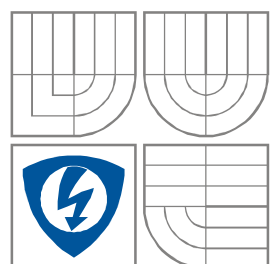


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ A ROZHRANÍ
ČLOVĚK-STROJ PRO PRŮMYSLOVÉ SENZORY
COMMUNICATION & MAN-MACHINE INTERFACE FOR INDUSTRIAL SENSORS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Petr Marcoň

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Marcoň Petr, Bc.

Ročník: 2

ID: 83503

Akademický rok: 2008/09

NÁZEV TÉMATU:

Komunikační rozhraní a rozhraní člověk-stroj pro průmyslové senzory

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rešerši současných způsobů ovládání průmyslových senzorů. Zaměřte se na prvky pro lokální parametrizaci senzorů a dále na prvky pro zobrazení těchto parametrů (displeje). Prostudujte funkční principy displejů LCD, OLED a dotykových displejů.

Navrhněte obvodové zapojení a realizujte blok pro lokální parametrizaci průmyslových senzorů. Proveďte rešerši způsobů dálkové komunikace se senzory včetně obvodového návrhu a realizace.

Proveďte oživení a testování realizovaných bloků. Navrhněte navázání těchto bloků na konkrétní typ průmyslového senzoru. Zvolené parametry senzoru uspořádejte do vhodného MENU a zobrazte na displeji. Prostudujte základy problematiky elektromagnetické kompatibility u průmyslových senzorů a proveďte základní ověření u Vámi realizovaných bloků.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Dinel. Elektronické systémy pro měření výšky hladiny. [online]. 2006 – [cit. 14. ledna 2008]. Dostupné na WWW: <http://cs.dinel.cz/>

[2] Densitron Displays. OLED Displays. [online]. 2008 – [cit. 14. ledna 2008]. Dostupné na WWW: <http://www.densitron.com/displays/Displays.aspx?nCategoryId=10>

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 29.5.2009

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

Konzultanti diplomové práce:



prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Petr Marcoň
Bytem: Hvozdná 308, Zlín, 763 11
Narozen/a (datum a místo): 2. února 1985 v Brně

(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: Komunikační rozhraní a rozhraní člověk-stroj pro průmyslové senzory

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

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: 29. května 2009

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

V diplomové práci jsou popsány možnosti lokální a dálkové konfigurace senzorů. Pro dálkovou konfiguraci je provedena rešerše nejčastěji používaných průmyslových komunikačních systémů a protokolů. Pozornost je věnována hlavně protokolu HART, který je podrobně rozebrán od fyzické až po aplikační vrstvu. Pro ověření protokolu HART, je navrženo obvodové schéma inteligentního senzoru teploty s čidlem Pt1000. Informace ze senzoru je možné získat v analogové i digitální podobě, díky protokolu HART je možné senzor také konfigurovat. Funkčnost dálkové konfigurace je ověřena pomocí programu HARTWinConf.

Pro lokální konfiguraci senzorů jsou popsány ovládací prvky jako tlačítka, maticové klávesnice a dotykové obrazovky. Pro zobrazení měřených hodnot jsou popsány zobrazovací prvky a podrobněji rozebrány znakové LCD displeje a grafické OLED displeje. Pro navržený senzor teploty je vybrán OLED displej DD12864YO-3A. Na displeji je možné zobrazit primární měřenou veličinu – teplotu, proud na smyčce nebo procenta z rozsahu.

Na závěr byl proveden test EMI a EMS navrženého inteligentního senzoru.

Klíčová slova

Dálková konfigurace, lokální konfigurace, dotyková obrazovka, EMC, grafický displej, HART, inteligentní senzor, OLED, proudová smyčka, průmyslový komunikační systém, Pt1000.

Abstract

This thesis describes the possibilities of local and remote sensors configuration. Summary overview of the most common Fieldbus and protocols for remote configuration is performed. The focus is mainly dedicated to the HART protocol that is analyzed from the physical layer to the application layer. Circuit diagram and printed circuit board (PCB) of smart sensor with thermistor probe Pt1000 was designed. The HART protocol allows the smart sensor parameters setting as well. The functionality of remote configuration was tested in HARTWinConf program.

The control elements for local sensor configuration, such as buttons, matrix keyboards and touchscreens, are described in the following chapter. Representation of the measurement values on display module is introduced too. The most important parameters and aspect of character LCD, graphics LCD and OLED displays are described in greater details. The DD12864YO-3A OLED display was selected to use with designed temperature smart sensor module. The display shows the loop current, the percentage of current range and the primary value - temperature.

As the last step the EMI and EMS tests for all modules were performed.

Keywords

Remote configuration, local configuration, touchscreen, EMC, graphic display, HART, smart sensor, OLED, current loop, Fieldbus, Pt1000.

MARCOŇ, P. *Komunikační rozhraní a rozhraní člověk-stroj pro průmyslové senzory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Komunikační rozhraní a rozhraní člověk-stroj pro průmyslové senzory jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucích diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 29. května 2009

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucím diplomové práce Ing. Tomáši Frýzovi, Ph.D. a Ing. Zdeňku Prečovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Rovněž děkuji firmě Dinel, s.r.o. za hmotnou a nehmotnou podporu při vypracování diplomové práce.

V Brně dne 29. května 2009

.....
podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	iii
Seznam tabulek	v
Úvod	1
1 Inteligentní senzory	2
2 Lokální ovládání průmyslových senzorů	3
2.1 Tlačítka	3
2.2 Klávesnice	4
2.3 Dotykové obrazovky	5
2.3.1 Řízení analogového dotykového touchscreeenu	6
2.3.2 Řízení digitálního dotykového touchscreeenu	6
3 Dálkové ovládání průmyslových senzorů	7
3.1 Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních systémů	7
4 Protokol HART	9
4.1 OSI model protokolu HART	9
4.1.1 Fyzická vrstva.....	9
4.1.2 Linková vrstva	12
4.1.3 Aplikační vrstva.....	13
4.2 Program pro komunikaci dle HART protokolu.....	13
5 Zobrazování měřených údajů	16
5.1 LCD Displeje.....	17
5.1.1 Princip funkce LCD displejů	17
5.1.2 Rozdělení a značení LCD displejů	17
5.1.3 Komunikace mezi MCU a řadičem znakového displeje	18
5.1.4 Grafické displeje s řadičem KS108	21
5.1.5 Grafické displeje s řadičem T6963C	24
5.2 Displeje s technologií OLED.....	26
5.2.1 Princip funkce OLED displejů	26
5.2.2 Rozdělení OLED displejů.....	27

5.2.3	Základní vlastnosti displejů s technologií OLED.....	28
5.2.4	Testování vlastnosti displejů s technologií OLED	28
5.2.5	Komunikace mezi MCU a OLED displejem.....	29
6	Návrh inteligentního senzoru teploty	34
6.1	Získání informace o teplotě z měřicího čidla Pt1000.....	34
6.2	Popis analogového napěťového výstupu	37
6.3	Převodník napětí na proud.....	39
6.4	Komunikační rozhraní HART	40
6.5	Napájecí napětí	41
6.6	Inteligentní senzor teploty	42
6.7	Testování přesnosti navrženého senzoru teploty.....	43
7	Test EMC navrženého zařízení	44
7.1	Test elektromagnetické imunity	44
7.2	Test elektromagnetické interference.....	45
8	Konfigurace navrženého modulu	47
8.1	Lokální konfigurace navrženého senzoru.....	47
8.2	Dálková konfigurace navrženého senzoru.....	48
	Závěr	50
	Literatura	51
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	53
	Seznam příloh	55

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Blokové schéma inteligentního senzoru.....	2
Obr. 2.1: Tlačítka zapojená v negativní logice (vlevo) a v pozitivní logice (vpravo).....	3
Obr. 2.2: Vývojové diagramy ošetření zakmitávání kontaktů: a) opakované čtení, b) dvojitý čtení s čekáním, více v literatuře [3].....	4
Obr. 2.3: Zapojení maticové klávesnice k MCU.....	4
Obr. 2.4: Princip snímání dotyku na digitálním dotykovém touchscreenu.	6
Obr. 3.1: Rozdělení průmyslových sítí.....	7
Obr. 4.1: OSI model protokolu HART.....	9
Obr. 4.2: Společná analogová a digitální komunikace.	10
Obr. 4.3: Průběhy signálu na smyčce při komunikaci zařízení s protokolem HART.	11
Obr. 4.4: Stavový automat pro příjem jednotlivých bytů protokolu HART.....	14
Obr. 5.1: Rozbor značení LCD displejů.	18
Obr. 5.2: Znaková sada řadiče HD44780 [12].....	19
Obr. 5.3: Příklad 4 bitové komunikace.....	20
Obr. 5.4: Inicializační sekvence: a) 8-bitová komunikace, b) 4-bitová komunikace.	21
Obr. 5.5: Zjednodušené blokové schéma modulu GDM12864A.....	22
Obr. 5.6: Časové průběhy signálu při zápisu.....	24
Obr. 5.7: Vývojové diagramy objasňující základy komunikace s řadičem T6963C.....	25
Obr. 5.8: Modul PG240128WRF-ATA-H-Y7 s řadičem T6963C a testovací obrazec.	26
Obr. 5.9: Struktura OLED displeje.....	27
Obr. 5.10: Závislost spotřeby OLED displeje na teplotě.....	29
Obr. 5.11: Sekvence pro zapnutí a vypnutí displeje.....	30
Obr. 5.12: Struktura paměti GDDRAM řadiče SSD1303 pro displej DD-2864BY-2A.	31
Obr. 5.13: Příklad nastavení konkrétních bitů v GDDRAM.....	32
Obr. 5.14: Testovací obrazce na OLED displejích DD32645C-1A a DD12864YO-3A.....	32
Obr. 6.1: a) Měřicí obvod teplotního čidla Pt1000. b) Nízkošumový OZ AD8603.....	34
Obr. 6.2: Závislost výsledku po A/D převodu na teplotě.....	36
Obr. 6.3: Rozložení pinů DAC.....	37
Obr. 6.4: Protokol I2C.....	38
Obr. 6.5: Převodník napětí na proud.....	39
Obr. 6.6: a) Blokové schéma HT2015. b) Rozložení pinů v pouzdře LQFP.....	40

Obr. 6.7: Průběh modulovaného napětí na výstupu OTXA.	41
Obr. 6.8: a) Základní zapojení stabilizátoru napětí (pro $V_{out} = 1,23$ až 30V). b) Rozložení pinů čipu LP2951.....	42
Obr. 6.9: Závislost absolutní chyby měření teploty na teplotě.....	43
Obr. 6.10: Závislost absolutní chyby nastavovaného proudu na teplotě.....	43
Obr. 7.1: Test EMS dle ČSN EN 61000-4-6 a ČSN EN 61326-1 (napětí 3 V).	44
Obr. 7.2: Test EMS dle ČSN EN 61000-4-6 a ČSN EN 61000-6-2 (napětí 10 V).	45
Obr. 7.3: Naměřené hodnoty vyzařování při testování teplotního snímače v závislosti na frekvenci při horizontální polarizaci měřící antény.....	46
Obr. 7.4: Naměřené hodnoty vyzařování při testování teplotního snímače v závislosti na frekvenci při vertikální polarizaci měřící antény.....	46
Obr. 8.1: Struktura menu navrženého smart senzoru.	47
Obr. 8.2: Menu displeje a hlavní obrazovka s měřenou veličinou.	48
Obr. 8.3: Vyčtení informací ze senzoru pomocí programu HARTWinConf.	49
Obr. 8.4: Základní konfigurace senzoru pomocí programu HARTWinConf.....	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1: Mezní úrovně signálu HART	10
Tab. 4.2: Uspořádání bitů při odesílání jednoho bytu ve zprávě protokolu HART.	12
Tab. 4.3: Struktura zprávy protokolu HART.....	12
Tab. 4.4: Možnosti formátu START bytu.	13
Tab. 4.5: Datové typy protokolu HART.....	15
Tab. 5.1: Některé příkazy řadiče HD44780 pro komunikaci s LCD displejem [13].....	19
Tab. 5.2: Obsazení vývodů displeje GDM12864A [11].....	22
Tab. 5.3: Instrukce pro řízení displeje.	23
Tab. 5.4: Časování signálů při zápisu do driveru displeje GDM12864A.....	24
Tab. 5.5: Příklad inicializace řadiče T6963C.	25
Tab. 5.6: Rozložení vývodů driveru SSD1303 pro řízení OLED displeje DD32645C-1A. 30	
Tab. 6.1: Výstup A/D převodníku odpovídající výstupnímu napětí U_{OUT}	36
Tab. 6.2: Popis pinů D/A převodníku DAC8571	37
Tab. 6.3: Sekvence při vysílání dat ze zařízení master do přijímače – slave (DAC8571). ...	38
Tab. 6.4: Zápis hodnoty z mikroprocesoru do D/A převodníku.....	38
Tab. 6.5: Popis pinů čipu HT2015.....	40

ÚVOD

Člověk chce neustále získávat informace o stavu okolního světa, a proto byly stanoveny různé fyzikální a chemické veličiny a jednotky. Důležitou roli při získávání těchto veličin a následném zpracování má sensorová technika. Sensor je obecně definován jako zařízení, které reaguje na podmět, stav prostředí (měřenou veličinu) a převádí jej na výslednou odezvu nebo informaci (výstupní veličinu). Stav procesu snímá citlivá část senzoru a zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Výstupní informací z vyhodnocovacího obvodu je obvykle elektrický signál, který lze snadno zpracovat dalšími obvody [1].

Diplomová práce je zaměřena na způsob zadávání informací vyhodnocovacím obvodům senzorů (konfiguraci senzorů). Můžeme zadávat například hodnoty pro kalibraci, minimální a maximální hodnoty rozsahu měřené veličiny. Nejjednodušší způsob zadávání parametrů průmyslovým senzorům je lokální konfigurace pomocí tlačítek, různých druhů klávesnic a dotykových obrazovek. Těmto prvkům pro zadávání parametrů je věnována celá 2. kapitola. Jinou možností jak zadat informace senzoru je dálková konfigurace, kdy se používá různých průmyslových sběrnic a protokolů. Přehled nejpoužívanějších průmyslových protokolů a sběrnic je uveden v kapitole 3. Ve 4. kapitole je podrobně rozebrán protokol HART, který je implementován v navrženém inteligentním senzoru teploty.

Po zpracování měřené veličiny ve vyhodnocovacích obvodech je třeba podat odpovídající signál následujícím obvodům pro zpracování (např. signál získaný z limitního snímače hladiny se předá mikrokontroléru, aby zajistil spuštění čerpadla při poklesu hladiny pod minimální hodnotu). Další možností je požadavek, aby signál dával ve vhodné formě informaci přímo člověku. K tomuto účelu se používají různé zobrazovací jednotky (od segmentových displejů až po grafické displeje). Pátá kapitola je zaměřena právě na displeje s vysokou hustotou informace jako jsou LCD a OLED displeje.

Samotný návrh inteligentního průmyslového senzoru je podrobně popsán v 6. kapitole. V 7. kapitole je pojednáno o testování elektromagnetické kompatibility navrženého zařízení. Jsou zde popsány testy elektromagnetické imunity i interference. V poslední 8. kapitole jsou uvedeny možnosti lokálního i dálkového způsob konfigurace navrženého inteligentního senzoru.

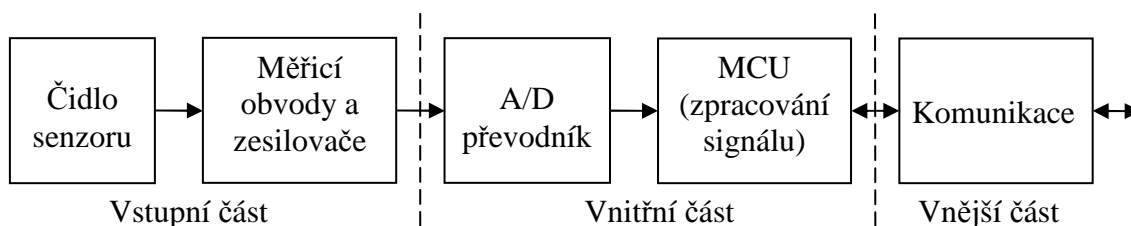
1 INTELIGENTNÍ SENZORY

Obecně rozumíme pod pojmem senzor snímač, převodník nebo detektor. Citlivá část senzoru se často označuje jako čidlo. Senzor jako primární zdroj informace snímá sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na měřicí veličinu – nejčastěji na veličinu elektrickou.

Inteligentní senzor (Smart Sensor) je senzor, který obsahuje obvody pro zpracování, analýzu a úpravu signálu v jediném kompaktním provedení s citlivou částí (čidlem) senzoru (podrobněji rozepsáno v [2]).

Rozdělíme-li si strukturu inteligentního senzoru na vstupní, vnitřní a výstupní část (viz obr. 1.1), lze definovat dle literatury [2] následující požadavky na inteligenci:

- *Vstupní část* – převod fyzikální, chemické, biologické veličiny na elektrickou, zesílení a filtrace signálu, linearizace statické charakteristiky, normování signálu, přepínání více vstupních veličin s adresací v řadě a ve smyčce, ochrana proti nežádoucímu působení parazitních veličin atd.
- *Vnitřní část* – A/D převod, autokalibrace elektrické a je-li to možné i neelektrické části měřicího řetězce, číslicová linearizace, aritmetické operace, autodiagnostika, statistické vyhodnocování měřených dat (střední hodnota, směrodatná odchylka atd.), prostřednictvím rozhraní dálkově ovládané rozsahy (zesílení), hlídání mezí, registrace mezivýsledků až po umělou inteligenci, kdy senzor na základě modelu a učících se principů je schopen např. rozeznat, jsou-li naměřená data věrohodná apod.
- *Výstupní část*: unifikace analogových výstupních signálů, komunikace prostřednictvím integrovaného rozhraní se sběrníkovým systémem, výkonové binární výstupy, D/A převod apod.



Obr. 1.1: Blokové schéma inteligentního senzoru.

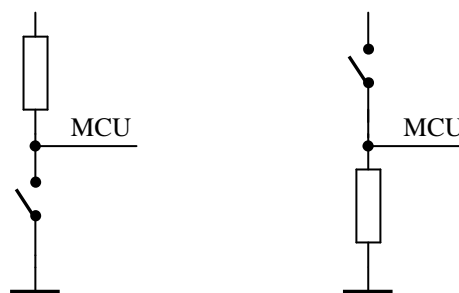
V diplomové práci je navržen inteligentní senzor teploty. V následujících kapitolách je popsán výběr komunikačního rozhraní, zobrazovacího modulu, samotný návrh senzoru a testování navrženého zařízení.

2 LOKÁLNÍ OVLÁDÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH SENZORŮ

2.1 Tlačítka

Nejjednodušší způsob připojení ovládací periferie k MCU je realizován pomocí tlačítka. Například se může jednat o tlačítko, které je připojeno na vstup MCU a podle úrovně napětí získané z tlačítka MCU odešle na výstupní pin odpovídající logickou hodnotu, která může měnit stav diody.

Pro přímé zapojení tlačítka ke vstupu MCU existují dvě možnosti: negativní logika (je-li spínač nebo tlačítko sepnuto, objeví se na vstupu MCU logická nula) a pozitivní logika (viz obr. 2.1).

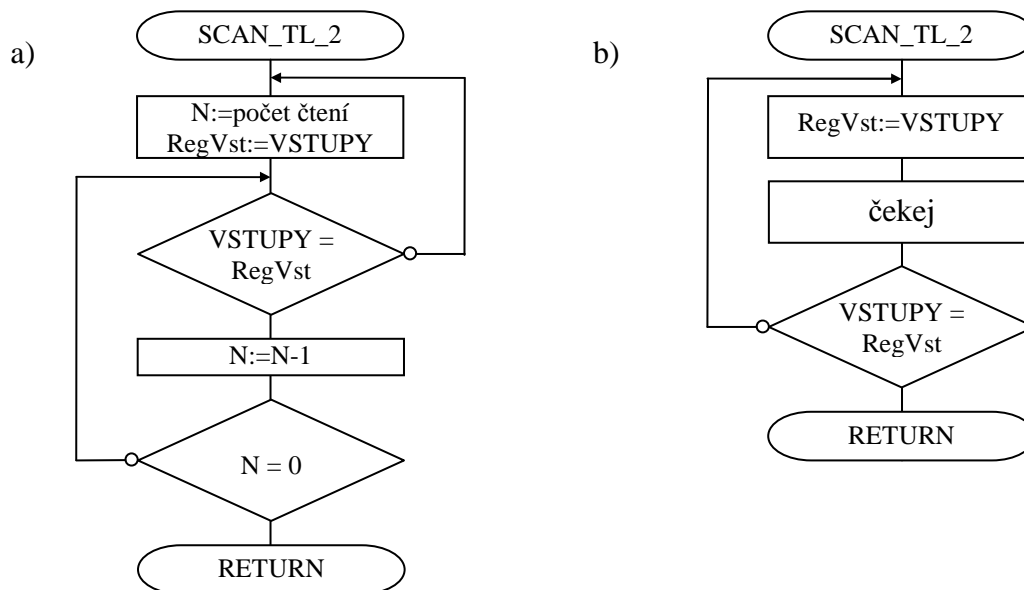


Obr. 2.1: Tlačítka zapojená v negativní logice (vlevo) a v pozitivní logice (vpravo).

Při spínání tlačítek dochází k zakmitávání kontaktů, což se projeví i na průběhu elektrického signálu. Tento jev lze odstranit softwarově – způsobem snímání stavu vstupů, nebo hardwarově – použitím obvodů, které ošetřují kmitání tlačítek (R-S KO, MKO nebo SKO), použitím tlačítek, která nezakmitávají, použitím filtrace krátkých pulzů nebo vhodnou konstrukcí zařízení s ohledem na vnější rušení [3].

Softwarové řešení nabízí dvě možnosti, jak zakmitávání ošetřit. U prvního způsobu se provádí snímání stavu n -krát po sobě. Pokud se stav vstupu po tuto dobu nezmění, je považován za správný. Pokud by se změnil, snímá se stav vstupů znovu n -krát (viz obr. 2.2.a) Počet snímání n je závislé na rychlosti MCU a profilu rušení. Zakmitávání kontaktů tlačítek trvá řádově desítky milisekund. Testování stavu vstupů musí trvat déle než doba zakmitávání.

Druhý způsob ošetření zákmitů provádí dvě čtení, která jsou vykonávána po určité době. Jsou-li stavy vstupů po obě čtení stejné, je stav vyhodnocen jako správný. Pokud při druhém čtení je stav jiný, uloží se tento nový stav do registru vstupů. Znovu se čeká a opět čte stav vstupů (viz obr. 2.2.b) Dobu čekání je třeba volit dostatečně dlouhou s ohledem na rychlost MCU a profilu odskoků či rušení [3]. Při programování v jazyce C se čekání řeší využitím procedury `delay_ms` (čas v ms) v JSA pomocí čekacích smyček.



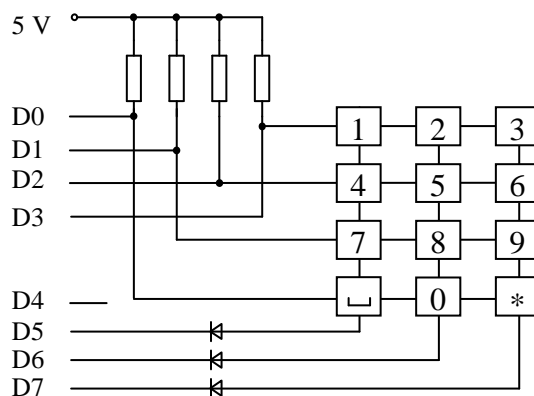
Obr. 2.2: Vývojové diagramy ošetření zakmitávání kontaktů: a) opakované čtení, b) dvojitě čtení s čekáním, více v literatuře [3].

2.2 Klávesnice

V některých aplikacích potřebujeme k MCU připojit více tlačítek, než máme k dispozici vstupů. Tento problém lze řešit vytvořením klávesnice generující vlastní kód [3], často také realizací multiplexovaně snímaných klávesnic, které mají tlačítka zapojeny do matice obr. 2.3.

Základ obsluhy maticové klávesnice spočívá v testování křížového pole (matice). Do řádků matice vysíláme postupně rotující nulu a ze sloupců matice snímáme odezvu. Pokud byla stlačena nějaká klávesa, pak se to projeví nulovou úrovní bitu v daném sloupci. Stlačená klávesa je pak identifikována číslem řádku a sloupce, což může představovat vnitřní kód klávesnice.

Například, když testujeme stisk klávesy '1' viz obr. 2.3, musíme vyslat na výstupní port kombinaci: 11011111. Nula, kterou jsme vyslali na první sloupec se nám po stisku klávesy '1' přenesla na bit D3. Zpětným přečtením hodnoty portu tedy zjistíme, která klávesa byla stlačena.



Obr. 2.3: Zapojení maticové klávesnice k MCU.

2.3 Dotykové obrazovky

Dotyková obrazovka je displej opatřen dotykovou technologií, který slouží k určení místa dotyku uvnitř zobrazené oblasti. Tato detekce umožňuje, aby byl displej použit jako vstupní zařízení, pro interakci s obsahem displeje.

Dotykové obrazovky můžeme rozdělit podle technologie snímání na:

- Odporové,
- kapacitní,
- infračervené,
- s povrchovou vlnou.

Odporové dotykové obrazovky (ODO) jsou dostupné ve třech verzích: 4, 5 a 8 vodičové. Každý typ má své výhody a nevýhody a je optimalizován pro specifický typ aplikace. Většina analogových dotykových obrazovek se skládá ze dvou vrstev pokrytých z vnitřní strany odporovým materiálem a mezi nimi je vložena oddělovací vrstva (vymezovací bodová síť). Horní vrstva pokrytá odporovým materiálem je pružná. Po stlačení horní pružné vrstvy pokryté odporovým materiálem se vytvoří kontakt s vodivým povrchem pevné vrstvy. Vznikne elektrické spojení v bodě dotyku mezi dvěma vrstvami. Pomocí měřicí techniky jsou určeny souřadnice bodu dotyku (využívá se gradientu napětí vždy mezi dvěma protilehlými stranami displeje).

Odporové technologie u dotykových obrazovek poskytují výhody vysokého rozlišení a skutečnost, že může být použit jakýkoliv typ dotykového zařízení (např. prst i v rukavici, hrot pera atd.). Nevýhodou je snížená hodnota jasů a optické průhlednosti (příčinou jsou vodivé nátěry), horní pružná vrstva může mít sklon k povrchovému poškození škrábancem či chemikáliemi.

Kapacitní dotykové obrazovky (KDO) využívají toho, že se dotykový kapacitní povlak nanese přímo na povrch displeje. Napříč kapacitním panelem teče nízký proud stanovený frekvencí ze čtyř oscilátorů, které jsou umístěny v rozích panelu. Když se dotkneme obrazovky vodivou jehlou, impedance změní frekvenci čtyř oscilátorů. Souřadnice dotyku je vypočtena z rozdílných změn frekvencí oscilátorů. Takto se postupně určí souřadnice bodu dotyku x a y .

Výhodou KDO je výjimečná přesnost, minimální barevná deformace a vynikající optický přenos. Bod dotyku můžeme určit jen prstem nebo speciálním vodivým ukazovátkem.

Zvláštním typem KDO jsou PTC-projektované dotykové kapacitní displeje, ty nabízejí vysoké rozlišení dotyku, nepoužívají krycí povlak (žádné barevné zkreslení), mají integrován kontrolér přímo ve skle, k napájení se využívá RS232 nebo USB port. Z popisovaných typů jsou nejdražší.

Infračervené dotykové obrazovky (IDO) jsou založeny na přerušení IR světelné mřížky před obrazovkou displeje. Konstrukce optické matice je zabudována ve zkosených hranách displeje. Využívá se řady LED diod a na protilehlé straně řady fototranzistorů, tak aby byla vytvořena mřížka z neviditelného světla. Konstrukce optické matice je izolována od vnějšího prostředí průhlednou zábranou. Kontrolér displeje vysílá pulzy do IR LED diod, jakmile vstoupí dotykový předmět do mřížky, zastíní vysílané IR paprsky a tím zastíní jeden nebo více fototranzistorů. Tímto způsobem je detekována nepřítomnost světla, ze které se určí souřadnice dotyku x a y .

IDO nemají žádné omezení pro dotykový předmět. Nevýhodou u těchto obrazovek je skutečnost, že obrazovka může reagovat předtím, než nastane fyzický dotyk. Vyznačují se středním rozlišením. Jsou průhledné (nezkreslují barvy).

Dotykové obrazovky s povrchovou vlnou (DOPV) využívají přenosu neslyšitelných zvukových vln na povrchu obrazovky. Pro příjem těchto vln jsou v osách x a y použity senzory. Jakmile se uživatel dotkne displeje, část zvukové vlny bude pohlcena a z velikosti takto tlumené vlny, je poté určeno místo dotyku.

DOPV mají vysokou rozlišovací schopnost a díky průhlednému sklu, na kterém není nanesená žádná vodivá vrstva, má displej výborný jas a nedochází k žádnému zkreslení barev. Výhodou je také velmi dlouhá životnost. Nejsou vhodné v místech, kde se může obrazovka znečistit (nečistoty by mohly absorbovat akustické vlny a vznikly by „mrtvé“ body.

Podrobnější popis jednotlivých technologií je popsán v literatuře [4].

2.3.1 Řízení analogového dotykového touchscreeenu

Odporový analogový dotykový panel se chová jako dva proměnlivé odpory v ose X a Y (4 dráty), jejichž hodnota se mění podle místa stlačení. Bod stlačení se vyhodnotí jako průsečík hodnot obou odporů. Odečet hodnot odporů lze provést např. přes A/D převodník. Další možností je odečet hodnot přes integrovaný obvod ADS7846 (výrobce TI), do kterého se přímo bez dalších součástek připojí výstupy dotykového panelu a hodnoty jsou dostupné na sériovém výstupu obvodu. Podrobnější popis použití IO ADS7846 je v literatuře [5] a [6].

2.3.2 Řízení digitálního dotykového touchscreeenu

Digitální touchscreen je tvořen maticí "tlačítek" a vyhodnocení pozice stisknutí probíhá podobně jako u klávesnice, tedy skenováním řádků a sloupců, které jsou vyvedeny na konektor. Princip snímání signálu při dotyku je naznačen na obr. 2.4. Světle šedou je vyznačen řádek, kde MCU vysílá cyklicky signál „H“ (nebo inverzní způsob „L“) do řádků, které mají být aktivní, ostatní řádky jsou v úrovni „L“ („H“). V místě dotyku (nejtmavší šedá) se propojí vrstva příslušného řádku a sloupce. Tím se přenese úroveň „H“ („L“) na sloupec, ve kterém byl proveden dotyk (tmavě šedá). Jednotlivé sloupce jsou tedy připojeny jako vstupy MCU, který dle přijaté úrovně napětí vyhodnotí, zda-li byl v testované buňce proveden stisk.

R ₁ C ₁	R ₁ C ₂	R ₁ C ₃	R ₁ C ₄	R ₁ C ₅	R ₁ C ₆	R ₁ C ₇	R ₁ C ₈	R ₁ C ₉	R ₁ C ₁₀
R ₂ C ₁	R ₂ C ₂	R ₂ C ₃	R ₂ C ₄	R ₂ C ₅	R ₂ C ₆	R ₂ C ₇	R ₂ C ₈	R ₂ C ₉	R ₂ C ₁₀
R ₃ C ₁	R ₃ C ₂	R ₃ C ₃	R ₃ C ₄	R ₃ C ₅	R ₃ C ₆	R ₃ C ₇	R ₃ C ₈	R ₃ C ₉	R ₃ C ₁₀
R ₄ C ₁	R ₄ C ₂	R ₄ C ₃	R ₄ C ₄	R ₄ C ₅	R ₄ C ₆	R ₄ C ₇	R ₄ C ₈	R ₄ C ₉	R ₄ C ₁₀
R ₅ C ₁	R ₅ C ₂	R ₅ C ₃	R ₅ C ₄	R ₅ C ₅	R ₅ C ₆	R ₅ C ₇	R ₅ C ₈	R ₅ C ₉	R ₅ C ₁₀

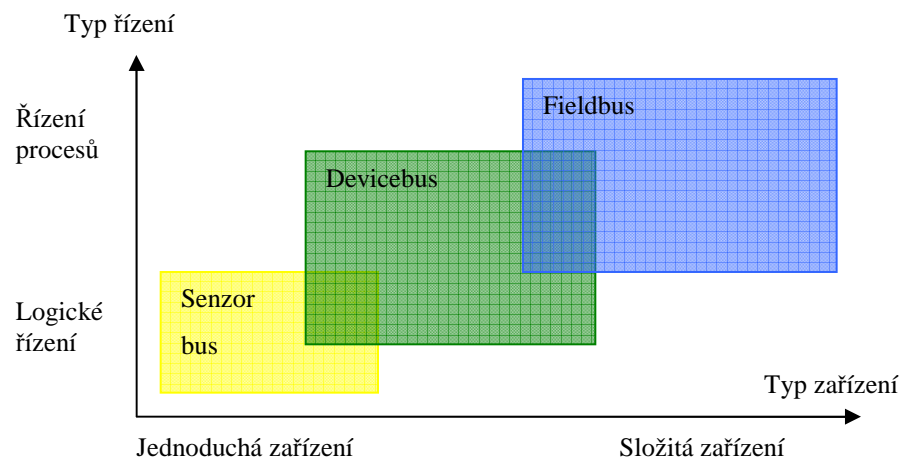
Obr. 2.4: Princip snímání dotyku na digitálním dotykovém touchscreeenu.

3 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH SENZORŮ

3.1 Přehled nejpoužívanějších průmyslových komunikačních systémů

Průmyslové sběrnice jsou v současnosti v technickém světě důležitým nástrojem pro sběr, distribuci a vyhodnocení dat různého informačního charakteru. Jsou to digitální sériové komunikační sběrnice, které slouží pro zajištění síťové komunikace v průmyslových provozech.

Základní rozdělení průmyslových komunikačních systémů je znázorněno na obr. 3.1. Jednotlivé kategorie se navzájem překrývají a daný standard nebo kvazistandard je možné proto zařadit do obou ze sousedních skupin [7]. Do kategorie označované Sensor bus, můžeme zařadit např. AS-i, Interbus, HART, do kategorie Devicebus např.: DeviceNet, Interbus S, CAN a do kategorie Fieldbus např.: Profibus, WorldFIP, P-Net, ControlNET. Jednoduchá zařízení využívají ve vrstvě ISO/OSI nejčastěji jen 3 vrstvy (fyzickou, linkovou, aplikační) a sériový přenos po bitech či bytech. Složitá zařízení již využívají všechny vrstvy nebo modifikované varianty modelu ISO/OSI a sériový přenos po rámcích.



Obr. 3.1: Rozdělení průmyslových sítí.

V současné době existuje velké množství průmyslových sběrnic, které se liší, a proto se při výběru vhodné sběrnice kladou dle literatury [8] nejčastěji tyto otázky:

- Pro kterou oblast automatizace je sběrnice určena (procesní výroba, kusová výroba, distribuční sítě, automatizace budov apod.)?
- Jakou má sběrnice topologii? Jaká může být délka sítě? Kolik účastníků může být na sběrnici připojeno?
- Jaké médium se používá pro přenos dat? Lze po něm přenášet i napájení pro snímače? Jaká je specifikace přenosu v první, fyzické vrstvě ISO/OSI?
- Jaká je přenosová rychlost? Jaká je doba reakce systému?

- Jak je definována linková vrstva ISO/OSI? Jak je řízena komunikace na sběrnici? Jakým způsobem jsou data zabezpečena? Jaká je hodnota Hammingovy vzdálenosti?
- Co může sběrnice nabídnout v aplikační vrstvě ISO/OSI? Jak se účastníci připojení v síti konfiguruje – je možné je konfigurovat po síti nebo se konfiguruje lokálně? Lze jednotlivé účastníky měnit za provozu sítě?
- Lze snadno zabezpečit redundanci sítě?
- Lze sběrnici použít v prostředí s nebezpečím výbuchu?
- Jak je to s podporou sběrnice ze strany dodavatelů zařízení? Jaký je počet aplikací v praxi?
- Jaký je stav v oblasti normalizace?

Odpovědi na většinu těchto otázek u nejpoužívanějších průmyslových sběrnic v současnosti najdete v tabulce, která je uvedena v příloze D. Z této tabulky jsem vybral a dále budu podrobněji rozebírat komunikační protokol HART. Při výběru byly kladeny požadavky na použití sběrnice ve výbušném prostředí, na možnost napájení systému po sběrnici, na co nejméně vrstev struktury ISO/OSI (jednoduchost), na používání sběrnic předními výrobci senzorů jako je např. Vega, Endress, Nivelco, ABB, Siemens, Krohne, Pepperl+Fuchs, Emerson atd.

Tabulka v příloze D shrnuje základní vlastnosti průmyslových komunikačních sběrnic a protokolů jako jsou: typické aplikace (B = budovy, D = dopravní prostředky, K = datové komunikace, P = procesy, S = smart přístroje, T = továrny); přenosové rychlosti; topologie sítě; způsob komunikace (M-S = master – slave, p2p = spojení bod-bod, K-S = klient server, P-K = producent konzument); algoritmus přístupu k médiu; podporovaná média (KK = koaxiální kabel, KP = kroucený pár, OV = optické vlákno, RF = bezdrátové spojení); maximální počet uzlů; použitelnost v prostředí s nebezpečím výbuchu (Ex); možnost napájení ze sběrnice; existence podpůrných obvodů; dosah spojení; kódování a modulace; fyzická vrstva; aplikační norma; rok vzniku.

4 PROTOKOL HART

Protokol HART (Highway Addressable Remote Transducer) je vhodný pro připojení inteligentních (smart) senzorů. Přenos dat z čidla do nadřazeného systému probíhá v digitální podobě, což kromě zjištění aktuální hodnoty měřené veličiny umožňuje také senzory konfigurovat, kalibrovat a zajišťovat diagnostické informace. Protokol HART vznikl jako rozšíření tradiční proudové smyčky 4 až 20 mA a zůstává s touto technologií sběru dat kompatibilní (viz literatura [7]).

Příznivá je také skutečnost, že užívání protokolu HART je do značné míry osvobozeno od autorských a licenčních závazků. Výše uvedené přednosti protokolu způsobily, že po jeho úspěšném uvedení do praxe společností Rosemount, byl akceptován předními světovými výrobci, takže v současné době se počet zařízení využívajících protokol HART odhaduje dle literatury [9] na 2 milióny a stále roste.

Komunikace senzorů s protokolem HART je stěžejní částí diplomové práce. V kapitole 6 je popsáno hardwarové řešení komunikačního modulu inteligentního senzoru teploty, který má implementován protokol HART revize 5. Programová část je popsána v kapitole 4.2.

4.1 OSI model protokolu HART

Organizace ISO vytvořila pro protokol HART redukováný model OSI (Open Systems Interconnection), který se skládá pouze z vrstev 1, 2 a 7 (viz obr. 4.1).

Vrstva	HART
Aplikační	HART příkazy
Prezentační	
Relační	
Transportní	
Síťová	
Linková	HART- řízení protokolu
Fyzická	BELL 202

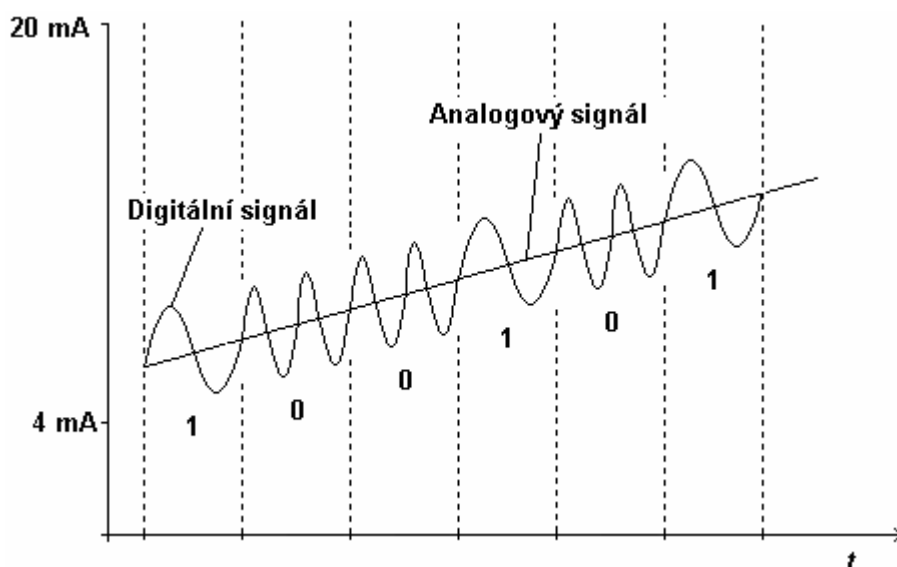
Obr. 4.1: OSI model protokolu HART.

4.1.1 Fyzická vrstva

Fyzická vrstva zajišťuje vzájemné fyzické spojení a přenos bitů mezi dvěma nebo více zařízeními. Proto tato vrstva popisuje mechanické a elektrické vlastnosti včetně přenosového média. Doporučuje se použít stíněný kroucený pár. Dovolená délka vedení závisí na uspořádání vodičů. Vedení ve tvaru krouceného páru může být pochopitelně delší (až 3000 m) než je tomu v případě, kdy páry kroucených vodičů jsou umístěny ve společném stíněném plášti (max.1500 m). Pro malé vzdálenosti lze použít také nestíněných přívodů. Vedení může být opatřeno elektronickými ochranami a speciálními obvody rozhraní pro práci na jiskrově nebezpečných místech (HART lze použít v prostředí s nebezpečím výbuchu).

Smyčka je obvykle napájena stejnosměrným zdrojem napětí 24 V, který by neměl mít zvlnění větší než 0,2 V. Dále musí být ve smyčce zařazen rezistor o velikosti 230 Ω až 1100 Ω (obvykle 250 Ω).

Přenos číslicové informace po vedení proudové smyčky se realizuje superpozicí (např. transformátorovou vazbou) frekvenčně klíčovaných signálů (FSK - Frequency Shift Keying) na původní analogový proudový signál 4 až 20 mA. Parametry frekvenčního klíčování jsou dány standardem Bell202 - logické úrovní „H“ odpovídá úsek signál o kmitočtu 1200 Hz, logické „L“ pak signál o kmitočtu 2200 Hz. Amplituda superponovaného proudu je volena dostatečně nízká, tj. 0,5 mA. Proces FSK probíhá bez skoků fáze, takže střední hodnota superponovaného proudu je nulová (viz obr. 4.2). Střední hodnota analogového signálu je tedy nezávislá na přenosu digitální informace. Zařízení master vysílá signály ve formě napěťových úrovní, zatímco zprávy ze zařízení slave se vysílají proudovými signály. Proud smyčky se snadno převede na napěťovou úroveň takže přijímací obvody na straně master i slave pracují v napěťovém režimu [9]. Dosažená komunikační rychlost je 1200 Bd.



Obr. 4.2: Společná analogová a digitální komunikace.

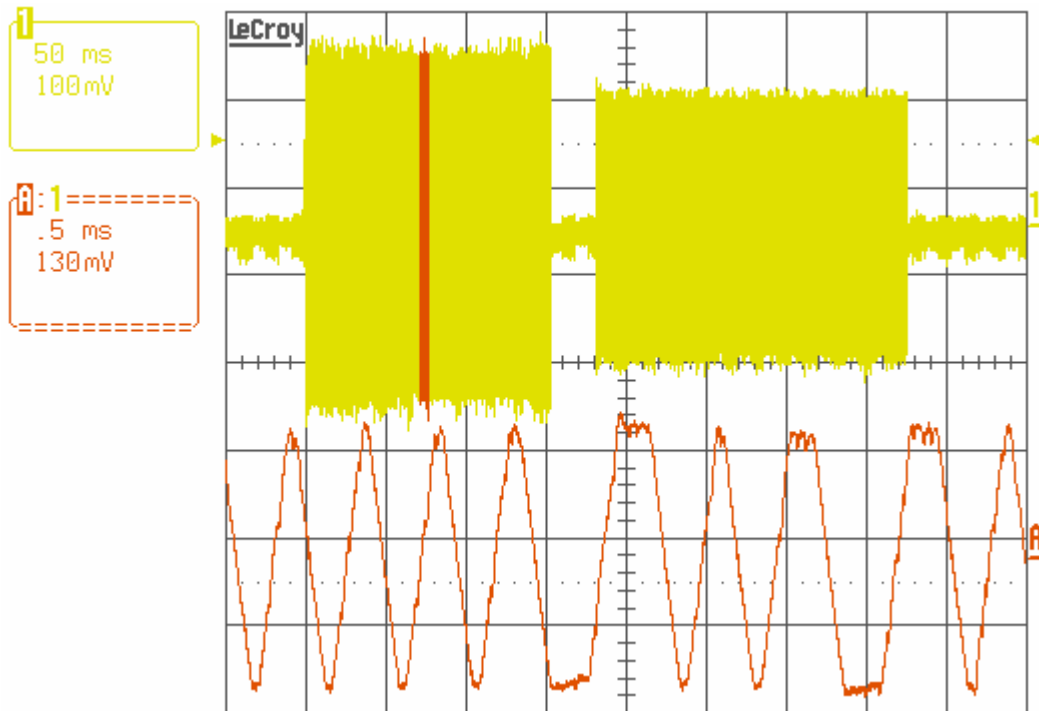
V tab. 4.1 jsou uvedeny mezní hodnoty signálů protokolu HART. Pro potlačení vlivu číslicových komunikačních signálů na analogovou složku se používá filtrů typu dolní propust.

Tab. 4.1: Mezní úrovně signálu HART

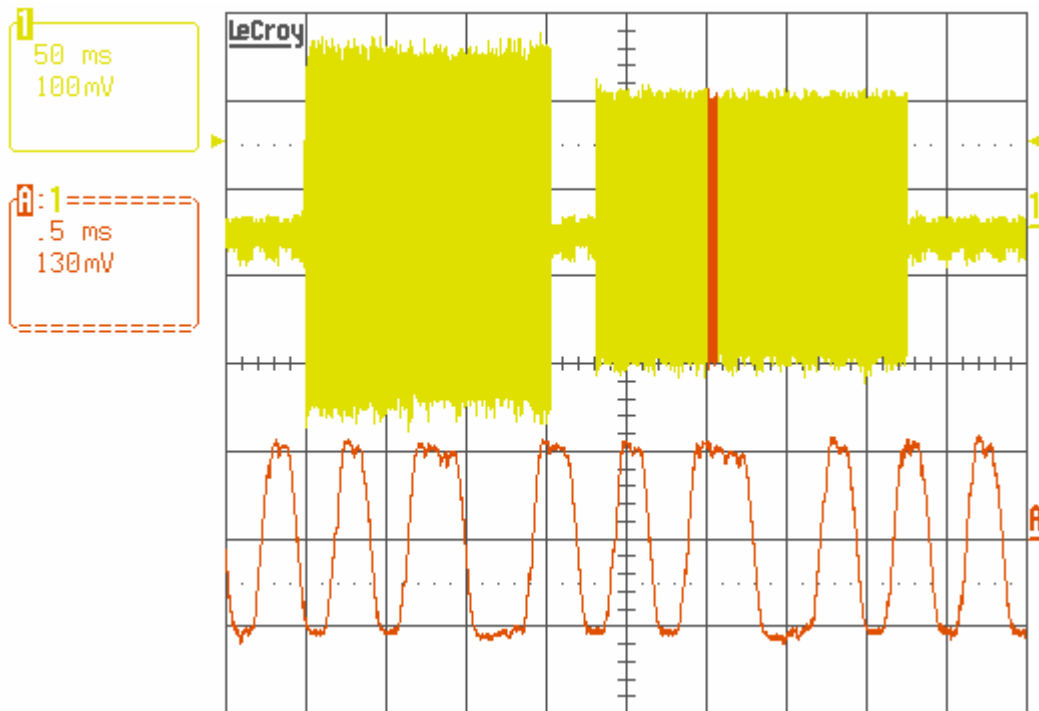
Úrovně signálu vysílaného zařízením master	min. 400 mV p-p max. 600 mV p-p
Úrovně signálu vysílaného zařízením slave	min. 0,8 mA p-p max. 1,2 mA p-p
Minimální úroveň signálu „slave“ (zátěž 230 Ω)	184 mV
Maximální úroveň signálu „slave“ (zátěž 1100 Ω)	1320 mV
Citlivost přijímače (příjem zaručen)	120 mV až 2 V p-p
Práh přijímače (signál ignorován)	80 mV p-p

Na obr. 4.3 je uveden reálný průběh signálu na smyčce při komunikaci navrženého senzoru pomocí protokolu HART. Žlutý průběh zachycuje žádost signálu master (větší úroveň signálu peak to peak) asi po 40 ms pak následuje odpověď tázaného senzoru. Na obr. 4.3.a (obr. 4.3.b) je červeně zachycen detail signálu vysílaného zařízením master (slave). Jak je vidět z obrázků, signál není ideálně sinusový, což ale nevadí, protože hlavní roli hraje kmitočet.

a)



b)



Obr. 4.3: Průběhy signálu na smyčce při komunikaci zařízení s protokolem HART.

4.1.2 Linková vrstva

Linková vrstva zajišťuje přístup na médium, správný přenos dat komunikačním kanálem mezi komunikujícími zařízeními. Dále provádí směrování a organizuje přenášená data do rámců. Přenos číslicových informací je organizován systémem master-slave. Zařízení slave komunikuje pouze tehdy, když je vyzváno masterem ke komunikaci. Zařízení ve funkci master obdrží nejméně dvakrát za sekundu informaci o stavu zařízení typu slave, tj. typická doba odezvy je 500 ms. HART umožňuje existenci dvou masterů - primárního a sekundárního. Z hlediska topologie rozlišujeme komunikace typů:

Bod-bod (p2p) – vzájemné propojení dvou zařízení.

Multidrop – na jedné sběrnici je připojen jeden nebo dva mastery a více zařízení slave (až 15).

Burst – v tomto módu odesílá slave několik zpráv najednou.

Zprávy jsou kódovány jako posloupnost bytů převedených do sériového tvaru obvodu HART. Ke každému bytu je přidáván start bit, paritní bit (lichá parita) a stop bit. V tab. 4.2 je znázorněna sekvence signálu při přenosu 1 bytu. Formát zprávy protokolu HART je uveden v tab. 4.3.

Tab. 4.2: Uspořádání bitů při odesílání jednoho bytu ve zprávě protokolu HART.

0	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	P	1
Start b.									Paritní b.	Stop b.

Tab. 4.3: Struktura zprávy protokolu HART.

Preamble	START	Adresa	Příkaz	Počet B	STATUS	DATA	KS
----------	-------	--------	--------	---------	--------	------	----

Zpráva protokolu HART se skládá z úseků, jejichž význam je následující:

- *Preamble* - obsahuje 3 nebo více znaků 0xFF a slouží pro synchronizaci frekvenčního diskriminátoru přijímacího modemu.
- Znak *START* určuje typ rámce. Starší typy protokolu HART až do revize č.4 používají krátký rámec formátu zprávy. Od 5. revize protokolu HART je zaveden formát dlouhého rámce. Dále znak *START* určuje směr komunikace (viz tab. 4.4).
- *Adresa* - obsahuje adresu o velikosti 1B (krátký rámec) nebo 5B (dlouhý rámec) právě komunikujících zařízení master a slave. Bit MSB adresového pole odlišuje primárního (MSB=1) a sekundárního mastera (MSB=0).
- *Příkaz* obsahuje čísla od 0x00 do 0xFF reprezentující příkazy HART. Kód 254 je určen pro expanzi: je-li následován dalším bytem, může být počet příkazů rozšířen na více než 256. Ve zprávě zařízení slave je přijatý příkaz zopakován.
- *Počet bytů* (ve zprávě) obsahuje také celé číslo, indikující počet bytů v částech *STATUS* a *DATA*, kontrolní součet není zahrnut. Slouží přijímajícímu zařízení ke kontrole úplnosti zprávy.
- *STATUS* se vyskytuje pouze v odpovědi zařízení slave a je tvořen dvěma byty: první indikuje případnou chybu komunikace, druhý stav zařízení (např. zařízení obsazeno, příkaz nelze interpretovat).

- *KS = Kontrolní součet* obsahuje výsledek funkce XOR ze všech předcházejících bytů zprávy počínaje znakem START (tzv.“podélná parita”). Kromě této kontroly integrity zprávy se zjišťuje parita každých osmi bitů v každém bytu zprávy (tzv.“vertikální parita”). Tento postup zaručuje detekci i ojedinělého výskytu až 3 chybných bitů.

Tab. 4.4: Možnosti formátu START bytu.

Typ komunikace	Krátký rámeček	Dlouhý rámeček
Master...slave	02	82
Slave...master	06	86
Slave...master V burst módu	01	81

4.1.3 Aplikační vrstva

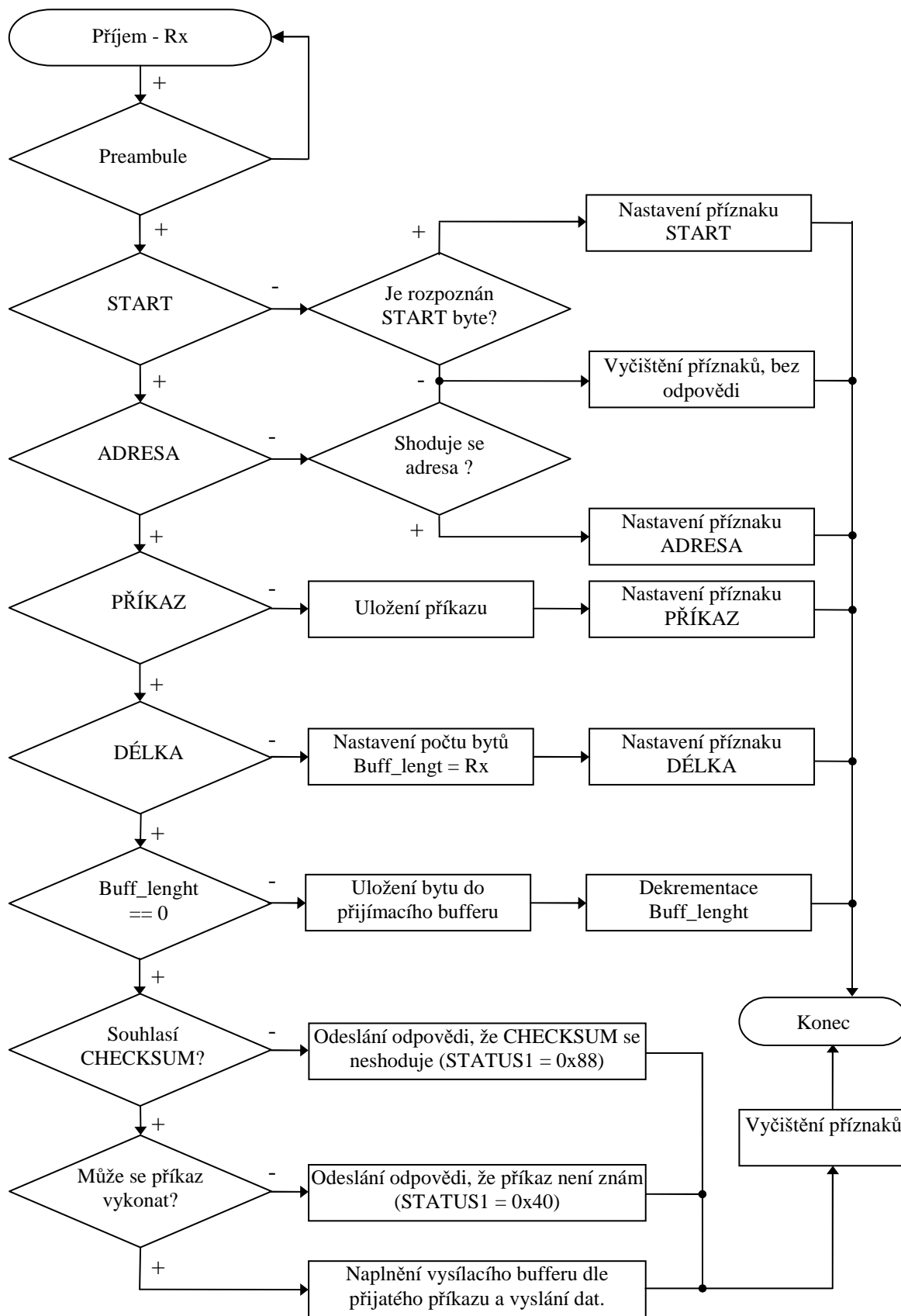
Aplikační vrstva definuje příkazy, odpovědi, datové typy a stavové informace podporované komunikačním protokolem. Příkazy HART (HART Command Set) řídí zápis a čtení přídavných informací z řídicího centra do ovládaných zařízení. Množina příkazů HCS je rozdělena do tří skupin (podrobněji v [38]):

- *Univerzální příkazy* - které musí být interpretovatelné všemi zařízeními kompatibilními s protokolem HART. Slouží k získání základních informací o zařízení (identifikační údaje) jmenovitě: druh, typ, výrobce, výrobní číslo, rozsah a provedení zařízení, měřené veličiny, datum, stav zařízení.
- *Provozní příkazy* - k výkonu základních funkcí jako: čtení proměnných, kalibrace (nula a maximum), inicializace autotestů, hodnoty časových konstant a další. Nepožaduje se, aby všechny provozní příkazy byly interpretovatelné všemi zařízeními kompatibilními s protokolem HART.
- *Specifické příkazy* (Device Specific Commands) slouží k výkonu operací, které se mohou vyskytnout jako specifické pouze pro určitý druh nebo typ zařízení. Jde o příkazy jako: začátek a konec čítání, vynulování obsahu čítače, výběr primární proměnné, vybavení řídicího algoritmu PID regulátorem, ladění řídicí smyčky, speciální kalibrační algoritmy apod.

4.2 Program pro komunikaci dle HART protokolu

Pro zpracování signálů z teplotního snímače a zároveň pro komunikaci s HART modemem (viz kapitola 6.4) je použit MCU PIC16F690. Program je napsán v JSA, což bylo sice časově náročné, ale kód se vyznačuje efektivností. Program naleznete na příloženém CD ve složce Program\HART.

HART modem demoduluje FSK data ze smyčky a posílá je MCU přes rozhraní UART. MCU tyto hodnoty zpracovává dle stavového automatu, který je uveden na obr. 4.4. Pokud dojde ke správnému přijetí bytů a slave zjistí, že přijatá zpráva je určena pro něj, vytvoří se rámeček (viz tab. 4.3) dle příkazu, který má být proveden. To znamená, že se naplní vysílací buffer a přes rozhraní UART jsou modemu vyslána data v NRZ formátu a ten je pak převede na FSK signál.



Obr. 4.4: Stavový automat pro příjem jednotlivých bytů protokolu HART.

Protokol HART používá 5 datových typů, které jsou uvedeny v tab. 4.5. V navrženém inteligentním senzoru teploty jsou implementovány všechny univerzální příkazy a několik provozních příkazů jako nastavování horního a spodního rozsahu a uložení sériového čísla (viz příloha F).

Tab. 4.5: Datové typy protokolu HART.

Zkratka	Datový typ
A	ASCII řetězec (speciální formát – 4 znaky ve 3 bytech).
B	Bit – indikace příkazů.
D	Datum–3 byty = den/měsíc/rok, kde rok = např. 2009 -1900=109.
F	Floating point – 4 byty, formát IEEE 754.
I	Integer, ten zde může být 1nebo 2 byty.

5 ZOBRAZOVÁNÍ MĚŘENÝCH ÚDAJŮ

Z průmyslových senzorů získáme signály, které mohou přímo ovlivňovat nějaký proces nebo nás informují o hodnotě snímané veličiny. V různých procesech jako je například měření výšky hladiny, teploty, tlaku, atd. používáme pro získání informace různé zobrazovací jednotky.

V dnešní době jsou neustále zdokonalovány a vyvíjeny nové technologie displejů. Displeje můžeme všeobecně dělit [10]:

- 1) Podle množství současně zobrazované informace:
 - s malou hustotou zobrazované informace
 - s velkou hustotou zobrazované informace

- 2) Z hlediska principu zobrazování:
 - pasivní = vyžadují cizí osvětlení, samy negenerují optické záření, ale řídí jeho odraz nebo průchod.
 - aktivní = generují optické záření, a proto je lze vidět i bez osvětlení

Při výběru zobrazovací jednotky by měly být brány v úvahu následující vlastnosti[10]:

- 1) viditelnost
- 2) spotřeba
- 3) rychlost odezvy
- 4) zorný úhel
- 5) životnost
- 6) teplotní rozsah
- 7) cena

Rovněž je také důležitá volba velikosti znaků, která závisí na vzdálenosti displeje od pozorovatelů a na jejich počtu. Pro velké skupiny pozorovatelů, případně umístění z provozních důvodů ve velké vzdálenosti, je displej konstruován ve tvaru panelu. Je třeba mít na paměti, že s velikostí panelu roste jeho cena a spotřeba elektrické energie.

Dále je pozornost zaměřena na displeje typu LCD a OLED, které mohou být navíc opatřeny dotykovým panelem, pro ovládání a konfiguraci daného zařízení.

5.1 LCD Displeje

5.1.1 Princip funkce LCD displejů

Zkratka LCD pochází z anglického označení Liquid Crystal Display, tedy displeje z tekutých krystalů. Působením elektrického pole dochází k natočení molekul kapalného krystalu, což se navenek projeví zakalením. Jde o zobrazovače pasivní. To znamená, že pro svou činnost potřebují zdroj světla. Buď se využívá vnějšího světla, které dopadá na spodní elektrodu a zakalený obraz pozorujeme v jeho odrazu. Druhou možností jsou displeje s podsvícením, které mají vlastní světelný zdroj, takže obraz lze pozorovat i za tmy, ale je značně zvýšena spotřeba el. energie displeje.

Samotný LCD displej se ovládá dosti komplikovaně (maticovým způsobem adresované napětí do požadovaných míst displeje), proto se většinou používají LCD moduly obsahující řadič. Ten zajišťuje poměrně jednoduché připojení k MCU. Podrobněji je princip LCD popsán v literatuře [10].

5.1.2 Rozdělení a značení LCD displejů

LCD displeje můžeme rozdělit podle několika kritérií.

a) Podle způsobu zobrazení dělíme displeje na:

- *alfanumerické (znakové)*,
- *grafické*.

b) Podle získání pracovního záření [11]:

- *Reflektivní* – využívá se světla odraženého od horní elektrody. Reflektivní displej tedy potřebuje vnější zdroj osvětlení, protože nemůže použít podsvícení.
- *Transreflektivní* – světlo prochází skrz a současně se odráží od horní elektrody
- *Transmitivní* – horní ani spodní elektroda nemají odrazné vlastnosti. Proto u tohoto displeje musí být zabudováno podsvícení. Obraz můžeme sledovat jako pozitiv či negativ.

c) Podle maximálního úhlu, o který je možno otočit optickou osu [11]:

- *TN (Twisted Nematic)* – max. úhel natočení 90° , kontrast 3:1, pozorovací úhel 45° .
- *STN (super twisted nematic)* – úhel natočení až 240° , kontrast 7:1, pozorovací úhel 60° . Nevýhodou je dvojlom paprsku. Řešením jsou displeje typu DSTN a FSTN.
- *HTN (Hyper Twisted Nematic)* – úhel natočení 110° .

Při výběru displeje bereme v úvahu tato rozdělení a také další požadavky jako je teplotní rozsah, cena a rovněž jaký driver má displej. Pro inteligentní senzory je velmi důležitým požadavkem spotřeba. Pokud nebude požadováno, aby byl displej čitelný za šera či za tmy, je vhodné použít LCD displej bez podsvícení, kdy se spotřeba často pohybuje

v rozmezí přibližně 1 až 2 mW. Pokud ale bude požadována čitelnost i za horších světelných podmínek, je LCD displej s podsvícením často nežádoucí, protože spotřeba vzroste cca na 40 mW a více. Jako vhodné řešení se ukazuje použití OLED displeje a nastavit jeho jas v závislosti na spotřebě (viz kapitola 5.2.4). Pak je možné dosáhnout dobré čitelnosti při vnějším osvětlení 0 až 500 Lx a při spotřebě displeje cca 10 mW.

Značení LCD displejů, které můžeme koupit u firem jako je Glyn, Koala nebo Elatec je podobné. Příklad označení a rozbor LCD displeje od firmy Elatec převzatý z knihy [11] je uveden níže:

EL	1602	A	F	L	Y	B	W	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1.	Kód výrobce		
2.	Formát:	1602...16 x 2 2004...20 x 4 4002...40 x 2	12232 = 122 x 32 12864 = 128 x 64 240129 = 240 x 128
3.	Verze designu (typ řadiče, velikost desky)		
4.	Typ polarizace:	R ... reflektivní M... transmitivní, pozitivní	F ... transflektivní N... transmitivní, negativní
5.	Typ podsvícení:	N... žádné L... LED	E... elektroluminiscenční fólie C... fluorescenční lampa
6.	Typ krystalu:	T... TN B... STN, modrý Y... STN, žlutý	G... STN, šedý F... FSTN
7.	Směr pohledu:	B... spodní pohled (6:00) T ... horní pohled (12:00)	
8.	Teplotní rozsah:	N... standardní (-10°C až +60°C) W...rozšířený (-20°C až +70°C)	
9.	Znaková sada:	R... anglická/ruská _ ... anglická/japonská	

Obr. 5.1: Rozbor značení LCD displejů.

5.1.3 Komunikace mezi MCU a řadičem znakového displeje

Většina znakových LCD displejů obsahuje řídicí obvod od firmy Hitachi HD44780, případně obvod kompatibilní. Tento obvod obsahuje ovládací příkazy pro komunikaci s displejem a také znakovou sadu. Komunikace mezi MCU a řadičem HD44780 může probíhat po 4 nebo 8 datových linkách, dále jsou potřebné 3 linky řídicí.

Význam řídicích signálů :

RS = 0 : výběr přenosu instrukce ; RS = 1 : výběr přenosu dat.

R/\overline{W} = 0: zápis instrukcí nebo dat do displeje ; R/\overline{W} = 1: čtení instrukcí nebo dat z displeje.

E : kladný pulz na vstupu zahájí čtení nebo zápis dat.

Displej obsahuje dva typy pamětí:

- DDRAM (Display Data Ram) obsahuje znaky, které se zobrazují na displeji. Každému zapsanému údaji odpovídá jeden zobrazovaný znak dle obr. 5.2. DDRAM se adresuje v rozsahu 7 bitů.
- CGRAM (Character Generator RAM) umožňuje, aby uživatel vytvořil až 8 vlastních znaků. CGRAM se adresuje v rozsahu 6 bitů. Každý znak je definován

osmi po sobě jdoucími buňkami, rozměr znaků je 5 x 7 bodů. Horní tři bity nejsou použity [11].

Lower 4 Bits	Upper 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)			0	1	P	`	P				-	タ	ミ	α	ρ	
xxxx0001	(2)			!	1	A	Q	a	q			。	ア	チ	△	ä	q
xxxx0010	(3)			"	2	B	R	b	r			「	イ	ツ	×	β	θ
xxxx0011	(4)			#	3	C	S	c	s			」	ウ	テ	ε	ε	ω
xxxx0100	(5)			\$	4	D	T	d	t			、	エ	ト	ト	μ	Ω
xxxx0101	(6)			%	5	E	U	e	u			・	オ	ナ	1	ε	Ü
xxxx0110	(7)			&	6	F	V	f	v			ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111	(8)			'	7	G	W	g	w			フ	キ	ヌ	ラ	g	π
xxxx1000	(1)			<	8	H	X	h	x			イ	ク	ネ	リ	J	Σ
xxxx1001	(2)			>	9	I	Y	i	y			ウ	ケ	ル	ル	'	y
xxxx1010	(3)			*	:	J	Z	j	z			エ	コ	ン	レ	j	≠
xxxx1011	(4)			+	;	K	L	k	l			オ	サ	ヒ	ロ	*	π
xxxx1100	(5)			,	<	L	¥	l	l			ト	シ	フ	フ	φ	π
xxxx1101	(6)			-	=	M	J	m	j			ユ	ズ	ン	ン	ε	÷
xxxx1110	(7)			.	>	N	^	n	→			ヨ	セ	ホ	°	ñ	
xxxx1111	(8)			/	?	O	_	o	←			ッ	ソ	マ	°	ö	■

Obr. 5.2: Znaková sada řadiče HD44780 [12].

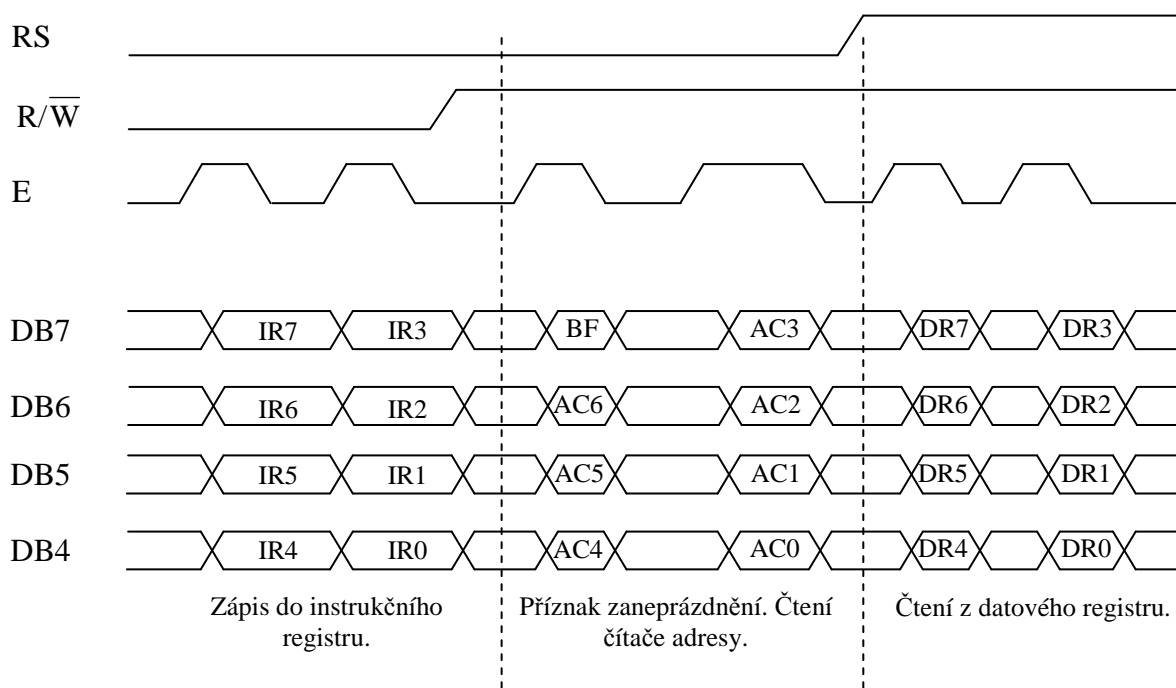
V tab. 5.1 jsou uvedeny základní instrukce, které jsou obsaženy v řadiči HD44780 pro komunikaci s LCD displejem.

Tab. 5.1: Některé příkazy řadiče HD44780 pro komunikaci s LCD displejem [13].

RS	R/W	DB7 – DB0	Popis instrukce
0	0	0000 0001	Smazání displeje.
0	0	0000 001x	Návrat kurzoru na pozici (0,0).
0	0	0000 01TS	Nastavení posuvu kurzoru. I: inkrementace pozice kurzoru. S: posuv displeje.
0	0	0000 1DCB	Zapnutí displeje/kurzoru. D: zapnutí displeje. C: zobrazení kurzoru. B: blikání kurzoru.
0	0	001L NFxx	Nastavení rozlišení. L=1 (0): nastavení 8 (4)bitové komunikace. N=1 (0): dva (jeden) řádky displeje. F=1(0):font 5x10 (5x7).
0	0	01 CGRAM	Nastavení adresy CGRAM segmentu.
0	0	1 DDRAM	Nastavení adresy DDRAM segmentu.
1	0	data	Zápis dat do paměti CGRAM nebo DDRAM.
1	1	data	Čtení dat z paměti CGRAM nebo DDRAM.

U 8 bitové komunikace probíhá zápis dat nebo příkazu tak, že se nastaví signál RS podle toho, zda se zapisují data nebo instrukce. Poté se aktivuje vstup E=1 a následně se na datové vodiče DB7 až DB0 přivedou data a potvrdí se deaktivací vstupu E = 0. Na obr. 5.4.a) je uvedena inicializační sekvence pro 8 bitovou komunikaci [11].

U 4 bitové komunikace (viz obr. 5.3) probíhá zápis dat nebo příkazu tak, že se opět nastaví signál RS podle toho, zda se zapisují data nebo instrukce. Poté se aktivuje vstup E = 1 a následně se pošle na vodiče DB7 až DB4 horní nibl (4 bity) a potvrdí se deaktivací vstupu E = 0. Stejně proběhne i zápis dolního niblu (E = 1, odeslání dat na DB7 až DB4, E = 0) .Na obr. 5.4 b) je uvedena inicializační sekvence pro 4 bitovou komunikaci [11]. Horní nibl je označen šedou barvou. Je tedy zřejmé, že pro první 4 příkazy se dolní nibl neposílá.



Obr. 5.3: Příklad 4 bitové komunikace.

a)

Zapnutí napájení							
Čekej 15 ms a více							
8 bitová komunikace							
DB7 až DB0							
0	0	1	1	X	X	X	X
Čekej 4,1 ms a více							
8 bitová komunikace							
0	0	1	1	X	X	X	X
Čekej 100 μ s a více							
8 bitová komunikace							
0	0	1	1	X	X	X	X
Čekej 40 μ s a více							
Dva řádky							
0	0	1	1	1	0	X	X
Čekej 40 μ s a více							
Smaž displej							
0	0	0	0	0	0	0	1
Čekej 1,64 ms a více							
Zapni displej							
0	0	0	0	1	1	0	0
Čekej 40 μ s a více							
Inkrementace							
0	0	0	0	0	1	1	0
Čekej 40 μ s a více							

b)

Zapnutí napájení							
Čekej 15 ms a více							
8 bitová komunikace							
DB7 až DB4							
		0	0	1	1		
Čekej 4,1 ms a více							
8 bitová komunikace							
		0	0	1	1		
Čekej 100 μ s a více							
8 bitová komunikace							
		0	0	1	1		
Čekej 40 μ s a více							
4 bitová komunikace							
		0	0	1	0		
Čekej 40 μ s a více							
Dva řádky							
0	0	1	0	1	0	X	X
Čekej 40 μ s a více							
Smaž displej							
0	0	0	0	0	0	0	1
Čekej 1,64 ms a více							
Zapni displej							
0	0	0	0	1	1	0	0
Čekej 40 μ s a více							
Inkrementace							
0	0	0	0	0	1	1	0
Čekej 40 μ s a více							

Obr. 5.4: Inicializační sekvence: a) 8-bitová komunikace, b) 4-bitová komunikace.

5.1.4 Grafické displeje s řadičem KS108

Pro objasnění komunikace je použit konkrétní typ grafického LCD modulu od firmy Elatec: GDM12864A, který má v sobě zabudován často používaný řadič pro displeje s rozlišením 128x64 pixelů KS0108 [14]. V tab. 5.2 je přehled vývodů displeje.

Tab. 5.2: Obsazení vývodů displeje GDM12864A [11].

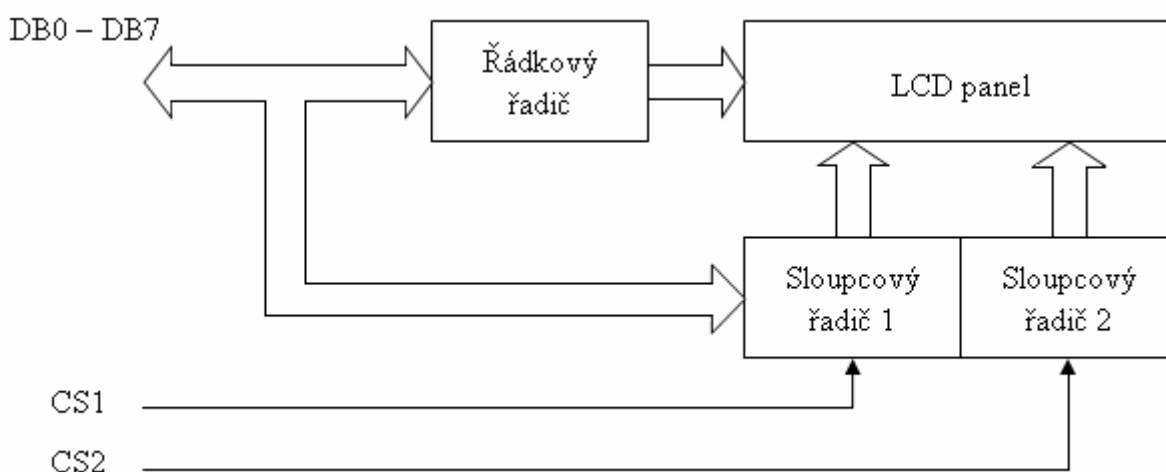
Číslo vývodu	Signál	Funkce
1	GND	Zem (0 V).
2	U_{CC}	Napájecí napětí (4,75 až 5,25 V).
3	U_0	Nastavení kontrastu displeje.
4	RS	Příkaz (0), data (1).
5	R/\overline{W}	Čtení (1), zápis (0) dat nebo příkazu.
6	E	Strobovací signál.
7 - 14	DB0 – DB7	Data/příkaz.
15	CS1	Výběr 1. řadiče (CS1=1, CS2=0).
16	CS2	Výběr 2. řadiče (CS1=0, CS2=1).
17	\overline{RST}	Reset modulu.
18	U_{EE}	Výstup záporného napětí.
19	A	Anoda podsvěcovací LED.
20	K	Katoda podsvěcovací LED.

Kromě řídicích signálů, které mají stejnou funkci jako u znakových LCD displejů jsou zde navíc vývody:

\overline{RST} - vstup nulování (vypnutí displeje a nastavení registru startovacího řádku na nulu)

U_{EE} - výstup generátoru záporného napětí pro nastavení kontrastu displeje

CS1 a CS2 – výběrové signály. Tyto signály jsou nejpodstatnější odlišností. Displej je řízen 3 řadiči (viz obr. 5.5). První slouží k ovládání řádkových vodičů, další dva ovládají sloupcové vodiče. Protože je displej rozdělen v ose horizontálně na dvě poloviny, musí se vybrat sloupcový řadič, na který mají být odeslána data.



Obr. 5.5: Zjednodušené blokové schéma modulu GDM12864A.

Vysvěcování pixelů je řízeno pomocí registrů. Řádkový stránkový registr slouží pro výběr řádkové stránky. Řádkový stránkový registr lze nastavit v rozsahu 0 až 7. To

znamená, že velikost stránky je 8 bitů (na displeji je 64 řádků). Chceme-li zapsat do řádku 43, musíme oslovit řádkovou stránku 5 (což je celá část podílu 43/8). Konkrétní řádek pak odpovídá třetímu bitu dané stránky (zbytek podílu 43/8). Důležité je ještě říci, že se jedná o registr. Řádková stránka se tedy nemění, dokud nepoužijeme speciální příkaz pro její nastavení. Sloupcový adresní čítač obsahuje sloupcovou souřadnici bodu, ke kterému přistupujeme. Obsah tohoto čítače je v rozmezí 0 až 63. Prostor obrazové paměti je rozdělen na dva oddíly. Pro případ nastavení CS1 = 1, CS2 = 0 se adresuje první oddíl (fyzické sloupce 0 až 63). Pro případ nastavení CS1 = 0, CS2 = 1 se adresuje druhý oddíl (fyzické sloupce 64 až 127). Tak se tedy zajišťuje adresování všech sloupců [11].

Dalším pojmem, který se vyskytuje u grafického displeje je obrazová paměť sloužící pro uložení informací, které se mají na displeji zobrazit. Zapsaná hodnota 1 indikuje zakalený bod, 0 pak průsvitný bod. Pro skrolování řádků displeje slouží 6 bitový registr startovacího řádku.

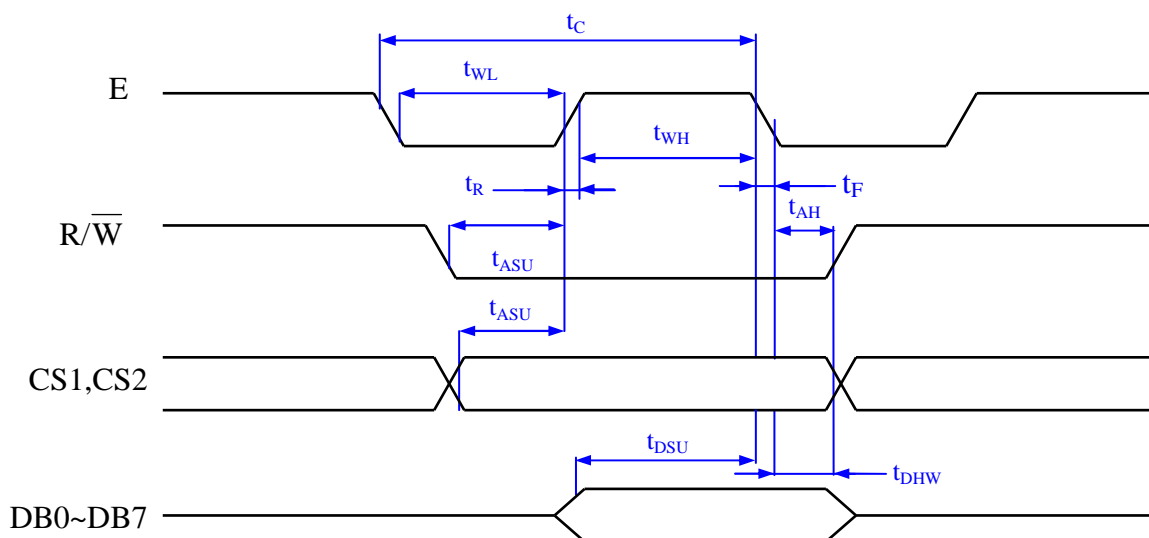
V tab. 5.3 jsou uvedeny instrukce pro řízení displeje a jejich význam. Více informací k jednotlivým instrukcím je uvedeno ve [11] a [14]. Na obr. 5.6 jsou uvedeny průběhy signálu při zápisu dat do driveru grafického displeje GDM12864A. Časové parametry jednotlivých signálů jsou uvedeny v tab. 5.4.

Tab. 5.3: Instrukce pro řízení displeje.

Instrukce	RS	RW	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Funkce
Čtení obrazových dat	1	0	Čtená data								Čtení dat z paměti displeje na datovou sběrnici
Zápis obrazových dat	1	1	Zapisovaná data								Zápis dat do DDRAM. Po Zapsání instrukce je automaticky inkrementována adresa Y
Čtení stavu	0	1	B	0	ON/ OFF	RST	0	0	0	0	B: 0: Připraven 1: Zaneprázdněn ON: 0: Displej zapnut OFF: 1: Displej vypnut RST: 0: Normální režim 1: Reset
Nastavení adresy Y	0	0	0	1	Y adresa (0 až 63)						Nastaví Y adresu do sloupcového čítače
Nastavení start. řádku	0	0	1	1	Startovací řádek (0 až 63)						Nastaví obsah registru startovacího řádku
Nastavení adresy X	0	0	1	0	1	1	1	Stránka (0 až 7)			Nastavení stránky X
Vypnutí/ Zapnutí	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0/1	Řídí zda se displej zapne (1) nebo vypne(0)

Tab. 5.4: Časování signálů při zápisu do driveru displeje GDM12864A.

Symbol	Význam	min [ns]	max [ns]
t_C	perioda signálu E	1000	-
t_{WH}	doba trvání log. 1 na E	450	-
t_{WL}	doba trvání log. 0 na E	450	-
t_R	náběžná hrana E	-	25
t_F	sestupná hrana E	-	25
t_{ASU}	předstih adresy	140	-
t_{AH}	přesah adresy	10	-
t_{DSU}	předstih dat	200	-
t_{DHW}	přesah dat	10	-



Obr. 5.6: Časové průběhy signálu při zápisu.

5.1.5 Grafické displeje s řadičem T6963C

Pro monochromatické displeje s větším rozlišením než 128x64 pixelů se často používá řadič vyvinutý firmou Toshiba T6963. Řadič je navržen tak, aby mohl být připojen přímo na 8-bitovou datovou sběrnici MCU. Paměť je rozdělena na 3 základní oblasti: textovou, grafickou a CGRAM. Textové a grafické oblasti mohou být zobrazeny najednou v režimech OR, AND nebo EXOR.

Fyzická podstata komunikace s řadičem T6963C je podobná jako u řadiče KS0108, proto se zde uvádí jen stručný popis, podrobnější informace jsou popsány v literatuře [15] a [16].

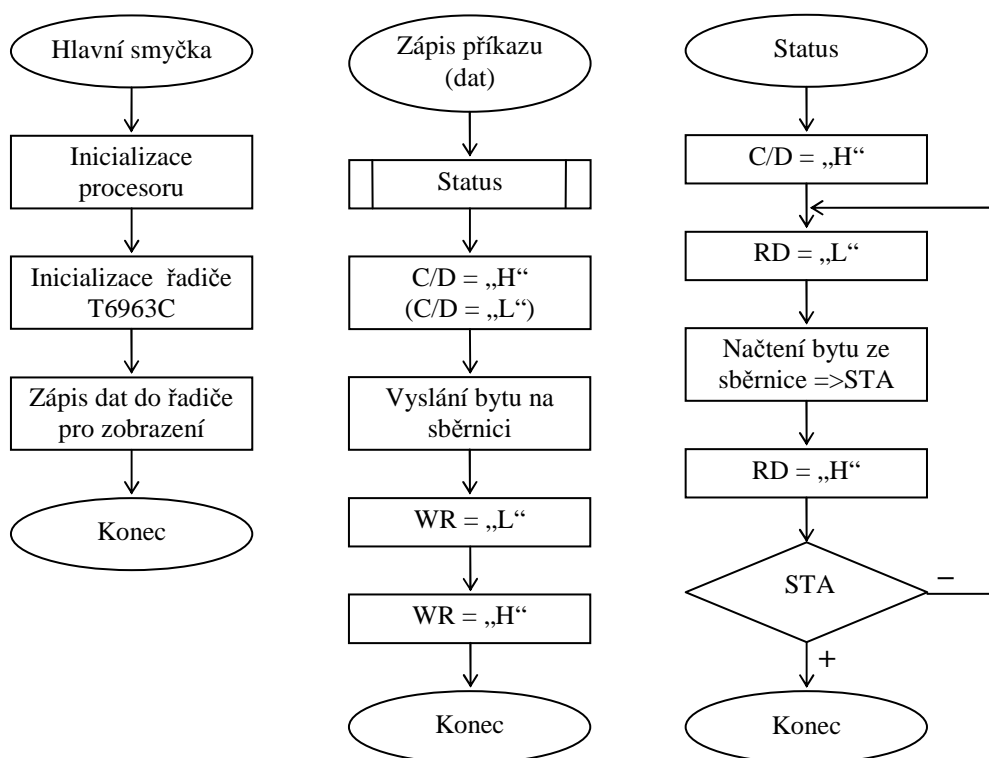
Před zahájením komunikace s řadičem je nutné po zapnutí napájení provést reset (signál RESET v úrovni „L“ alespoň na dobu 2 μ s a poté nastavit opět na „H“) a pak do řadiče zapsat inicializační řetězec (viz tab. 5.5). To znamená vyhrazení určité oblasti v paměti pro grafická data, určité oblasti pro text a nastavení módu zobrazování displeje. Pokud má příkaz parametr, vyšle se nejprve nižší byte dat, poté vyšší byte dat a nakonec příkaz. Před zapsáním nebo čtením každého bytu z řadiče je nutné testovat STATUS byte (pokud nepoužíváme přesné časování, což je náročné a méně vhodné), který indikuje připravenost k přijetí či vyslání dat.

Tab. 5.5: Příklad inicializace řadiče T6963C.

Příkaz	Kód	Parametry	Funkce
TEXT HOME ADDR.	0x40	0x00, 0x00	Začátek textové oblasti paměti displeje: adresa 0x00.
TEXT AREA	0x41	0x1E, 0x00	Počet znaků na řádek 30 = 0x1E, při FS= „L“.
GRAPHIC HOME ADDR.	0x42	0x00, 0x02	Začátek grafické oblasti paměti displeje: adresa 0x200.
GRAPHIC AREA	0x43	0x1E, 0x00	Délka řádku v pixelech: 240/8=30 = 0x1E.
MODE SET	0x81		Textový mód EXOR.
ADDRESS POINTER SET	0x24	0x00, 0x00	Umístění adresového ukazatele na místo čtení/zápisu.
DISPLAY MODE SET	0x98		Zobrazení textu vypnuto, grafická oblast zapnuta.

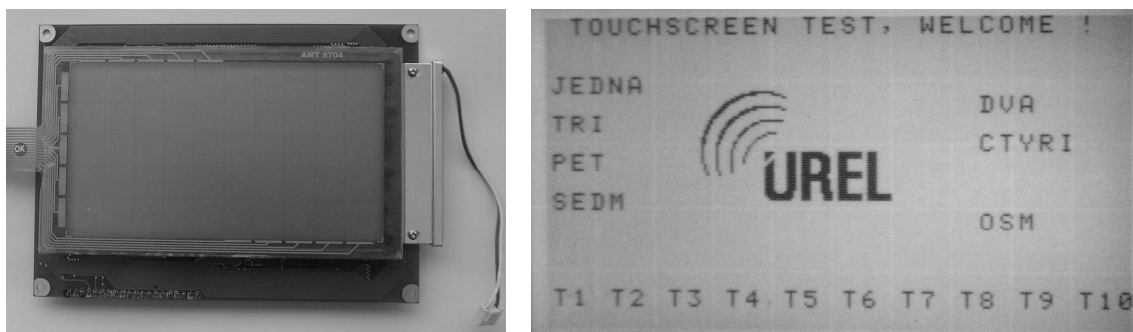
Zápis příkazu či dat probíhá tak, že se nejprve testuje tzv. *status* (STA0=1 a STA1=1 pro normální režim nebo STA2=1 a STA3=1 pro režim auto) pro připravenost zápisu bytu do displeje. Jakmile je podmínka *status* splněna, tak se pro zápis příkazu nastaví pin C/D=„L“ a vyšle se byte na sběrnici. Ze sběrnice je byte načten do řadiče nulováním signálu WR, což musí trvat minimálně 80ns, poté je signál WR opět nastaven.

Pokud chceme vykreslit obrázek na displej s výhodou používáme režim *auto*. Nejprve se nastaví ukazatel adresy (ADDRESS POINTER SET – viz tab. 5.5) a poté se zápisem příkazu 0x80 aktivuje režim *auto*, kdy je ukazatel adresy po každém zapsaném bytu dat inkrementován a na displeji je byte po bytu vykreslován požadovaný obrázek až do doby, kdy bude režim auto ukončen příkazem 0x82.



Obr. 5.7: Vývojové diagramy objasňující základy komunikace s řadičem T6963C.

Na obr. 5.8 je zobrazen modul PG240128WRF-ATA-H-Y7 a ukázka testovací aplikace. Při dotyku stisku dotykové plošky T1 až T10 se na displeji zobrazí slovy, které „tlačítko“ bylo stisknuto a dotyková ploška T8 navíc zobrazuje a zhasíná logo UREL.



Obr. 5.8: Modul PG240128WRF-ATA-H-Y7 s řadičem T6963C a testovací obrazec.

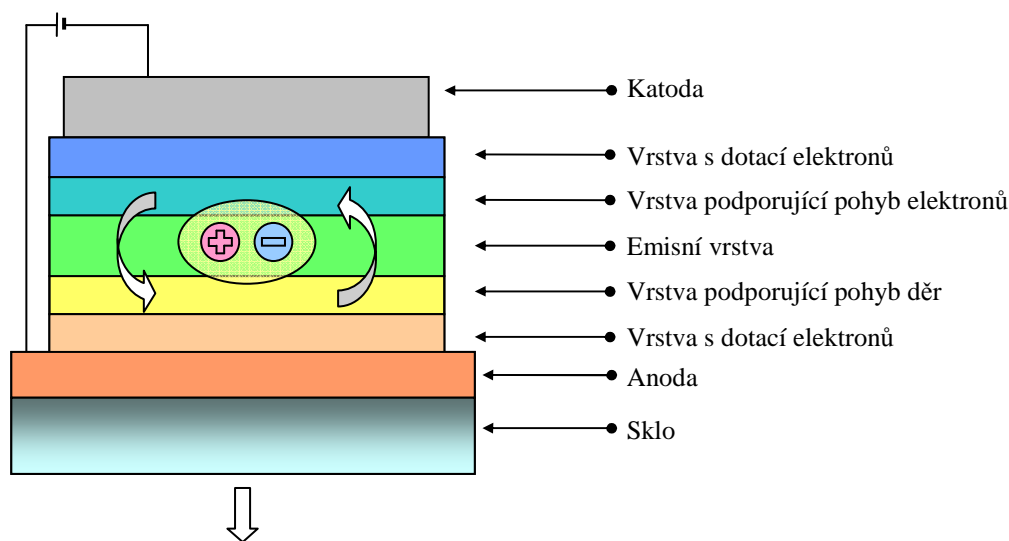
5.2 Displeje s technologií OLED

Protože se ukázalo, že displeje se standardními řadiči HD44780, KS0108 a T6963C mají velké rozměry, což není pro inteligentní senzory vhodné, hledalo se náhradní řešení. Jedna z možností je použít tzv. COG LCD displeje, které bývají používány např. v mobilních telefonech. Nevýhodou ovšem je, že všechny LCD displeje jsou pasivní a při požadavku na čitelnost displeje i za zhoršených světelných podmínek jsou nevhodné. Muselo by se použít podsvícení, ale výrazně by se zvětšila spotřeba, což je nepřijatelné. Proto bylo hledáno jiné alternativní řešení v podobě displejů s technologií OLED.

5.2.1 Princip funkce OLED displejů

Název OLED vznikl jako zkratka anglického Organic Light Emitting Diode. Tyto displeje využívají technologii organických elektroluminiscenčních diod, která pochází z roku 1987, kdy jí vyvinula firma Eastman Kodak [17], ale až před 10 lety umožnily výrobní technologie začít tento mechanismus aplikovat do praxe.

Jsou to aktivní displeje s velkou hustotou zobrazované informace. Základem je organický materiál obsahující molekulární strukturu, která provádí emisi světla - luminofor. Emise nastává při rekombinaci páru elektron-díra. Vzniklý nadbytek energie je vyzářen v podobě fotonu, tj. světelného záblesku. Tato pracovní vrstva je ve struktuře OLED nazývána jako emisní. Mezi anodu a emisní vrstvu i katodu a emisní vrstvu se vkládají materiály podporující pohyb děr (hole transfer layer - HTL) respektive pohyb elektronů (electron transfer layer - ETL). Tak se dosahuje větší účinnosti rekombinace a tím i větší účinnosti generování světla. Injekce proudu skrz strukturu excituje elektrony do energetického stavu s vysokou energií odkud relaxují do nižšího stavu, což způsobuje emisi světla o vlnové délce odpovídající použitému organickému materiálu. Vše je pak uzavřeno mezi dvě vrstvy skla, jako u LCD, nebo nyní častěji implementováno na plastovou nebo kovovou podložku (substrát). Tak vznikne velmi slabý displej, který může být i pružný, a tedy odolný proti pádu nebo působení mechanického napětí [18]. Na obr. 5.9 je nakreslena základní struktura technologie OLED.



Obr. 5.9: Struktura OLED displeje.

5.2.2 Rozdělení OLED displejů

OLED displeje jsou klasifikovány podle velikosti molekul tvořících organický materiál, ze kterého jsou vyrobeny. Z tohoto hlediska existují dvě základní technologie [10]:

- *SMOLED (Small Molecule Light Emitting Diode)* – technologie používající relativně malé molekuly. Většinou jsou označovány pouze jako OLED.
- *PLED (Polymers Light Emitting Diode)* – technologie používající relativně velké molekuly známé pod označením polymery emitující optické záření.

Další dělení je obdobné jako u LCD. OLED displeje mohou být vytvářeny jako pasivní nebo aktivní matice [18]:

- *PMOLED (Passive Matrix Organic Light Emitting Diode)* – jsou používány pro displeje s menším množstvím zobrazované informace. Stejně jako u LCD displejů s malou hustotou zobrazované informace (DSTN, STN) jsou jednotlivé pixely řízeny pasivně, tzn. mřížkovou maticí navzájem překřížených vodičů. V místě křížení jsou vodiče připojeny k elektrodám OLED struktury a vznikají tak jednotlivé pixely. Tenký film organického materiálu mezi elektrodami začne emitovat světlo, když je aktivován elektrickým impulzem aplikovaným na příslušný řádkový a sloupcový vodič. Čím větší je proud impulzu, tím jasněji pixel září. Pasivní OLED jsou z důvodu větší spotřeby a horších zobrazovacích vlastnostech vhodné jen pro malé a nenáročné displeje do úhlopříček 2“ až 3“, např. pro zobrazování statických obrázků. Výhodou je pak nízká cena, nejnižší z ostatních typů a struktur OLED. Jsou vhodné pro použití v automobilové technice jako displeje palubních počítačů, autorádií apod.
- *AMOLED (Active Matrix Organic Light Emitting Diode)* - aktivní struktura OLED displeje, u LCD označovaná jako TFT (obsahuje vrstvu tenkovrstvých tranzistorů). Stejně jako u TFT LCD, i tady je spínání každého pixelu řízeno vlastním tranzistorem,

který přesně řídí proud do struktury OLED pixelu. Tak lze přesně regulovat jejich jas. Prakticky však pod každým pixelem je struktura dvou tranzistorů s kondenzátorem, kde jeden tranzistor řídí proud pro nabíjení a vybíjení kondenzátoru, zatímco druhý slouží jako napěťový stabilizátor, pro zajištění konstantní velikosti proudu. Proti pasivním OLED se vyznačují vyšším zobrazovacím kmitočtem, ostřejším vykreslením obrazu a nižší spotřebou. Nevýhodou je pak výrazně složitější struktura displeje, a tedy i jeho vyšší cena. Hlavním směrem využití jsou aplikace náročné na kvalitu obrazu a na spotřebu, tedy typicky přenosná zařízení napájená z baterií.

Dále je uveden přehled speciálních typů OLED displejů:

PHOLED (Phosphorescent OLED) – fosforescence, velká účinnost, malá spotřeba.

WOLED (White OLED) – vysoká účinnost, při zachování možnosti měnit teplotu.

FOLED (Flexible OLED) – struktura je umístěna na pružném materiálu např. plastová folie nebo odrazová kovová fólie. Displeje mohou být srolovány. Umělohmotné podložky, kromě toho, že umožňují ohyb displeje, jsou mnohem levnější než vysoce kvalitní sklo, které je pro displeje používáno. Výhodou je také mechanická odolnost (nárazy, pády).

TOLED (Transparent OLED) – technologie umožňující vytvořit displej až s 80% průchodností světla a volbu, zda bude obraz vidět na jedné nebo obou stranách. Průhlednost je dosažena transparentní katodou, anodou i podložkou (skleněná nebo plastová). Tato vlastnost umožňuje zobrazovat informace v zorném poli uživatele na jinak průhledných plochách - hledí přílby, sklo automobilu, výlohy [18].

5.2.3 Základní vlastnosti displejů s technologií OLED

- Vyzařují optické záření, není nutné pomocné osvětlení.
- Lze vyrobit plně barevné displeje s přímou barevnou emisí.
- Mají velmi malou tloušťku (méně než 2 mm) a jsou velmi lehké.
- Vysoký kontrast a svítivost.
- Velká světelná účinnost.
- Jsou rychlé (odezva na změnu obrazového signálu).
- Velký pozorovací úhel.
- Nízká spotřeba.
- Velký rozsah provozních teplot.
- V celku jednoduchá struktura => nízké výrobní náklady a tedy i cena.
- Možnost použití ohebné podložky.
- Nevýhodou je nízká životnost, která je různá pro jednotlivé barvy.

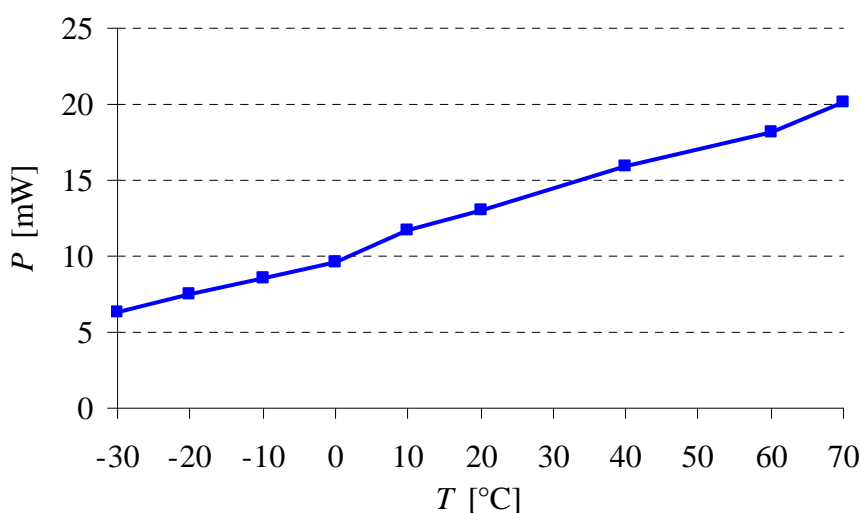
5.2.4 Testování vlastností displejů s technologií OLED

Na displej vhodný pro použití v sensorové technice jsou kladeny dva protichůdné požadavky, a to: co nejmenší spotřeba a zároveň co nejlepší čitelnost. Proto byl proveden test spotřeby OLED displeje v závislosti na čitelnosti. Testy jsou podrobně popsány v časopise Elektrevue [24]. Zde jsou uvedeny pouze výsledky. Pro vnitřní prostory budov, kde je osvětlení asi 300 Lx byla stanovena testováním ověřená dostatečná hodnota jasu $L = 10 \text{ cd/m}^2$. Nalezené optimální nastavení displeje je za těchto podmínek: napájecí napětí $V_{CC} = 5,5 \text{ V}$, parametr kontrastu displeje $C=0x00$ a parametr pro nastavení kmitočtu $D=0xB1$. Za těchto podmínek se na displeji zobrazil čtverec o velikosti 64x64 pixelů, naměřený jas čtverce $L = 12,3 \text{ cd/m}^2$ při spotřebě 12,9 mW (podsvícený LCD displej

stejného rozlišení má spotřebu přibližně 50mW a více). Při praktickém využití OLED displeje (zobrazování textu a měřených hodnot) bude na displeji rozsvíceno méně pixelů (cca. 5 až 20% dle počtu řádků, typu a velikosti písma). Tím pak celkově klesne spotřeba displeje. Při vykreslení zkušebního textu s různými velikostmi písma (viz obr. 8.2) byla naměřena spotřeba displeje cca 10mW.

Kromě testování spotřeby OLED displeje byl proveden test funkčnosti displeje. Opět se měřila spotřeba v závislosti na teplotě. Test byl proveden v teplotní komoře v rozsahu teplot $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na displeji byl zobrazen testovací obrazec (čtverec 64×64 pixelů). Z obr. 5.10 je zřejmé, že spotřeba displeje roste lineárně s teplotou. Ale displej v celém testovaném rozsahu fungoval bez problému.

Aby byla ověřena i dynamika displeje, byl na displeji, umístěném v teplotní komoře, zobrazen čítač, který cyklicky čítal od 0000 do 9999. Souběžně byl do komory přidán pro porovnání LCD displej HG12864 (technickou dokumentaci k tomuto displeji naleznete v literatuře [25]). Tento test byl vzhledem k hodnotám udávaným výrobcem pro LCD displej proveden pouze v rozsahu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. U LCD displeje už při teplotách od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ docházelo ke snížení dynamiky výpisu hodnot (díky pomalejšímu natáčení tekutých krystalů) a při $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl nepoužitelný. Displej s technologií OLED i v těchto podmínkách pracoval správně bez pozorovatelných změn.



Obr. 5.10: Závislost spotřeby OLED displeje na teplotě.

5.2.5 Komunikace mezi MCU a OLED displejem

Grafická paměť OLED displeje je obdobná jako u grafického LCD displeje. Pro objasnění komunikace je použit OLED displej od firmy DENSITRON: DD32645C-1A [20], který používá řadič SSD1303 [21]. Rozlišení tohoto displeje je 128×64 pixelů a programování je obdobné jako u grafických LCD displejů s řadičem KS0108.

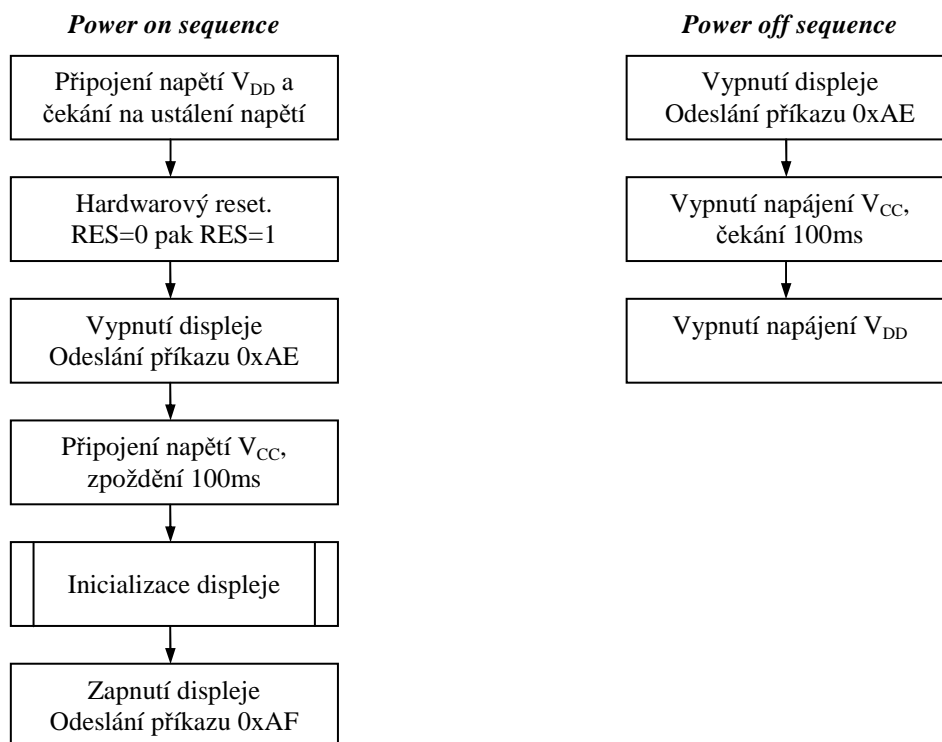
Protože je řadič SSD1303 (existuje několik kompatibilních variant) u OLED displejů často používán, je zde podrobněji popsán způsob programování. Displej používá dva druhy napájení: $V_{DD} = (2,6 - 3,5)\text{V}$ pro logiku a řídicí napětí $V_{CC} = (8,0\text{V} - 10,0)\text{V}$. Obsazení jednotlivých vývodů je popsáno v tab. 5.6. Podrobnější popis je popsán v [20] a [21].

Tab. 5.6: Rozložení vývodů driveru SSD1303 pro řízení OLED displeje DD32645C-1A.

č.v.	Symbol	I/O	Funkce
1	N.C	–	Rezervovaný pin.
2	V _{CC}	I/O	Napájecí napětí pro panel.
3	VCOMH	I/O	Vysoká úroveň napětí pro signál COM.
4	IREF	I	Proudová reference pro nastavení jasu.
5-12	D7 – D0	I/O	Vstup a výstup datové sběrnice.
13	E/RD	I	Povolení čtení/zápisu.
14	R/W	I	Výběr zápisu nebo čtení.
15	D/C	I	Výběr příkazu nebo dat.
16	RES	I	Reset napájení pro kontrolér i driver.
17	CS	I	Výběr zařízení.
18	N.C.	–	Rezervovaný pin
19	BS2	I	Nastavení komunikačního protokolu. BS1=0 & BS2=0 => seriová komunikace. BS1=1 (0) & BS2 =1 => paralelní komunikace
20	BS1	I	
21	V _{DD}	I	Napájecí napětí pro obvody logiky.
22-24	N.C	–	Rezervovaný pin
25	VBREF	I/O	Napěťová reference pro obvod DC/DC konvertoru
26	RESE	I	Vstup pro připojení externí NMOS.
27	FB	I	Zpětnovazební vstup pro DC/DC konvertor.
28	VDDDB	I	Napájecí napětí pro DC/DC konvertor.
29	GDR	O	Výstup pro externí NMOS.
30	VSS	I	Zem.
31	NC	–	Rezervovaný pin.

Pomocí signálů BS1 a BS2 lze vybrat sériovou či paralelní komunikaci MCU s displejem. Při sériovém odeslání je použito rozhraní SPI (pouze směr MOSI).

Při komunikaci s řadičem SSD1303 je vhodné používat při zapínání a vypínání *power on* respektive *power off* sekvence, které jsou popsány níže (obr. 5.11).



Obr. 5.11: Sekvence pro zapnutí a vypnutí displeje.

Pro inicializaci displeje a všeobecně pro práci s displejem existují příkazy, které jsou popsány v literatuře [20] a [21]. Pro jednoduchost uvedu inicializační kód displeje.

```

void init_OLED(void)
{ //příkaz comm_out je použit k odesílání příkazů na driver OLED
comm_out(0xAE); // Vypnutí displeje
comm_out(0x81); // Nastavení kontrastu
comm_out(0xC0); // Parametr kontrastu C = 0xC0 (optimální hodnota)
comm_out(0xA8); // Nastavení poměru hodinových pulzů
comm_out(0x3F); // Poměr je 63
comm_out(0xA0); // Číslování sloupců zleva doprava
comm_out(0xD3); // Offset displeje
comm_out(0x00); // Začíná se od adresy 0x00 (nulový offset)
comm_out(0x40); // Nastavení startovacího řádku
comm_out(0xC0); // Nastavení číslování řádků shora dolů
comm_out(0xDA); // Nastavení hardwarové konfigurace pinů
comm_out(0x12); // Nastavení hardwarové konfigurace pinů
comm_out(0xD9); // Nastavení nabíjení
comm_out(0xF1); // Nabíjení=fh, vybíjení=lh
comm_out(0xDB); // Nastavení napětí VcomH
comm_out(0x49); // VcomH=73
comm_out(0xD5); // Nastavení obnovovacího kmitočtu
comm_out(0xB1); // Parametr D = 0xB1 (optimalizovaná hodnota)
comm_out(0xA4); // Normální mód
comm_out(0xA6); // Zakázání inverzního zobrazení
comm_out(0xAF); // Zapnutí displeje }

```

Po inicializaci a zapnutí OLED displeje se mohou vysílat řadiči data, která mají být zobrazena. Logická úroveň „H“ vysvítí adresovaný pixel. Grafická paměť displeje GDDRAM je rozdělena na 8 stránek (page) jak ukazuje obr. 5.12. Při adresování pošleme řadiči displeje příkaz, který nastaví např. 2. stránku. Poté se nastaví dolní část adresy ukazatele na sloupec 0x00 až 0x0F. A horní částí adresy ukazatele na sloupec v rozmezí 0x10 až 0x18.

Stránka 0
Stránka 1
Stránka 2
Stránka 3
Stránka 4
Stránka 5
Stránka 6
Stránka 7

Obr. 5.12: Struktura paměti GDDRAM řadiče SSD1303 pro displej DD-2864BY-2A.

Na obr. 5.13 je uveden příklad, kdy je stránka adresy nastavena na 0xB2, dolní adresa ukazatele na sloupec je 0x03 a horní adresa ukazatele na sloupec je 0x10. Vstupní byte bude zapsán do paměti na pozici třetího sloupce. Po zapsání bytu do paměti se automaticky inkrementuje ukazatel adresy sloupce. Odpovídající kód by vypadal takto:

```
comm_out(0xB2);
comm_out(0x10);
comm_out(0x03);
dat_out(0x02);
dat_out(0xFF);
```

Procedura `comm_out()` posílá řadiči displeje příkaz uvedený v závorce a procedura `dat_out()` posílá data.



Obr. 5.13: Příklad nastavení konkrétních bitů v GDDRAM.

Nyní se mohou na displeji zobrazit požadované informace. Na obr. 5.14 jsou obrázky testovaných OLED displejů. Výhodou paralelní komunikace oproti sériové je možnost vyčítání dat z paměti displeje. Problémem vypisování znaků je, že driver neobsahuje znakovou sadu, a proto si uživatel musí definovat znakovou sadu sám. Pro komunikaci s grafickým displejem je vhodný MCU s velkou datovou pamětí nebo pamětí flash (alespoň 4kB, záleží na konkrétní aplikaci).



Obr. 5.14: Testovací obrazce na OLED displejích DD32645C-1A a DD12864YO-3A.

Jako zobrazovací modul byl pro inteligentní snímač teploty zvolen displej DD12864YO-3A, protože výše popisovaný displej DD32645C-1A byl málo odolný jak

mechanicky tak elektricky. Displej DD12864YO-3A (podrobné informace viz technická dokumentace [23]) používá řadič SSD1305, který je kompatibilní s popisovaným řadičem SSD1303. Pro komunikaci s displejem byl zvolen MCU s nízkou spotřebou PIC16F690. Nevýhodou tohoto MCU je, že má paměť flash o velikosti 4kB. Jelikož 1 obrázek přes celý displej zabere paměťové místo o velikosti 1kB, tak paměť 4kB je dost malá. Přesto se podařilo, díky psaní programu v JSA a úsporným opatřením v podobě bezeztrátových komprimačních algoritmů RLC a dalších úprav, naprogramovat nejen číselnou znakovou sadu pro zobrazení měřené veličiny, ale také abecedu, která je využívána v menu displeje. Velká číselná znaková sada má velikost 32x18 pixelů (ukázka ze znakové sady je v příloze C). Znaky z abecedy pro menu mají velikost 6px a číslice 8px.

Pro modul s displejem bylo vytvořeno schéma a navržena oboustranná destička plošného spoje (viz příloha A). Napájení displejového modulu je přiváděno z komunikačního modulu, který je napojen na smyčku (viz kapitola 6.5). MCU zde dostává informace ze sběrnice SPI o měřené veličině, proudu a mezích. Program napsaný v JSA pro MCU v modulu displeje je přiložen na CD v adresáři Program\Displej.

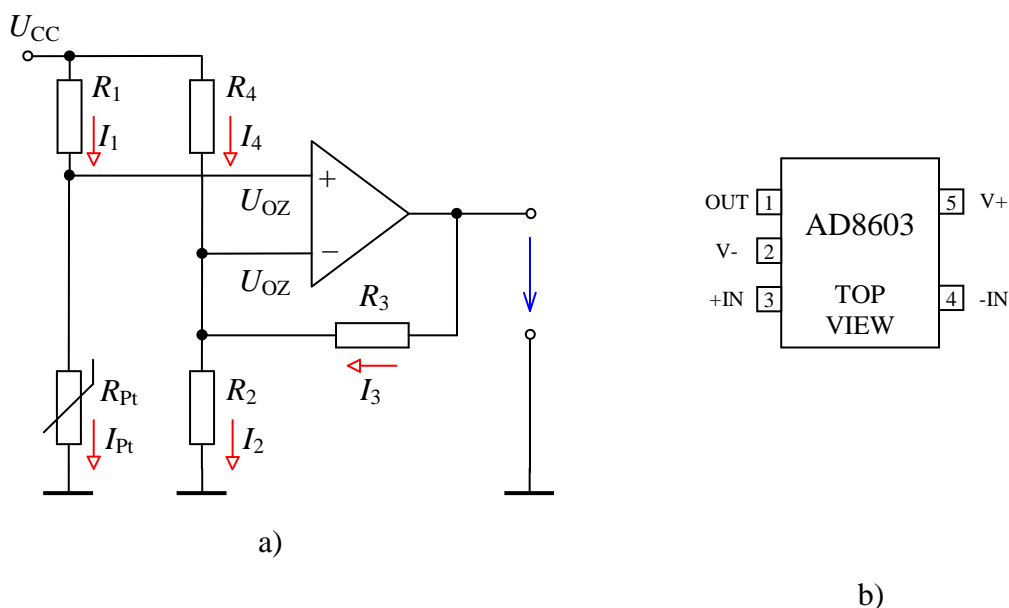
6 NÁVRH INTELIGENTNÍHO SENZORU TEPLoty

V této kapitole je rozebrán návrh jednotlivých částí inteligentního senzoru teploty s čidlem Pt1000 a s komunikačním rozhraním HART (komunikační modul). Výsledné schéma celého obvodu je umístěno v příloze B.1.

6.1 Získání informace o teplotě z měřícího čidla Pt1000

Platinové teplotní čidlo Pt1000 pracuje na principu závislosti odporu kovu na teplotě (podrobněji popsáno v literatuře [26]). Aby bylo možné zjistit jednoduše měřenou teplotu, dodávají výrobci teplotních čidel tabulku závislosti odporu čidla na teplotě. Tato tabulka pro čidlo Pt1000 je uvedena v příloze E. Rozsah provozních teplot čidla je v rozmezí od -200°C do 160°C . Toto čidlo bylo zvoleno hlavně kvůli nízké spotřebě (čidlo i měřící odpory: $160\mu\text{A}$ @ $3,3\text{V}$).

Hodnota odporu čidla Pt1000 je převedena pomocí neinvertujícího zapojení operačního zesilovače na napětí viz obr. 6.1.a). Změnou teploty se změní odpor čidla, který vyvolá změnu napětí na vstupu operačního zesilovače (OZ) a v důsledku toho se změní výstupní napětí OZ. Protože změně teploty o 1°C odpovídá změna odporu přibližně o $4\ \Omega$, je vybrán OZ s velmi malou napěťovou nesymetrií vstupů (max. ofset: $50\ \mu\text{V}$) – AD8603, viz obr. 6.1.b). Podrobnosti k OZ nalezneme v datalistu [27] a obecně v literatuře [31]. Dále jsou vybrány přesné teplotně stabilní odpory z řady E96: $R_1 = 30,1\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 1,96\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 121\ \text{k}\Omega$, $R_4 = 66,5\ \text{k}\Omega$. Hodnoty odporů byly voleny a počítány tak, aby byla zaručena co nejmenší spotřeba celého měřícího obvodu. Musí být zajištěno, aby teplotním čidlem procházel dostatečně malý proud, aby nedocházelo k ohřevu čidla a důsledkem toho k ovlivňování měření.



Obr. 6.1: a) Měřící obvod teplotního čidla Pt1000. b) Nízkošumový OZ AD8603.

Pro proud procházející měřicím čidlem platí vztah:

$$I_{Pt} = I_1 = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_{Pt}}. \quad (6.1)$$

Odtud lze vypočítat vstupní napětí OZ:

$$U_{OZ} = I_{Pt} \cdot R_{Pt}. \quad (6.2)$$

Když známe napětí OZ můžeme vypočítat proudy I_2 a I_4 :

$$I_2 = \frac{U_{OZ}}{R_2}, \quad (6.3)$$

$$I_4 = \frac{U_{CC} - U_{OZ}}{R_4}. \quad (6.4)$$

Z prvního Kirchhoffova zákona lze vypočítat proud procházející odporem R_3 :

$$I_3 = I_2 - I_4. \quad (6.5)$$

Výstupní napětí OZ je dáno součtem vstupního napětí OZ a úbytku napětí na R_3 :

$$U_{OUT} = U_{OZ} + I_3 \cdot R_3. \quad (6.6)$$

Pro dostačující měřicí rozsah (-30 až 70) $^{\circ}\text{C}$ lze vypočítat dosazením do vztahů (6.1) až (6.6) výstupní napětí OZ: $U_{OUT} = (0,056$ až $2,3861)\text{V}$.

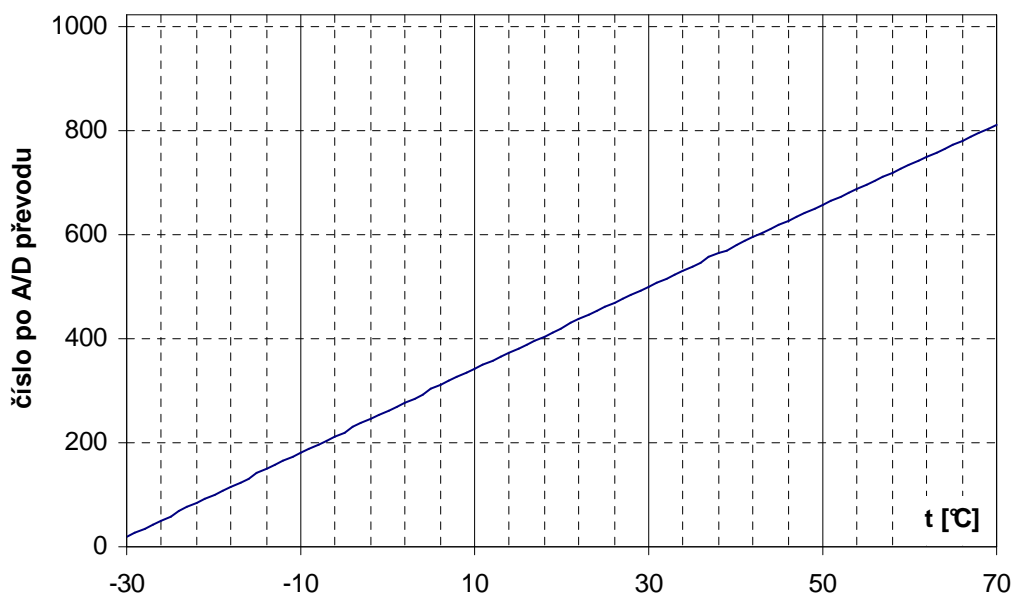
Analogové výstupní napětí je převedeno pomocí desetibitového A/D převodníku, který je součástí použitého osmibitového MCU PIC16F690. Podrobný popis MCU nalezneme v datalistu [28]. Na pin RA1 je přivedeno referenční napětí $U_{ref} = 3\text{V}$ pro A/D převodník. Převáděná analogová veličina je přivedena na pin RA0. V tab. 6.1 jsou vypočteny výstupní hodnoty A/D převodníku, dle vztahu (6.7). První dva sloupce tabulky znamenají, že při -30°C je přivedeno na vstup A/D převodníku napětí $0,056\text{V}$ a výstupní hodnota A/D převodníku odpovídá dekadické hodnotě 19.

$$\text{A/D}_{OUT} = \frac{U_{OUT}}{U_{ref}} \cdot (2^{10} - 1). \quad (6.7)$$

Tab. 6.1: Výstup A/D převodníku odpovídající výstupnímu napětí OZ U_{OUT} .

U_{OUT} [V]	A/D _{OUT} [-]	U_{OUT} [V]	A/D _{OUT} [-]	U_{OUT} [V]	A/D _{OUT} [-]	U_{OUT} [V]	A/D _{OUT} [-]	U_{OUT} [V]	A/D _{OUT} [-]
0,0560	19	0,5323	181	1,0034	342	1,4693	501	1,9302	658
0,0799	27	0,5559	189	1,0268	350	1,4925	508	1,9532	666
0,1038	35	0,5796	197	1,0502	358	1,5156	516	1,9761	673
0,1277	43	0,6032	205	1,0736	366	1,5388	524	1,9990	681
0,1516	51	0,6269	213	1,0969	374	1,5619	532	2,0218	689
0,1755	59	0,6505	221	1,1203	382	1,5850	540	2,0447	697
0,1994	68	0,6741	229	1,1437	389	1,6081	548	2,0675	705
0,2232	76	0,6977	237	1,1670	397	1,6312	556	2,0904	712
0,2471	84	0,7213	245	1,1903	405	1,6543	564	2,1132	720
0,2709	92	0,7449	254	1,2137	413	1,6774	571	2,1360	728
0,2948	100	0,7685	262	1,2370	421	1,7004	579	2,1588	736
0,3186	108	0,7920	270	1,2603	429	1,7235	587	2,1816	743
0,3423	116	0,8155	278	1,2835	437	1,7465	595	2,2044	751
0,3661	124	0,8391	286	1,3068	445	1,7695	603	2,2271	759
0,3899	132	0,8625	294	1,3301	453	1,7925	611	2,2499	767
0,4137	141	0,8861	302	1,3533	461	1,8155	619	2,2726	774
0,4374	149	0,9096	310	1,3766	469	1,8385	626	2,2954	782
0,4611	157	0,9330	318	1,3997	477	1,8614	634	2,3181	790
0,4849	165	0,9565	326	1,4230	485	1,8844	642	2,3408	798
0,5086	173	0,9799	334	1,4462	493	1,9073	650	2,3861	805

Na obr. 6.2 je vynesena závislost výstupního dekadického čísla z A/D převodníku na teplotě v měřeném rozsahu -30°C až 70°C . Pro programování je výhodné, že křivka vychází lineární. Změně teploty o 1°C odpovídá změna výstupu A/D převodníku o 8 stavů.



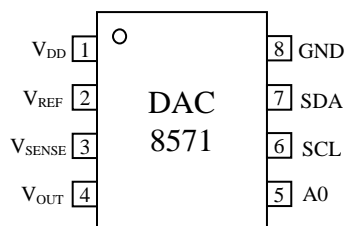
Obr. 6.2: Závislost výsledku po A/D převodu na teplotě.

6.2 Popis analogového napětového výstupu

Výstupní veličinou inteligentního senzoru teploty má být proud v rozsahu 4 až 20 mA. Meze jsou zadávány uživatelem přes komunikační rozhraní. MCU PIC16F690 v sobě nemá zabudovaný D/A převodník, proto je využito externího převodníku. Byl zvolen 16-ti bitový D/A převodník DAC8571 s malou spotřebou a napětovým výstupem. Rozložení vývodů převodníku je na obr. 6.3 a v tab. 6.2 je jejich popis.

Tab. 6.2: Popis pinů D/A převodníku DAC8571

Pin	Název	Funkce
1	V _{DD}	Analogové vstupní napětí (3,3 V).
2	V _{REF}	Vstup referenčního napětí.
3	V _{SENSE}	Výstupní napětí.
4	V _{OUT}	Výstupní analogové napětí z DAC.
5	A0	Výběr adresy zařízení.
6	SCL	Hodinový vstup.
7	SDA	Datový vstup.
8	GND	Zem.



Obr. 6.3: Rozložení pinů DAC.

Součástka DAC8571 funguje tak, že se na vstupy SDA a SCL pomocí sběrnice I2C přivede neznaménková binární hodnota, která je vnitřními obvody (řídícími, posuvným registrem, odporovou sítí, zesilovačem) převedena na analogovou hodnotu napětí, které se objeví na pinu V_{OUT}. Pin V_{SENSE} je přiveden jako zpětná vazba do invertujícího OZ, který je součástí vnitřních obvodů DAC8571. Tak je zajištěna lepší přesnost v kritických aplikacích.

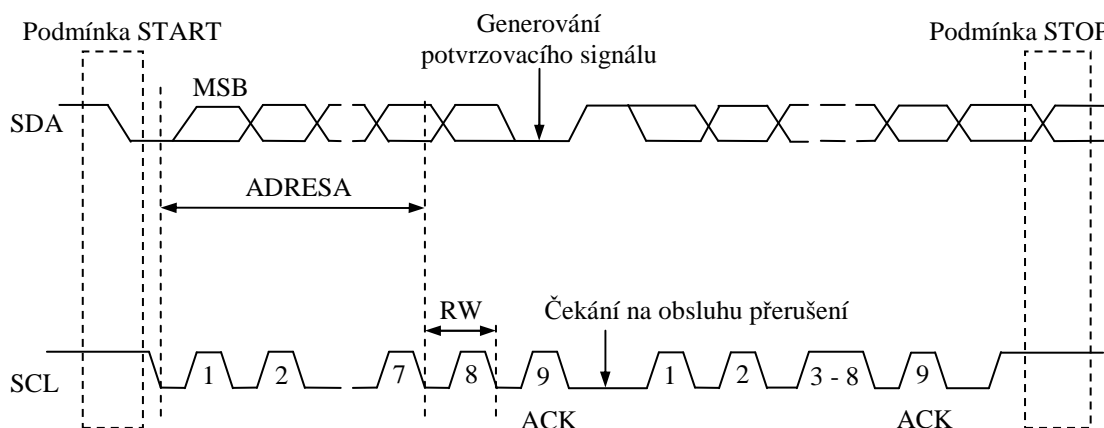
Referenční hodnota napětí pro D/A převodník je zvolena stejně jako pro A/D převodník, tedy na pin V_{REF} je připojeno napětí 3V. Vstupní kód přivedený přes sběrnici I2C je převeden na analogovou hodnotu napětí dle vztahu:

$$U_{\text{OUT}} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{D}{(2^{16} - 1)} = U_{\text{ref}} \cdot \frac{D}{65535}, \quad (6.8)$$

kde D je dekadický ekvivalent přijatého binárního kódu, který je uložen do DAC registru.

V použitém zapojení komunikuje po sběrnici I2C jen MCU PIC16F690 – master a D/A převodník DAC8571 – slave. Jsou podporovány 3 rychlostní režimy: standardní (100kbps), rychlý (400kbps) a vysokorychlostní (3,4Mbps). I2C sběrnice má na úrovni linkové vrstvy svůj vlastní protokol (viz literatura [29]). Průběh signálů SDA a SCL při I2C komunikaci je naznačen na obr. 6.4. Přenos začíná vysláním podmínky START, potom následuje vyslání sedmibitové adresy příjemce a jeden bit R/W, který určuje

požadovanou operaci (čtení/zápis). V devátém hodinovém cyklu vysílá slave potvrzení o připravenosti přijímat data. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Pro ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP.



Obr. 6.4: Protokol I2C.

V tab. 6.3 je přehledně uvedena sekvence, která bude použita pro vysílání dat z MCU PIC16F690 – master do DAC převodníku – slave. Po zápisu adresy, je zapsán kontrolní byte, kterým, lze mimo jiné určit v jakém stavu má být výstup (pull-up, napětí), protože jsou na I2C sběrnici pouze dvě zařízení vystačí si s hodnotou kontrolního bytu 0x10, což zajišťuje uložení dat ze sběrnice I2C do DAC registru, ze kterého se odvodí pomocí vnitřních obvodů výstupní hodnota napětí.

Tab. 6.3: Sekvence při vysílání dat ze zařízení master do přijímače – slave (DAC8571).

Vysílač	MSB	6	5	4	3	2	1	LSB	Popis
Master	Start								Začátek sekvence.
Master	1	0	0	1	1	A0	0	R/W	Zápis adresy.
DAC8571	Potvrzení DAC8571								
Master	0	0	L1	L0	0	B	0	PD0	Kontrolní byte (viz datalist [29]).
DAC8571	Potvrzení DAC8571								
Master	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	Zápis vyššího bytu datového slova.
DAC8571	Potvrzení DAC8571								
Master	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Zápis nižšího bytu datového slova.
DAC8571	Potvrzení DAC8571								
Master	STOP nebo opět START								Hotovo

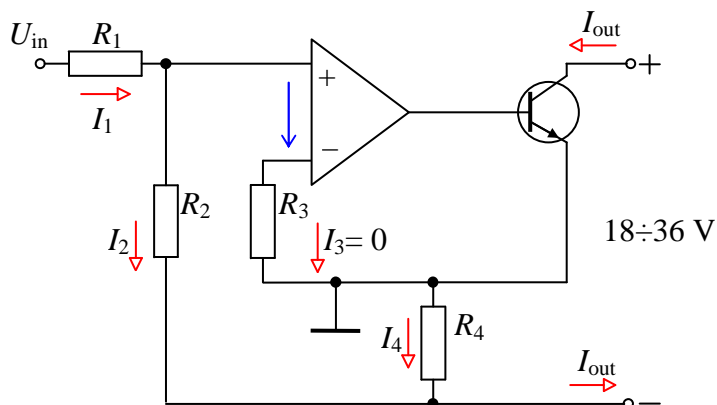
V tab. 6.4 je uveden příklad zápisu hodnoty z MCU PIC16F690 do DAC. MCU posílá 0x4000, což odpovídá 1/4 rozsahu stupnice. Referenční napětí DAC $U_{ref} = 3 \text{ V}$, a proto bude výstupní napětí D/A převodníku $U_{OUT} = 0,75 \text{ V}$.

Tab. 6.4: Zápis hodnoty z mikroprocesoru do D/A převodníku.

Start	Adresa 10011000	ACK	C 00010000	ACK	M 01000000	ACK	L 00000000	ACK	STOP
Je platná předchozí hodnota napětí.									$U_{OUT} = 0,75 \text{ V}$

6.3 Převodník napětí na proud

Výstupní hodnotou DAC převodníku je napětí, protože je ale požadovanou výstupní veličinou inteligentního senzoru teploty proud o velikosti 4 až 20 mA, je vložen jako poslední blok mezi DAC a smyčku převodník napětí na proud v zapojení s nízkošumovým OZ AD8603, který byl popsán v kapitole 6.1. Zapojení převodníku napětí na proud je upraveno ze zapojení uvedeného v literatuře [30]. Na obr. 6.5 je princip zapojení převodníku U/I, ze kterého jsou odvozeny vztahy pro výpočet jednotlivých rezistorů a rovněž výstupní proud smyčky.



Obr. 6.5: Převodník napětí na proud.

Výstup smyčky je odvozen z vlastností OZ (viz literatura [31]), Ohmova zákona a Kirchhoffových zákonů. Pro výstupní proud I_{out} platí:

$$I_{out} = I_2 + I_4, \quad (6.9)$$

kde pro proud I_2 platí:

$$I_2 = I_1 = \frac{U_{in}}{R_7} \quad (6.10)$$

a pro proud I_4 platí:

$$I_4 = \frac{U_{R4}}{R_4} = \frac{I_{R2} \cdot R_2}{R_4}. \quad (6.11)$$

Úpravou vztahů (6.9) až (6.11) získáme výsledný vzorec pro výpočet výstupního proudu:

$$I_{out} = \frac{U_{in}}{R_7} \cdot \left(\frac{R_2}{R_4} + 1 \right). \quad (6.12)$$

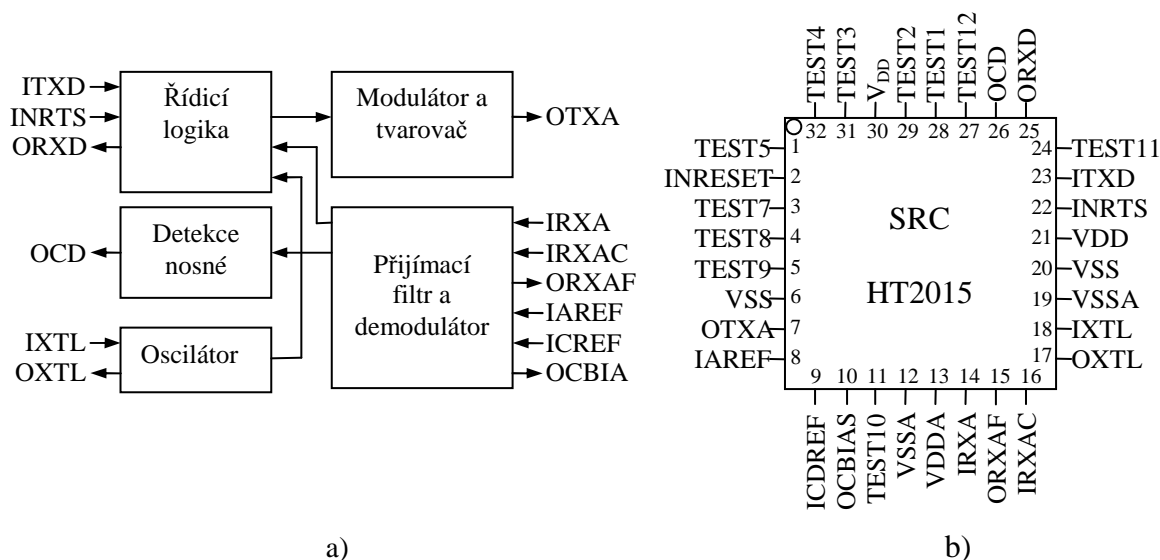
Dosazením navržených odporů převodníku U/I (viz příloha B.1) dostaneme následující vztah:

$$I_{out} = U_{in} \cdot 7,616 \cdot 10^{-3}, \quad (6.13)$$

ze kterého vyplývá, že 4 mA odpovídá napětí 0,525 V a 20 mA napětí 2,62 V. Podle těchto mezí musí být výstupní napětí DAC převodníku nastavováno softwarově.

6.4 Komunikační rozhraní HART

Pro digitální komunikační rozhraní je použit čip HT2015, který má v sobě implementován modem s protokolem HART (popis protokolu je v kapitole 4). Kromě modemu obsahuje čip HT2015 další obvody (přijímací filtry, detekce nosné, tvarování signálu, podrobnější popis nalezneme v literatuře [33]), které zajišťují splnění potřebných požadavků pro fyzickou vrstvu protokolu HART. Blokový diagram čipu HT2015 je na obr. 6.6.a) a na obr. 6.6.b) je rozložení jednotlivých pinů v použitém LQFP pouzdře. V tab. 6.5 je popis jednotlivých pinů.

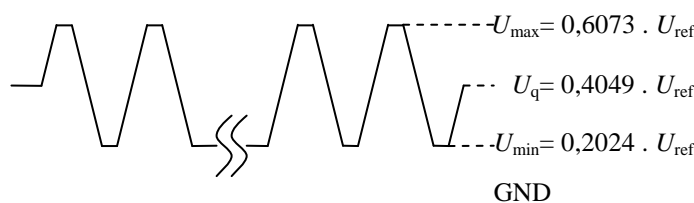


Obr. 6.6: a) Blokové schéma HT2015. b) Rozložení pinů v pouzdře LQFP.

Tab. 6.5: Popis pinů čipu HT2015.

Číslo pinu	Název	Vstup/ výstup	Popis
24,27,29,31,32	Test	-	Nepřipojeno.
1,3,4,5,11,28	Test	Vstup	Připojeno k V_{SS} .
2	INRESET	Vstup	Logickou úroveň „L“ se resetují všechny obvody digitální logiky.
7	OTXA	Výstup	Modulovaný analogový výstup.
8	IAREF	Vstup	Referenční napětí. ($U_{ref} = 1,235 \text{ V}$).
9	ICDREF	Vstup	Referenční napětí pro detekci nosné.
10	OCBIAS	Výstup	Nastavení porovnávacího proudu (připojení odporu 500k k V_{SS}).
13	VDDA	Napájení	Napájecí napětí (analogových obvodů).
14	IRXA	Vstup	Přijímání FSK modulovaného signálu.
15	ORXAF	Výstup	Výstup z přijímacího filtru.
16	IRXAC	Vstup	Vstup přijímacího komparátoru.
17	OXTL	Výstup	Výstup krystalového oscilátoru (460 kHz).
18	IXTL	Vstup	Vstup krystalového oscilátoru .
6,20	Vss	Zem	Zem.
21,30	VDD	Napájení	Napájecí napětí logiky.
22	INRTS	Vstup	Požadavek na vysílání.
23	ITXD	Vstup	Přijímání digitálních dat z UARTu, které mají být vyslány.
25	ORXD	Výstup	Vysílání přijatých demodulovaných dat na UART.
26	OCD	Výstup	Detekce obálky.
12,19	VSSA	Zem	Zem (pro analogové obvody).

Modem se skládá z modulátoru a demodulátoru. Pro logickou úroveň „L“ používá kmitočet 2200 Hz a pro „H“ kmitočet 1200 Hz. Bitová rychlost je 1200 bit/s. V MCU PIC16F690 je pomocí PWM generován signál s kmitočtem 460kHz, který je přiveden na vsup OXTL, pin IXTL je uzemněn. Dále jsou z MCU jednotkou UART (RB7 = Tx) vysílána digitální data v NRZ kódu na vstup ITXD. Modulátor z těchto přijatých dat vytváří FSK modulovaný signál a vyšle jej na pin OTXA (viz obr. 6.7). Vztahy pro napěťové úrovně jsou definovány v literatuře [32]. Vysílané napětí $U_{PP} = 0,5 \text{ V}$ je převedeno pomocí odporu R_{20} (viz příloha B) na proud $I_{PP} = 1 \text{ mA}$. Na pinu INRTS musí být logická úroveň "L", aby byl modulátor aktivní.



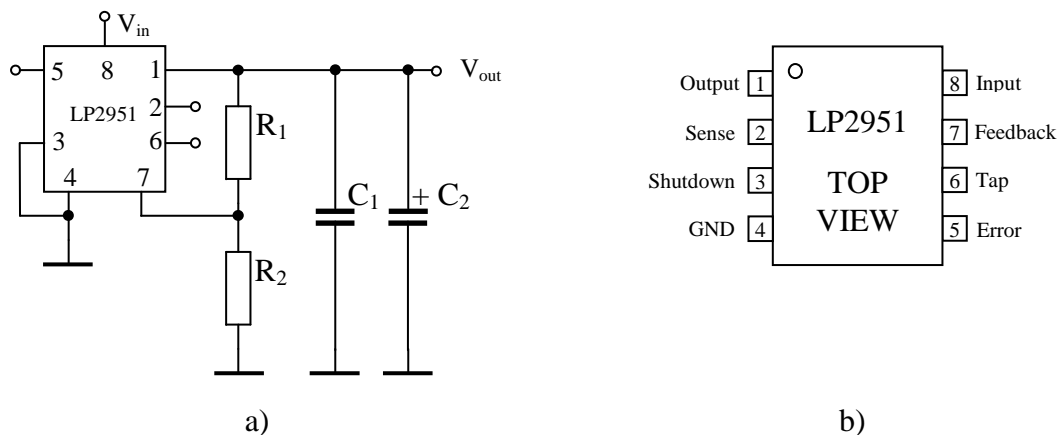
Obr. 6.7: Průběh modulovaného napětí na výstupu OTXA.

Demodulátor je aktivní, když je na pinu INRTS logická úroveň „H“. Na vstup IRXA je přiváděn FSK signál, který je demodulován a výsledné bity jsou odeslány na výstup ORXD, ze kterého jsou přeneseny do jednotky UART v MCU (RB5=Rx). Podmínkou odeslání dat na výstup demodulátoru (pin ORXD) je detekce nosné. Signály na vstupu IRXA musí být dostatečně velké (typicky $U_{p-p} = 100 \text{ mV}$). Jakmile je nosná detekována, nastaví se logická úroveň „H“ na pin OCD a vyšlou se sériová data na ORXD. Součástí přijímacích obvodů jsou i filtry typu pásmová propust. Navržené filtry a zapojení součástky HT2015 do obvodu inteligentního senzoru byly převzaty z literatury [32] a [34].

6.5 Napájecí napětí

Pro komunikační modul jsou zapotřebí dvě různá napájecí napětí 3,0 a 3,3 V. Celý obvod inteligentního senzoru bude připojen ke smyčce, ze které bude napájen. Velikost vstupního napětí ze smyčky je v rozmezí 18 až 36 V a pomocí stabilizátorů LP2951 se získají obě požadovaná stejnosměrná napětí. K získání napájecího napětí 3V bylo použito pouze vnitřních obvodů stabilizátoru LP2951 a filtrační kondenzátory (zapojení lze nalézt v datalistu [35]). Pro napětí 3,3 V bylo nutné k obvodu stabilizátoru připojit odporový dělič (viz obr. 6.8). Výsledné napětí se vypočte dle vztahu (6.14) (viz datalist [35]). Z tohoto vztahu byla určena velikost odporu $R_9 = 56 \text{ k}$ a $R_{10} = 33 \text{ k}$ (viz schéma inteligentního senzoru v příloze B).

$$U_{\text{OUT}} = U_{\text{ref}} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + I_{\text{FB}} \cdot R_1 \cong 1,235 \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right). \quad (6.14)$$



Obr. 6.8: a) Základní zapojení stabilizátoru napětí (pro $V_{out} = 1,23$ až 30V). b) Rozložení pinů čipu LP2951.

Stejným způsobem jako u komunikačního modulu jsou použity stabilizátory LP2951 pro odvození napájecího napětí modulu displeje, kde jsou potřeba dvě napětí $V_{DD} = 3,3$ V a $V_{CC} = 5,5$ V.

6.6 Inteligentní senzor teploty

Inteligentní senzor teploty se skládá z komunikačního modulu (viz příloha B) a modulu displeje (viz příloha A). Komunikační modul je propojen s modulem displeje pomocí sběrnice SPI. Pro komunikaci po této SPI sběrnici byl vymyšlen jednoduchý komunikační protokol. Vychází se z toho, že komunikační modul funguje jako master a vždy osloví modul displeje – slave, ten odpoví, dle toho jestli nastala nějaká změna konfigurace. Pokud změna konfigurace nastala odešle slave informace o změně, jinak vysílá master data pro zobrazení na displej.

Program inteligentního senzoru teploty je rozdělen na 6 základních úloh:

1. Převod údajů z teplotního čidla pomocí ADC.
2. Výpočet hodnot pro DAC.
3. Nastavení proudu na smyčce. Komunikace po I2C s DAC8571.
4. Výpočet veličin – teplota, proud, procenta.
5. Komunikace s MCU umístěném v modulu displeje po SPI.
6. Testování přijetí kompletní HART zprávy, případné vyslání HART odpovědi.

Příjem bytů přes rozhraní UART vyvolává přerušení a poté jsou jednotlivé byty vyhodnocovány ve stavovém automatu (viz obr. 4.4). Ukázka ze zdrojového souboru, který je umístěn na příloženém CD v adresáři Programy\HART:

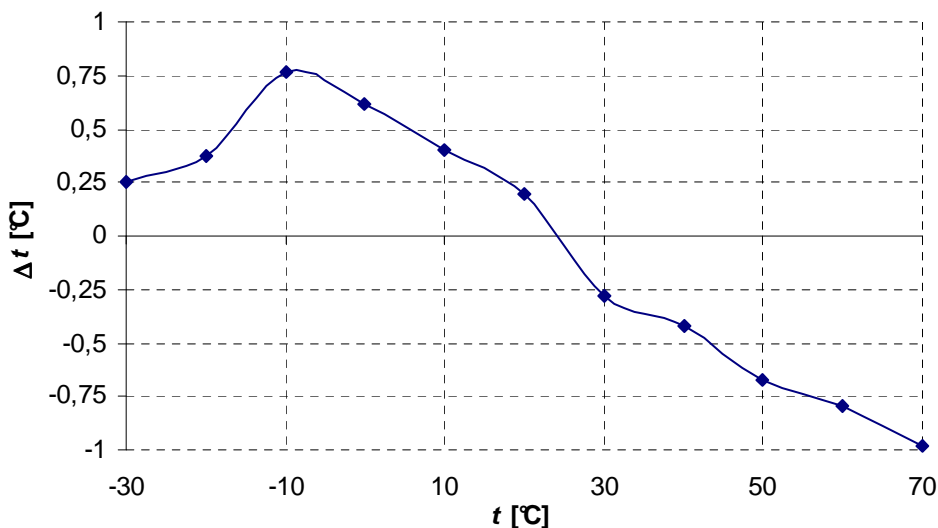
```

LOOP    call    ADCR_0      ;Převod ADC a uložení do proměnných TEMPER_H,L
        call    DAC_I_0    ;Z hodnot TEMPER_H,L se vypočte hodnota
                                ;pro DAC a nastaví se proměnné DACH,L
        call    I2C_KOM_0  ;Nastavení proudu na smyčce
        bsf    INTCON,GIE  ;Povolení přerušení
        call    Vypocitej_0 ;Výpočet veličin pro displej a pro HART
                                ;(proud, procenta, teplotu)

```

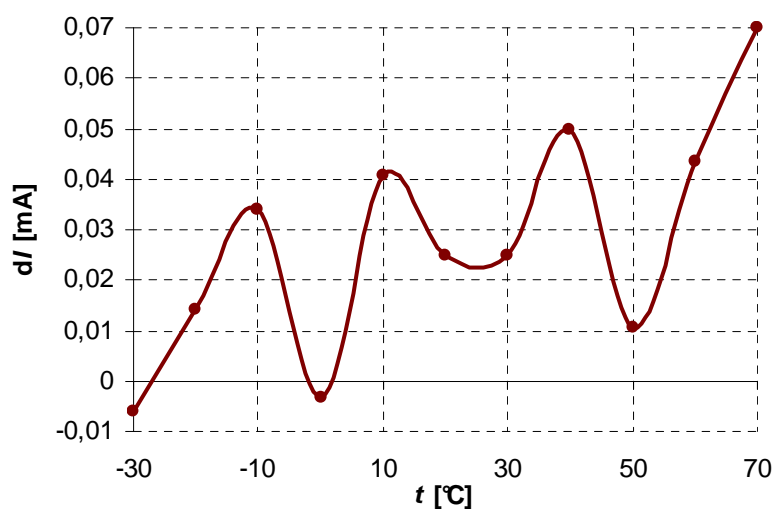
6.7 Testování přesnosti navrženého senzoru teploty

Pro zjištění přesnosti měření teploty navrženého senzoru byl proveden test v teplotní komoře. Měření bylo provedeno v desítkách stupňů v celém rozsahu teplotního čidla od -30°C do $+70^{\circ}\text{C}$. Na každé měřené hodnotě se nechalo čidlo 10 min. vytemperovat. Závislost odchylky teploty v komoře a teploty naměřené čidlem je na obr. 6.9. Z průběhu lze stanovit přesnost senzoru $\pm 1^{\circ}\text{C}$ v celém měřeném rozsahu.



Obr. 6.9: Závislost absolutní chyby měření teploty na teplotě.

Dále byla ověřována závislost vypočteného proudu, který je možno zobrazit na displeji nebo vyčíst pomocí protokolu HART, na proudu nastaveném na smyčce. Proud na smyčce byl odečítán pomocí kalibrovaného miliampérmetru a vypočtené hodnoty proudu byly odečítány z displeje inteligentního senzoru. Jak je vidět na obr. 6.10, tak přesnost nastavení proudu je velmi dobrá (max. odchylka 0,07 mA) v celém měřeném teplotním rozsahu.



Obr. 6.10: Závislost absolutní chyby nastavovaného proudu na teplotě.

7 TEST EMC NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ

Na navrženém inteligentním senzoru teploty byl proveden test elektromagnetické susceptibility EMS a elektromagnetické interference EMI.

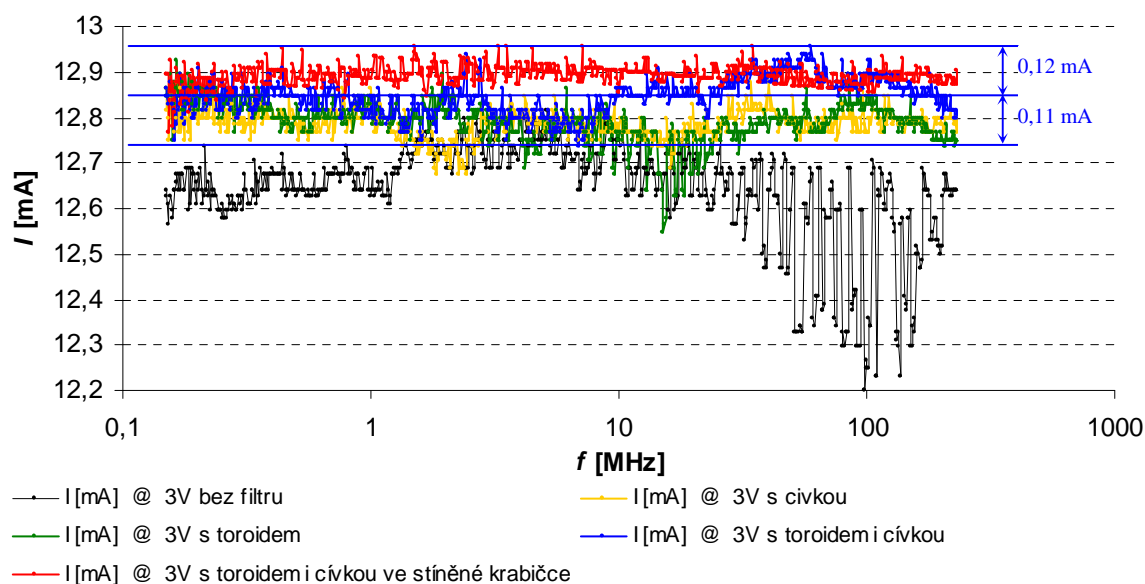
7.1 Test elektromagnetické imunity

EMS = EM Susceptibilita či imunita neboli elektromagnetická citlivost či odolnost vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení [36].

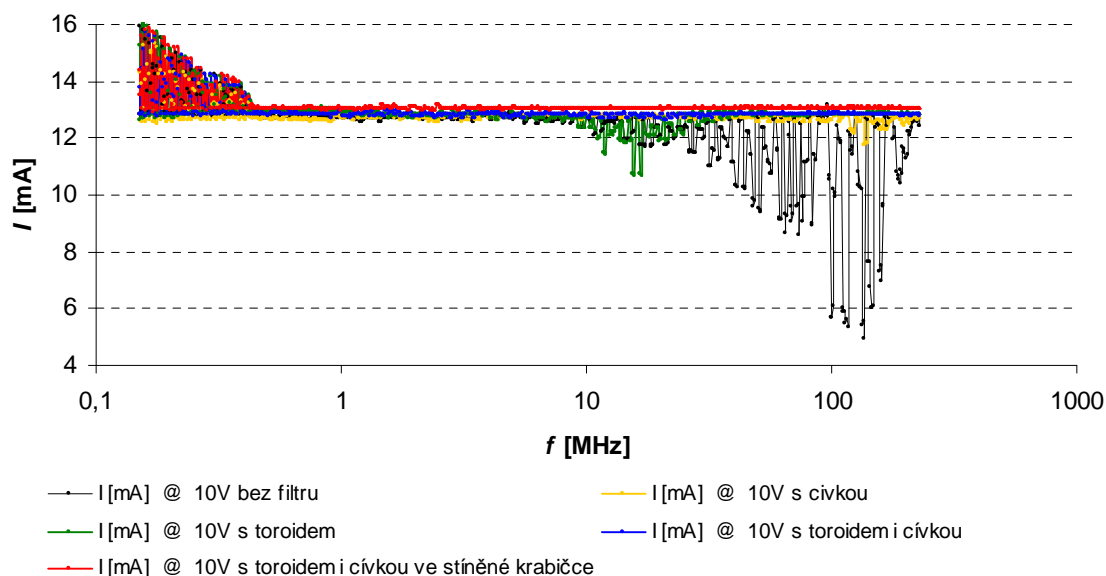
Imunita byla měřena dle normy ČSN EN 61000-4-6: Elektromagnetická kompatibilita, část 4: Zkušební a měřicí technika, oddíl 6: Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli. Při zkoušce odolnosti je zkušební signál amplitudově modulován sinusovou vlnou 1 kHz do hloubky 80 % v kmitočtové oblasti 150 kHz až 80 MHz. Co všechno se má na zařízení měřit stanovují normy:

- ČSN EN 61326-1: Elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení - Požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) - část 1: Všeobecné požadavky. Ta stanovuje pro 61000-4-6 úroveň 3V pro průmyslové prostředí.
- ČSN EN 61000-6-2: Elektromagnetická kompatibilita: část 6-2: Kmenové normy- Odolnost pro průmyslové prostředí. Ta stanovuje pro normu 61000-4-6 úroveň 10V (s výjimkou pásma ITU 47 až 68MHz, kde musí být 3V) pro průmyslové prostředí.

Měření bylo provedeno přístrojem TESEQ NSG4070 a byla použita vazební síť CDNA201. Teplota okolí $T = 23^{\circ}\text{C}$ a vlhkost vzduchu 43%. Navržený senzor byl připojen na smyčku a nejprve byl měřen bez vstupního filtru, poté byla z důvodu špatných výsledků vložena cívka 2x1mH WE-SL2 a ještě větší odolnosti se dosáhlo přidáním toroidu WE-742791121 a vložním do stíněné krabičky. Vstupní filtry jsou zakresleny ve schématu i na desce plošného spoje komunikačního modulu, viz příloha B. Grafy z měření jsou na obr. 7.1 pro AM rušení s amplitudou 3V a na obr. 7.2 pro AM rušení s amplitudou 10V.



Obr. 7.1: Test EMS dle ČSN EN 61000-4-6 a ČSN EN 61326-1 (napětí 3 V).



Obr. 7.2: Test EMS dle ČSN EN 61000-4-6 a ČSN EN 61000-6-2 (napětí 10 V).

Jak je vidět na obr. 7.1, dostačující je modrý průběh, kdy se k odfiltrování rušivých signálů použil toroid a cívka (oba jsou součástí navrženého senzoru). Maximální proudová odchylka je v tomto případě 0,12 mA, což odpovídá odchylce teploty 0,75 °C a to je v rozmezí definované přesnosti navrženého inteligentního senzoru. Proto lze z výsledků měření stanovit, že navržený inteligentní senzor teploty vyhověl kritériu A normy ČSN EN 61000-4-6 (ČSN EN 61326-1 definuje úroveň 3 V). To znamená, že během zkoušení zůstávají normální činnosti ve specifikovaných mezích. Rušivá úroveň 10 V na obr. 7.2 je pouze ilustrativní.

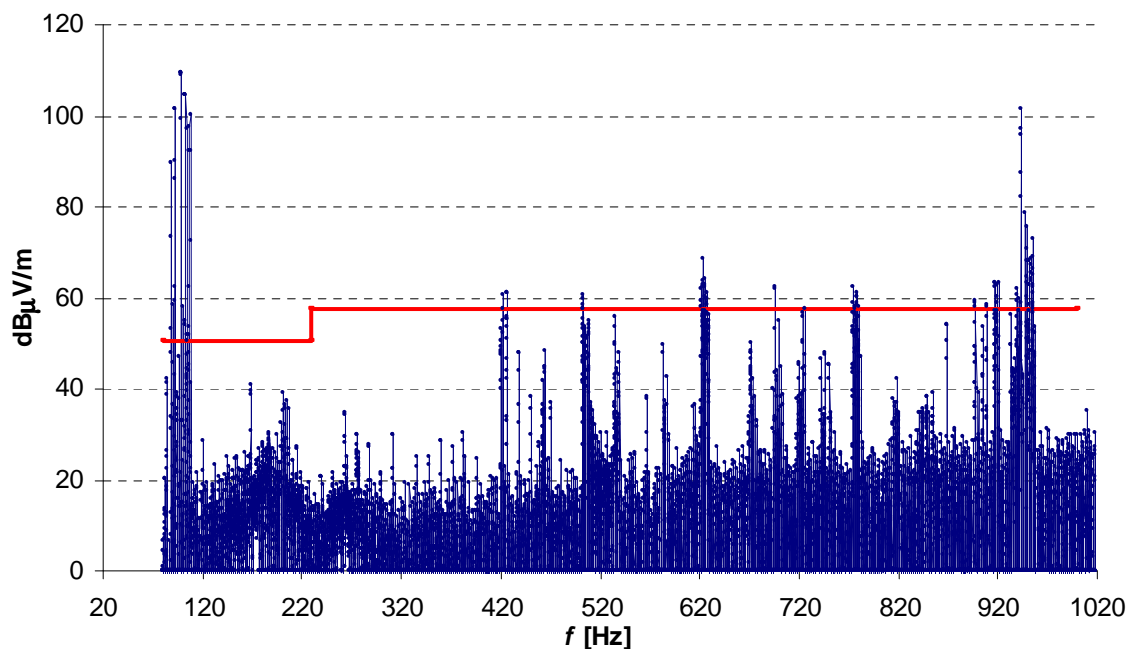
7.2 Test elektromagnetické interference

EMI = EM Interference neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest, více v literatuře [36].

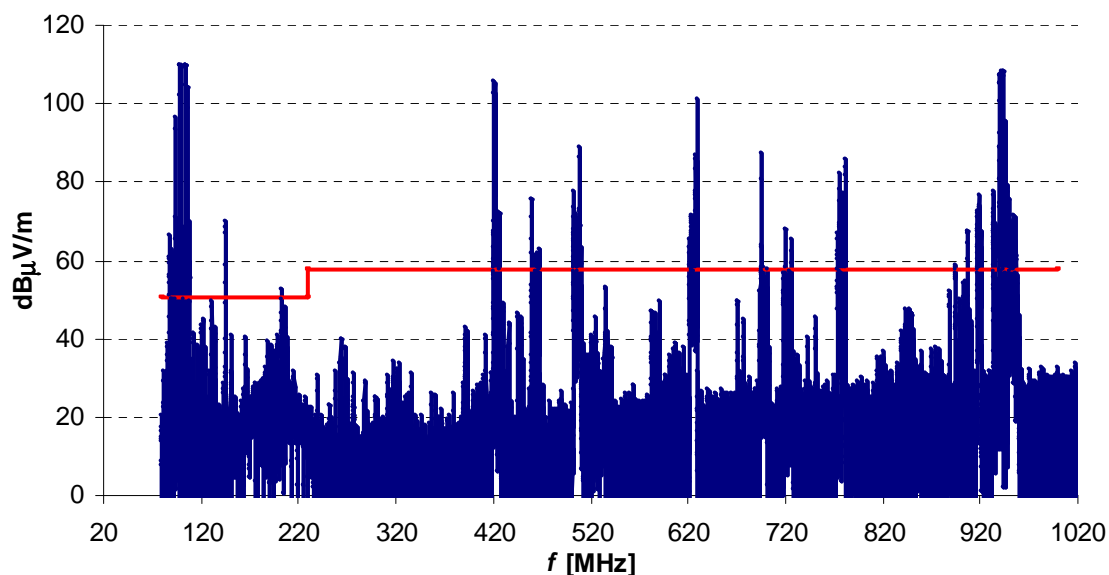
EMI se měřila na volném prostranství. Měřilo se špičkovým detektorem, byl použit spektrální analyzátor Hewlett-Packard E7404A, širokopásmová anténa typu „Bilog“, která byla vzdálena od měřícího objektu 3 m. Měření bylo provedeno tak, že se měřilo rušení inteligentního senzoru komunikujícího protokolem HART v obou polarizačních rovinách antény. Poté se měření opakovalo pro obě polarizační roviny s vypnutým senzorem (měření pozadí). Naměřené a vyhodnocené velikosti rušení navrženého inteligentního senzoru jsou na obr. 7.3 a obr. 7.4. Červeně je na těchto grafech naznačena mez vyzařovaného pole ve vzdálenosti 3m dle normy ČSN EN 50081 „Elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkající se vyzařování“, viz [39].

Z grafů je patrné, že naměřené rušivé velikosti elektrické intenzity dosahují větších hodnot než povoluje norma. Bohužel ale nelze přisoudit tyto peaky měřenému zařízení. Jak je vidět z grafu, nepodařilo se potlačit pozadí FM rádií, digitální televize a pásmo GSM.

Při měření rovněž nebyl dodržen požadavek vodivé zemní plochy. Proto lze měření považovat pouze za orientační. Aby bylo měření jednoznačné a přesné musela by se použít stíněná komora.



Obr. 7.3: Naměřené hodnoty vyzařování při testování teplotního snímače v závislosti na frekvenci při horizontální polarizaci měřící antény.



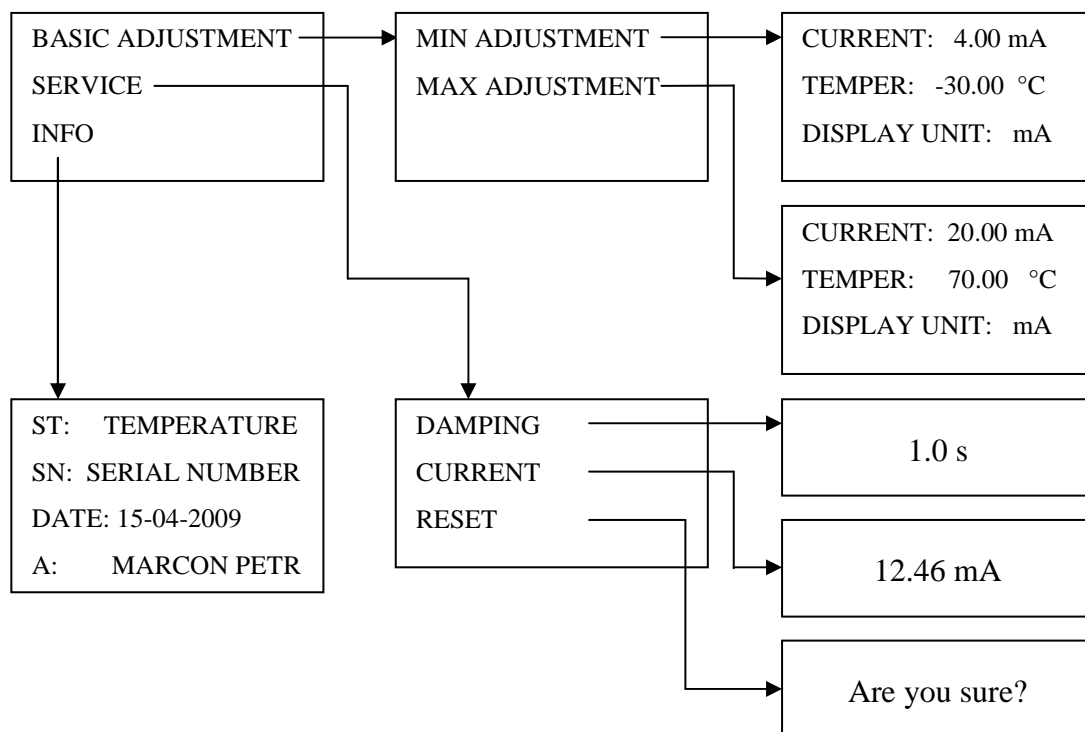
Obr. 7.4: Naměřené hodnoty vyzařování při testování teplotního snímače v závislosti na frekvenci při vertikální polarizaci měřící antény.

8 KONFIGURACE NAVRŽENÉHO MODULU

Navržený inteligentní senzor teploty je možné konfigurovat jak lokálně tlačítky, tak vzdáleně ze smyčky, kde byl jako master použit HART modem od firmy JSP, který se připojí k počítači přes RS232. Jako obslužný program se použil HARTWinCom od firmy JSP (viz [37]).

8.1 Lokální konfigurace navrženého senzoru

Lokální konfigurace senzoru se provádí tlačítky. Tlačítka jsou tři. Levé tlačítko je tlačítko *ESC* a slouží pro návrat z podmenu nebo hlavního menu (struktura menu je nakreslena na obr. 8.1). Prostřední tlačítko *ŠIPKA* slouží k posouvání kurzoru šipky nebo k nastavování jednotlivých hodnot v menu. Pravé tlačítko *OK* slouží k zapnutí a výběru jednotlivých menu, k zapnutí editace a potvrzení nastavených hodnot.



Obr. 8.1: Struktura menu navrženého smart senzoru.

Menu *Basic adjustment* slouží pro nastavení rozsahů PV=primární veličiny (teploty) a jednotek zobrazovaných na displeji. Pro nastavení dolního rozsahu PV (obdobně se nastavuje horní rozsah) je třeba udělat tyto kroky (vychází se z hlavní obrazovky, kde je zobrazena požadovaná veličina):

OK=> *Basic adjustment* => *OK* => *Min adjustment* => *OK*=> zapnutí editace položek,

OK=> posun na další editovatelnou pozici,

SIPKA=>inkrementace editovatelné položky,

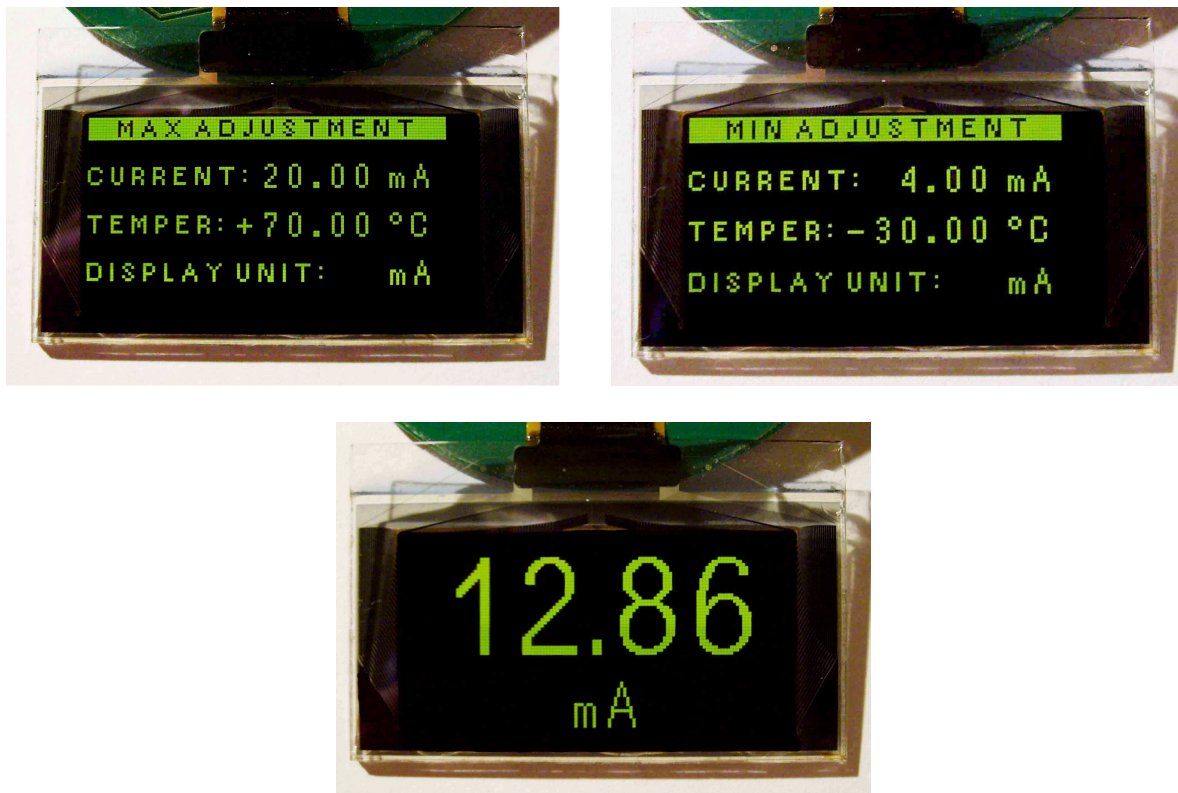
ESC=> ukončení celého menu bez uložení hodnot.

Poslední editovatelnou položkou v menu je *Display unit*. Zde se volí, jaká měřená veličina má být zobrazena na displeji (proud - mA, teplota - °C, procenta rozsahu - %).

Jakmile je nastavena položka *Display unit*, stiskne se k uložení nastavených hodnot tlačítko *OK*. Pokud byly zadané hodnoty správně, (teplotní rozsah senzoru je -30°C až 70°C , rovněž je nastaven span na pevnou hodnotu = 10) vypíše se nápis *SAVE*. Pokud došlo k překročení některé z mezí nebo dojde k překročení span, vypíše se patřičná chybová hláška (*Out of range*, *Span is too small*).

V menu *Service* je možné zvolit možnosti *Damping* (průměrování je napevno zvoleno na 1s), *Current* – zde se vypisuje aktuální proud na smyčce a *Reset* – reset zařízení.

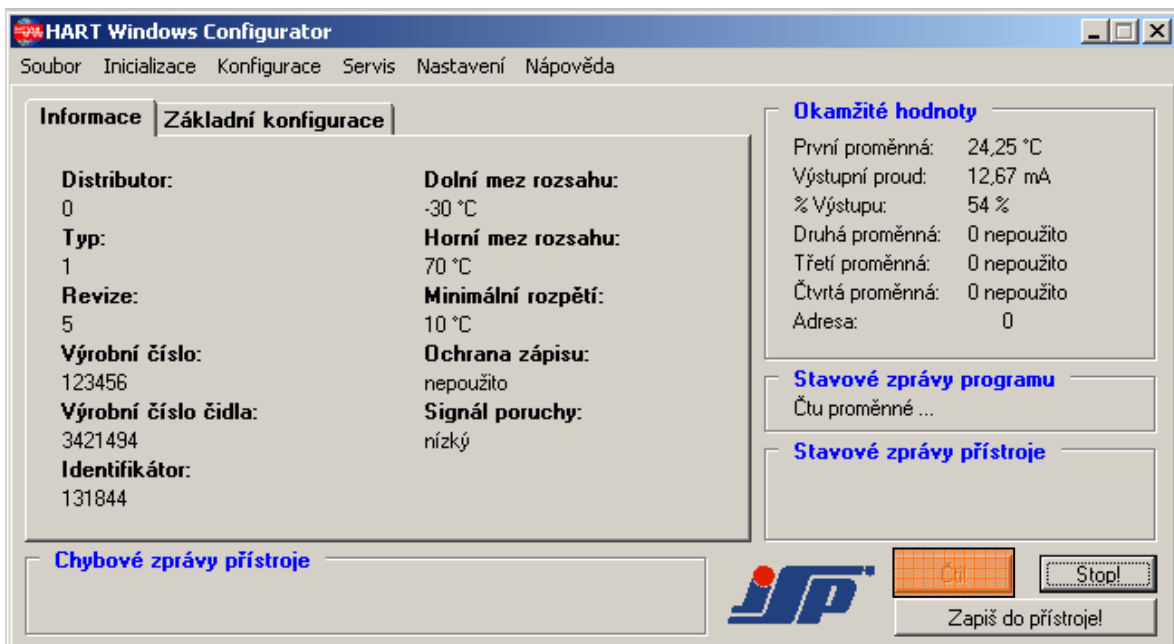
V menu *Info* jsou zobrazeny základní informace o senzoru. Jsou to: *ST* – sensor type, *SN* – serial number, *DATE* – datum a *A* – autor.



Obr. 8.2: Menu displeje a hlavní obrazovka s měřenou veličinou.

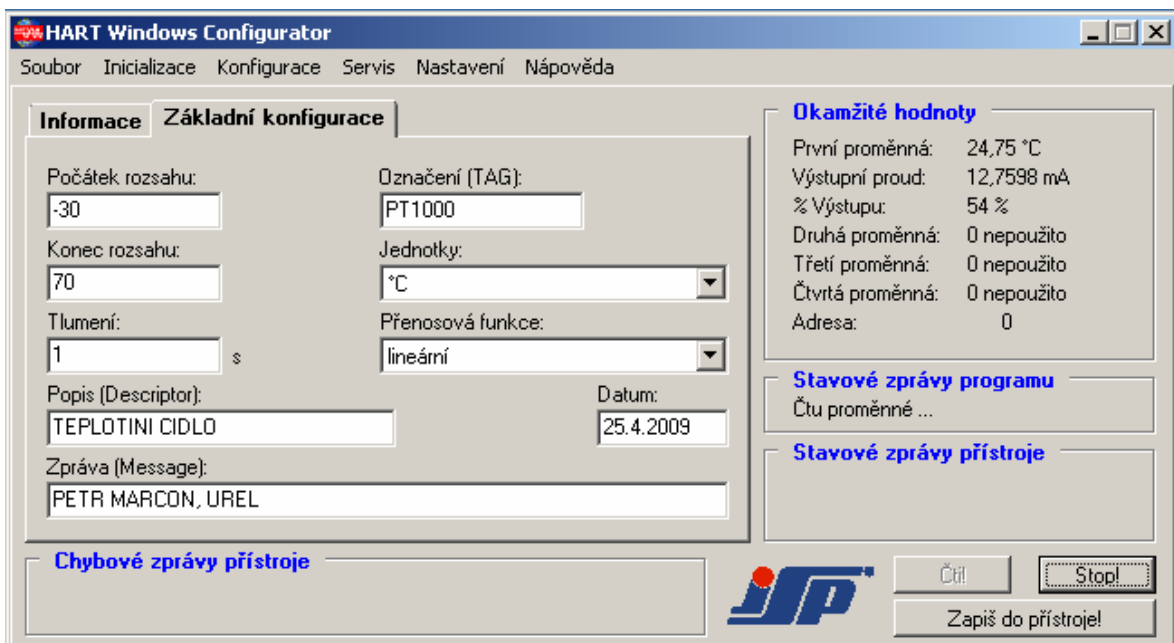
8.2 Dálková konfigurace navrženého senzoru

Dálková konfigurace senzoru se provádí pomocí HART modemu, který je připojen na jedné straně na smyčku 4 až 20 mA a na straně druhé přes RS232 k PC. Jako ovládací program byl použit HARTWinCom, jehož ovládání je velmi snadné (demo programu lze stáhnout zdarma viz [37]). Po spuštění programu se stiskne tlačítko Čti! a tím se ze senzoru vyčtou informace – viz obr. 8.3. V záložce informace jsou uvedeny základní údaje o senzoru. Dolní a horní mez rozsahu zde udávají limity senzoru, minimální rozpětí = span je nastaveno na 10°C . V okně Okamžité hodnoty jsou vyčteny proměnné PV, proudu a procenta rozsahu. Program umožňuje vyčtení dalších proměnných, ty ale použity nejsou.



Obr. 8.3: Vyčtení informací ze senzoru pomocí programu HARTWinConf.

V záložce Základní konfigurace je možné zadávat počátek a konec rozsahu PV a označení (TAG) senzoru. Tímto způsobem lze zahájit komunikaci se senzorem v *multidrop* režimu aniž by byla známa *polling* adresa senzoru (viz kapitola 4 a více literatura [38]). Zvolené jednotky mohou být pouze °C a přenosová funkce lineární, pokud uživatel nastaví jiné hodnoty, vypíše se chybová hláška. Popis, datum a zprávu lze zapsat do senzoru, viz obr. 8.4.



Obr. 8.4: Základní konfigurace senzoru pomocí programu HARTWinConf.

ZÁVĚR

V diplomové práci byla provedena rešerše současných způsobů ovládání průmyslových senzorů. Z provedené rešerše byl vybrán protokol HART, který byl dále implementován v navrženém inteligentním senzoru teploty. Protokol HART byl vybrán, protože lze ze senzoru získat informaci jak v analogové formě (smyčka 4 až 20 mA), tak v digitální podobě (FSK).

Protože je u inteligentních senzorů často požadováno, aby přehledně zobrazovaly hodnotu měřené veličiny, byly prostudovány funkční principy LCD, OLED a dotykových displejů. Protože je na senzory kladen požadavek co nejnižší spotřeby, byly zavrhnuty LCD displeje s podsvícením (pro senzory jsou vhodné COG LCD displeje bez podsvícení). Kvůli požadavku čitelnosti displeje i za šera či za tmy, byl vybrán aktivní displej s technologií OLED, který byl testován a po optimalizaci má v navrženém zařízení spotřebu cca 10mW.

Aby mohla být testována lokální a dálková konfigurace senzoru, byl navržen inteligentní senzor teploty, který se skládá z komunikačního modulu a modulu s displejem. Oba tyto moduly obsahují MCU PIC16F690 z důvodu nízké spotřeby. Všeobecně byly všechny součástky použité v navrženém zařízení vybrány tak, aby spotřeba byla co nejmenší. Pro komunikaci s řadičem displeje, s HART modemem, s tlačítky a obvody inteligentního senzoru teploty byl napsán program v JSA, což bylo časově náročné, ale např. v jazyce C by požadovaný program pro modul displeje nebylo možné do MCU PIC16F690 implementovat.

Navržený inteligentní snímač byl oživen a bylo provedeno testování jednotlivých bloků a ověřena lokální i dálková konfigurace senzoru. Pro dálkovou konfiguraci byl použit HART modem, který se na jedné straně připojí na smyčku, kde je připojen i inteligentní senzor, a na druhé straně přes RS232 k PC, kde byl nainstalován program HARTWinConf, který slouží pro komunikaci se senzory s protokolem HART. Konfigurace a vyčítání hodnot je popsáno v kapitole 8.

Na závěr byl proveden test EMC. Testovala se elektromagnetická susceptibilita EMS (imunita) a pouze orientačně elektromagnetická interference EMI, protože bylo měřeno na otevřeném prostranství. Z naměřených výsledků EMS měření lze stanovit, že navržený inteligentní senzor teploty vyhověl metodice měření, která je definována normami ČSN EN 61000-4-6 a ČSN EN 61326-1 (splněno kritérium A).

LITERATURA

- [1] Hubálek, J., Adámek, M. *Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy*, skripta, UMEL FEKT VUT.
- [2] Ďaďo, S.; Kreidl, M.. *Senzory a měřicí obvody*. Skripta ČVUT, Praha, 1999.
- [3] Hrbáček, J.: *Komunikace mikrokontroléru s okolím*, BEN – technická literatura, Praha, 2002, ISBN - 80-86056-36-8.
- [4] Densitron Displays. Introduction to Touch Screen Whitepaper. [online]. 2008 – [cit. 7. dubna 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.densitron.com/uploadedFiles/Displays/Support/Introduction%20to%20Touch%20Screen%20Whitepaper.pdf> >.
- [5] Marcoň, P. *Komunikační rozhraní a rozhraní člověk-stroj pro průmyslové senzory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 26 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Tomáš Frýza, Ph.D.
- [6] Datasheet ADS 7846. [online]. 2008 – [cit. 26. dubna 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.elatec.cz/displays/pdf/ads7846touch.pdf> >.
- [7] Zezulka, F; Fiedler, P; Vaňous, P; Cach P. *Průmyslové komunikační sítě*. ÚAMT FEI VUT v Brně, 2000.
- [8] Hanzalem, J.; Bronec, P. Profibus a Foundation Fieldbus. *Automa* [online]. 2000, č. 2, [cit. 6. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=27615 >.
- [9] Ďaďo, S.; *Fieldbus* [online]. 1998, [cit. 6. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://fieldbus.feld.cvut.cz/> >.
- [10] Doleček, J.: *Moderní učebnice elektroniky, 3 díl - Optoelektronika a optoelektronické prvky*, BEN – technická literatura, Praha, 2005, ISBN - 80-7300-184-5.
- [11] Matoušek, D.: *Práce s inteligentními displeji LCD*. BEN – technická literatura, Praha, 2006, ISBN 80-7300-121-7.
- [12] Datasheet HD44780. [online]. 2008 – [cit. 10. března 2008]. Dostupné na WWW: < <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/63673/HITACHI/HD44780.html> >.
- [13] Frýza, T. : *Mikroprocesorová technika – přednáška č. 7. Povinný předmět bakalářského studia, VUT v Brně (prosinec 2007)*.
- [14] Datasheet GDM12862. [online]. 2008 – [cit. 10. března 2008]. Dostupné na WWW: < http://www.elatec.cz/displays/pdf/prefer/el12864a_complete.pdf >.
- [15] ELATEC. *Řízení grafického displeje s řadičem T6963* [online]. 2009 – [cit. 15. únor 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.elatec.cz/displays/support/t6963c.php> >.
- [16] *Technická dokumentace řadiče T6963C* [online]. 2009 – [cit. 15. únor 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.elatec.cz/displays/pdf/T6963C.pdf> >.
- [17] OLED. [online]. 2008 – [cit. 21. března 2008]. Dostupné na WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/OLED> >.
- [18] OLED. [online]. 2008 – [cit. 21. března 2008]. Dostupné na WWW: < <http://automatizace.hw.cz/hmi-systemy/ART267-prehled-typu-displeju-oled-a-jejich-nove-varianty.html> >.
- [19] Samsung, OLED. [online]. 2008 – [cit. 21. března 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.samsungsdi.com/contents/en/product/oled/structure.html> >.
- [20] Datasheet DD32645C-1A. [online]. 2008 – [cit. 22. března 2008]. Dostupné na WWW:

- < <http://www.densitron.com/displays/Displays.aspx?nCategoryID=10> >.
- [21] Datasheet SSD1303. [online]. 2008 – [cit. 22. března 2008]. Dostupné na WWW: <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/150571/ETC/SSD1303.html> >.
- [22] Solomon Systech Limited. *SSD1303 Application Note*, 2004.
- [23] Datasheet DD12864-3A. [online]. 2008 – [cit. 22. března 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.densitron.com/displays/Displays.aspx?nCategoryID=10> >.
- [24] Preč, Z; Marcoň, P. Použitelnost displejů s technologií OLED v senzorové technice. *Elektrorevue* [online]. 24.března 2009. Dostupné na WWW: < <http://www.elektrorevue.cz/cz/clanky/power-electronics-1/0/pouzitelnost-displeju-s-technologiei-oled-v-senzorove-technice> > .
- [25] Datasheet HG12864. [online]. 2009 – [cit. 27. dubna 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.htdisplay.com/c.asp?unid=975&c=tpdf> >.
- [26] Kreidl, M. *Měření teploty – senzory a měřicí obvody*. BEN – technická literatura, Praha, 2005, ISBN 80-7300-145-4.
- [27] Datalist OZ AD8603. [online] 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8603_8607_8609.pdf >.
- [28] Datalist MCU PIC16F690. [online] 2008 – [cit. 12. prosinec 2008]. Dostupné na WWW: < <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41262E.pdf> >.
- [29] Datalist D/A převodníku DAC8571. [online]. 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/dac8571.pdf> >.
- [30] Datalist AD5620. [online] 2006 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD5620_5640_5660.pdf >.
- [31] Punčochář, J. *Operační zesilovače v elektronice*. BEN – technická literatura, Praha, 2002, ISBN 80-7300-059-8.
- [32] Datalist 20C15. [online] 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.analogservices.com/ds20c15.htm> >.
- [33] Datalist HT2015. [online] 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.smarresearch.com/pdf/HT2015DSB.pdf> >.
- [34] Aplikační nota 20C15. [online] 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.elektronik.ropla.eu/pdf/stock/adi/temp/pdf/2468.pdf> >.
- [35] Datalist LP2951. [online] 2008 – [cit. 12. prosince 2008]. Dostupné na WWW: < <http://www.national.com/ds/LP/LP2950.pdf> >.
- [36] Svačina, J. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Skripta VUT Brno, Brno, 2005.
- [37] HARTWinCom. [online] 2009 – [cit. 2. května 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.jsp.cz/showdoc.do?docid=493> >.
- [38] HART Communication Foundation. *Application Guide*. [online] 2009 – [cit. 2. května 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.hartcomm2.org/download/appguide.pdf> >.
- [39] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility. [online] 2004 – [cit. 8. května 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php> >.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

A/D	Převodník analogového signálu na číslicový
ACK	Acknowledge (potvrzovací bit)
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode
CAN	Controller Area Network
CGRAM	Character Generator RAM
CS	Chip Select
D/A	Převodník číslicového signálu na analogový
DAC	Digital to Analog Converter (viz D/A)
DDRAM	Display Data Random Access Memory
DOPV	Dotyková obrazovka s povrchovou vlnou
DSTN	Double Super Twisted Nematic
E	Enable
ETL	Electron Transfer Layer
FOLED	Flexible Organic Light Emitting Diode
FSK	Frequency-Shift Keying
FSTN	Film Compensated Super Twisted Nematic
GDDRAM	Graphic Display Data Random Access Memory
GND	Zem
HART	Highway Addressable Remote Transducer
HCS	HART Command Set
HTL	Hole Transfer Layer
HTN	Hyper Twisted Nematic
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDO	Infračervené dotykové obrazovky
IR	Infrared
ISO	International Organization for Standardization
JSA	Jazyk symbolických adres
KDO	Kapacitní dotyková obrazovka
KO	Klopný obvod
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LQFP	Low-profile Quad Flat Package
LSB	Least Significant Bit
MCU	Mikrokontrolér
MKO	Monostabilní klopný obvod
MSB	Most Significant Bit
NRZ	Non Return to Zero
ODO	Odporové dotykové obrazovky
OLED	Organic Light Emitting Diode
OSI	Open Systems Interconnection

OZ	Operační zesilovač
PHOLED	Phosphorescent OLED
PID	Proportional Integral Derivative
PMOLED	Passive Matrix Organic Light Emitting Diode
PV	Primary Value
R/W	Read/Write
RS	Výběr instrukce (0) nebo dat (1)
SMOLED	Small Molecule Light Emitting Diode
SPI	Serial Peripheral Interface
STN	Super Twisted Nematic
TFT LCD	Thin Film Transistor Liquid Crystal Display
TI	Texas Instruments
TN	Twisted Nematic
TOLED	Transparent Organic Light Emitting Diode
UART	Universal Asynchronous Receiver - Transmitter.
<i>U_{cc}</i>	Napájecí napětí
WOLED	White Organic Light Emitting Diode
XOR	Exclusive OR

SEZNAM PŘÍLOH

A	Návrh modulu s displejem	56
A.1	Obvodové zapojení displeje	56
A.2	Deska plošného spoje displeje – top (strana součástek)	57
A.3	Deska plošného spoje displeje – bottom (strana spojů).....	57
A.4	Seznam součástek pro desku displeje.....	58
B	Návrh komunikačního modulu	59
B.1	Obvodové zapojení komunikačního modulu.....	59
B.2	Deska plošného spoje displeje – top (strana součástek)	60
B.3	Deska plošného spoje displeje – bottom (strana spojů).....	60
B.4	Seznam součástek pro desku displeje.....	61
C	Znaková sada	63
D	Průmyslové komunikační systémy a protokoly	64
E	Pt1000	66
F	Přehled implementovaných příkazů	67
G	Fotodokumentace	68