\text{V/K}$, polovodiče více než $100 \mu\text{V/K}$). [1]



Obr. č. 4: Termoelektrický článek [1]

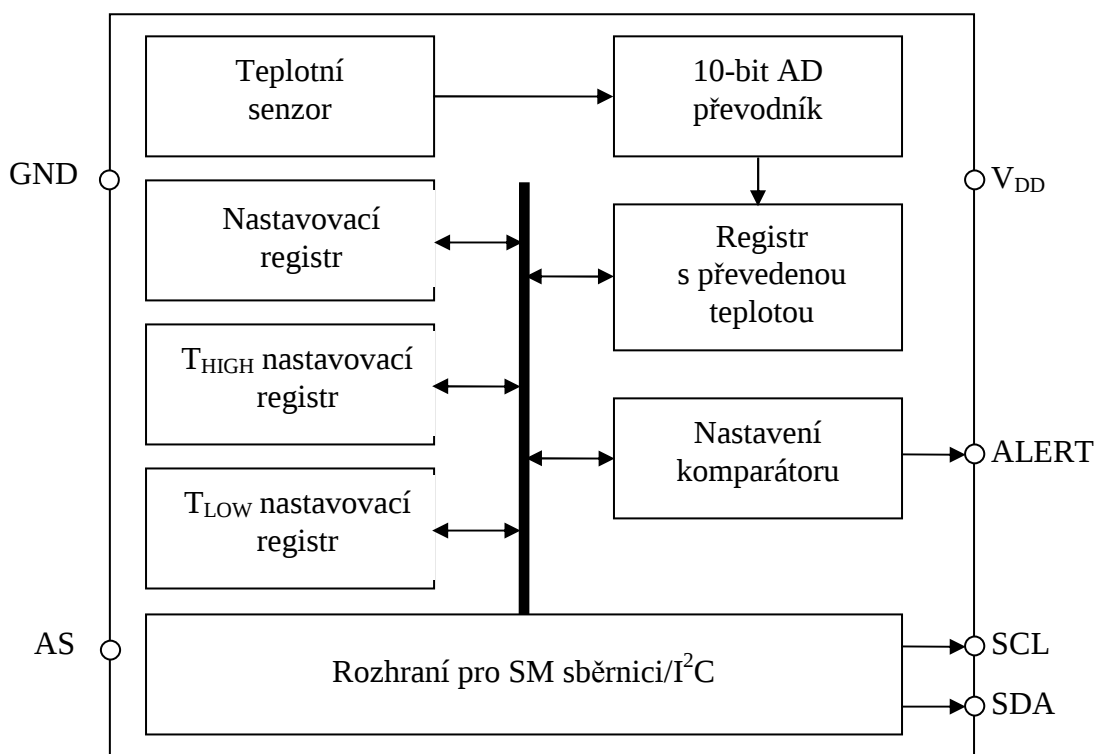
2. Inteligentní senzory teploty

Inteligentní senzory teploty obsahují analogové teplotní čidlo, A/D převodník a ukládají tuto teplotu do registru či registrů v digitální podobě, ze kterého lze pak teplota přečíst. U jednoduchých snímačů se teplota převádí na frekvenci, pulsní šířkovou modulaci, napětí, či proud. Umožňují komunikaci po jednoduché sběrnici, mají nastavovací registry, ve kterých se dají nastavit jejich speciální vlastnosti.

2.1 Senzor teploty AD7414

Teplotní senzor AD7414 má integrovaný 10-bitový převodník z teploty na digitální hodnotu. Teplotní rozsah tohoto převodníku je od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Přesnost převodníku je $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ při teplotě $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, komunikuje po sériové sběrnici I²C. Při uvedení obvodu do režimu spánku odebírá ze zdroje pouze $3\text{ }\mu\text{A}$. Doba měření teploty trvá pouhých $29\text{ }\mu\text{s}$. Obvod je pouzdrěn do dvou pouzder, která jsou typu SOT-23 a MSOP. AD7414 má možnost upravení adresy pro I²C komunikaci pomocí vývodu AS. Vývod ALERT obvodu je programově nastavitelný komparátor, který se dá použít pro indikaci překročení nastavené teploty. Napájení senzoru je v rozmezí $(2,7 \sim 5,5)\text{ V}$.

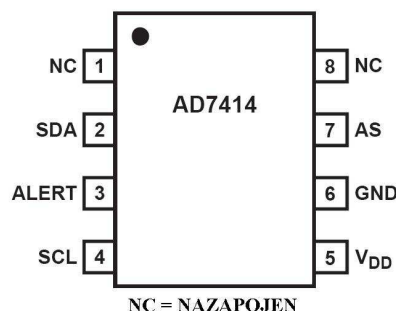
2.2 Blokové schéma, popis vývodů AD7414



Obr. č. 5: Blokové schéma AD7414 [2]

Tab. č. 1: Vývody AD7414 [2]

1 – NC	Nezapojen
2 – SDA	Data I ² C
3 – ALERT	Výstup komparátoru
4 – SCL	Hodiny I ² C
5 – V _{DD}	Napájecí svorka
6 – GND	Zemní svorka
7 – AS	Výběr adresy (vis tab. č. 2)
8 – NC	Nezapojen



Obr. č. 6: Rozmístění pinů AD7414 [2]

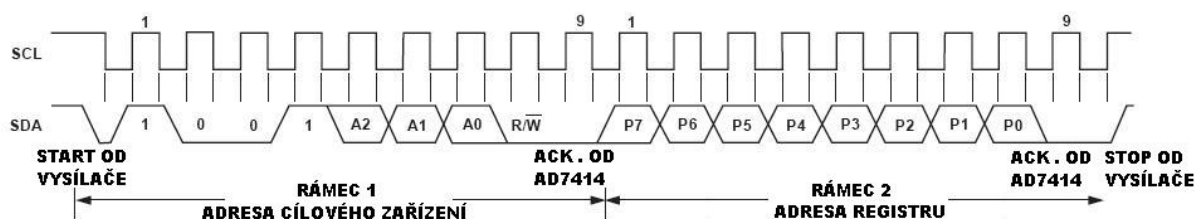
2.3 AD7414 – sběrnice I²C, funkce vývodu AS

I²C adresa senzoru je u některých typů částečně nastavitelná, u některých není nastavitelná vůbec. Adresa závisí na dalším označení senzoru např. AD7414-0. U nastavitelných senzorů je dále rozhodující pin AS, který určuje nastavení adresy. Tato adresa je uvedena v tab. č. 2. – Adresa AD7414. K pinu AS se připojuje dle potřeby rezistor o velikosti 1k Ω . Tento rezistor se připojí buď na napájecí napětí (V_{DD}), zemní svorku (GND), nebo se nezapojí.

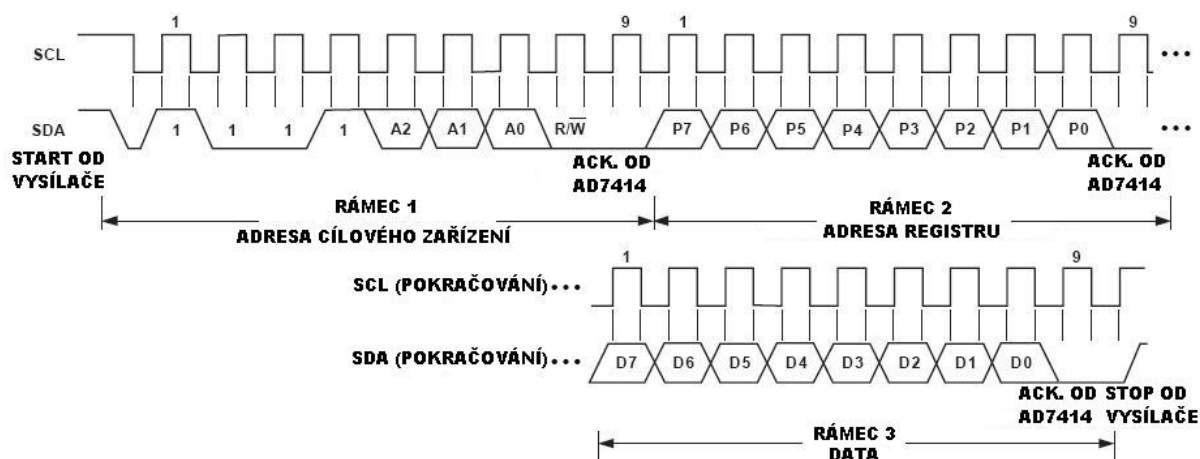
Komunikace po I²C sběrnici není složitá. Začíná vysláním startovací sekvence. Ta spočívá v nastavení datového vodiče (SDA) do nízké úrovně (LOW) pak se nastaví hodinový vodič (SCL) do úrovně LOW. Stop sekvence provedeme tak, že nastavíme SCL do vysoké úrovně (HIGH) a pak se uvede SDA do HIGH. Postup pro nastavení adresy, ze které budeme číst, či sem bude zapisovat, provedeme vysláním startovací sekvence. Po této sekvenci je vyslána adresa zařízení a bit R/W, který určuje, zda-li budeme číst (R), nebo zapisovat (W). V tuto chvíli přijmeme odpovídající bit ACK od zařízení, pokud je bit v HIGH, tak zařízení není připraveno, nebo žádné zařízení nemá tuto adresu. Po bitu ACK následuje sekvence adresy a opětovné potvrzení bitem ACK. Posledním krokem je stop sekvence. Tato komunikace je zobrazena na obr. č. 7, další možnosti komunikace jsou zobrazeny na obrázcích č. 8, 9, 10.

Tab. č. 2: Adresa AD7414 [2]

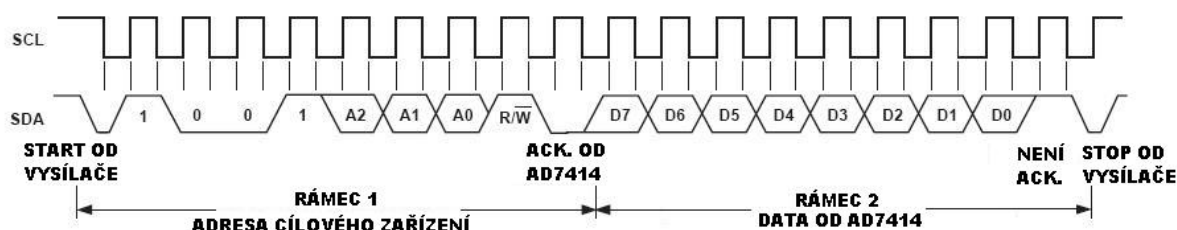
Označení senzoru	Pin AS	I ² C adresa
AD7414-0	Nezapojen	1001 000
AD7414-0	GND	1001 001
AD7414-0	V _{DD}	1001 010
AD7414-1	Nezapojen	1001 100
AD7414-1	GND	1001 101
AD7414-1	V _{DD}	1001 110
AD7414-2	Na pinu nezáleží	1001 011
AD7414-3	Na pinu nezáleží	1001 111



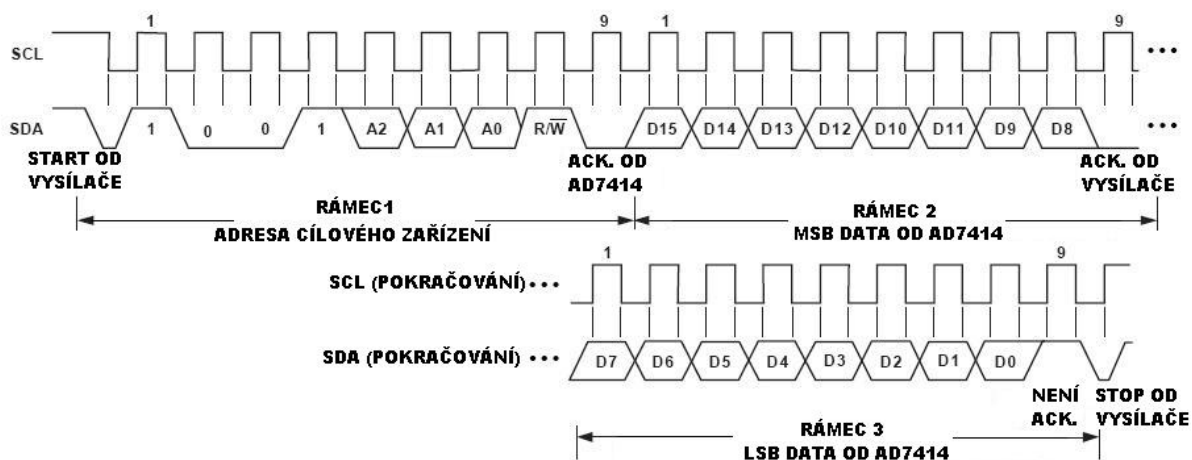
Obr. č. 7: Zapsání adresy registru [2]



Obr. č. 8: Zapsání adresy registru a zapsání dat [2]



Obr. č. 9: Čtení z vybraného registru [2]



Obr. č. 10: Čtení teploty z registru [2]

2.4 Registry senzoru AD7414

Senzor teploty AD7414 má pouze 4 registry, které jsou tomuto obvodu dostačující pro jeho funkci. Jedná se o registr naměřené teploty, registr horní hranice teploty (T_{HIGH}), který ovládá komparátor, registr spodní hranice teploty (T_{LOW}), který také ovládá komparátor a nastavovací registr. Teplota, do registru T_{HIGH} a T_{LOW} , se ukládá jako 8bitové číslo. Protože tyto registry jsou pouze 8bitové, výsledná teplota je zaokrouhlena na celé stupně. Při překročení teploty, která je nastavená v T_{HIGH} je aktivován výstup ALERT pokud teplota klesne pod teplotu v T_{LOW} , je výstup ALERT deaktivován. Registru teploty je složen ze dvou 8bitových registrů. První část registru obsahuje horních 8 bitů teploty. Druhá část obsahuje poslední 2 bity teploty plus 3 signalizační bity a 3 bity, které nejsou využité. Signalizační bity

signalizují stav vývodu ALERT, druhý byt signalizuje, zda-li je teplota vyšší než je teplota v T_{HIGH} a třetí, zda-li je teplota nižší než je teplota v T_{LOW} . Nastavovací registr je pouze 6-bitový. Nejvyšší bit uvádí AD7414 do režimu PD. Následující bit je pro obejití filtrování vodičů SDA, SCL. Třetím bitem je povolení výstupu ALERT. Dalším bitem se nastavuje aktivní polarita LOW, či HIGH výstupu ALERT. Pátý bit způsobí, že další převod teploty bude možný, až po povolení funkce výstupu AERT. Posledním bitem se nastavuje pouze jeden převod teploty. Následující převody teploty a zrušení této funkce se provedou po přechodu stavu tohoto bitu. [2]

2.5 Teplotní rozsah a převod teploty

Teplotní rozlišení je 0,25 °C, této hodnotě odpovídá 1 LSB (nejnižší) bit převedené teploty na 10bitové číslo. Senzor může teoreticky měřit teploty v rozpětí 255 °C, ale prakticky je tato hodnota nižší. Rozsah je upraven na hodnotu (-40 ~ + 125) °C kvůli maximálnímu výkonu senzoru. Formát dat teploty je uveden v tab. č. 3 – Formát dat teploty. Přebod zpět na teplotu není složitý. Je nutné znát zda-li je teplota kladná, nebo záporná. To určuje nejvyšší DB9 bit čísla, [2]:

$$\text{kladná teplota} = \frac{ADC}{4} \quad (6)$$

$$\text{záporná teplota} = \frac{ADC * -512}{4} \quad (7)$$

ADC uvádí formát dat převedený do desítkové soustavy. ADC* uvádí formát dat bez nejvyššího (DB9) bitu převedený do desítkové soustavy.

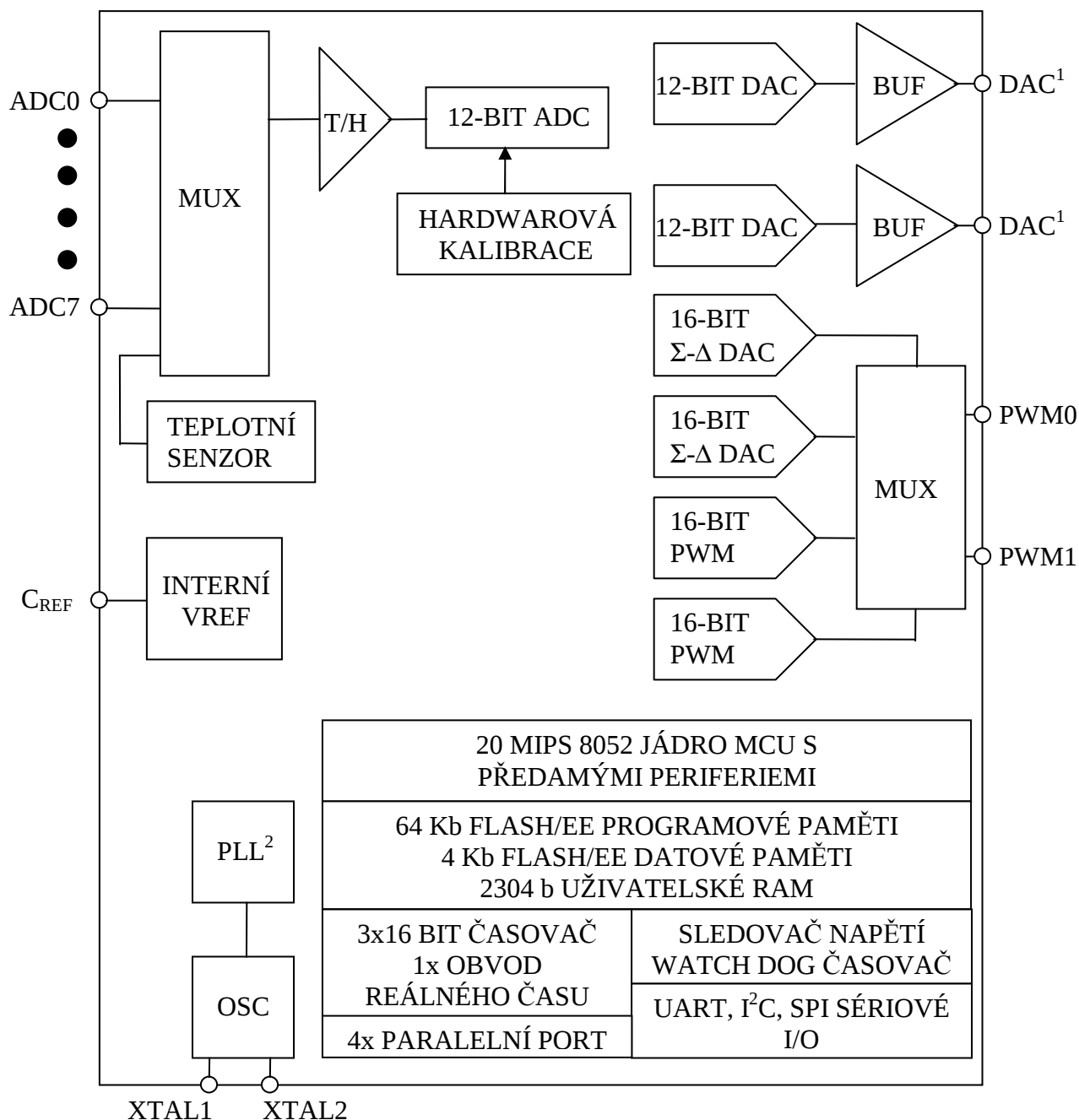
Tab. č. 3: Formát dat teploty [2]

Teplota	Výstupní digitální data DB9...BD0
-55 °C	11 0010 0100
-50 °C	11 0011 1000
-25 °C	11 1001 1100
-0,25 °C	11 1111 1111
0 °C	00 0000 0000
+0,25 °C	00 0000 0001
+10 °C	00 0010 1000
+25 °C	00 0110 0100
+50 °C	00 1100 1000
+75 °C	01 0010 1100
+100 °C	01 1001 0000
+125 °C	01 1111 0100

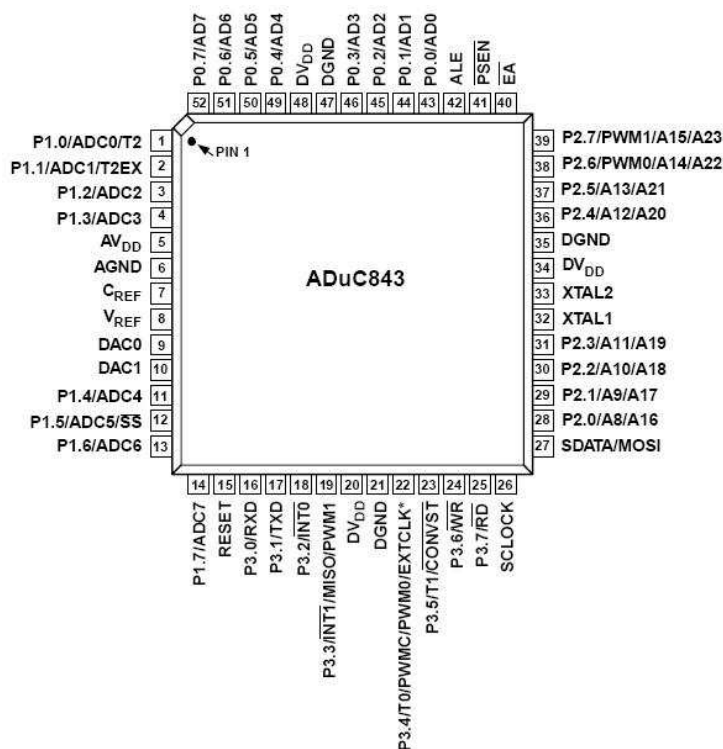
3. Mikrokontroler ADuC843

Mikrokontroler ADuC843 (MCU) obsahuje jádro 8052, 4 8bitové porty, sériové rozhraní UART, I²C, SPI, 3x 16bitový čítač/časovač, obvod reálného času, 12bitový A/D převodník, interní teplotní senzor, 2304 B paměti RAM, 4 kB Flash/EE datové paměti, 62 KB Flash/EE programové paměti, PWM rozhraní, watchdog timer (WDT), time interval counter (TIC), power supply monitor (PSM). Obvod je pouzřěn do dvou pouzder. Jedením typem je 52 vývodové pouzdro PQPF, druhým je 56 vývodové CSP.

3.1 Blokové schéma, popis vývodů mikrokontroleru ADuC843



Obr. č. 11: Blokové schéma AduC843 [3]



Obr. č. 12: Rozmístění pinů ADuC843 [3]

3.2 Napájení obvodu ADuC843

Mikrokontroler ADuC843 (MCU) má dva druhy napájení. Jedno napájení je pro digitální zpracování signálu, druhou pro analogová zpracování signálu. Pokud jsou použita obě napájení, je třeba napájení propojit pomocí Shottkyho diod. Tyto diody jsou v zapojení back-to-back, obě jsou paralelně, jedna je v propustném a druhá v závěrném směru. Jestliže je použito jedno napájení pro digitální i analogové signály, propojení napájení je stejné. Použijí se opět dvě Shottkyho diody back-to-back a připojí se ještě paralelně rezistor o velikosti $1,6 \Omega$. Obvod má dvě možnosti napájení, jedna je napájení napájecím napětím 3 V a druhá je napájení 5 V. Digitální i analogové země jsou propojeny. Ke každému napájecímu vývodu je připojen kondenzátor o velikosti $0,1 \mu\text{F}$, které mají zabránit rušení a filtrování poklesu napájení.

3.3 Oscilátor

Jako oscilátor je použit hodinkový krystal o frekvenci 32,768 kHz. Ke každému vývodu krystalu je připojen kondenzátor o velikosti 22 pF, které zabraňují vzniku vyšším harmonickým složkám. Pomocí správného nastavení registrů mikrokontroleru, lze z oscilátoru generovat přes PLL smyčky libovolnou frekvenci, od 130 kHz do 16 MHz potřebnou pro další zpracování signálu. Jedná se například o čítač/časovač 3 jako generátor přenosové rychlosti pro přenos dat pomocí UART.

3.4 Sériové rozhraní UART

Mikrokontroler (MCU) podporuje komunikaci po sériové sběrnici UART. Toho bylo využito pro komunikaci s PC. Zde je použit převodník, z RS232 na TTL a naopak, od výrobce Maxim - MAX232. Zde je třeba připojit k obvodu ještě 4 elektrolytické kondenzátory o kapacitě $1 \mu\text{F}$, které vytváří úroveň pro RS232. Vývody Tx a Rx MCU jsou přivedeny na Jumpery. Pomocí těchto jumperů se dá nastavit, zda budou připojeny k RS232, nebo k portu P3. UART je zde tedy možno použít pro zasílání naměřených dat do PC

k dalšímu zpracování, pro nastavování mikrokontroleru, popřípadě k nastavování senzoru teploty.

3.5 Sériové rozhraní SPI

Pomocí jednoduchého rozhraní a podpory sběrnice SPI může tímto způsobem jednoduše MCU komunikovat s ostatními periferiemi. SPI slouží k multikomunikaci. Veškeré periférie, které tuto komunikaci podporují se mohou připojit na jednu sběrnici a komunikovat mezi sebou. Na podobném principu je i sběrnice I²C, zde se také veškeré periférie připojují na jednu sběrnici.

3.6 Sběrnice I²C

Při použití hardwarové realizace I²C protokolu je nějaký problém s jejím použitím. Proto v tomto projektu byla použita softwarové využití I²C protokolu. Hodiny tohoto protokolu jsou společné i pro SPI rozhraní. Jako softwarová sběrnice byly použity piny P3.6 pro datový vodič a P3.7 pro hodinový vodič sběrnice. Aby byla zajištěna správná funkce I²C sběrnice jsou zde přidány zvyšovací (Pull-Up) rezistory pro tyto vodiče o hodnotě 10k a jsou připojeny na napájecí napětí VCC. Zvyšovací rezistory jsou použity i u vývodů sclock a sdata/mosi. Tyto dva vodiče jsou pro hardwarový protokol I²C, ale rovněž pro protokol SPI.

3.7 Přerušování mikrokontroleru

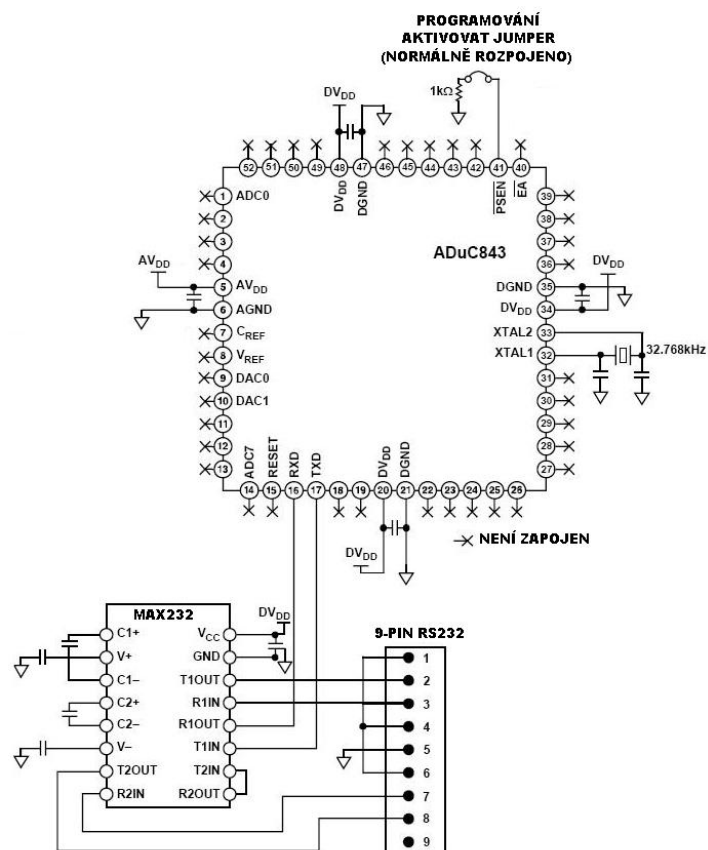
Mikrokontroler má řadu přerušování: 3 vnější, 3 typu čítač/časovač, UART. Další přerušování může být vyvoláno od Time interval counter (TIC), Watchdog Timer (WDT). Aby se patřičné přerušování vyvolalo musí být povoleno v patřičných registrech. Přerušování od TIC se dá velice vhodně použít pro probouzení procesoru, který je ve stavu spánku a jeho odběr je minimální.

3.8 Režimy se sníženou spotřebou

Režim se sníženou spotřebou (IDLE) se vyznačuje tím, že vnitřní generátor hodinových impulzů se odpojí od jádra, ale zůstává připojen pro odvody přerušování od čítačů/časovačů, vnějšího přerušování, sériového kanálu, TIC a dalších. Vývody vstupně/výstupních portů zůstávají v té logické úrovni v jaké byly, když byl MCU uveden do stavu se sníženou spotřebou. Ukončení režimu IDLE se provede vyvoláním libovolného přerušování. Druhým režimem je režim Power Down(PD). V tomto režimu se zastaví vnitřní oscilátor, a tím se vyřadí všechny funkce. Na vývodech vstupně/výstupních portů se udržuje stav, který byl před uvedením MCU do stavu PD. Ukončení tohoto režimu lze dosáhnout pouze generováním signálu RST=1, popřípadě pomocí TIC.

3.9 Programování mikrokontroleru

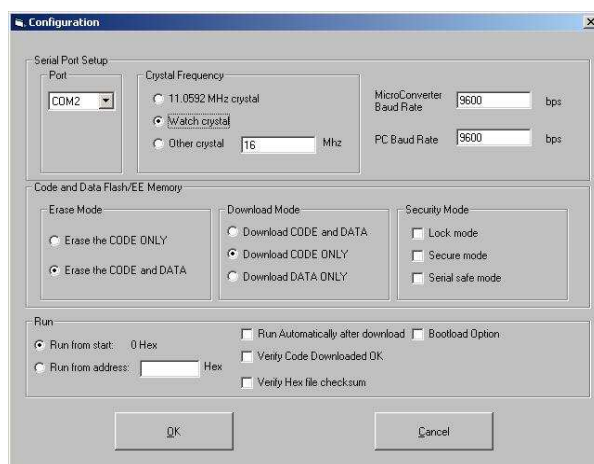
Pro programování MCU je využito rozhraní RS-232 a programu od firmy Analog Devices, který je volně stažitelný. [12] Pro programování je nutné, aby se pin PSEN připojil přes rezistor o velikosti 1k na GND. Pokud je tento vývod připojen na GND stačí provést reset MCU, pak je MCU připraven přijímat data po rozhraní RS-232 a ukládat je do paměťového prostoru pro program. Při odpojení pinu PSEN od GND a následném resetu se MCU vrátí do normálního chodu a začne vykonávat program, který je v něm zapsán. Vývod PSEN s vývody EA a ALE jsou dále využity pro komunikaci s externí pamětí. Příklad zapojení, pomocí kterého se dá MCU naprogramovat zachycuje obr. č. 13. Vzhled programu a jeho nastavovací část, který je doporučen pro programování MCU ukazují obr. č. 14, 15. Program se jmenuje Windows Serial Downloader (WSD).



Obr. č. 13: Příklad zapojení MCU pro programování [3]



Obr. č. 14: Vzhled programu pro programování [12]



Obr. č. 15: Nastavování programu WSD [12]

Pro programování kitu, který byl předmětem této práce, je třeba mít správně nastaveny propojky JP1, JP2, JP3 (viz. obr. č. 18). Propojky JP1, JP2 slouží pro přepnutí vývodů MCU pro komunikaci po rozhraní RS-232, nebo jako jednotlivé piny portu MCU. Propojka JP3 je rozhodující pro programování. Pokud je propojka spojena přes rezistor R7 na nulový potenciál, pak je to signál pro MCU, aby přijímal po rozhraní RS-232 instrukce a zapisoval je do paměti programu. Pro vysílání instrukcí je použit program, který lze volně stáhnout na stránkách firmy Analog Devices. U tohoto programu se nastaví rozhraní RS-232, zvolí se správný krystal (jeho frekvence) a načte se HEXa soubor s instrukcemi, které se pošlou do MCU. Komunikace MCU pomocí RS-232 protokolu probíhá přes integrovaný odvod MAX232, který mění logické úrovně z TTL na RS-232 a naopak.

3.10 Generování přenosové rychlosti rozhraní UART

Ke generování přenosové rychlosti rozhraní UART je výhodné použít čítač/časovat 3. Nastavování přenosové rychlosti je ve dvou registrech tohoto čítače (registry T3CON a T3FD). Pokud se použije tento čítač je třeba nastavit přenosovou rychlost. Ta závisí na frekvenci oscilátoru, která se nastaví pomocí PLLCON (registr pro nastavení velikosti frekvence oscilátoru), pomocí PLL smyčky z krystalu o frekvenci 32,768 kHz. Jedním parametrem je výpočet DIV (dělicí faktor) a výpočet T3FD (dělicí faktor). Dělicí faktor DIV se ukládá do registru T3CON a dělicí faktor T3FD je přímo obsahem tohoto registru. Výpočet DIV je ze vztahu (8), výpočet T3FD je ze vztahu (9), [3]:

$$DIV = \frac{\log\left(\frac{f_{CORE}}{16 \times PR}\right)}{\log(2)} \quad (8)$$

$$T3FD = \frac{2 \times f_{CORE}}{2^{DIV-1} \times PR} - 64 \quad (9)$$

Kde f_{CORE} je frekvence oscilátoru v PLLCON, PR je přenosová rychlost
Skutečnou přenosovou rychlost můžeme pak vypočítat podle vzorce (10), [3]:

$$SPR = \frac{2 \times f_{CORE}}{2^{DIV-1} \times (T3FD + 64)} \quad (10)$$

Kde SPR je skutečná přenosová rychlost

Příklad výpočtu pomocí (8), (9), (10): chceme-li přenosovou rychlost 115200 bit/s při použitém krystalu 16,777216 MHz

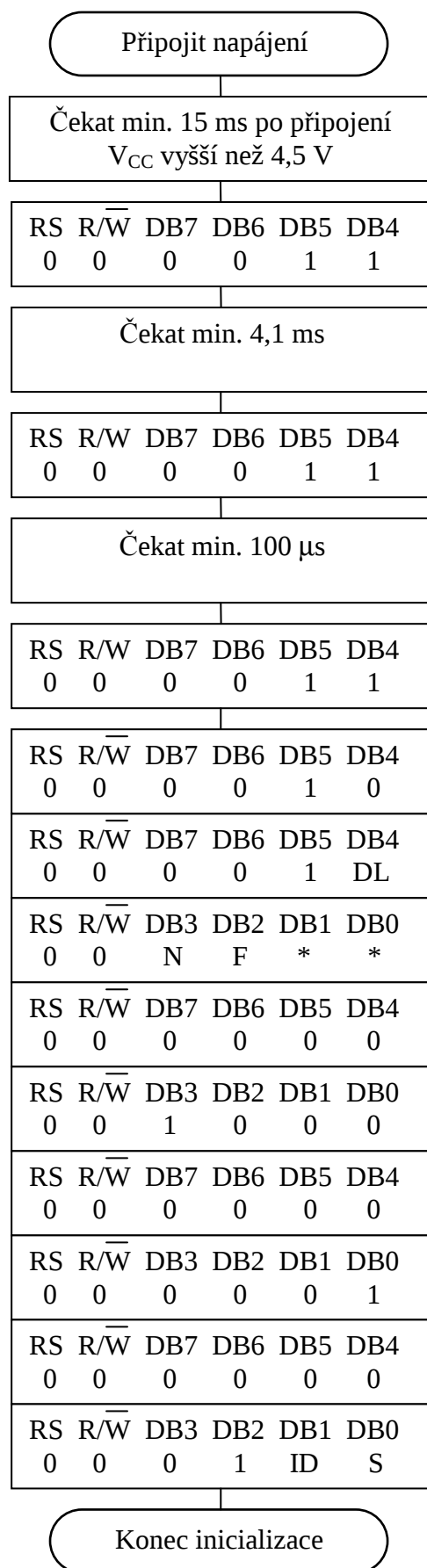
$$DIV = \log(16777216 / (16 \times 115200)) / \log 2 = 3,18 = 3$$

$$T3FD = (2 \times 16777216) / (2^2 \times 115200) - 64 = 9 = 09H$$

Skutečná rychlost se rovná 114912 bit/s

4. Modul LCD

Modul LCD slouží v této práci pro komunikaci s uživatelem. Na modulu LCD je zobrazováno nastavovací prostředí, aktuální teplota, nastavení úrovně teplotního čidla, nastavování MCU, aj. Komunikace s LCD je pomocí instrukční sady, která je zobrazena v tab. č. 4. Pomocí této instrukční sady byl nastaven přenos po 4bitové sběrnici. Tato inicializace se provádí pomocí protokolu pro inicializaci LCD, který je zobrazený na obr č. 16. Na modulu LCD lze zobrazovat znaky, které jsou vytvořeny ze znakové sady, která je uvedena v příloze č. 11.



Obr. č. 16: Postup pro inicializaci LCD [9]

Tab. č. 4: Instrukční sada pro LCD [11]

Instrukce	Kód									
	RS	RW	BD7	BD6	BD5	BD4	BD3	BD2	BD1	BD0
Vymaže displej	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Návrat	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
Nastavení módu vstupních dat	0	0	0	0	0	0	0	1	ID	S
Nastavení módu displeje	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B
Posuv kurzoru nebo displeje	0	0	0	0	0	1	SC	RL	*	*
Nastavení funkce displeje	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*
Nastavení adresy CG RAM	0	0	0	1	A	A	A	A	A	A
Nastavení adresy DD RAM	0	0	1	A	A	A	A	A	A	A
Čtení adresy a bitu BF	0	1	BF	A	A	A	A	A	A	A
Zápis dat do CG nebo do DD RAM	1	0	D	D	D	D	D	D	D	D
Čtení dat z CG nebo z DD RAM	1	1	D	D	D	D	D	D	D	D

Tab. č. 5: Instrukční sada pro LCD – pokračování [11]

Popis	Doba provedení instrukce při $f_{int} = 250 \text{ kHz}$
Vymaže celý displej, nastaví adresu DD RAM na 0	1,64 ms
Nastaví adresu DD RAM na 0, obsah beze změny, posune displej do původní pozice	1,64 ms
Nastavení pohybu kurzoru – bit ID	
Zapnutí/vypnutí displeje – bit D Zapnutí/vypnutí kurzoru – bit C Blikání znaku na kurzoru – bit B	40 ms
Posun kurzoru či displeje – bit SC Směr posuvu – bit RL	40 ms
Nastavení 4/8bitová sběrnice – bit DL Nastavení počtu řádek bit N Nastavení fontu znaků – bit F	40 ms
Nastavení adresy CG RAM (6 bitů)	40 ms
Nastavení adresy DD RAM (7 bitů)	40 ms
BF = 1 indikuje probíhající instrukci (BF a 7 bitů adresy)	
Zápis dat ze sběrnice do CG RAM nebo DD RAM	40 ms
Čtení dat z paměti CG RAM nebo z DD RAM	40 ms

Vysvětlivky k tab. č. 4, 5 – instrukční sada pro znakové displeje s řadičem HD44780:
[10]

CG RAM	je paměť znakového generátoru (tedy paměť fontů)
DD RAM	je paměť displeje, z ní jsou dle příslušné mapy zobrazeny příslušné adresy
ID = 1	po zápisu na určitou adresu v DD RAM (nebo i CG RAM) je ukazatel adresy inkrementován
ID = 0	po zápisu na určitou adresu v DD RAM (nebo i CG RAM) je ukazatel adresy dekrementován
S = 1	nastaví posun celého displeje po zapsání (směr posuvu je určen bitem ID)
S = 0	nastaví posun kurzoru po zapsání (směr posuvu je určen bitem ID)
SC = 1	posun displeje (bez zápisu)
SC = 0	posun kurzoru (bez zápisu)
RL = 1	nastavení směru posuvu doprava
RL = 0	nastavení směru posuvu doleva
DL = 1	nastavení datové sběrnice na osm bitů (tj. DB7-DB0)
DL = 0	nastavení datové sběrnice na čtyři bity (tj. DB7-DB4)
F = 1	nastaví výběr znaků z fontu 5x10 bodů
F = 0	nastaví výběr znaků z fontu 5x7 bodů
N = 1	nastavení počtu řádek na 2 nebo 4
N = 0	nastavení počtu řádek na 1
BF = 1	je příznak probíhajícího provedení vnitřní instrukce, v této době nesmíme na řadič posílat další instrukce zápisu nebo dojde k chybě a displej je třeba resetovat
BF = 0	na řadič je možno poslat další instrukci
*	nastavení bitu nerozhoduje (tzn. funkce je shodná pro 0 i 1)
fint	je frekvence vnitřního oscilátoru řadiče, bývá nastavena na fint = 250 kHz, tomu odpovídá čas provedení instrukce

5. Využití projektu

Při návrhu projektu bylo třeba se seznámit s vlastnostmi a parametry MCU a senzorů teploty. Mikrokontroler ADuC843 má jádro 8052, instrukční soubor je totožný pro jádra 8051. Má řadu vylepšení, hardwarovou I²C sběrnici, A/D převodník, SPI, integrovaný teplotní senzor, PWM aj. Senzor teploty AD7414 má také integrovanou I²C sběrnici. Pomocí vývodu AS se dá upravit adresa senzoru pro komunikaci po I²C směrnicí. Vývod ALERT je libovolně využitelný pro uživatele, funguje jako komparátor, je to příznakový vývod.

5.1 Rozhraní

Celé zařízení má vyvedeny veškeré vývody potřebné ke komunikaci s ostatními periferiemi. Pomocí MLW konektorů jsou vyvedeny samostatně veškeré porty P0~03, dále je pomocí MLW vyvedeno rozhraní pro SPI. Pomocí obvodu MAX232 je obvod schopen komunikovat s PC pomocí rozhraní RS232. Dále jsou pomocí svorek vyvedeny vývody ALE, EA, PSEN pro případnou komunikaci s externí pamětí, vývody. Tímto způsobem jsou vyvedeny i vodiče pro komunikaci po I²C sběrnici. Na tuto sběrnici je možno připojit další pomocná zařízení, paměti aj. U senzoru teploty je vyveden vývod ALERT, ten lze dále použít ke dalšímu zpracovávání dle požadavků uživatele (například k indikaci překročení nastavené teploty).

5.2 Komunikace s uživatelem

Komunikace s uživatelem může probíhat pomocí LCD a tlačítek, popřípadě pomocí PC. V obou případech je třeba vyrobit komunikační rozhraní buď samostatně pro displej, nebo pro PC nebo pro oba současně. Pomocí PC se dají dále také zpracovávat data a získat průběžnou statistiku teploty, vykreslovat grafy změn teplot během dne, týdne, měsíce. Možnost připojení více teplotních čidel na sběrnici I²C umožňuje takto měřit více místností a regulovat teploty v místnostech, chladících zařízeních, apod. Pro jednoduché použití stačí jedno či dvě čidla jako vnitřní a venkovní senzor. Touto možností získáme jednoduchý teploměr. Navíc můžeme vhodně indikovat, zda-li je teplota nižší než 0 °C.

Zajímavým způsobem využití zařízení může být použití při napájení z baterií. Napájení senzoru teploty AD7414 se může pohybovat v rozmezí (2,7~5,5) V. Mikrokontroler ADuC843 je napájen buď 3 V, nebo 5 V podle typu. Pro použití napájení 3 V lze použít baterie CR2032. Při tomto řešení je třeba využívat módů se sníženou spotřebou PD. Při uvedení teplotního senzoru do tohoto stavu odebírá ze zdroje pouhé 3 µA. MCU při uvedení do PD režimu odebírá ze zdroje přibližně 20 µA. Z režimu PD se MCU dostane pomocí přerušení od TIC. Toto přerušení, pokud je povoleno, není řízeno jádrem MCU, ale externím oscilátorem, proto může zůstat aktivní i v tomto režimu. Právě této vlastnosti je možno výhodně využít při napájení z baterie. Pokud se oba obvody uvedou do PD režimu, celkový odběr je pouhých 23 µA. Přerušení od TIC je nastavitelné od 1/128 sekund do 255 hodin. Při vhodném nastavení se pomocí tohoto přerušení probudí MCU, změří teplotu a uvede senzor a sebe do režimu PD. Teplotu místnosti, venkovního okolí, či jiného prostředí lze měřit po hodině, jedenkrát denně lze odeslat data do PC, pomocí kterého se získá statistika a lze měnit nastavení obvodu. Takto napájený obvod z baterie vydrží v provozu poměrně dlouhou dobu.

6. Zdrojové kódy

6.1 Kód pro čtení teploty po I²C z AD7414

Program vyšle adresu zařízení, nastaví adresu registru s teplotou, teplotu přijme a uloží do proměnných TEMP1, TEMP2.

```
RDTEMP:    PUSH PSW
           PUSH ACC
           ACALL START                ;STARTOVACI SEKVENCE
RDTEMP1:   MOV A,ADR                  ;ADRESA ZARIZENI
           CLR ACC.0                  ;ZAPIS PO IIC
           ACALL WBYTE
           JC RDTEMP1                ;OPAKUJ JE BUSY
RDTEMP2:   MOV A,#00000000B           ;ADRESA TEPLITNIHO REGISTRU
           ACALL WBYTE                ;ZAPIS PO IIC
           JC RDTEMP2                ;OPAKUJ JE BUSY
           ACALL START                ;STARTOVACI SEKVENCE
RDTEMP3:   MOV A,ADR                  ;ADRESA ZARIZENI
           SETB ACC.0                 ;CTENI PO IIC
           ACALL WBYTE                ;ZAPIS PO IIC
           JC RDTEMP3                ;OPAKUJ JE BUSY
RDTEMP4:   CLR ACK
           ACALL RBYTE                ;CTENI PO IIC
           RL A                       ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           RL A                       ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV TEMP1,A                ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV TEMP2,A                ;ULOZENI PRVNI CASTI TEPLITY
           ANL TEMP2,#00000011B       ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
RDTEMP5:   SETB ACK
           ACALL RBYTE                ;CTENI PO IIC
           ACALL STOP                 ;STOP SEKVENCE
           MOV B,TEMP1                ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV C,ACC.6                ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV B.0,C                  ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV C,ACC.7                ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV B.1,C                  ;UPRAVA 10 BITOVE TEPLITY
           MOV TEMP1,B                ;ULOZENI DRUHE CASTI TEPLITY
           POP ACC
           POP PSW
           RET
```

6.2 Kód pro převod 10 bitové teploty do BCD kódu

Program vezme proměnné TEMP1, TEMP2, udělá z nich jedno 10-bit. číslo, zjistí zda-li je teplota kladná, či záporná. Pro zápornou teplotu si poznačí záporné znaménko, provede negaci 10-bit. čísla, přičte jedničku a ignoruje nejvyšší bit. Kladnou teplotu neupravuje. Převeďe číslo do desítkové soustavy, zaokrouhlí na jedno desetinné místo a převede jej do BCD kódu.

```
PREVOD:    PUSH PSW
           PUSH ACC
           MOV DPL,TEMP1              ;ZE DVOU 8 BITOVE. ČÍSEL UDEĹÁ 16 BIT.
           MOV DPH,TEMP2              ;ZE DVOU 8 BITOVE. ČÍSEL UDEĹÁ 16 BIT.
           MOV C,TEMPX                 ;ZJISTENI ZAPORNE TEPLITY
           JC MINUS                    ;ZJISTENI ZAPORNE TEPLITY
```

```

MOV TEMPZNA, #0
SJMP PREVODA
MINUS: MOV TEMPZNA, #1          ;MINUS=1/PLUS=0
MOV A, DPL          ;PROVEDE NEGACI 16 BITOVEHO.CISLA
CPL A
MOV DPL, A
MOV A, DPH
CPL A
ANL A, #00000011B    ;UPRAVA, ABY BYLO CISLO JEN 10 BITOVE
MOV DPH, A
INC DPTR          ;ZVISENI 0 1
PREVODA: MOV OP_3, #0    ;PRIPRAVA NA POCETNI OPERACE
MOV OP_2, #0
MOV OP_1, DPH
MOV OP_0, DPL
MOV OD_1, #0
MOV OD_0, #25
ACALL MUL_16        ;NASOBENI DVOU CISEL
MOV DPH, OP_1
MOV DPL, OP_0
INC DPTR          ;PRICTENI CISLA 5
INC DPTR
INC DPTR
INC DPTR
INC DPTR
MOV OP_3, #0        ;PRIPRAVA NA POCETNI OPERACE
MOV OP_2, #0
MOV OP_1, DPH
MOV OP_0, DPL
MOV OD_1, #0
MOV OD_0, #10
ACALL DIV_16        ;DELENI DVOU CISEL
MOV DPH, OP_1
MOV DPL, OP_0
ACALL BINBCD        ;PREVOD VYSLEDKU NA BCD KOD
POP ACC
POP PSW
RET

```

6.3 Čtení dat po I²C

Část programu pomocí které se čtou data ze zařízení po I²C sběrnici

```

RBYTE: SETB SDA          ;NASTAVENI PRO CTENI DAT
MOV R7, #8          ;POCITADLO
LOOP2: SETB SCL          ;CLOCK
MOV C, SDA          ;CTENI SDA
CLR SCL          ;CLOCK
RLC A          ;ZAPIS NA ACC.1
DJNZ R7, LOOP2      ;SMYCKA
MOV C, ACK
MOV SDA, C          ;V C JE POTVRZUJICI BIT
SETB SCL          ;ACK CLOCK
NOP
CLR SCL
RET

```

6.4 Zápis dat po I²C

Část programu pomocí které se zapisují data do zařízení po I²C sběrnici

```
WBYTE:      MOV R7, #8           ;ZAPISE JEDEN BYTE
LOOP1:      RLC A                ;DO C ACC.7
            MOV SDA, C           ;DATA NA SDA
            SETB SCL             ;CLOCK
            NOP
            CLR SCL              ;CLOCK
            DJNZ R7, LOOP1       ;SMYCKA
            SETB SDA             ;CTENI ACK
            SETB SCL             ;POTVRZENI
            MOV C, SDA           ;DO C STAV ACK
            CLR SCL              ;SCL DO 0
            RET
```

7. Závěr

Cílem práce bylo seznámit se se základními principy elektronického měření teploty, prostudování vlastností dostupných inteligentních senzorů teploty a vybrat vhodný typ čidla a mikrokontroleru. Po konzultaci s vedoucím práce bylo vybráno teplotní čidlo od firmy Analog Devices AD7414 a mikrokontroler ADuC843 od stejné firmy. Schémata zapojení a návrhy desek plošných spojů byly realizovány pomocí programu EAGLE [7] - program pro kreslení plošných spojů. Významná část informací k obvodům AD7414 a ADuC843 byla získána z jejich katalogových listů [2], [3]. Vytvořený program pro mikrokontroler, který ovládá teplotní čidlo a umožňuje komunikaci s uživatelem, byl odzkoušen a odsimulován programem NI multisim [13], kde se tento program jeví jako funkční. Dále byl program odzkoušen na 2 portovém emulátoru pro mikrokontrolery s jádrem 8051. Nad rámec zadání byla provedena realizace, ale z důvodů časové tísně se nepovedlo modul oživit k datu odevzdání této práce.

8. Literatura

- [1] Elektronika a spol. [online]. 2006 – [cit. 14. května 2006]. Dostupná na WWW: <http://skriptum.wz.cz/autom/teplota.htm>
- [2] Analog Devices, Inc. AD7414/AD7415 Plus/Minus 0,5 °C Accurate, 10-bit Digital Temperature Sensore in SOT-23 Data Sheet [online] 2005 – [cit. 20. ledna 2008]. Dostupné na WWW: http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD7414_7415.pdf
- [3] Analog Devices, Inc. ADuC841/ADuC842/ADuC843 MicroConverter 12-bit ADCs and DACs with Embedded High Speed 62-kB Flash MCU Data Sheet [online] 2003 – [cit. 21. ledna 2008]. Dostupné na WWW: http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/ADUC841_842_843.pdf
- [4] Analog Devices, Inc. Analog/Digital Temperature Sensore [online] 1995 – [cit. 14. května 2006]. Dostupné na WWW: <http://www.analog.com>
- [5] AllDataSheet.net. Datasheet search site for Electronic Components and Semiconductors, integrated circuits, diodes, trias [online] 2003 – [cit. 19. listopadu 2007]. Dostupné na WWW: <http://www.alldatasheet.net/>
- [6] Maxim Integrated Products. Analog, Linear, and Mixed-Signal Devices from Maxim/Dallas Semiconductor [online] 2006 – [cit. 7. května 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.maxim-ic.com/>
- [7] Eagle Software. Plošné spoje snadno a rychle [online] 2003 – [cit. 29. března 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.eagle.cz>
- [8] Maxim Integrated Products. MAX220-49 DS [online] 2006 – [cit. 7. května 2008]. Dostupné na WWW: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>
- [9] Hatachi. HD44780U (LCD-II) [online] 1998 – [cit. 15. dubna 2008]. Dostupné na WWW: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/63673/HITACHI/HD44780.html>
- [10] GM Electronic. LCD displeje s řadičem – monochromatické [online] 1990 – [cit. 20. května 2008]. Dostupné na WWW: http://gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-108/kgm.513-108.1.pdf
- [11] GM Electronic. LCD displeje s řadičem – monochromatické [online] 1990 – [cit. 20. května 2008]. Dostupné na WWW: http://gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-102/kgm.513-102.1.pdf
- [12] Analog Devices, Inc. MicroConverter Windows Serial Downloader [online] 2005 – [cit. 27. února 2008]. Dostupné na WWW: <ftp://ftp.analog.com/pub/MicroConverter/ADuC8xx/WSD/v6.7/WSD%20V6.7.exe>
- [13] National Instruments - Test and Measurement. NI_Circuit_Design_Suite_10_1_Education [online] 2008 – [cit. 20. května 2008]. Dostupné na WWW: ftp://ftp.ni.com/evaluation/EWB/NI_Circuit_Design_Suite_10_1_Education.exe

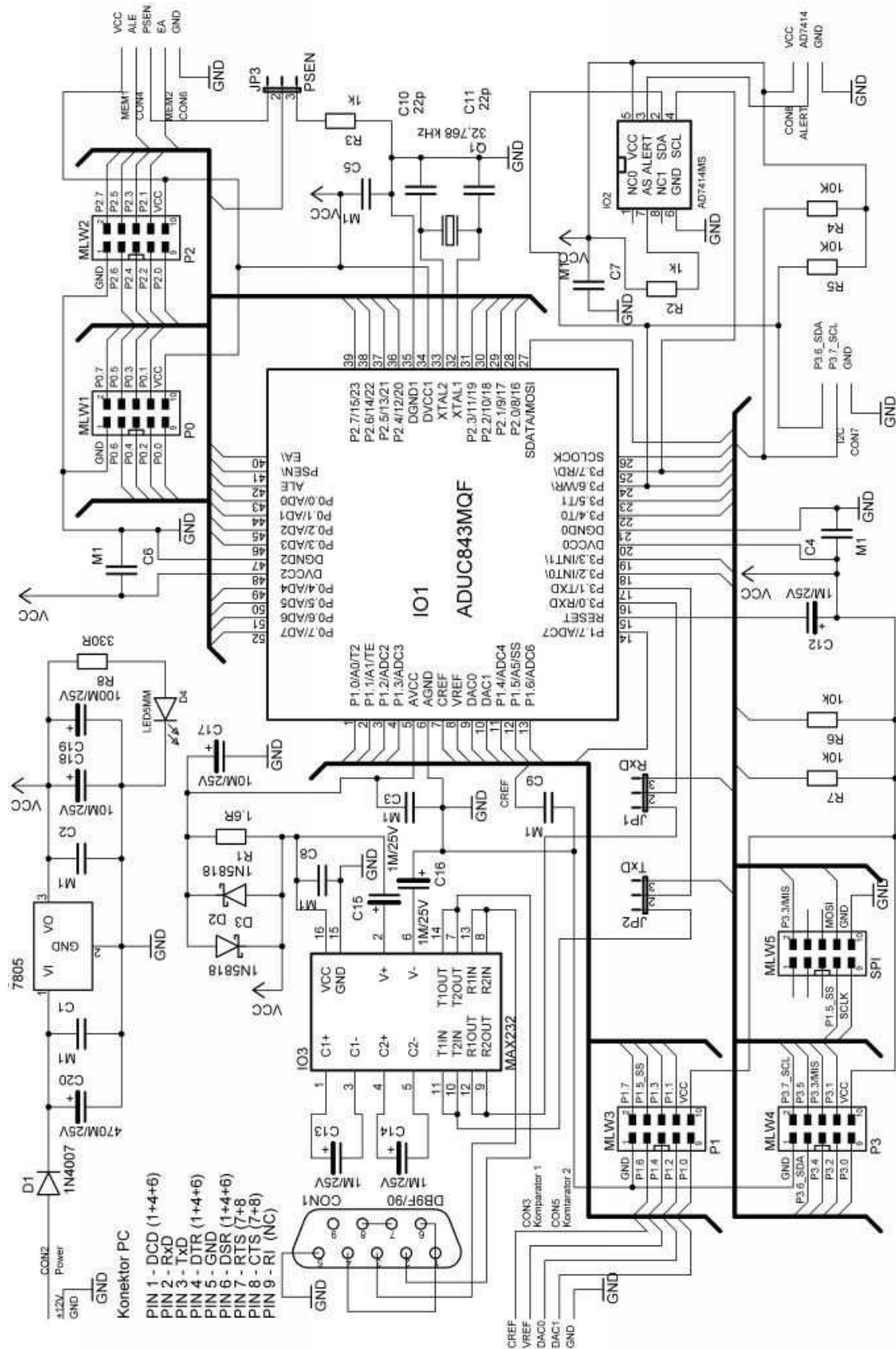
9. Seznam zkratek

MCU	Mikrokontroler
NTC	Termistor s negativní závislostí
PTC	Termistor s pozitivní závislostí
V _{DD}	Napájecí napětí
GND	Zemní svorka
SDA	Datový vodič I ² C sběrnice
SCL	Hodinový vodič I ² C sběrnice
LOW	Nízká logická úroveň
HIGH	Vysoká logická úroveň
R	Čtení
W	Zápis
T _{HIGH}	Horní hranice teploty
T _{LOW}	Dolní hranice teploty
WDT	Watchdog Timer
TIC	Time interval counter
PSM	Power supply monitor
IDLE	Režim se sníženou spotřebou
PD	Power Down
WSD	Windows Serial Downloader

10. Seznam příloh

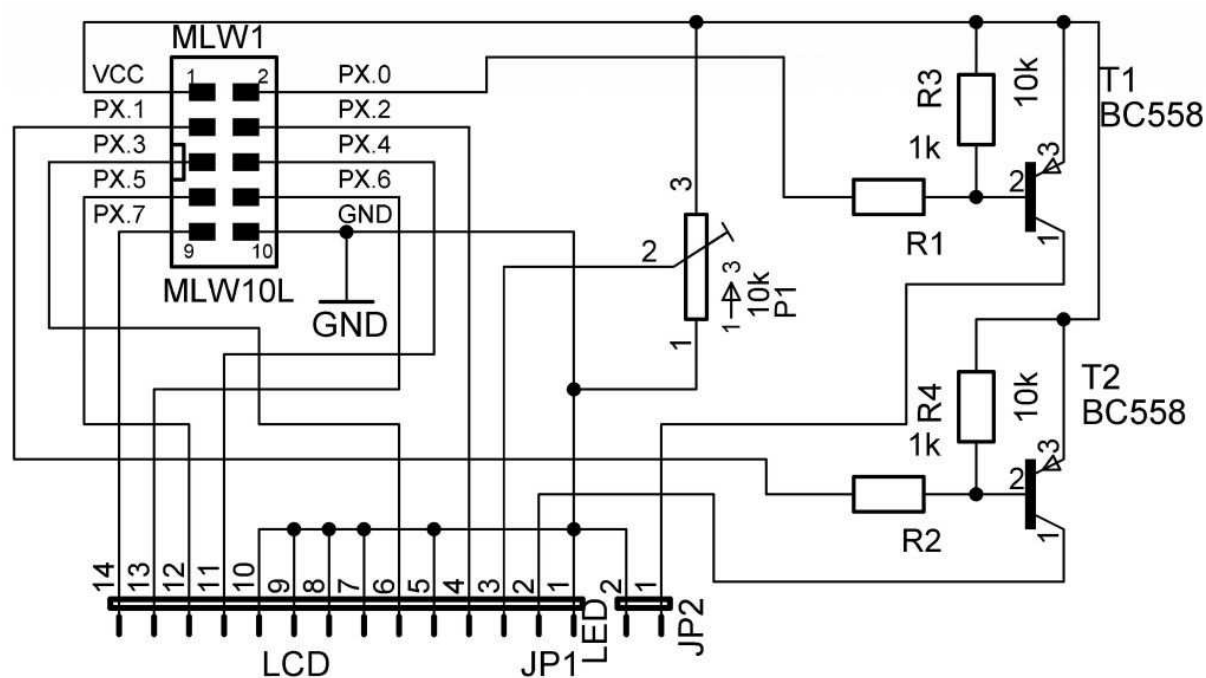
Příloha č. 1:	Schéma zapojení základního modulu
Příloha č. 2:	Schéma modulu LCD
Příloha č. 3:	Schéma modulu s tlačítky
Příloha č. 4:	Osazení součástek základního modulu
Příloha č. 5:	Osazení součástek modulu LCD
Příloha č. 6:	Osazení součástek modulu s tlačítky
Příloha č. 7:	Spodní vodivá strana základního modulu
Příloha č. 8:	Vodivé cesty modulu LCD
Příloha č. 9:	Vodivé cesty modulu s tlačítky
Příloha č. 10:	Horní vodivá strana základního modulu
Příloha č. 11:	Sada znaků LCD [10]
Příloha č. 12:	Seznam použitých součástek základního modulu
Příloha č. 13:	Seznam použitých součástek modulu LCD
Příloha č. 14:	Seznam použitých součástek modulu s tlačítky

Příloha č.1



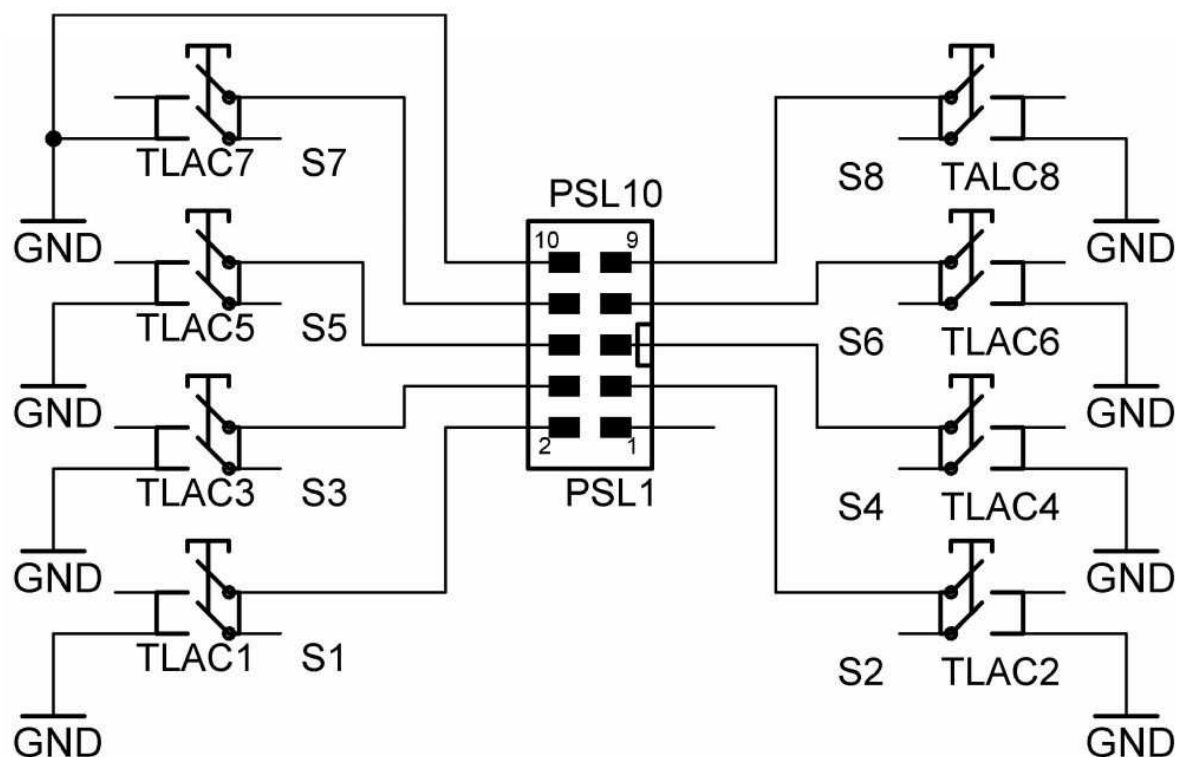
Obr. č. 17: Schéma základního modulu

Příloha č.2



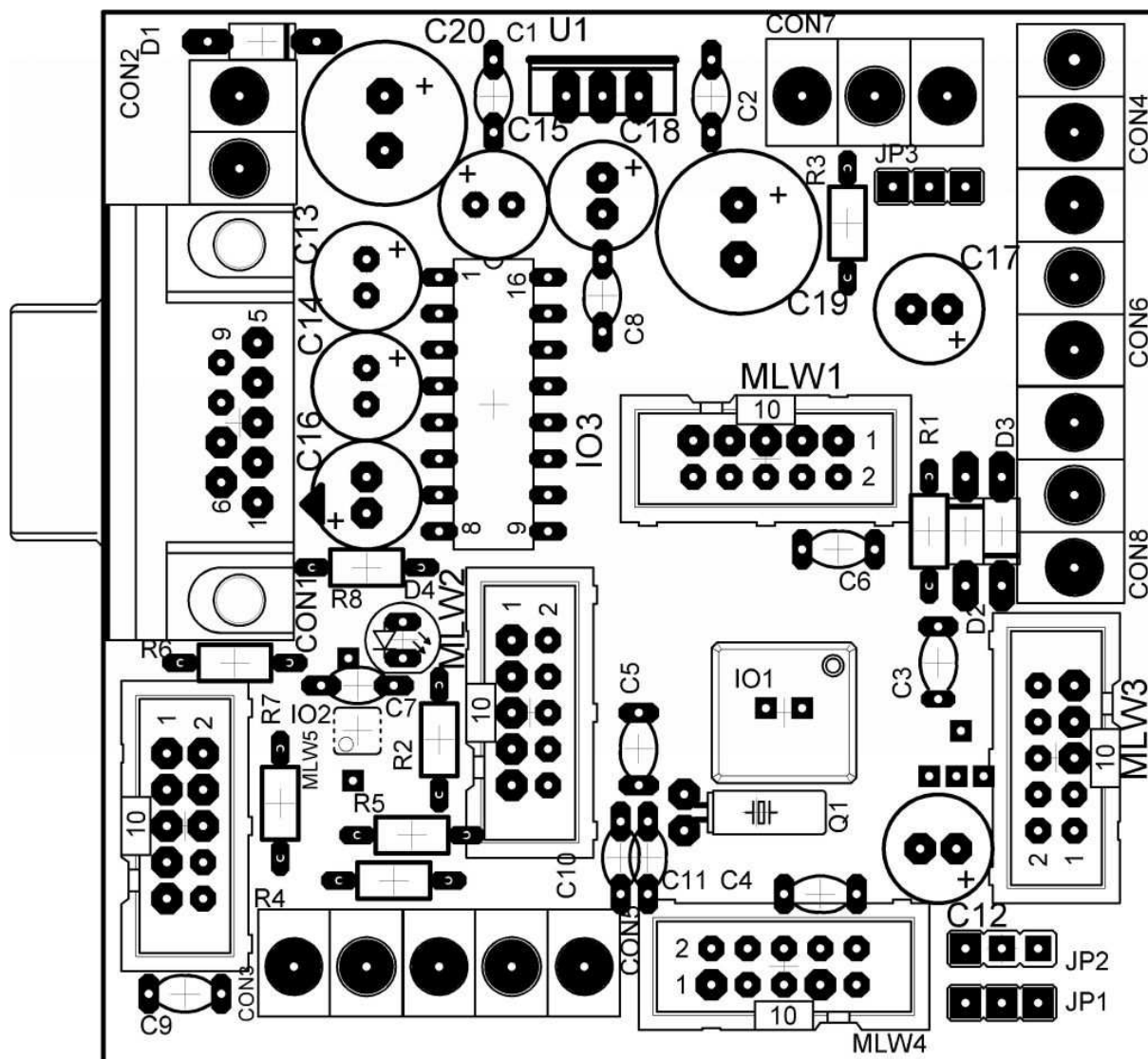
Obr. č. 18: Schéma modulu LCD

Příloha č.3



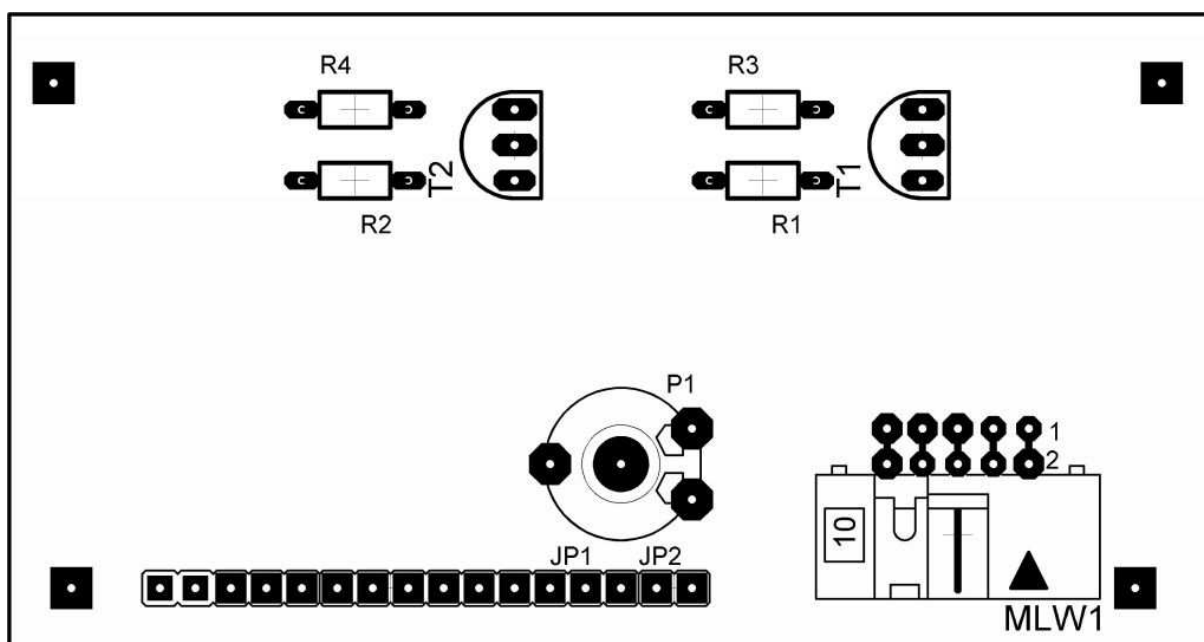
Obr. č. 19: Schéma modulu s tlačítky

Příloha č.4



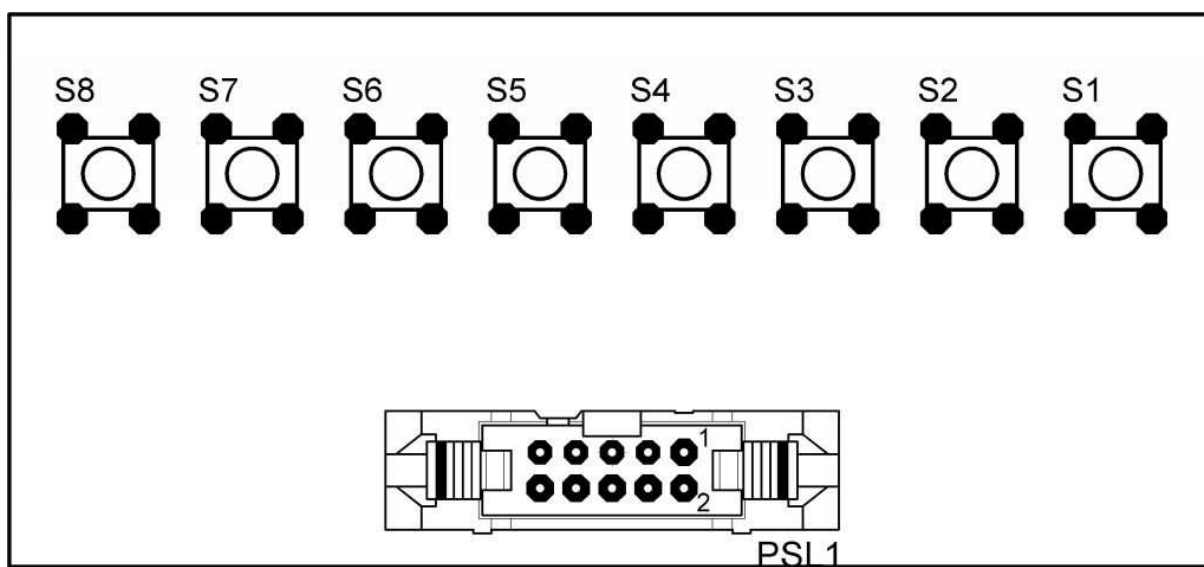
Obr. č. 20: Osazení součástek základního modulu

Příloha č.5

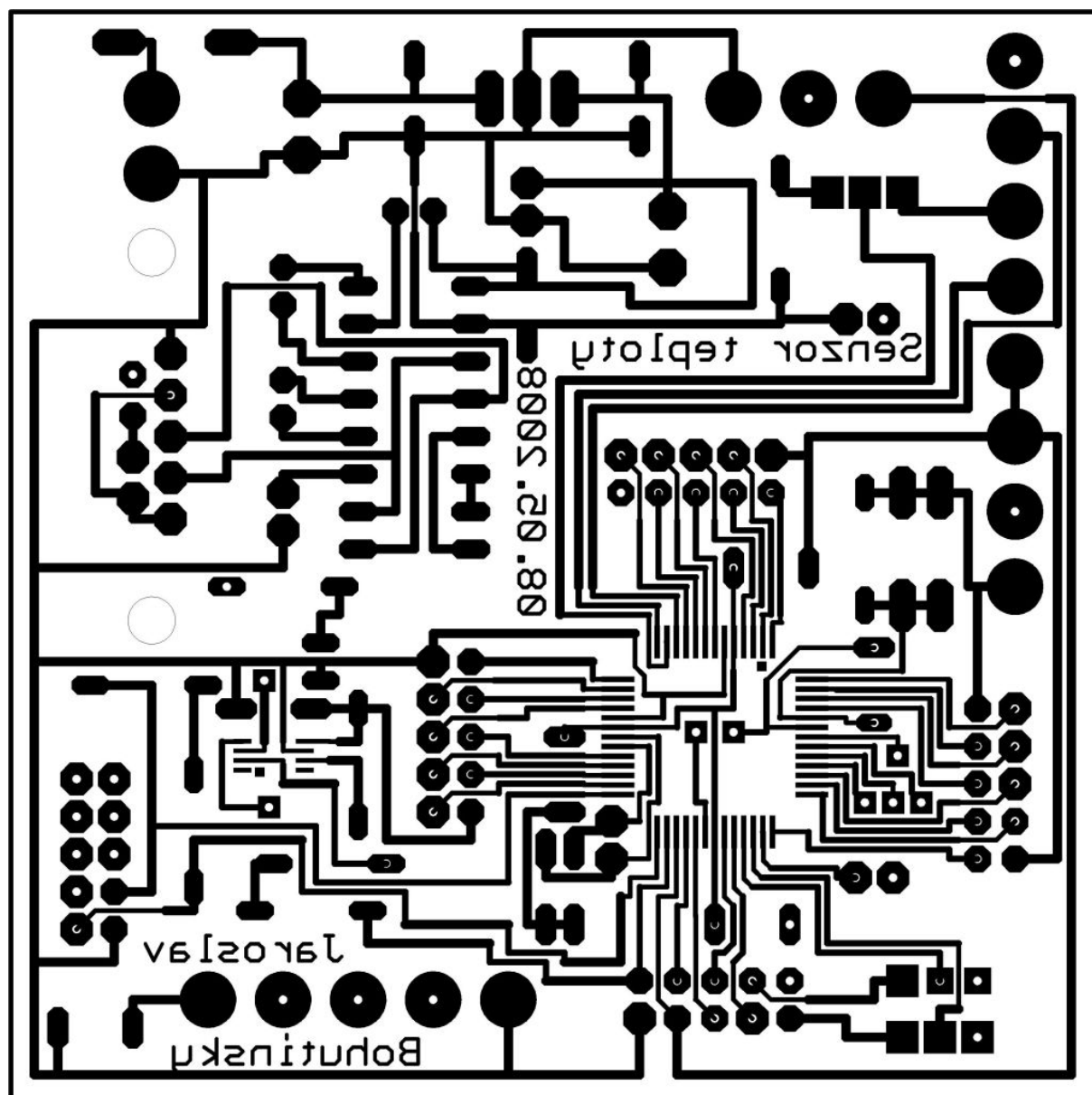


Obr. č. 21: Osazení součástek modulu LCD

Příloha č.6

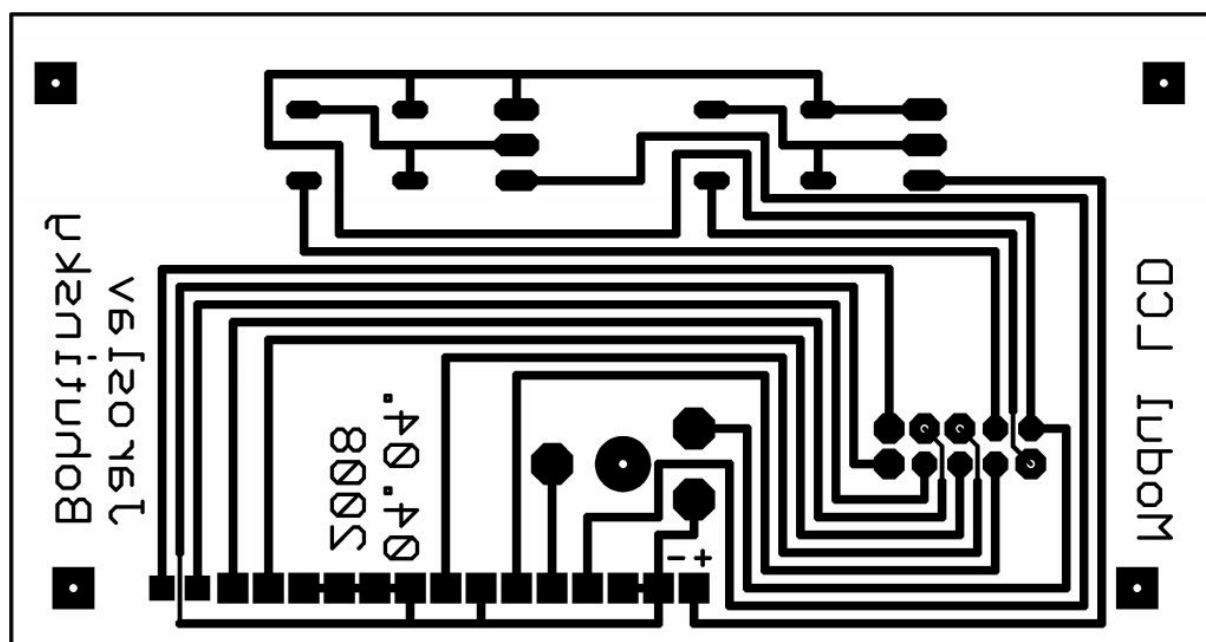


Obr. č. 22: Osazení součástek modulu s tlačítky



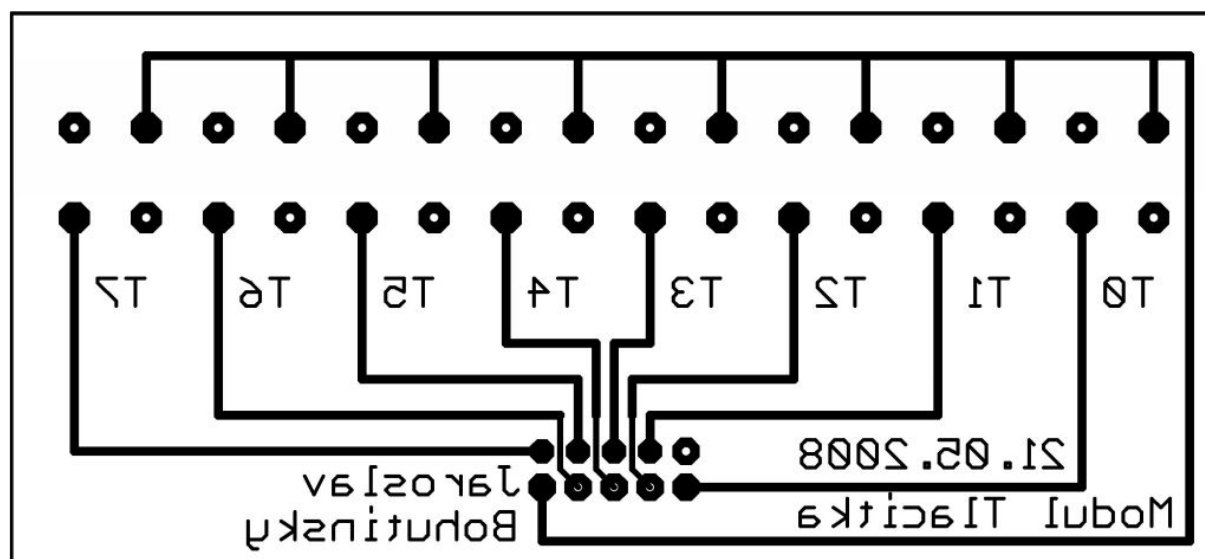
Obr. č. 23: Spodní vodivá strana základního modulu

Příloha č.8

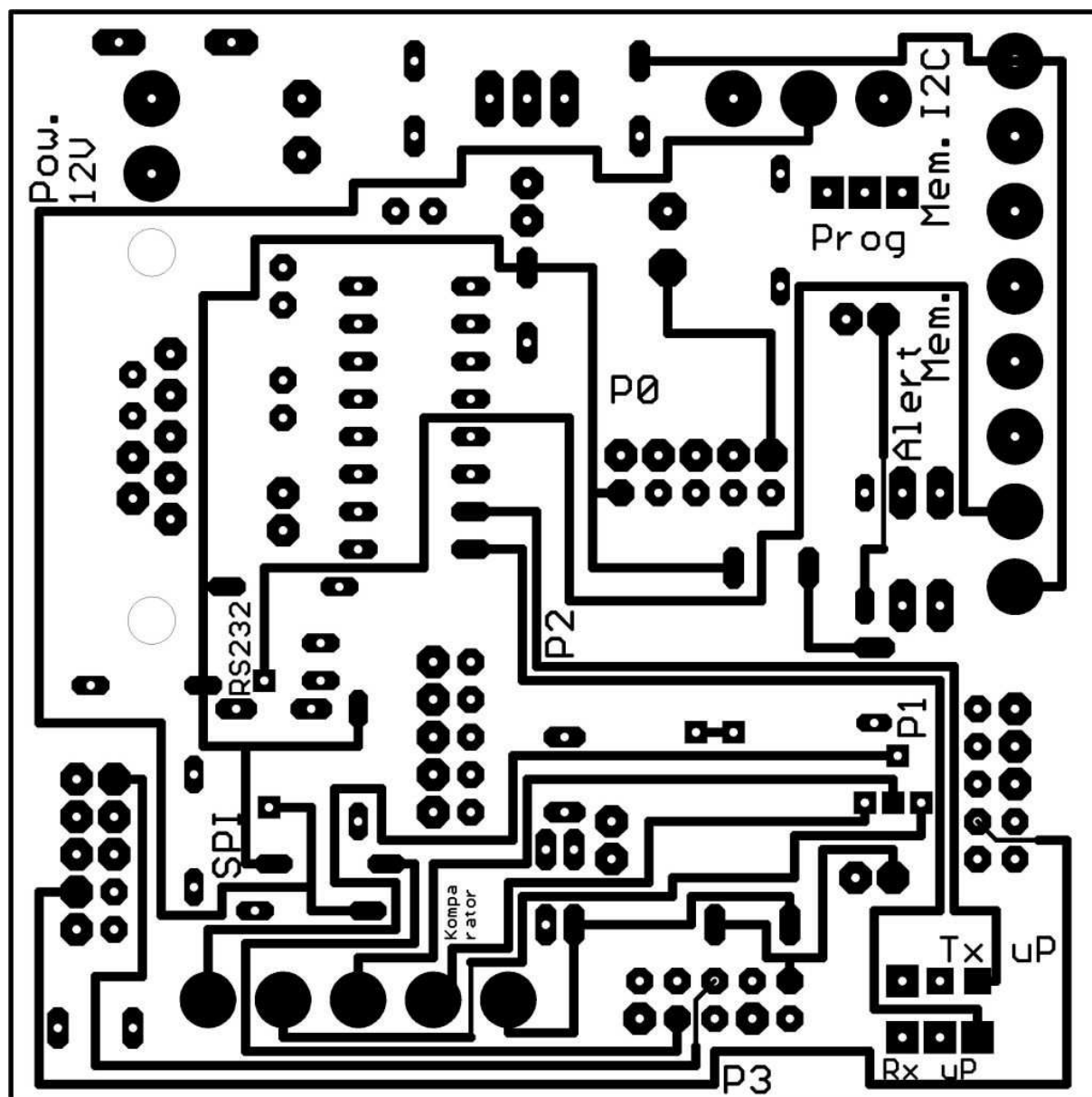


Obr. č. 24: Vodivé cesty modulu LCD

Příloha č.9



Obr. č. 25: Vodivé cesty modulu s tlačítky



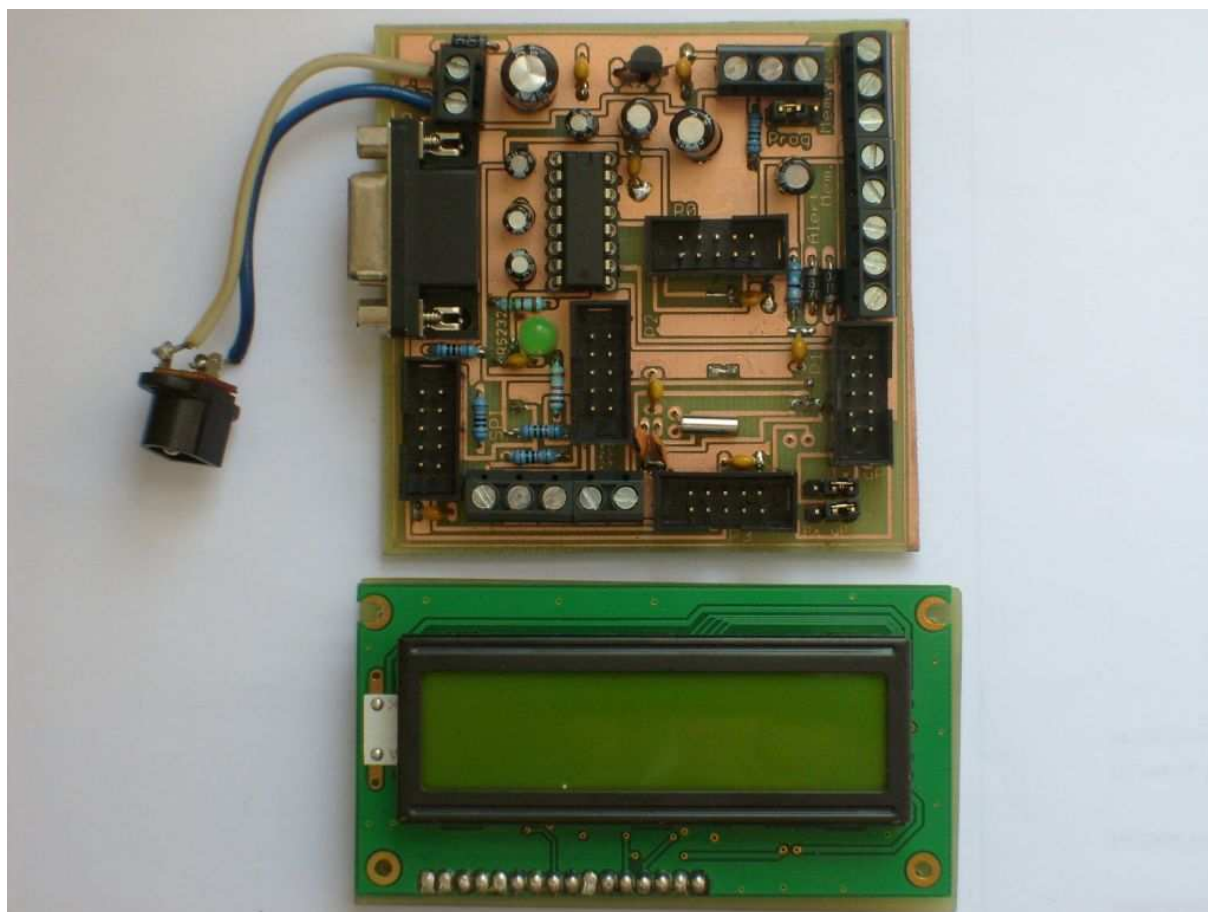
Obr. č. 26: Horní vodivá strana základního modulu

Příloha č.11

Lower 8bit	High 4bit	0000	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1010	1011	1100	1101	1110	1111
XXXX0000	CG RAM (1)		0	a	P	`	P		—	夕	三	α	P	
			!	1	A	Q	a	q	。	ア	チ	△	△	q
XXXX0010	(3)		"	2	B	R	b	r	「	イ	ウ	×	P	θ
XXXX0011	(4)		#	3	C	S	c	s	」	ウ	テ	E	ε	ω
XXXX0100	(5)		\$	4	D	T	d	t	、	エ	ト	ホ	μ	Ω
XXXX0101	(6)		%	5	E	U	e	u	・	オ	ナ	ユ	℃	U
XXXX0110	(7)		&	6	F	V	f	v	ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
XXXX1000	(8)		'	7	G	W	g	w	フ	キ	ヌ	ラ	g	π
XXXX1011	(1)		(	8	H	X	h	x	イ	ク	ネ	リ	フ	×
XXXX1001	(2)		)	9	I	Y	i	y	ウ	ク	ル	ニ	リ	y
XXXX1010	(3)		*	:	J	Z	j	z	エ	コ	ハ	レ	j	チ
XXXX1011	(4)		+	;	K	L	k	l	オ	サ	ヒ	ロ	*	五
XXXX1100	(5)		,	<	L	¥	1	1	ホ	シ	フ	ワ	Φ	四
XXXX1101	(6)		—	=	M	I	m	}	ユ	ズ	ハ	コ	モ	÷
XXXX1110	(7)		。	>	N	^	n	÷	ヨ	セ	ホ	°	ん	
XXXX1111	(8)		/	?	O	_	o	←	ッ	リ	マ	°	ろ	

Obr. č. 27: Sada znaků LCD [10]

Příloha č. 12



Obr. č. 28: Fotografie osazené desky modulu

Příloha č. 13

Tab. č. 6: Seznam použitých součástek základního modulu

Součástka	Hodnota		Součástka	Hodnota
Kondenzátory keramické			Rezistory 0,6W	
C1	100n		R1	1,6R
C2	100n		R2	1k
C3	100n		R3	1k
C4	100n		R4	10k
C5	100n		R5	10k
C6	100n		R6	10k
C7	100n		R7	10k
C8	100n		R8	330R
C9	100n			
C10	22p		Konektory	
C11	22p		CON1	DB9F/90
			CON2	ARK500/2
Kondenzátory elektrolytické			CON3	ARK500/2
C12	1μ/25V		CON4	ARK500/2
C13	1μ/25V		CON5	ARK500/3
C14	1μ/25V		CON6	ARK500/3
C15	1μ/25V		CON7	ARK500/3
C16	1μ/25V		CON8	ARK500/3
C17	10μ/25V		MLW1	MLW10
C18	10μ/25V		MLW2	MLW10
C19	100μ/25V		MLW3	MLW10
C20	470μ/25V		MLW4	MLW10
			MLW5	MLW10
Integrované obvody			Konektorové kolíky	
IO1	ADuC843MQF		JP1	JUMPER-3
IO2	AD7414MS		JP2	JUMPER-3
IO3	MAX232		JP2	JUMPER-3
Diody usměrňovací, LED			Stabilizátory	
D1	1N4007		U1	7805
D2	1N5818			
D3	1N5818		Krystaly	
D4	LED 5mm		Q1	32,768 kHz

Příloha č. 14

Tab. č. 7: Seznam použitých součástek modulu LCD

Součástka	Hodnota		Součástka	Hodnota
Rezistory 0,6W			Tranzistory	
R1	1k		T1	BC558
R2	1k		T2	BC558
R3	10k			
R4	10k		Potenciometry	
			P1	10k
Konektory				
MLW1	MLW10L		Konektorové kolíky	
			JP1	JUMPER-14
LCD			JP2	JUMPER-2
LCD	MC6102E-SYL			

Příloha č. 15

Tab. č. 8: Seznam použitých součástek modulu s tlačítky

Součástka	Hodnota		Součástka	Hodnota
Tlačítka			Konektory	
S1	P-B1720		PSL1	PSL10
S2	P-B1720			
S3	P-B1720			
S4	P-B1720			
S5	P-B1720			
S6	P-B1720			
S7	P-B1720			
S8	P-B1720			