

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC



Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií
Faculty of Mechatronics and Interdisciplinary Engineering Studies

Ústav mechatroniky a technické informatiky
Institute of Mechatronics and Computer Engineering



Diplomová práce:

Monitoring prostředí pro uskladnění léčiv

Environment Monitoring for Pharmaceuticals Storage

Autor práce: Michal Mokrý

Vedoucí práce: Ing. Jan Kraus

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Michal Mokrý

studijní program: M 2612 - Elektrotechnika a informatika

obor: 3902T005 - Automatické řízení a inženýrská informatika

Vedoucí ústavu Vám ve smyslu zákona o vysokých školách č.111/1998 Sb. určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

Monitoring prostředí pro uskladnění léčiv

Zásady pro vypracování:

1. Navrhnete HW zařízení pro měření a záznam fyzikálních veličin s různými možnostmi vzdálené komunikace k použití v průmyslovém nebo skladovacím prostředí
2. Vytvořte firmware pro zařízení umožňující sběr dat z připojených senzorů a jejich následnou distribuci pomocí zvolené vzdálené komunikace.
3. Realizujte SW aplikaci pro PC, která bude vyhodnocovat a spravovat data z HW zařízení
4. Proved'te shrnutí dosažených výsledků v průvodní zprávě v předepsaném rozsahu a zamyslete se nad možným budoucím použitím.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: cca 40 až 50 stran

Seznam odborné literatury:

[1] The Insiders Guide to the ARM STR912 , Hitex Development Tools, www.hitex.co.uk

[2] STR9 - Technical Literature and Support Files, <http://www.st.com/mcu/familiesdocs-101.html>

[3] STR910-EVAL Evaluation Board UM0174 User Manual

[4] ARM IAR C/C++ Compiler reference Guide. IAR systems, 2006. 13th edition.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Kraus

Konzultant: Ing. Pavel Pirkl

Zadání diplomové práce: 25.10. 2007

Termín odevzdání diplomové práce: **16. 5. 2008**

L.S.

.....
Vedoucí ústavu

.....
Děkan

V Liberci dne

Obsah:

Obsah:.....	- 4 -
Abstrakt.....	- 6 -
Anotace.....	- 6 -
Klíčová slova.....	- 6 -
Annotation.....	- 7 -
Key words	- 7 -
1. Úvod.....	- 8 -
2. Měření teploty a vlhkosti v průmyslu	- 10 -
2.1. Měření teploty	- 10 -
2.2. Měření vlhkosti	- 12 -
3. Kalibrovaný vlhkoměr a teploměr.....	- 16 -
3.1. Sběrnice 1-Wire.....	- 16 -
3.2. Výroba teplotního senzoru	- 19 -
3.3. Výroba vlhkostního senzoru.....	- 20 -
4. Návrh hardware	- 22 -
4.1. Výběr procesoru	- 22 -
4.2. Vlastnosti procesoru ARM.....	- 24 -
4.3. Procesor STR912FW44X6.....	- 25 -
4.4. Schéma a deska nového HW zařízení SMCComm.....	- 31 -
5. Programování procesoru	- 41 -
5.1. Oživení procesoru	- 41 -
5.2. Programování sběrnice 1-Wire.....	- 42 -
5.3. Programování komunikace digitálního teploměru DS18B20	- 45 -
5.4. Programování komunikace vlhkoměru	- 49 -
5.5. Programování LCD displeje.....	- 51 -
5.6. Programování USB rozhraní	- 54 -
5.7. Podprogramy procesoru	- 55 -
6. PC aplikace.....	- 57 -
6.1. SMCComm Manager	- 57 -
7. Možnosti budoucího využití.....	- 59 -
7.1. Využití internetu a různých jeho protokolů.....	- 59 -
7.2. Využití Power Over Ethernetu	- 62 -

7.3.	Využití komunikace Bluetooth.....	- 62 -
7.4.	Širší využití senzorů 1-Wire.....	- 63 -
7.5.	Senzory s jiným rozhraním než 1-Wire.....	- 65 -
7.6.	Zařízení SMCComm jako převodník.....	- 66 -
7.7.	Využití nejen ve skladovacích prostorech.....	- 67 -
8.	Závěr.....	- 67 -
	Literatura.....	- 70 -
	Seznam příloh.....	- 71 -
	Příloha 1 :	- 72 -
	Příloha 2 :	- 77 -
	Příloha 3 :	- 82 -
	Příloha 4 :	- 85 -
	Příloha 5 :	- 86 -

Abstrakt

Návrh HW s mikroprocesorem, který měří a zaznamenává teplotu a vlhkost. Hodnoty z 1-Wire senzorů mohou být přenášeny různými druhy vzdálených komunikací do PC a tam spravovány vytvořenou aplikací.

Anotace

Cílem diplomové práce bylo vytvořit HW pro sledování teploty a vlhkosti ve skladovacích prostorách s léky. Z důvodu universálnosti zařízení bylo vybráno rozhraní čidel 1-Wire (jednovodičová sériová linka). To zajišťuje libovolný výběr čidla k měření různých fyzikálních veličin podle požadavků v průmyslu (např. teplota, tlak, hmotnost, napětí, vlhkost, proud, snímání otáček...). Výhodou těchto senzorů je snadná kalibrace, malé množství potřebných komponentů a výjimečně nízká cena technologie. Vzhledem k jednoduché adresovatelnosti senzorů je možné pomocí síťového protokolu (sběrnici 1-Wire) připojit libovolné množství čidel a tím vytvořit síť MicroLan, umožňující snadnou změnu konfigurace a značný dosah sítě. Pro ukázkou bylo sestaveno a použito několik čidel teploty a vlhkosti od společnosti DALLAS Semiconductor (teploměr DS18B20 a vlhkoměr DS2438Z).

Pro řízení zařízení byl vybrán procesor STR912FW44X6 od firmy STMicroelectronics s jádrem ARM966E-S. Právě tento procesor nabízí mnoho dalších rozhraní vzdálených komunikací, díky kterým mohou být data ze senzorů přenášena nejen do počítače, ale i například do mobilního telefonu nebo PDA pomocí technologie Bluetooth. Velkou předností byla možnost připojení vzniklého HW zařízení do lokální sítě Ethernet a tím zpřístupnění dat po internetu. Dále je možnost použít komunikaci RS232, průmyslovou komunikaci RS485 nebo CAN. Data jsou také zobrazována na LCD modulu.

Bylo nutné vytvořit aplikaci spravující a zobrazující výsledné hodnoty teploty a vlhkosti v přehledných grafech a tabulkách. Naměřené hodnoty lze sledovat v real-time režimu nebo stáhnout z interní flash paměti, kde by se měřené hodnoty ukládaly v určité časové periodě.

Výsledkem diplomové práce je zařízení s pracovním názvem SMComm, které umožňuje nejen sledování teploty a vlhkosti, ale i jiných fyzikálních veličin, nejen ve skladovacích prostorách, ale i v průmyslu.

Klíčová slova

Procesor ARM; sběrnice 1-Wire; senzor teploty a vlhkosti; vzdálené komunikace – Ethernet, USB, RS232, RS485, CAN a Bluetooth; LCD displej.

Annotation

The main objective of this Diploma Thesis is the design and realization of hardware for the measurement of temperature and humidity in storage rooms with pharmaceuticals products. In order to comply with the requirements of the device universality, the 1-Wire (the single wire serial line) communication technology was used. This provides the possibility for the choice from a wide variety of sensors of several physical quantities according to requirements from the industry (e.g. temperature, pressure, weight, voltage, humidity, current, etc.). Advantages of such sensors are the easy calibration, small amount of components, and the extremely low cost of the technology. Thanks to the easy addressability of the sensors, it is possible to interconnect the arbitrary number of sensors using the network protocol of the 1-Wire bus to create a MicroLan network. As a demonstration, several temperature and humidity sensors by DALLAS Semiconductor has been realized and used in the system.

Processor STR912FW44X6 by STMicroelectronics based on ARM966E-S core has been chosen in the system. This processor provides several other interfaces and communication protocols, which can be used to transmit the data from sensors to personal computers, mobile phones, PDAs or other devices equipped with the Bluetooth technology. Great advantage of the designed hardware is its possibility to connect the device to the local Ethernet network, which makes it possible to access the data over the Internet. In addition, it is possible to use the RS232, RS485 or CAN communication protocols. Data can be also displayed on a small LCD panel.

It was necessary to create software for data processing and for displaying the temperature and humidity data in the form of graphs and tables. The measured data can be traced in a real-time mode or retrieved from the internal flash memory, where they were stored for some period of time.

Result of the Diploma Thesis is the hardware device titled SMComm, which allows the monitoring of several physical quantities such as temperature and/or humidity in the storage rooms or in the industry.

Key words

Processor ARM; 1-Wire bus; temperature and humidity sensor; remote communication – Ethernet, USB, RS232, RS485, CAN a Bluetooth; LCD display.

1. Úvod

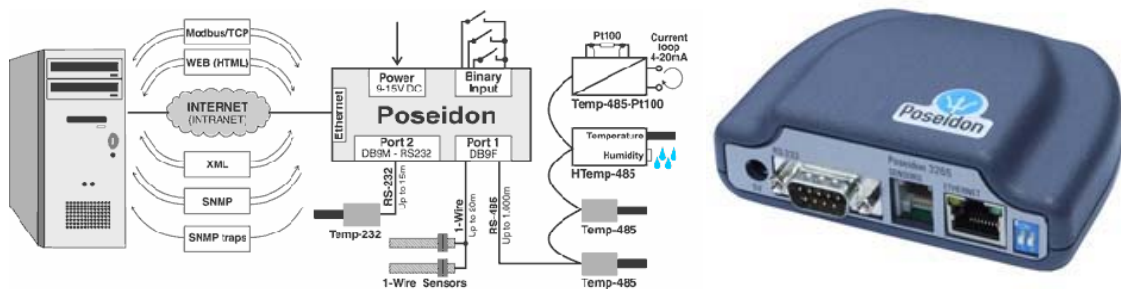
Ačkoliv z názvu diplomové práce vyplývá, že budoucí navržené zařízení bude určeno především pro monitoring prostředí s léky, postupem času vývoj zařízení začal směřovat k možnému širšímu použití i v průmyslu a dalších aplikacích.

V úvodu diplomové práce bylo důležité se seznámit s příslušnou vyhláškou Ministerstva zdravotnictví a Ministerstva zemědělství, která stanovuje podmínky skladování léčiv. Státní ústav pro kontrolu léčiv vede seznam provozovatelů, kteří jsou držiteli certifikátů osvědčujících splnění podmínek správné laboratorní praxe, a eviduje provedené kontroly. Skladovací prostory pro testované položky jsou oddělené od prostor pro testovací systémy tak, aby byla zachována totožnost, koncentrace, čistota a stabilita testovaných položek a bylo zajištěno bezpečné skladování nebezpečných látek. Přístroje používané ve studii jsou pravidelně kontrolovány, čištěny, udržovány a kalibrovány podle standardních operačních postupů. Záznamy o těchto činnostech se uchovávají. Kalibrace, pokud je to možné, má návaznost k národním nebo mezinárodním standardům měření. Chemikálie, činidla a roztoky se označují názvem, popřípadě koncentrací, dále údajem o době použitelnosti a instrukcemi o specifických skladovacích podmínkách. Rovněž jsou k dispozici údaje týkající se původu, data přípravy a stability. Státní ústav pro kontrolu léčiv dále sleduje údaje získané jako přímý počítačový vstup, ty jsou identifikovány v čase vstupu údajů zaměstnancem, který je odpovědný za přímé vnášení údajů. Počítačové systémy jsou navrženy tak, aby umožnily sledování všech změn, aniž by byly překryty původní údaje. Je evidováno, který zaměstnanec změnu údajů provedl, například pomocí elektronických podpisů, které udávají čas a datum podpisu. Uvede se důvod změn. V archivu se uchovávají záznamy a materiály nejméně po dobu 10 let. Archivované materiály se označují tak, aby bylo možné jejich řádné uskladnění a snadné vyhledávání. Do archivu mají přístup pouze zaměstnanci určení vedoucím testovacího zařízení. Vstup materiálu do archivu a výstup z něj je zaznamenáván. Citace [1].

Protože je ale tato problematika správného skladování léčiv dosti složitá a ani se v této problematice nepohybují, byly veškeré problémy řešeny jenom obecně. Snaha byla o co nejjednodušší a nejuniversálnější řešení, které by se dalo pak jednoduše změnit.

Pro uskladnění léčiv se používají prostory, ve kterých je důležité sledování jak teploty, tak i vlhkosti. Proto bylo nutné najít vhodné senzory a čidla s jednoduchou kalibrací a dostačující přesností. Důležité jsou také možnosti komunikace teplotních senzorů s nadřazeným řídicím a zpracovávajícím systémem (komunikační rozhraní).

V průmyslu musí být signál z čidla upravován na signál vhodný pro další přenos na vzdálenosti desítek a stovek metrů z důvodu odolnosti proti rušení. Stále se ještě v dnešní době využívá plného analogového předzpracování signálu a standardizace například na signál 0-10 V nebo 4-20 mA pro proudovou smyčku. Pro odporové senzory se však převážně využívá principu odporového můstku nebo proudových zdrojů. Stále více se ale využívá přenosu po digitální sériové lince RS-485, která tak umožní pomocí páru kroucených vodičů přenos až na vzdálenost 1200 m i v zarušeném průmyslovém prostředí. Velmi často se na vzdálenosti do 15 m využívá sériový přenos RS-232 a to hlavně z důvodu všeobecné jednoduchosti a rozšířenosti na PC. Dnes už existuje mnoho inteligentních senzorů umožňujících jednovodičovou i několikavodičovou digitální komunikaci, kdy přenos dat i kladného napájecího napětí může probíhat i po stejném vodiči. Proto několik firem i na našem trhu nabízí převodníky (moduly) pro zajištění určité komunikace, tzn. pro převod a úpravu různých signálů na sériový datový přenos včetně signálů proudové smyčky. Někdy jsou i tyto převodníky implementovány jako součást krabičky čidla společně se samotným senzorem. Obvykle se ale vyskytují značné rozdíly v mnoha parametrech těchto modulů a čidel podle daného výrobce, ať již v rychlosti měření a převodu (odezva na povel k měření), počtem a typem připojitelných senzorů nebo cenou. Některé firmy nabízejí rychlé moduly a čidla s měřicím časem pár desítek milisekund oproti sekundám u jiných. S prudkým vývojem různých sítí (LAN, WAN, PAN) a především internetu se velmi rozšiřují převodní moduly pro převod sériových linek RS-232 a RS-485 nebo dalších rozhraní, na přenosový protokol TCP/IP a dále zajišťují připojení do sítě. Takto se data ze senzorů už dají přenášet libovolně kamkoliv do zpracovávajícího a monitorujícího centra, respektive PC. Citace [2].



Obr. 1.: Příklad různých komunikací senzorů s využitím převodníků na RS-485 a modulu Poseidon od HWgroup. Zdroj [2].

Právě takovéto zařízení se stalo cílem mojí diplomové práce. Navrhnout podobné zařízení, které by splňovalo a dále rozšiřovalo možnosti datové komunikace a číslicového

zpracování signálu. Mnoho firem, včetně českých, již dnes nabízí velký sortiment inteligentních digitálních čidel, které již vysílají hodnoty teplot přímo v °C, převodníků a modulů pro libovolné sestavení měřícího řetězce. Díky tomu lze monitorovat prostředí i na vzdálenosti kilometrů a s využitím internetu vlastně téměř neomezeně.

V první části diplomové práce se budu zabývat obecně měřením teploty a vlhkosti v průmyslu. Po vyhledání vhodného rozhraní čidel se zaměřím na vývoj převodníku a to hlavně na výběr procesoru, který díky svým rozhraním nabídne více variant přenosu dat do PC. Okrajově se i zmíním o problematice sítí a častých vzdálených komunikací používaných v dnešní době. Po návrhu a výrobě nového zařízení se už budu věnovat programování procesoru. V dalším bodě bude nutné vytvořit PC aplikaci zpracovávající data. V závěru se budu zamýšlet nad dalším možným použitím nejen ve skladovacích prostorech, ale především nad uplatněním i v průmyslu.

2. Měření teploty a vlhkosti v průmyslu

2.1. Měření teploty

Teplota je základní a nejčastější měřitelnou veličinou v oblasti průmyslu, protože právě na její hodnotě nejčastěji záleží řada výrobních procesů a regulací, ať již přímo nebo nepřímo. Měření teploty lze rozdělit na dvě části. Část převodu teploty na elektricky zpracovatelný signál a část zpracování tohoto elektrického signálu. První část obsahuje senzory teploty a převodníky teploty na elektricky měřitelnou veličinu (odpor, napětí), které pracují na nejrůznějších principech. Vždy se však ale využívá vlastností materiálů, které v jiných aplikacích často považujeme za parazitní a nežádoucí. Druhá část obsahuje elektrický obvod pro úpravu signálu a následný přenos. Tato část může pouze přizpůsobovat a zesilovat signál, nebo už standardizovat na analogový elektrický signál (napětíový 0-10V, proudový 0-20mA, 4-20mA -analogová proudová smyčka - atd.) ze senzoru s případnými úpravami nežádoucích vlastností, jakými je například nelinearita, odstup signálu a šumu apod. Také ale může velmi často provádět přímý převod analogového signálu na digitální. Korekce a úpravy se dají provádět již softwarově. Přizpůsobený přenos dat je pak například do obvyklého standardu sériového přenosu (RS-232, RS-485 apod.). V případě, že jsou obě části součástí jednoho kompaktního celku, pak se často takové čidlo označuje jako smart (inteligentní).

Základní principy měření teploty se dají rozdělit do dvou hlavních skupin. První je takzvané dotykové měření. Senzor se musí dotýkat objektu či látky, jejíž teplotu má měřit.

Využívá se přímého přenosu tepla mezi dvěma objekty. Dá se použít všude tam, kde je nenáročný přístup k měřenému objektu a okolní prostředí nebo měřený objekt chemicky nebo jinak nereaguje se senzorem. V opačném případě se využívá druhé varianty takzvaného bezdotykové měření. Senzor se pak nachází v určité vzdálenosti od měřeného objektu a tak nedochází k vzájemnému ovlivňování. Využívá se jevu, kdy každý objekt o dané teplotě vyzařuje určitou vlnovou délku infračerveného záření. To nazýváme pyrometrie.

Dotykové senzory a čidla nejčastěji využívají dva základní fyzikální principy. První veličinou, díky které můžeme měřit teplotu, je odpor. Odporové pasivní senzory převádějí změny teploty díky změně odporu (kovové, polovodičové senzory). Druhou měřitelnou veličinou používanou při zjišťování teploty je napětí. Napěťové aktivní senzory převádějí změny teploty díky změně napětí (senzory s PN přechodem, termočlánky). V posledních letech se stále častěji začínají uplatňovat i jiné principy, jako jsou například krystalové senzory (převod teploty na frekvenci), senzory s tekutými krystaly nebo senzory využívající parazitních vlastností optického vlákna (závislost odrazu, útlumu a disperze světla na teplotě). Právě optická vlákna se s úspěchem využívají ve speciálních a vysoce výbušných, vznětlivých prostředích.

Odporové pasivní senzory se často využívají k měření teplot až přes 1000°C nebo při měření teplot s velkým rozdílem, jako jsou oblasti regulace topných systémů, zpracování materiálů, potravinářství atd. Jeden z nejsledovanějších parametrů pro výběr senzoru je převodní charakteristika, její linearita a strmost. Ta se velmi liší v závislosti na typu odporového senzoru - kovové (převážně Pt a Ni), polovodičové - termistory (NTC a PTC) a monokrystalické senzory. Právě kovové senzory se vyznačují velkou linearitou, malou chybou měření a dlouhodobou stabilitou. Termistory se velmi často vyznačují velkou citlivostí.

Napěťové aktivní senzory mají již výstup jako přímo napěťový signál. Zvláště pak polovodičové křemíkové senzory s PN přechodem mají výhody při snadné integraci spolu se zpracovávajícími obvody, logikou a AD převodníky přímo na jednom čipu. Další velikou výhodou je velká citlivost až 2mV/°C a linearita. Jejich nevýhodou jsou ale nízké měřitelné rozsahy teplot pro daný materiál (do 125°C). Termočlánky se naopak používají při měření s velkým rozsahem teplot (až 2000°C). Mají i miniaturní rozměry, ale bohužel nízkou citlivost.

Bezdotykové senzory se využívají k měření teploty pohyblivých částí, nebo v nebezpečných a nepřístupných prostorách. Častá jsou rychlá měření příručními přístroji při technických kontrolách, údržbářských pracích apod. Výhodou je také měření velmi vysokých

teplot (až 3000°C), nebo naopak i velmi nízkých (od - 200 °C). Záleží na zvolených materiálech a zvoleném fyzikálním principu funkce senzoru. Nevýhodou jsou někdy chyby měření způsobené odraženým zářením z okolního prostředí, nebo způsobené neprostupností prostředí, apod. Citace [3].

2.2. Měření vlhkosti

Měření vlhkosti vzduchu a dalších plynů je velmi častou úlohou nejen v meteorologii, potravinářství, papírenském a chemickém průmyslu, ale i při úpravě vzduchu v budovách a v celé řadě různých průmyslových odvětví. Vlhkost vzduchu je možno vyjádřit několika způsoby. Hmotnost vodní páry v jednotce objemu vzduchu se nazývá absolutní vlhkost s obvyklou jednotkou g/m³. Obsah vodní páry v plynu je omezený. Vzduch nebo obecně jiný plyn se vodní parou nasatí a další vlhkost již nepřijímá. Konkrétní hodnoty vlhkosti jsou závislé především na teplotě a s rostoucí teplotou stoupají. Relativní vlhkost je poměr mezi skutečným a maximálním možným nasycením páry ve vzduchu. Udává se v procentech (%RH, %RV).

Jako další časté měřítko při měření vlhkosti vzduchu se používá teplota. Při určité teplotě začíná vodní pára kondenzovat. Tento stav se nazývá rosný bod. Jednotkou je Celsiův stupeň, popř. Kelvin. Absolutní vlhkost vzduchu se tedy uvádí pro dané teploty (rosný bod).

Teplota (°C)	Vlhkost (g/m ³)
-100	0,000 018
-80	0,000 6
-60	0,011
-40	0,120
-20	0,888
0	4,87
10	9,44
20	17,4
25	23,1
30	30,5
40	51,3
60	130
80	292

Tab.1.: Absolutní vlhkost vzduchu při nasycení vodní parou v závislosti na teplotě. Zdroj [4].

Vývoj metod měření vlhkosti plynů byl od prostých ukazovacích přístrojů až po současné vlhkoměry s elektrickým analogovým a popř. i digitálním výstupem. V současné době jsou k dispozici především následující přístroje a metody.

Mechanický někdy též nazývaný jako vlasový vlhkoměr využívá upravené přírodní materiály (lidské vlasy, koňské žíně, hedvábí), ale dnes už i některé syntetické materiály (nylon nebo butyrát celulózy). Ty jsou schopné díky své struktuře absorbovat určité množství vody úměrné relativní vlhkosti okolí. Tato absorpce způsobuje změnu rozměru. Tato změna se převádí mechanismem na výchylku ručičky nebo pisátka. Tato metoda je jednou z historicky nejstarších.

Gravimetrický vlhkoměr se stal z metrologického hlediska absolutním standardem. Jeho jednoduchý princip je založen na vhodném sušidle, které absorbuje vodní páru ze známého objemu vzduchu. Zjišťuje se tak přírůstek na hmotnosti materiálu, kterého bylo použito jako sušidla. Měření je ale velmi zdouhavé a zejména při malé vlhkosti ho přístroj složitě zjišťuje. Měření se tím stává značně nákladné a je použitelné pouze v laboratorních podmínkách. V důsledku toho slouží toto měření především k ověřování a kalibraci dalších senzorů.

Kondenzační vlhkoměr je velmi přesné a často používané měřidlo, lepší už je pouze gravimetrická metoda. Používá se termoelektricky chlazené kovové zrcátko, u kterého se snímají jeho optické schopnosti odrazu. Orosení zrcátka způsobí výraznou změnu odražení světla. Tato zpětná vazba pak zmenšuje či zvětšuje intenzitu chlazení tak, aby se zrcátko udržovalo mírně orosené. Teplota zrcátka se většinou měří platinovým odporovým teploměrem. Jako alternativa měření k optickému sledování zrcadla může být použití krystalového rezonátoru, který díky rezonanční frekvenci ovlivňuje kondenzaci vodní páry na jeho povrchu. Starší varianta využívala k ochlazení zrcátka odpařování éteru. Pozorovatel musel odečítat teplotu v okamžiku, když zpozoroval kondenzaci. Kondenzační vlhkoměr se upřednostňuje díky velké přesnosti, dlouhodobé stabilitě a odolnosti proti chemikáliím.


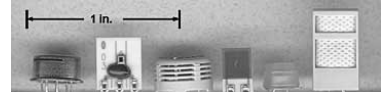

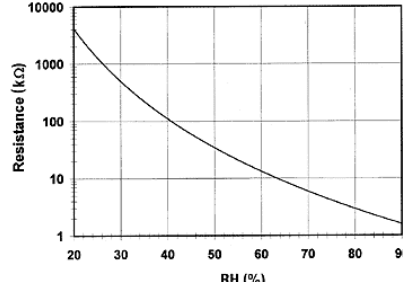
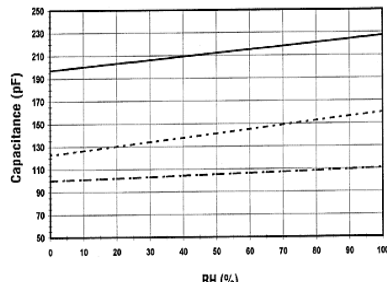
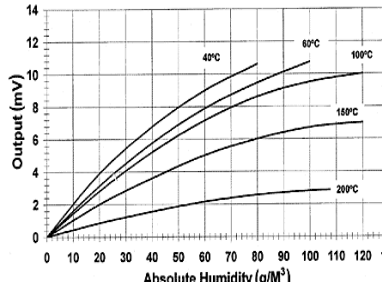
Psychrometr používá baničku s teploměrem a knotem ponořeným do vody. Jeden teploměr se umístí do proudu měřeného vzduchu a druhý bude tzv. vlhký teploměr s baničkou. Ten bude ukazovat nižší teplotu než teploměr neupravený, tzv. suchý. Příčinou změny teploty je odpařování vody z knotu. Následná změna skupenství je pak doprovázena spotřebou odpařeného tepla. Intenzita odpařování je závislá na relativní vlhkosti přiváděného vzduchu. Pokud by byl například vzduch zcela nasycen, naměří oba teploměry stejnou hodnotu (k žádnému odpařování vody z knotu nemůže dojít). Velmi často se teploty odečítají ručně a naměřené hodnoty se přepočítávají na údaj vlhkosti s použitím grafu nebo tabulky. Dnes už však existují i elektronické psychrometry, kde je rtuťový teploměr nahrazen platinovým odporovým čidlem teploty a přepočet provádí elektronika.

U elektrolytického vlhkoměru je vlhkost vzorku plynu absorbována speciálním roztokem, kde reaguje s elektrolyticky vylučovaným činidlem. Absolutní vlhkost vzduchu vzorku je pak úměrná prošlému elektrickému náboji. Přepočet se provádí s použitím známých fyzikálních konstant. Elektrolytický vlhkoměr se používá zejména díky dlouhodobé stabilitě.

Odporové senzory využívají změny vodivosti materiálů, jejichž hygroskopické vlastnosti umožňují absorpci vody. Takzvané Dunmoreovo provedení využívá vlastnosti polyvinylalkoholu s přídavkem chloridu nebo bromidu lithného. Používané elektrody jsou provedené jako dvojité spirála z drátu platiny, nebo jsou na válci z izolantu, ale také jako dva hřebínky napařené na keramickém podkladu. Aby se předcházelo polarizaci elektrod, je nutné provádět měření střídavým napětím. Celkový rozsahu relativních vlhkostí od 0 až 100 % tvoří pouze třetinu až pětinu změny vodivosti materiálu. Různé koncentrace lithné soli pak umožňují měřit v různých pásmech. Senzory jsou citlivé na orosení (kondenzaci) a nelze je používat při vyšších teplotách, přesto si udržují své postavení zejména díky velké přesnosti (až na desetiny %RH) a poměrně dobré stabilitě.

Kapacitní senzor vlhkosti také využívá absorpce vody v polymerních materiálech. Sledovanou veličinou je změna kapacity kondenzátoru, ve kterém je dielektrikem polymer. Děrovaná elektroda pak umožňuje okolnímu vzduchu kontakt s polymerním dielektrikem. Absorbované množství vody je poměrně malé a ale díky dielektrické konstantě jsou změny kapacity měřitelné (řádově činí 0,1 % z celkové kapacity na každé % RH). Velmi často se už dnes tyto senzory vyrábějí s integrovaným zpracováním signálu. Výstupem je pak místo kapacity mnohem přijatelnější eklektické napětí, nebo dokonce digitální rozhraní. Kapacitní senzory mají malou závislost hodnot na teplotě, nejsou odolné vůči kondenzaci. Doba odezvy se pohybuje v řádu desítek sekund. Přesnost je v jednotkách %RH. Senzory však mají poměrně dobrou odolnost proti chemikáliím a vyšším teplotám. V neposlední řadě mají malé rozměry i nízkou cenou.

Vlhkoměr s vyhřívanými termistory je založen na metodě závislosti tepelné vodivosti vzduchu na jeho vlhkosti. Senzor je složen ze dvou stejných termistorů. Jeden je hermeticky uzavřen v suchém dusíku a druhý je přístupný okolnímu prostředí. Termistory jsou v sériovém zapojení a tvoří jednu část můstku. Druhá část je složená z trimru, který je určen k nulování, a z pevných rezistorů. Průchod proudu způsobuje zahřívání termistorů a dosažená teplota je závislá na stupni jejich ochlazování, to znamená i na tepelné vodivosti okolního plynu. Můstek se nuluje umístěním senzoru v suchém vzduchu. Přítomnost vodní páry pak způsobuje jeho rozvážení. Výsledný signál senzoru je úměrný absolutní vlhkosti. Výhodou je schopnost pracovat při vysokých teplotách (až 200 °C) a chemická odolnost.

Odporové senzory	Kapacitní senzory	Vlhkoměry s vyhřívacími termistory
		
		
<p>Závislost odporu čidla je nelineární</p>	<p>Závislost kapacity čidla na relativní vlhkosti je téměř lineární (při 25°C)</p>	<p>Závislost odporu čidla je nelineární</p>

Tab. 2.: Tabulka vlhkostních senzorů. Zdroj [4].

Pro speciální účely se používají vlhkoměry, které sledují absorpci ultrafialového nebo infračerveného záření vodní parou. Vlnové délky se pohybují v rozmezích 121 nm nebo 123 nm v ultrafialové části spektra nebo 6,25 μm v infračervené oblasti. Výstupní signály jsou úměrné absolutní vlhkosti. Předností senzorů je velmi krátká doba odezvy. Zdrojem ultrafialového záření je výbojka plněná vodíkem nebo kryptonem. V infračervené oblasti se využívá žhavený zdroj.

Většina měřidel vlhkosti se musí nejdříve kalibrovat, a to nejen při výrobě ale i periodicky během provozu. Kalibrace se provádí jak změřením téhož vzorku plynu referenčním měřidlem, tak zároveň i kalibrovaným měřidlem. Také lze připravit plyn (vzduch) definované vlhkosti. Jednou z možností kalibrace je i metoda, kdy je při větším tlaku nasycen vzduchu vodní parou a při následné expanzi tohoto vzduchu na menší tlak dosáhneme žádané výsledné vlhkosti v daném poměru obou tlaků.

Také se dá použít metoda využívající nasycené roztoky solí. Vzduch je v rovnováze s roztokem soli a má menší vlhkost než vzduch nad čistou vodou. Především se užívají nasycené roztoky solí, jejichž koncentrace není ovlivněna absorpcí vody nebo odpařováním. Používají se převážně roztoky chloridu lithného, chloridu hořečnatého, uhličitanu draselného, bromidu sodného, chloridu sodného, chloridu draselného a síranu draselného. Volbou správné soli lze dosáhnout širokého rozsahu relativních vlhkostí, který je nutný k několikabodové kalibraci čidel s nelineární charakteristikou. Citace [4].

3. Kalibrovaný vlhkoměr a teploměr

Při stavbě senzorů měřících neelektrické veličiny bývá největším problémem jejich kalibrace. Dostupná čidla sice nabízejí požadovanou přesnost, ale jsou často nelineární nebo mají výstupní hodnoty stejnosměrně posunuté. Už z názvu diplomové práce Monitoring prostředí pro uskladnění léčiv, vyplývají fyzikální veličiny, které se budou sledovat. Ve skladování je nejsledovanější fyzikální veličinou teplota. Další sledovanou a velmi důležitou veličinou pro uskladnění léčiv je vlhkost vzduchu. Obě sledované veličiny jsou důležité, jak pro zachování správné homogenity a stability léků tak i referenčních látek, které jsou nositelem léčivých složek (masti, gely, emulze atd.).

Aby se zařízení dalo použít nejen při skladování, hledalo se takové rozhraní senzorů, které by umožnilo i další využití v průmyslu. Velké množství jednoduchých senzorů, které jsou už kalibrované výrobcem a odpadá, tak tím i jejich další údržba, nám nabídla technologie 1-Wire (jednovodičová sériová linka). Výběr čidla podle požadavků průmyslu k měření různých fyzikálních veličin je veliký. Zároveň je také možné díky síťovému protokolu (sběrnici 1-Wire) připojit libovolné množství čidel a tím vytvořit síť MicroLan. Díky 1-Wire sběrnici a adrese, která je pevně přidělena každému 1-Wire senzoru, lze použít libovolného počtu senzorů k získání hodnot různých fyzikálních veličin jako například: teplota, tlak, hmotnost, napětí, vlhkost, proud, osvětlení a díky prvkům s impulsním výstupem je lze použít jako optické čítače, otáčkoměry, měřiče spotřeby, kapacitní senzory vlhkosti, měřiče radiace atp. Citace [5].

3.1. Sběrnice 1-Wire

Jednovodičové rozhraní 1-Wire® bylo vyvinuto v 90. letech firmou Dallas Semiconductor a bylo deklarováno pro použití ve třech základních oblastech. První oblastí uplatnění sběrnice je technologie iButton, která je uložena ve speciálních pouzdech MicroCAN. Tato zařízení se používají při řešení problémů s identifikací, přenosem nebo zpracováním informace. Další možné využití sběrnice 1-Wire je při programování vnitřních pamětí obvodů s tímto rozhraním a neposlední řadě v systémech automatizace (technologie 1-Wire sítě).

První oblast řešení problémů s identifikací je známa a již dlouho užívána. Druhá možnost úspěšně zajišťuje snadné změny funkce součástek s malým počtem vnějších vývodů, vyráběných firmou Dallas-Maxim. Třetí oblast ještě stále čeká na širší využití.

V počátku technologie 1-Wire byl velmi omezený počet typů součástek na trhu, to se však ale rychle změnilo. Ještě i dnes se objevují mnohá nová použití 1-Wire v nejrůznějších oblastech. Stále více vývojových pracovišť začíná využívat tuto technologii, což je právě umožněno především stále rostoucí nabídkou součástek pro 1-Wire síť.

Jednoduchá a levná síťová technologie MicroLan především pro automatizaci užívá jako základ protokol 1-Wire. Komponenty sítě s 1-Wire rozhraním pro přenos dat jsou opatřeny 64 bitovým, laserem vypáleným, individuálním číslem. Touto adresou je opatřen veškerý síťový systém užívající protokol 1-Wire. Výsledné zařízení je poté výrobcem deklarováno jako standard MicroLAN.

Výhody tohoto síťového standardu jsou patrné vezmeme-li v úvahu analýzu, která vypovídá, že více jak 60% komponent využívaných v automatizaci, nebude potřebovat větší přenosovou rychlost než 16 kbit/s. Další výhody standardu 1-Wire jsou:

- jednoduché a originální řešení adresovatelnosti účastníků;
- jednoduchý protokol;
- jednoduchá struktura spojení;
- malé množství potřebných komponentů;
- snadná změna konfigurace sítě;
- značný dosah sítě;
- výjimečně nízká cena technologie jako celku.

Všechny tyto vlastnosti vypovídají o nezbytné pozornosti při řešení úloh komplexní automatizace v nejrůznějších oblastech činnosti a nabízejí využití tohoto efektivního nástroje.

Uvnitř libovolné součástky je uložena její individuální adresa. Unikátnost této adresy je zaručena samotným výrobcem zařízení, firmou Dallas-Maxim. Taková síť má prakticky neohrazený adresový prostor. Každá 1-Wire součástka nebo zařízení je okamžitě připraveno k použití bez potřeby jakýchkoliv programových modifikací v síti 1-Wire. Komponenty se samy taktují díky vyhodnocením délky časových intervalů impulsních signálů při přenosu informací. Komunikace ve 1-Wire síti je asynchronní a poloduplexní. Všechny informace, které obíhají v síti, jsou účastníky přijímány jako příkazy nebo data. Veškeré příkazy generuje řídicí člen - master. Ten provádí různé varianty hledání a adresace známých i dosud neznámých zařízení. Master rozděluje aktivitu na síti a řídí přenos dat po síti. Síť s protokolem 1-Wire může být teoreticky velmi rozsáhlá a nemá žádná omezení.

Standardní rychlost 1-Wire sítě je 16kbit/s. Tato rychlost byla vypočítána jednak pro zajištění maximální spolehlivosti přenosu dat na velké vzdálenosti, dále se rychlost musela přizpůsobit nejrozšířenějším typům procesorů, které se často používají pro řídicí členy 1-Wire

sběrnice. Díky zavedení vynuceného zpoždění mezi vysíláním jednotlivých bitů dat a prodlužováním časových rámců protokolu se standardní hodnota rychlosti přenosu může libovolně zmenšit. Tato rychlost může být ale také zvýšena přechodem na zvláštní zrychlený režim přenosu nazývaný jako Overdrive (125kbit/s). To ale musí být zajištěné krátké komunikační vzdálenosti a zároveň spojovací linky nesmí být přetěžovány jinými komponentami, aby se tak zachovala kvalita přenosu.

Nejnámějšími řízenými komponentami, díky kterým je realizován asi největší počet použití, jsou obvody číslicových teploměrů DS18B20. Ve srovnání s jakýmkoliv jinými teplotními senzory jsou výhody těchto číslicových teploměrů zřejmé. Vynikající metrologické charakteristiky, kde není nutnost obvodu dále kalibrovat, a dobrá odolnost proti poruchám je umísťuje na špičku při návrhu systémů s mnohabodovým měřením teploty v rozsahu -55°C až 125°C . Dovolují jak monitoring v reálném čase, tak i mohou signalizovat překročení zadaných mezí teploty díky vestavěné energeticky nezávislé paměti, určené pro jejich uložení. Rychlost převodu je dána počtem bitů hodnoty, která je přímo hodnotou měřené teploty a nevyžaduje doplňující dekodování. Existuje nekalibrovaná, ale mnohem levnější verze, obvod DS1822, který představuje optimální řešení pro vývojové pracoviště levných mnohabodových systémů měření a řízení teplotních procesů. Součástky DS1822, DS18B20, DS18S20, DS1920 mají dokonce charakter certifikovatelných měřicích prostředků. Existují varianty senzorů, které jsou napájeny buď klasicky externím pinem VDD nebo dokonce jen pomocí komunikačního pinu I/O v režimu Parasite Power.

Jednodrátový A/D převodník je buď čtyřkanálový typu DS2450, nebo dvoukanálový s pamětí typu DS2423. Určené jsou především k řešení úloh spojených s digitalizací analogových a impulzních signálů. DS2450 se používá v mnoha převodnicích fyzikálních veličin jako tlak, váha, napětí, vlhkost, proud, osvětlení a také teplota v případech, kdy nelze použít obvody DS18B20 pro extrémní rozsah teplot atp. DS2423 se používá k senzorům s impulsním výstupem používaných v technice, jako jsou optické čítače, otáčkoměry, měřiče spotřeby, kapacitní senzory vlhkosti, měřiče radiace atp.

Další nezbytnou součástí 1-Wire sítí v automatizaci tvoří univerzální dvojité a adresovatelné spínače. Díky nim mohou být realizována mnohá použití a to především diskrétní informace ze snímačů polohy, průchodu, přítomnosti, požární signalizace a řízení silových spínačů topení, motorů, ventilátorů. Možné je i použití statických pamětí s hodinami reálného času a kalendářem. Data uložená v paměti se pak dají doplnit i časem měření. Existuje i číslicový potenciometr s 256 kroky, obousměrná komunikace po osmi nezávislých kanálech při řízení displejů, klávesnic, diskrétních senzorů apod.

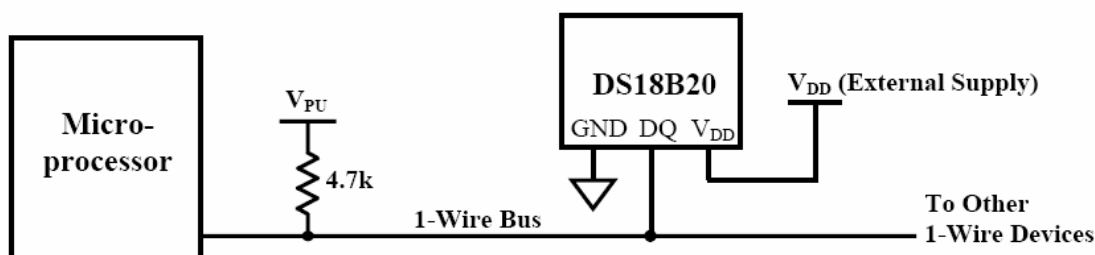
Sběrnice 1-Wire zůstává často ve stínu jiných populárnějších sériových rozhraní, jako je například I2C, Microwire nebo SPI. Využití 1-Wire sítí je ale opravdu velmi rozsáhlé a vybral jsem pouze zajímavé aplikace použitelné převážně v průmyslu. Firma Dallas jich nabízí ještě mnohem více a vše by dalo minimálně na další diplomovou práci a tak se už dále budu věnovat pouze vybraným senzorům teploty (DS18B20) a vlhkosti (DS2438Z). Obě tyto součástky nabízí firma Dallas na svých stránkách jako produkt, který zdarma posílá zájemcům v omezeném počtu jako vzorky. Tuto možnost získání potřebných 1-Wire součástek jsem také využil. Po registraci a objednání jsem po týdnu obdržel zdarma všechny slíbené součástky. Citace [5].

3.2. Výroba teplotního senzoru

K výrobě teplotního senzoru byl určen snímač DS18B20 a DS18B20+ v pouzdře TO-92 a oba byly zaslány v počtu po čtyřech kusech od každého. Vlastnosti snímačů jsou velmi podobné a takřka se neliší. Každý teploměr má v sobě 64 bitový kód, uložený ve vnitřní paměti ROM. Výhodou je, že teploměr nevyžaduje žádné vnější komponenty a výsledná teplota je přímo ve stupních Celsia. DS18B20 poskytuje teplotu v 9, 10, 11 až 12 bitech to odpovídá velikosti dílku 0,5°C, 0,25°C, 0,125°C a 0,0625°C. Toto rozlišení je volitelné a ovlivňuje rychlost snímače. Oba senzory dovolují monitoring v reálném čase a díky vestavěné energeticky nezávislé paměti pro uložení mezních hodnot, mohou signalizovat překročení zadaných mezí teploty. Komunikačním pinem je výstup označený DQ. Tento výstup je softwarově nastavitelný jako bistabilní výstup nebo jako komunikační linka. Výstup je svým charakterem otevřeným kolektorem. Pro správnou funkci komunikační linky 1-Wire je nutno mezi výstup DQ a napájecí napětí VDD připojit odpor o hodnotě 4,7kΩ . Rozsah napájecího napětí je od 3V do 5,5V, ale napájení může být také odebíráno pouze z datové linky (Parasite Power). Senzor měří v rozsahu -55°C až +125°C (-67°F to +257°F) a dosahuje přesnosti ±0.5°C v rozsahu -10°C až +85°C. Naměření teploty s rozlišením 12 bitů trvá 750ms.

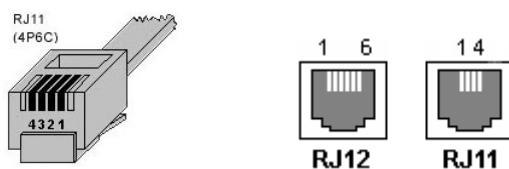


Obr. 2.: Schéma teplotního snímače DS18B20. Zdroj [6].



Obr. 3.: Schéma připojení teploměru DS18B20 k procesoru. Zdroj [6].

Senzor teploty DS18B20 byl napojen na čtyřdrátový nekroucený kabel, který byl ukončen samcem konektoru RJ11. Tento konektor se standardně používá u sběrnice 1-Wire společně s konektorem RJ12, který je více rozšířený díky telefonním linkám. Pomocí zásuvky RJ11, která bude na desce nového HW zařízení, se senzor připojí ke sběrnici. Ta je přes odpor o hodnotě $4,7k\Omega$ připojena k pinům procesoru.



Obr. 4.: Standardně používaný konektor RJ11 pro sběrnici 1-Wire. Zdroj [2].

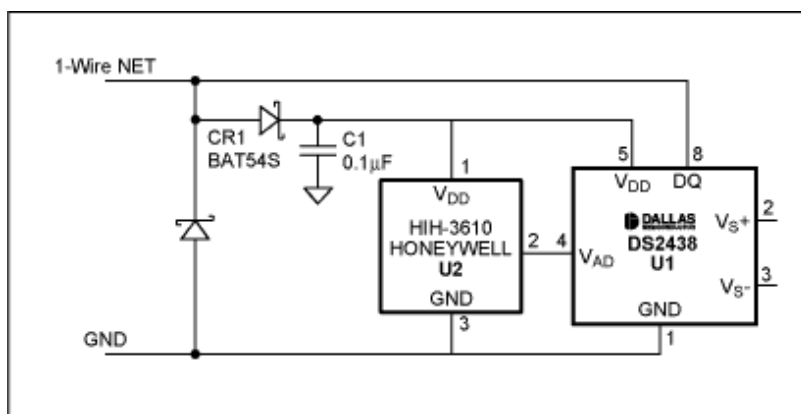


Obr. 5.: Součástka DS18B20 a výsledný zhotovený senzor teploty

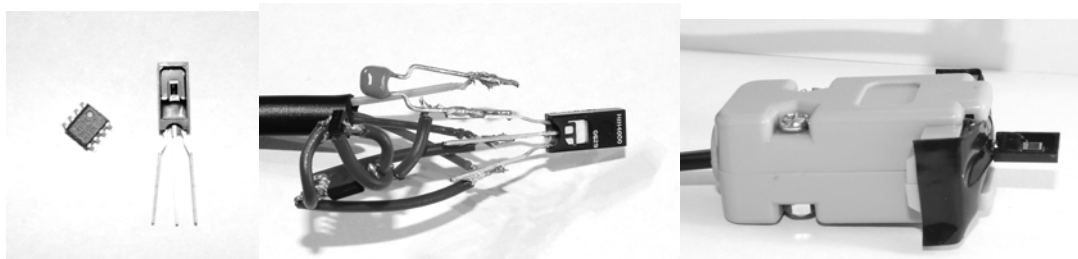
3.3. Výroba vlhkostního senzoru

Vlhkostního senzoru se skládá ze součástky DS2438Z+, součástky HIH-3610, duální Šotkyho diody BAT54S a kondensátoru o kapacitě $0,1\mu\text{F}$. To znamená, že výroba vlhkostního senzoru byla složitější než teplotní senzor, který se skládal z jediné součástky. Součástky DS2438Z+ a DS2438AZ+ od firmy Maxim Dalas Semiconductor byly opět zaslány jako vzorky v pouzdře v počtu po dvou kusech zdarma a svými vlastnostmi se takřka neliší.

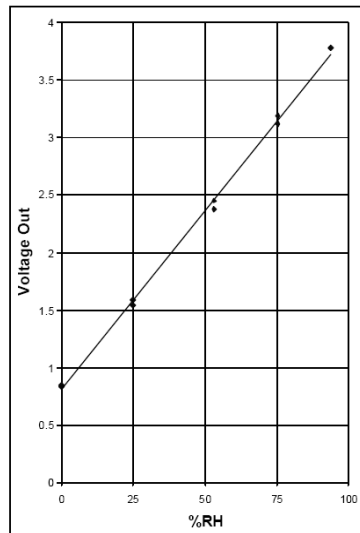
DS2438 se nejčastěji používá ke sledování nabíjení baterií, ale dá se použít i k mnoha jiným funkcím jako 1-Wire převodník. Ve spojení se součástkou HIH-3610 od společnosti Honeywell může fungovat jako vlhkostní 1-Wire senzor. DS2438 zde funguje jako analogově digitální převodník, kalibrační paměť a upravuje data do signálu 1-Wire. HIH-3610 je senzor relativní vlhkosti s lineárním napět'ovým výstupem v rozsahu 0,8V pro 0% RH až 4,07V pro 100% RH. Výstupem je spojitá analogová hodnota v uvedeném napět'ovém rozsahu. Operační rozsah je -40°C až $+85^{\circ}\text{C}$ s přesností měření cca $\pm 2\%$ RH při 25°C . Obě součástky jsou napájeny 5V. V současné době se už tento senzor nevyrábí, ale stále se dá sehnat. Výrobce je nahrazen novým typem HIH-4000. Malé rozměry a jednoduchá komunikace přes jednovodičovou sběrnici pak umožňují jednoduchou aplikaci senzoru v automobilovém průmyslu, průmyslovém měření, lékařských přístrojích, vytápění, klimatizaci apod. Dále bylo potřeba podle schématu na obrázku připojit k čidlu Shotkyho spínací diodu BAT54S SMD v pouzdře SOT23 a kondenzátor o kapacitě $0.1\mu\text{F}$. Všechny součástky jsou opět připojeny na čtyřdrátový nekroucený kabel, který byl opět ukončen konektorem RJ11. Citace [7, 8, 9].



Obr. 6.: Schéma vlhkostního senzoru s rozhraním 1-Wire Zdroj [8].



Obr. 7.: Součástky DS2438Z+ a HIH-4000 a výsledný zhotovený senzor



Obr. 8.: Závislost napětí čidla HIH-4000 na relativní vlhkosti je téměř lineární. Zdroj [9].

4. Návrh hardware

4.1. Výběr procesoru

Dalším bodem v zadání diplomové práce bylo navrhnout HW zařízení pro měření a záznam fyzikálních veličin s různými možnostmi vzdálené komunikace k použití v průmyslovém nebo skladovacím prostředí. Cílem prvního hledání tedy bylo najít takový procesor, který nabídne co nejvíce podmínek pro různé vzdálené komunikace. Jako inspirace mi posloužily různé vývojové kity předních HW firem, na kterých prezentují své procesory.

Vedoucím diplomové práce mi byl doporučen vývojový kit STR910-EVAL evaluation board od firmy STMicroelectronics. Základ této HW desky tvoří 128-pinový procesor STR912FAW47X6 s jádrem ARM966E-S v pouzdře LQFP128 s 2 Mbytovou vnitřní Flash pamětí. V dřívějších verzích je používán procesor STR912FAW44X6 ve stejném pouzdře s 512 Kbytovou vnitřní Flash pamětí.



Obr. 9.: Vývojový kit od firmy STMicroelectronics. Zdroj [10].

Napájení je na desce STR910-EVAL řešeno několika variantami. Buď pomocí 5V síťového stabilizovaného napáječe nebo pomocí USB konektoru, kde je však omezen odběr proudu na 500mA, a nebo je možné desku napájet z jiného stabilizovaného zdroje například z dceřiné desky a stejně tak může být dceřiná deska napájena z desky STR910-EVAL. Přepínání mezi těmito variantami je řešeno pomocí jumperu.

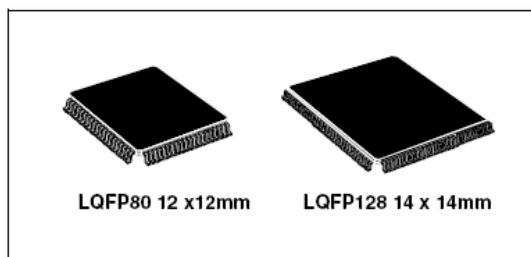
Velkým kladem tohoto vybraného kitu bylo řešení vzdálené komunikace IEEE-802.3-2002 ethernet, který je řešen připojením transceiveru STE100P na rozhraní procesoru MII. Ethernet je pak vyveden do konektoru RJ45 s LED diodami, které znázorňují jeho stav. Dále procesor obsahuje rozhraní 64Mbit SPI pro Serial Flash. Dále kit STR910-EVAL disponuje rozhraním CAN2.0B s možností obou módů high-speed a slope-control, přepínaných pomocí jumperu. Vyveden je na 9-pinový konektor D-SUB (Canon 9). Rozhraní RS-232 je zastoupeno celkem třikrát. Na UART1 procesoru je připojeno rozhraní RS-232 s plným modem řízením (full modem control) vyvedené na 9-pinový konektor D-SUB. Na UART2 a UART3 jsou též připojena rozhraní RS-232, která jsou opět vyvedena pomocí 9-pinových konektorů D-SUB. Na UART2 se také dá připojit transceiver bezdrátové komunikace IrDA. Opět jsou tyto varianty ovládány pomocí jumperů. Deska také obsahuje speciální 34-pinový konektor vytvořený pro ovládání motoru. Konektor přechází do určitých stavů, díky kterým pak můžeme třeba měnit rychlost motoru, zastavení atd. Jak už jsem se zmínil u napájení, deska obsahuje USB konektor typu B, který je kompatibilní USB2.0 s plnou rychlostí přenosu dat 12Mb/s. K programování desky STR910-EVAL se dá použít standardní 20-pinový JTAG konektor a zároveň se dá použít 38-pinový konektor s rozhraním Embedded Trace Macrocell (ETM), určený ke sledování. STR910-EVAL se dodává s dvěma různými typy LCD displejů.

Jeden je grafický 122x32 pixelu a druhý je 16-ti znakový dvouřádkový (16x2). K znázornění různých stavů se dají použít čtyři LED diody. K ovládání se dá použít čtyř polohový joystick s tlačítkem, jedno tlačítko a například i potenciometr, který se převážně používá k ovládání hlasitosti reproduktoru. STR910-EVAL totiž podporuje díky mikrofonu a reproduktoru i audio nahrávání a přehrávání zvukového záznamu. Citace [10].

Oba procesory od firmy STMicroelectronics, které používá deska STR910-EVAL, patří do třídy procesorů STR91xF. V této třídě je celkem 6 procesorů, které jsou vlastnostmi velmi podobné a liší se jenom svojí náročností. Procesory jsou ve dvou různých pouzdech a to 80-pinový LQFP80 a 128-pinový LQFP128. Jejich základní vlastnosti přehledně znázorňuje tabulka.

Vlastnosti	STR910FM32X	STR910FW32X	STR911FM42X	STR911FM44X	STR912FW42X	STR912FW44X
FLASH - Kbytes	256+32	256+32	256+32	512+32	256+32	512+32
RAM – Kbytes	64	64	96	96	96	96
Rozhraní	CAN, 48 I/Os	CAN, EMI, 80 I/Os	USB, CAN, 48 I/Os		Ethernet, USB, CAN, EMI, 80 I/Os	
Pouzdro	LQFP80	LQFP128	LQFP80		LQFP128	

Tab. 3.: Tabulka třídy procesorů STR91xF se základními vlastnostmi. Zdroj [11].



Obr. 10.: Používaná pouzdra procesorů. Zdroj [11].

Z této tabulky a ze zadání diplomové práce, kde zní vytvořit HW s různými možnostmi vzdálené komunikace, vyplynulo, že na novém HW zařízení použijeme procesor STR912FW44X6. Tento procesor nám nabízí asi nejvíce variant a řešení vzdálených komunikací. Novější navazující a zaměnitelný typ procesoru je STR912FAW47X6.

4.2. Vlastnosti procesoru ARM

Krátce bych se zmínil o technologii ARM. Architektura jádra ARM je pro popis docela složitá, protože jsou odlišně označovány samotné architektury a procesory. Procesory ARM se výbavou i architekturou spíše kloní k označení procesor než mikrocontroller, dají se

označit i za dost výkonné procesory. Jsou vhodnější pro realizaci multimediálních aplikací (PDA, navigace, DVB-H atd.) a běh náročnějších uživatelských RTOS nebo i OS typu Linux a různých verzí Windows. Samozřejmě při použití procesoru ARM v nějakém zákaznickém SoC pak mohou být zmíněné periferie i paměti na chipu přítomny. Procesory nebo SoC obvody s ARM lze najít v multimediálních přístrojích (video, hudba, řeč, náročná bezdrátová komunikace) nebo tam, kde se realizuje HMI rozhraní, např. interaktivní grafický ovládací panel s operačním systémem. Citace [12].

4.3. Procesor STR912FW44X6

Procesor STR912FW44X6 s jádrem ARM966E-S RISC je binárně kompatibilní s 32-bitovým jádrem ARM7™ a 16-bitovým kódem Thumb (instrukční soubor Thumb® - instruction set), který umožňuje překladači generovat více kompaktní kód. Procesor patří k nejstarším verzím architektury CPU (ARM Instruction Set Architecture): ARMv4T. Využívá dvojí Flash paměť, kdy hlavní Flash paměť je o velikosti 512KB a sekundární paměť 32KB. Sekvenční činnost procesoru je 96MHz. Paměť SRAM o velikosti 96KB je s nepovinnou možností bateriové zálohy. Dále obsahuje až 9 kanálů DMA (Direct Memory Access = přímý přístup do paměti je schopnost sběrnice posílat data ze zařízení bez účasti procesoru), jeden přímo pro ethernet a dalších 8 programovatelných kanálů, které se dají použít až k 11 možným rozhraním.

Procesor podporuje IEEE-802.3-2002 vyhovující Media Access Controller (MAC) pro Ethernet LAN komunikaci přes průmyslový standard Medium Independent Interface (MII). Ethernet je jeden z typů lokálních sítí, který realizuje vrstvu síťového rozhraní. V lokálních sítích je Ethernet v 80 % všech instalací. Jeho popularita je založena na jednoduchosti protokolu a tím i snadné implementaci i instalaci. Jednotlivé stanice jsou v síti identifikovány svými hardwarovými adresami (MAC adresa). MAC adresa přidělená výrobcem je vždy celosvětově jedinečná. Díky tomu může splňovat standardy pro lokální sítě ethernet 10Base-T (IEEE802.3) a 100Base-TX (IEEE802.3u), které se říká Fast Ethernet (přenosová rychlost 100 Mbit/s). V současnosti je tato verze považována za základní verzi Ethernetu. Možností je používání algoritmu detekce vysílání s mnohanásobným přístupem a detekcí chyb (CSMA/CD) nebo plně duplexní komunikace, kde odpadají prostoje způsobené kolizemi a přenosová rychlost odpovídá maximální možné.

Dalším rozhraním s DMA je USB 2.0 (Universal Serial Bus) s rychlostí přenosu dat 12Mb/s (Full Speed). USB rozhraní je dnes zcela běžnou součástí spotřební elektroniky připojitelné k počítači a již téměř vytlačilo klasický sériový port RS-232. Maximální délka

kabelu mezi dvěma zařízeními je 5 metrů. USB dovoluje připojit až 127 zařízení pomocí jednoho typu konektoru. Rozhraní USB může zároveň poskytovat připojeným zařízením i stejnosměrné napájecí napětí 5 V. Připojené zařízení může po sběrnici odebírat proud podle své potřeby, maximálně však může zařízení požádat o proud o velikosti 500 mA.

Procesor umožňuje rozhraní odpovídající protokolu CAN 2.0B (Controller Area Network) díky externímu CAN transceiveru připojeného na piny procesoru CAN_RX a CAN_TX. Je to protokol multiplexní sériové komunikace, který byl vytvořen převážně pro potřeby použití v automobilové technice. V poslední době však nachází široké uplatnění v širokém spektru průmyslových aplikací k předávání informací v reálném čase. Síťový protokol detekuje a opravuje přenosové chyby vzniklé od okolních elektromagnetických polí. Maximální teoretická rychlost přenosu na sběrnici je 1 Mbit/s při délce sběrnice do 40m se současným zajištěním věrnosti dat i při extrémních podmínkách (teplota, rušení apod.) a s nízkou cenou komunikačních obvodů. Ze standardu protokolu vyplývá, že není nutnost upravovat nadřazenost a prioritu jednotlivých uzlů. Zároveň je množství uzlů pro komunikaci prakticky neomezené. Limit je jen v možnosti jednotlivých uzlů a ve výkonovém zatížení sítě. Veškeré informace v přenášené zprávě jsou kódovány. Identifikátor základního formátu CAN 2.0A má délku 11bitů, identifikátor rozšířeného formátu CAN 2.0B má délku 29bitů. Obsah zprávy je dán pouze identifikátorem, u CANu neexistuje žádná adresa. Jedna zpráva může být přijata několika zařízeními. Komunikace CAN má i své nevýhody jako například omezený počet dat přenášených v rámci jedné zprávy (0 až 8 Byte), dále pak třeba i prvotní náročnost nastavení registrů CAN sběrnice. CAN rozhraní procesoru nepodporuje DMA.

Dále procesor podporuje tři nezávislé UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) rozhraní s DMA, popsané UART0, UART1 a UART2. Každé rozhraní je totožné s průmyslovým standardem 16C550 UART zařízením, který neobsahuje FIFO fronty. Rozhraní UART se nejčastěji osazuje transceivery RS-232 a RS-485. Umožňuje bezproblémové řízení (přepínání směru) poloduplexní sériové sběrnice RS-485, která se velmi často používá k sériové komunikaci v průmyslovém prostředí. Všechny tři UART kanály podporují protokol IrDA (Infrared Data Association) kódování/dekódování. Jeden UART kanál (UART0) podporuje plný mod řízení (full modem control signals).

Dalším rozhraním s DMA je I²C (Inter-Integrated Circuit), což je multi-masterová počítačová sériová sběrnice vyvinutá firmou Philips, která se používá k připojování nízkorychlostních periférií. Umožňuje propojení až 128 různých zařízení s pomocí pouze dvou obousměrných vodičů. Jeden tvoří hodinový signál SCL (Synchronous Clock) a druhý datový kanál SDA (Synchronous Data). Z elektrického hlediska jsou oba vodiče zapojeny

jako otevřený kolektor, jejich maximální délka je pak dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400 pF. Každý vodič je připojen jedním pull-up rezistorem ke kladnému napětí, což zajistí vysokou úroveň v klidovém stavu. Maximální frekvence signálu SCL je podle verze I²C 100 kHz nebo 400 kHz. Sběrnice I²C neumožňuje duplexní přenos. To znamená, že v jednom okamžiku vysílá jen jedno zařízení. Všechna zařízení připojená na sběrnici musí mít individuální adresu o délce 7 nebo 10 bitů a implementovaný mechanismus komunikace pomocí I²C sběrnice. Procesor podporuje dva nezávislé I²C kanály, pojmenované I2C0 a I2C1.

Procesor podporuje také dva nezávislé synchronní sériové porty (Synchronous Serial Port SSP), pojmenované SSP0 a SSP1. Základní použití rozhraní je pro průmyslový standard Serial Peripheral Interface (SPI) protokol, ale také pro podobný protokol Synchronous Serial Interface (SSI) a Microwire komunikační protokol. SPI je tři nebo čtyř drátový synchronní sériový komunikační kanál, schopný full-duplexních operací. Ve třídrátovém zapojení je první signál časový, a další dva jsou datové (data z Master do Slave a ze Slave do Master). Ve čtyřdrátovém zapojení je dodatečný drát Slave Select (výstup z Master se dostává na Slave). SPI časový signál je generován z Master a reguluje tok bitů (24MHz).

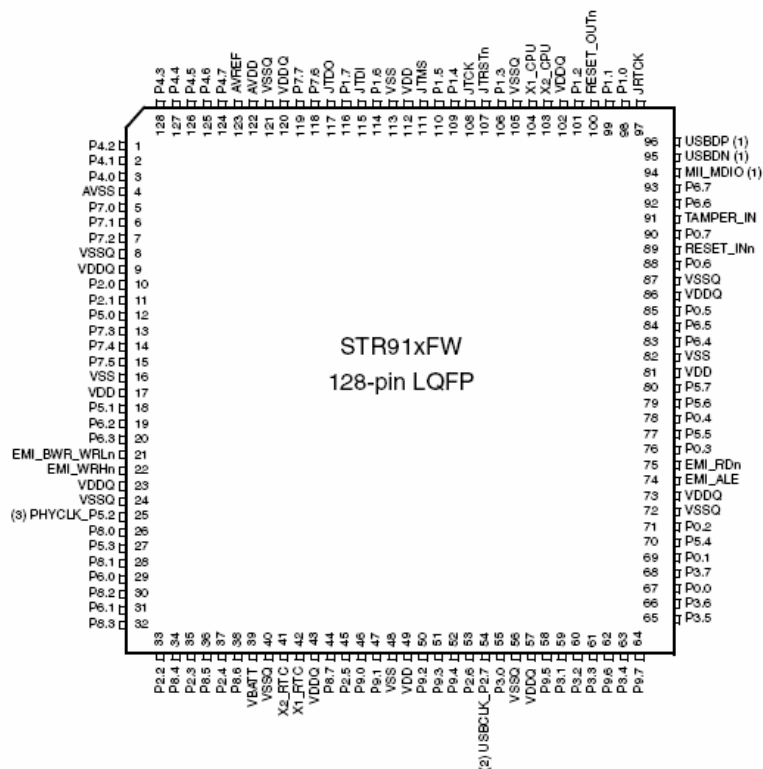
Procesor má až 80 GPIO (General Purpose Input/Output) pinů k dispozici na 10 I/O portů. CPU firmware může nastavit GPIO piny na alternativní vstup nebo funkční výstup. Všechny GPIO piny jsou s 5V tolerancí a neobsahují interní pull-up nebo pull-down resistory.

Procesor nabízí osm kanálů k postupné aproximaci z analogového na digitální signál, díky 10-bitovému A/D převodníku. Výstupní rozsah je od 0 do 3,6V a rychlost převodu je menší jak 2 μ s.

Dále procesor nabízí až čtyři nezávislé 16-bit časovače s DMA (Standard timers TIM), pojmenované TIM0, TIM1, TIM2 a TIM3. Každý z nich může být nastaven konfigurací firmware například podle šířky impulsu a frekvence, generování tvaru křivky funkce, čítání událostí a obousměrného čítače. Toto všechno zajišťuje procesor díky připojeným krystalům 25MHz a 32.768kHz, které dále umožňují funkci měření reálného času, kalendáře. Zároveň i umožňují přecházení procesoru do určitých stavů (Run, Idle, and Sleep Mode).

Procesor poskytuje integrovaný třífázový indukční motorový regulátor (Three-phase induction motor controller IMC) pro ovládání rychlosti otáček. Šest PWM výstupů generuje pro řízení na pinech P6.0 a P6.5 třífázovou AC hodnotu indukce pro obvodový rozvaděč. Zpětná vazba rychlosti rotoru je pomocí vstupního signálu z tachometru přivedena na pin P6.6. Pin P6.7 je používán k nouzovému zastavení motoru.

Sběrnice pro externí paměť a periferní zařízení je označovaná jako EMI (External memory interface), nalézá se na 7, 8 a 9 portu a pracuje s 8 nebo 16bity. Citace [11].



Obr. 11.: Rozmístění pinů procesoru na pouzdře LQFP128. Zdroj [11].

Procesor se programuje pomocí rozhraní JTAG (Joint Test Action Group). Standard IEEE 1149.1 je obecně nazývaný jako JTAG, je jednoduchý systém pro komunikaci se zařízením a zároveň umožňuje jeho vzdálené testování. Tato testovací architektura byla vyvinuta Joint Test Action Group a později byla přijata jako IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan. Standard se nabízí jako efektivní metoda při testování užívaných metod ke skenování rozhraní nazývaných Boundary-scan technique. Nejčastěji se používá v oblasti FPGA (Field Programmable Gate Array), kde umožňuje například dálkové nahrávání dat do Flash pamětí procesorů, zároveň jejich testování a řízení. Vybraný procesor ale neobsahuje technologii FPGA a zmíním se zde o ní jenom informativně. Flash paměť je nevolatilní (semipermanentní) paměť typu RAM (s náhodným přístupem), samozřejmě je elektricky programovatelná. Paměť je vnitřně organizována po blocích. Na rozdíl od pamětí typu EEPROM ji lze programovat po blocích samostatně (obsah ostatních bloků je zachován). Paměť se nejčastěji používá jako paměť typu ROM pro uložení firmware. Výhodou této paměti je, že ji lze znovu přeprogramovat (např. up-gradování novějších verzí firmware) s použitím minima pomocných obvodů. JTAG komunikační rozhraní obsahuje pět signálů:

TDI (Test Data Input) - sériový vstup pro přenos dat a instrukcí

TDO (Test Data Output) - sériový výstup pro přenos dat a instrukcí

TCK (Test Clock input) - hodiny pro testovací logiku, pomocí nichž se posouvají data a instrukce, maximální frekvence je 20MHz, vstupní data se načítají náběžnou hranou a výstupní data se vysouvají sestupnou hranou.

TMS (Test Mode Selector) - sériový vstup pro řídicí bity testovací logiky

TRST (Test Asynchronous Reset Input) - asynchronní reset aktivní v log.0

Tyto signály mají možnou komunikaci přes TAP (Test Access Port) s vnitřním jádrem, které provádí samotné dekódování a plně využívá zmíněné signály. Toto jádro se dá rozdělit do třech bloků:

TAP controller (Test Acces Port controller)

TAP Instruction Register

Test Data Registers

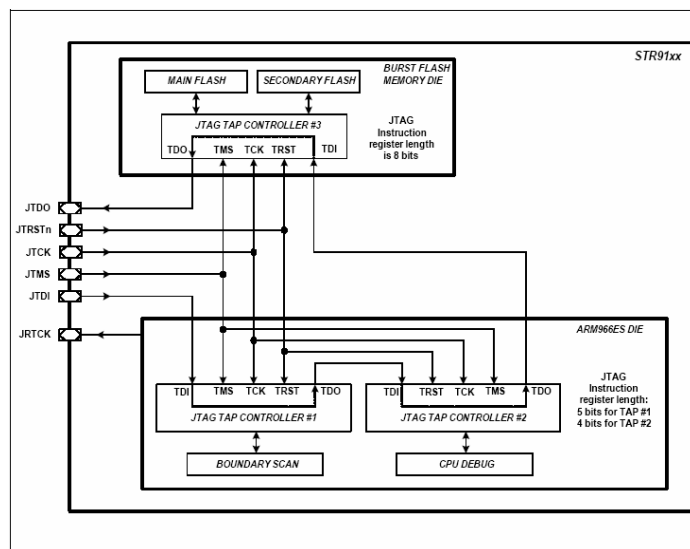
Veškeré řízení a zpracování celé komunikace probíhá prostřednictvím sériového načítání instrukce pomocí vstupu TDI do instrukčního registru nebo pomocí dat v Data registru. Instrukce je poté dekódována prostřednictvím TAP řadiče. Jeho vstupem je hodinový signál, resetovací signál a signál výběru módu. Výstupní instrukce nebo data opět vystupují pomocí signálu z výstupu TDO. TAP řadič je 16 stavový (4 bitový) řídicí automat, který přijímá TCK a TMS signály (případně i TRST), jejichž pomocí vytváří řídicí a hodinové signály pro celý testovací systém.

Boudary - Scan Register je datový testovací registr a umožňující řídit a sledovat každý I/O pin součástky FPGA (mimo CLK pinu, který může být jen sledován, nikoliv řízen). Každá buňka obsahuje sériový i paralelní vstup a výstup (pro možnost posuvu dat z TDI a do TDO) pro obecnou komunikaci součástky s logickým jádrem. Každá buňka má velmi podobnou strukturu jako buňka v instrukčním registru.

V diagnostickém režimu se pomocí Instrukčního registru může provádět sondování výstupů jednotlivých modulů a buněk logického jádra součástky. To je umožněno pomocí X-Y registru obsahujícího posuvný registr, jehož velikost je závislá na velikosti součástky. Existence tohoto registru umožňuje analýzu každého vnitřního signálu. Zavedením instrukce do instrukčního cyklu se může do X-Y registru nahrát adresa sledovaného modulu či buňky. Příslušná sonda zjistí hodnoty sledované buňky a posune se do dalšího registru, který je

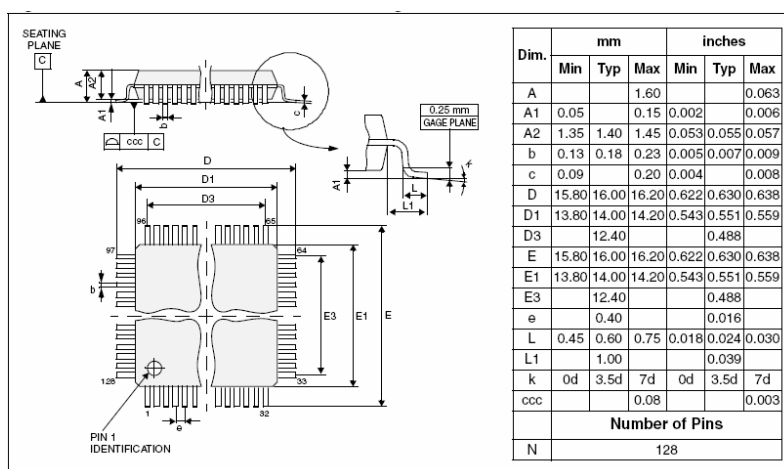
napojen do řetězce. Data ze sondy se vysunou ven pomocí signálu TDO při nasouvání nové adresy do X-Y registru. Diagnostika může probíhat v reálném čase právě pomocí sond.

JTAG komunikace se dnes používá na obvodech FPGA, vývojových deskách a kitech, u kterých je nutné zajistit pohodlné a podrobné testování. JTAG pro komunikaci s PC například využívají i vývojové desky pro signálové procesory (DSP) od firmy Texas Instruments, pro návrh a testování algoritmů číslcového zpracování signálů. Citace [13].



Obr. 12.: Schéma JTAG komunikace. Zdroj [11].

Procesor STR912FW44X6 je uložen v pouzdru LQFP128. Základní rozměry jsou zobrazeny na obrázku a v tabulce. Ty byly důležité pro použití na nové vzniklé HW desce, o které se ještě dále zmíním. Procesor je totiž relativně malý a obsahuje hodně pinů, proto byly pájecí plošky na desce zdvojnásobeny na délku, aby se procesor mohl lépe připájet.



Obr. 13.: Základní rozměry pouzdra procesoru. Zdroj [11].

4.4. Schéma a deska nového HW zařízení SMComm

Jak už bylo řečeno prvním cílem diplomové práce bylo vytvořit HW pro měření a záznam fyzikálních veličin s různými možnostmi vzdálené komunikace k použití v průmyslovém nebo skladovacím prostředí. Nově vzniklé HW zařízení bylo v průběhu práce nazváno SMComm a dále se i tak o něm budu zmiňovat v této diplomové práci. Také bylo řečeno, že základ nového zařízení bude tvořit procesor STR912FW44X6 od firmy STMicroelectronics s jádrem ARM966E-S, s Flash 512+32kb a RAM 96kb, s periferními rozhraními Ethernet, USB, CAN, EMI, 80 I/O, AC Motor Control, 4 Timers, 8x10bit ADC, RTC. Procesor se programuje pomocí JTAG programátoru.

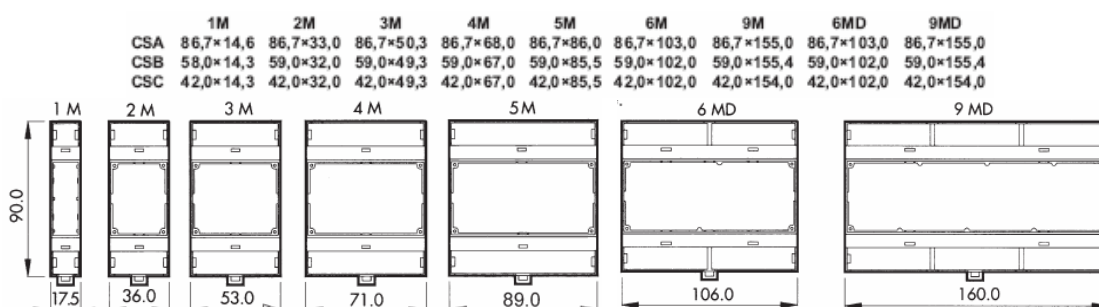
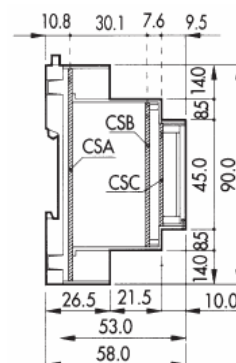
Ještě bych se rád zmínil o vývojovém prostředí, ve kterém bylo zařízení SMComm navrženo. Program Eagle 4.16 poskytl dostatečné množství knihoven HW součástek, i tak se muselo mnoho pouzder upravit pro použití. Veškerá další použitá schémata a obrázky obsažené v přílohách budou pocházet z tohoto programu.

Celé zařízení SMComm bylo navrhováno tak, aby mohlo být osazeno různými prvky, které si může uživatel vybrat podle svého přání. Zároveň je zařízení SMComm navrženo především ze součástek technologie SMD, které odpovídají direktivám RoHS. Součástky určené pro povrchovou montáž jsou označovány jako SMD (Surface Mount Device). Povrchová montáž se prosadila především díky miniaturizaci elektroniky v průběhu 80. let. Dnes se používá v téměř každém sériově vyráběném elektronickém přístroji. Výhody jsou zřejmé, obvod je menší a kompaktnější, jednodušší a levnější je i výroba v průmyslu (méně vrtání). Součástky se zpravidla umísťují po obou stranách desky. Nevýhodou je obtížnější ruční pájení jemných kontaktů (pro amatéry nebo opraváře) zejména u integrovaných obvodů a nižší mechanická odolnost. Pasivní součástky jako odpory, keramické kondenzátory a cívky jsou většinou uloženy v pouzdrech SMD 0805. Pouze například zakončovací odpory u vzdálených komunikací jsou v pouzdrech 1206 kvůli lepším vlastnostem.

RoHS (Restriction of the use of Hazardous Substances) je direktiva zakazující použití nebezpečných látek v elektrických a elektronických výrobcích, vydána byla Evropskou komisí 27. ledna 2003. Nařizuje všem členským státům Evropské unie uzákonit tuto direktivu jako závazný zákonný předpis s platností od 1.července 2006. Cílem je zakázat používání nebezpečných látek při výrobě elektrického a elektronického zařízení a tím přispět k ochraně lidského zdraví a životního prostředí. Direktiva RoHS zakazuje použití těchto šesti látek: kadmium, rtuť, olovo, šestimocný chróm, polybromované bifenyly (PBB) a polybromované difenylethery (PBDE). Výrobci zodpovídají za to, že jejich výrobky a zařízení neobsahují ani

jednu ze zmíněných šesti zakázaných látek. Direktiva se bohužel nevztahuje přímo na jednotlivé komponenty a polotovary a tak výrobci konečného zařízení jsou povinni provést takové kroky, aby všechny materiálové části, které jsou použity v jejich výrobcích, neobsahovaly určené látky. Ačkoliv RoHS direktiva platí pouze pro EU, výrobci všech elektronických zařízení mimo EU mají stejnou povinnost, pokud jsou jejich výrobky importovány jednotlivými státy EU. Citace [14].

Vzniklé zařízení je chráněno proti poškození krytem Modulbox řady H53 od firmy Italtronic. Lze ho přidělat na DIN lištu. Pouze potřebná rozhraní jsou vyvedena pro snadné a bezpečné používání. Jednoduchá montáž zařízení na liště DIN v rozváděči značně snižuje nároky na kabelové rozvody. Pro jednotlivé přístroje se nemusejí pracně vyrábět výřezy v rozváděči a odpadají příslušné montážní doby.



Obr. 14.: Schémata a rozměry krytů řady H53 Modulbox. Zdroj [15].

Tento kryt nabízí umístění celkem pro tři desky plošných spojů. Na spodní desce, která je největší a označena jako CSA, se většinou nachází procesor a základní rozhraní. Další dvě přední CSB a CSC se liší pouze šířkou a používají se pro umístění LCD, LED diod pro zobrazení určitých stavů a k umístění tlačítek pro ovládání. Počítalo se, že by se mohl použít Modulbox o velikosti 5M - 89x90x58mm, ale protože na přední desce byl kromě LCD displeje, LED diod a tlačítek použit i bluetooth modul kvůli lepšímu dosahu, muselo být zařízení umístěno do větší řady 6MD - 106x90x58mm. Rozměry desek plošných spojů o tloušťce 1,6mm jsou pro desku CSA 86,7x103,0mm a pro desku CSB 59,0x102,0mm. Dvouvrstvé desky plošných spojů byly dány do výroby firmě PragoBoard s.r.o. sídlící v areálu Technologického parku v Běchovicích - Praha 9. Původně byly veškeré signálové dráhy na plošném spoji o tloušťce 4mil (0,1016mm), dále bylo na jedné straně plošného spoje vylita měď zem a na druhé straně napětí 3,3V. Toto ale způsobilo technologicky vysokou náročnost (ohodnoceno obtížností č.7) a firma PragoBoard nebyla schopna plošný spoj kvalitně vyrobit, proto jsem firmě vyšel vstříc a veškeré signálové dráhy zesílil na 8mil

(0,2032mm). Do výroby byly dány celkem 3ks desek plošných spojů od každého druhu (celkem 6ks). Firma PragoBoard zpracovala vstupní data a provedla jejich vykreslení na fotoplotru.

Také bylo řečeno, že velkou inspirací u mnoha řešených problémů byl vývojový kit STR910-EVAL evaluation board od firmy STMicroelectronics, která poskytuje na svých stránkách mnoho použitelných informací v podobě schémat a programů. Citace [22].

Napájení zařízení SMComm je právě velmi podobně řešeno jako napájení kitu STR910-EVAL a je opět řešeno několika variantami. Zařízení je možno napájet ze třech různých zdrojů. Opět o zvoleném napájení rozhoduje poloha jumperu. První variantou je napájení pomocí síťového napáječe vytvářejícího stabilizované napětí 5V. Na našem trhu bylo nalezeno několik možných síťových napáječů, které splňují požadované vlastnosti a pro příklad je uveden síťový napáječ MW 5V/2,7A stabilizovaný (GES 075 067 86) - Impulzní zdroj, vstup 100-240V 50/60Hz, malé rozměry 80x45x33mm a hmotnost 120g, výstup - kabel 1,7m, konektor 5,5/2,1mm. Cena síťového napáječe se pohybuje okolo 230kč. Druhou variantou je napájení pomocí USB konektoru, kde je však omezen odběr proudu na 500mA. USB rozhraní používá dva základní typy konektorů. Plochý konektor (typ A) je dnes obsažen na prakticky každém PC. Druhý konektor (typ B) je určen pro periferní zařízení. Kromě těchto dvou základních typů konektorů jsou občas používány i další typy, většinou nazývané Mini-B. Tyto konektory se používají zejména v malých zařízeních, např. v digitálních fotoaparátech, kde by byl klasický konektor B příliš velký. Právě použití tohoto typu konektoru bylo nejvhodnější. Použit byl konektor USB Mini-B 500075-1517 Molex. Poslední možnou variantou je napájení z jiného podobného 5V zdroje, to může být například vhodná baterie nebo akumulátor (např. Li-POL 5V), který se připojí na dva kolíky. Z těchto kolíků je možné i napájení odebírat při použití varianty napájení přes síťový adaptér nebo USB. Napájení desky signalizuje LED dioda.



Obr. 15.: Ukázka možností napájení - USB Mini-B a síťový napáječ MW 5V/2,7A

Napětí 5V je na zařízení SMComm používáno na sběrnici 1-Wire k napájení senzorů a o konstrukci této sběrnice jsem se už zmínil. Sběrnice 1-Wire jsou na zařízení SMComm

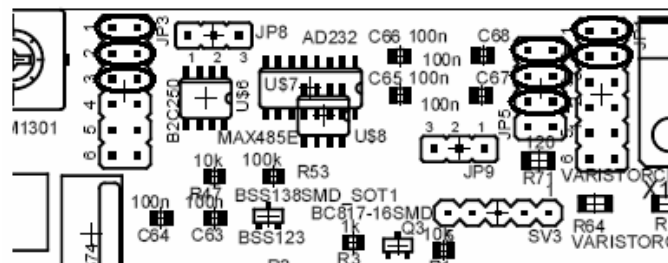
celkem dvě. Napětí 5V je také používáno pro napájení LCD displeje, o kterém se ještě zmíním. Dále je napětí 5V využito pro velmi důležitou část zařízení SMCComm, pro galvanické oddělení napětí vzdálené komunikace (CAN, RS232 a RS485). Pro procesor je napětí 5V upraveno díky stabilizátorům napětí s nízkým úbytkem na 3,3V a 1,8V. Stabilizátor napětí 3,3V tvoří součástka TPS62040DGQ v pouzdru S-PDSO-G10 (Plastic Small-Outline Package) od firmy Texas Instruments a stejně tak i podobná součástka TPS60500DGS ve stejném pouzdře tvoří napětí 1,8V. Kondenzátory a cívky, které jsou připojeny k jednotlivým stabilizátorům jsou na desce rozmístěny, tak aby zaujímaly co nejmenší povrch okolo stabilizátorů.

Napájení 3,3V a 1,8V je přivedeno k procesoru STR912FW44X6. Na schématu je vidět rozložení všech rozhraní a I/O na pinech procesoru, které se takto nastaví pomocí firmware. Rovnoměrnost napájení po celé desce a hlavně okolo procesoru zajišťují stínící kondenzátory 100nF, dva z nich jsou tantalové. CT_10M/16V SMD tantalový kondenzátor je vlastnostmi podobný elektrolytickému s hliníkovou fólií, ale má lepší frekvenční a teplotní charakteristiky. Je uložen v pouzdře c1206. Všechny stínící kondenzátory jsou rozmístěny, tak aby byly na každé straně procesoru pro každé dané napětí 3,3V a 1,8V. Dalšími součástkami, které jsou na desce umístěny co nejbližší k procesoru, jsou krystaly SMD o frekvenci 32.768kHz a 25MHz a k nim patřící příslušné odpory a kondenzátory.

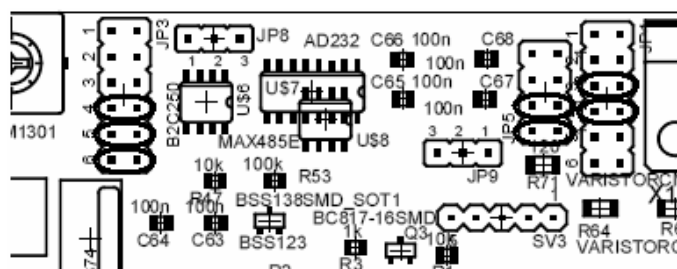
Další inspirací kitu STR910-EVAL bylo provedení vzdálené komunikace ethernet. Toto rozhraní je na zařízení SMCComm opět řešeno pomocí připojeného transceiveru STE100P na rozhraní procesoru MII. Snaha byla o co největší zjednodušení schématu omezením pasivních součástek (odporů, kondenzátorů,...) ethernetového rozhraní na kitu STR910-EVAL a zanechání funkčnosti komunikace. Například na transceiver STE100P není připojen další krystal o frekvenci 25MHz, ale je použit krystal napojený na procesor, který frekvenci poskytuje díky pinu MII_PHY_CLK. Okolo transceiveru jsou na desce opět rozmístěny z každé strany čtyři stínící kondenzátory. Na desce je vyveden pin transceiveru označený jako RIP. Routing Information Protocol (RIP) je směrovací protokol umožňující směrovačům komunikovat mezi sebou a reagovat na změny topologie počítačové sítě. Protokol RIP je typu distance-vector (vektor vzdálenosti) využívající Bellman-Fordův algoritmus pro určení nejkratší cesty v síti. Metrikou směrování v síti je počet skoků k cíli (hop count). Směrovače si vyměňují směrovací tabulky periodicky každých 30 sekund. RIP nachází své uplatnění v menších sítích a to především pro svoji nenáročnou konfiguraci a jednoduchost, patří mezi nejstarší doposud používané směrovací protokoly v sítích IP. Ethernet už dnes používá jako přenosové medium kroucenou dvojlinku místo koaxiálního kabelu. Ta se označuje příponou T

nebo TX. Kabely mohou být nestíněné (UTP - Unshielded Twisted Pair) a stíněné (STP - Shielded Twisted Pair), které se používají v průmyslovém prostředí (odolnější proti rušení). Používá se stínění celého kabelu, nebo i jednotlivých párů. Ethernet je pak na desce vyveden do konektoru RJ45 se zabudovaným transformátorem pro standardy lokální sítě fast ethernet 10Base-T (IEEE802.3) a 100Base-TX (IEEE802.3u). Je to koncovka typu 8P8C (8 pozic, 8 vodičů). Konektor RJ45 je s LED signalizací stavu ethernetu. Žlutá LED dioda blikáním signalizuje vysílání nebo příjem cesty ethernetu. Zelená LED dioda je rozsvícená, když je objeveno dobré spojení. Zařízení pak umožňuje používání algoritmu detekce vysílání s mnohanásobným přístupem a detekcí chyb (CSMA/CD) nebo plně duplexní komunikace.

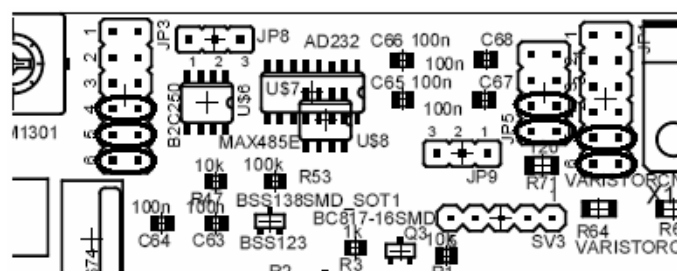
Pro další vzdálenou komunikaci bylo na zařízení SMComm vytvořeno galvanické oddělení. Původně se počítalo se dvěma galvanickými odděleními pro CAN a RS-485 (nebo RS-232), ale z důvodů nedostatku místa na desce se tyto komunikace musely propojit, což byl docela složitý problém. Galvanické oddělení je vytvořeno dvěma součástkami: pomocí DC/DC jednofázového konvertoru malého výkonu CHM0505 5V/5V 1W v pouzdře SIP4 od české firmy Hypel (nebo se dá použít součástka VME0505S 1W od firmy VITEC) a pomocí tří-kanálového digitálního izolátoru ADUM1301 v pouzdře SOIC-W RW-16 od firmy Analog Devices. Galvanické oddělení je ovládáno pinem procesoru označeným jako ON_5V1 a nízkofrekvenčními tranzistory BC817-16 SMD a BC807-16 SMD, oba v pouzdře SOT23. Díky třem přenastavitelným jumperům (JP3, JP5, JP1) a změně firmware jsou možné kombinace těchto vzdálených komunikací CAN2.0B, RS-485 nebo RS-232 – zaleží jakým transceiverem se zařízení SMComm osadí. Kolíková lišta lámací KL-2x6 SG AS sloužící pro jumper (JP3) může zároveň posloužit jako přímý odposlech pinu rozhraní UART1 nebo CAN na procesoru. Následující obrázky znázorňují jednotlivé pozice jumperů pro jednotlivé komunikace.



Obr. 16.: Poloha jumperů pro komunikaci CAN



Obr. 17.: Poloha jumperů pro komunikaci RS-232



Obr. 18.: Poloha jumperů pro komunikaci RS-485

Vzdálená komunikace CAN2.0B je s možností obou módů high-speed a slope-control, které jsou ovládány pomocí jumperu (JP8) a tranzistoru MOSFET BSS138-SMD v pouzdře SOT23. Použitý budič sběrnice CAN je PCA82C250T v pouzdře SO08 od firmy Philips. Přenosovým prostředkem je sběrnice tvořená dvou vodičovým vedením, jehož signálové vodiče jsou označeny CAN_H a CAN_L. Odděleny jsou zakončovacím rezistorem 120 Ω (zakončovací impedance). K této sběrnici se mohou dále připojit jednotlivé komunikační uzly. Sběrnice používá dva logické stavy. První je aktivní (dominant - dominantní) a druhý pasivní (recessive - recesivní), přičemž dominantní stav představuje log.0., recesivní stav log.1. Sběrnice je v dominantním (aktivním) stavu, když je alespoň jeden její uzel v dominantním stavu, v recesivním (pasivním) stavu je pak sběrnice tehdy, jsou-li všechny její uzly v recesivním stavu. Recesivní stav je, když rozdíl napětí mezi vodiči CAN_H a CAN_L je nulový. Dominantní stav pak je reprezentován nenulovým rozdílem napětí. Spínače signálových vodičů jsou konstruovány tak, aby v dominantním stavu na vodiči CAN_H bylo napětí v rozsahu 3,5 až 5V, na vodiči CAN_L napětí v rozsahu 0 až 1,5V. V recesivním stavu je napětí vodičů CAN_H a CAN_L stejné a je zajištěno odporovou sítí na vstupu přijímače.

Rozhraní UART1 na procesoru je možno podle výběru zákazníka osadit budičem sběrnice RS-232 5V, jako například AD232 (nebo MAX232CSE) v pouzdře SO16 od firmy Analog Device, nebo budičem sběrnice RS-485 5V, jako například MAX485CSA v pouzdru SO08 od firmy MAXIM - Dallas Semiconductor.

RS-232 je původně rozhraní pro přenos informací vytvořené pro komunikaci dvou zařízení (jeden vysílač a jeden přijímač) do vzdálenosti 20 m (kapacita vodiče 2500 pF).

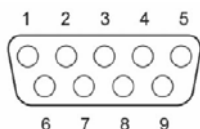
Odolnost proti rušení informace po propojovacích vodičích by se dala zlepšit větším napětím, než je standardních 5 V. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu. Počet datových bitů je volitelný, obvykle se používá 8 bitů. RS-232 používá dvě napěťové úrovně – log.1. (marking state - klidový stav) a log.0. (space state). Log. 1 je indikována zápornou úrovní, zatímco logická 0 je přenášena kladnou úrovní výstupních vodičů. Základní tři vodiče rozhraní - příjem RxD (Receive Data), vysílání TxD (Transmit Data) a společná zem GND (Signal Ground), jsou někdy doplněny ještě dalšími sloužícími k řízení přenosu - vstupy DCD (Data Carrier Detect), DSR (Data Set Ready), CTS (Clear to Send), RI (Ring Indicator) a výstupy DTR (Data Terminal Ready), RST (Request to Send), ty však nebyly použity. Komunikace RS-232 je vhodná pro point-to-point komunikaci při nízkých rychlostech, nevýhodou je omezená komunikační vzdálenost a nemožnost větvení.

Průmyslová sériová datová komunikace RS-485 patří již dlouhodobě stále k základům datové komunikace a jejích služeb využívá i většina různých průmyslových sběrnic (např. PROFIBUS-DP, MODBUS atd.). Jedním párem vodičů lze propojit mezi sebou více zařízení (až 32 jednotek, ale existují přijímače s menší zátěží, takže jich může být až 128). RS-485 využívá dvou vodičový stíněný kabel typu twisted pair (zkroucený pár), kde jednotlivé logické stavy jsou reprezentovány rozdílovým napětím mezi oběma vodiči. To znamená, že vodiče jsou vysílačem buzeny v protifázi a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl (Balanced Data Transmission, nebo také Differential Voltage Transmission). Na rozdíl od sběrnice RS-232 tak zde není žádná referenční napěťová hladina, která je reprezentována nulovým napětím země GND. Jednotlivé vodiče jsou označeny jako A / B, kde A označuje tzv. invertovaný vodič a B jako neinvertovaný vodič. Správný vysílač by měl generovat na výstupu úroveň + 2 V a - 2 V a přijímač by měl být ještě schopen rozlišit úroveň +200 mV a -200 mV jako platný signál. Proto je nezbytné používat linku RS-485 vždy s galvanickým oddělením, jinak se jejich výhody ztratí. Linky RS-485 se používají pro nejrůznější přenosy dat v průmyslovém prostředí s maximální délkou vedení až 1200 metrů a přenosovou rychlostí 2.5 MB/s.

Komunikace CAN, RS-232 nebo RS-485 jsou galvanicky odděleny a jsou vyvedeny na standardně používaný 9-pinový konektor D-SUB (Cannon 9). Konektor je typu samec (vidličky). Aby piny konektoru odpovídaly požadované komunikaci jsou ovládány pomocí jumperu (JP1). V následující tabulce je vidět časté zapojení konektoru při určitých komunikacích.

Vzdálená komunikace:	Výstup:	Číslo pinu na konektoru:
CAN	CAN H	7
	CAN L	2
RS485	Kanál A	3
	Kanál B	8
RS232	TXD	3
	RXD	2
Napájení	5V	9
Zem	GND	5

Tab. 4.: Tabulka znázorňující výstupy komunikací na konektoru D-SUB



Obr. 19.: Znázornění 9-pin konektoru D-SUB (Cannon 9)

Zakončovací odpory (impedanční zakončení) jsou o velikosti $10k\Omega$ a slouží k definování klidového stavu linky. V tomto stavu je linka extrémně citlivá na indukovaná napětí (poruchy), která se jeví jako přicházející data, proto je třeba definovat klidový stav linky připojením dalšího rezistoru o velikosti 120Ω mezi datové kanály. Díky dalšímu jumperu (JP9) je možnost odpojit tuto zatěžovací impedanci o velikosti 120Ω , protože pro velmi krátká vedení tato impedance nemusí být obsažena. Hlavní datové kanály jsou jištěny varistory ZVX 8S 1206 400R v pouzdru CT/CN1206. Varistor je nelineární polovodičová součástka, jejíž odpor závisí na napětí (Voltage Dependent Resistor – rezistor závislý na napětí). Používá se ke stabilizaci stejnosměrných napětí a jako přepětíová ochrana. Lze ho použít k ochraně kontaktů relé před jiskřením. Varistory poměrně dobře snášejí impulsové zatížení a propouštějí krátkodobě i velké proudy bez poškození.

Na vývojové desce STR910-EVAL byla možnost připojit transceiver bezdrátové komunikace IrDA. To bylo malou inspirací pro zařízení SMCComm k použití nějaké bezdrátové komunikace, která by tak ještě rozšířila možnost využití tam, kde komplikuje spojení kabel. Komunikace pomocí IrDA ale vyžaduje mezi komunikujícími přímou viditelnost, má velmi omezený dosah (cca 1 metr) a poměrně nízkou přenosovou rychlost (2,4 kbit/s až 16 Mbit/s), a tak se rozhodlo použít kvalitnější bezdrátovou komunikaci. Na výběr bylo z několika komunikací a jejich vlastnosti jsou shrnuty v následující tabulce. Zatímco ve spotřební elektronice se velmi rozšířil standard Bluetooth pro komunikaci na krátké vzdálenosti do několika metrů. Technologie WiFi nabízí rychlý přenos dat až na stovky

metrů a stává se populární již i v průmyslových aplikacích, kde se zatím bezdrátový přenos moc nevyužíval nebo jen v jednoduché podobě komunikace point-to-point jako přímá náhrada propojovacího kabelu. Technologie WiFi se však obecně vyznačuje dost velkou spotřebou el. energie a složitostí zabezpečení ochrany dat. Komunikace ZigBee se zatím přes svoje přednosti prosazuje velmi pomalu, a proto byla na zařízení SMCComm vybrána bezdrátová komunikace Bluetooth.

Název	GPRS/GSM	WiFi	Bluetooth	ZigBee	IrDA
Standart	1xRTT/CDMA	802.11b	802.15.1	802.15.4	
Aplikační zaměření	Hlas a data	Web, Email, Video	Náhrada za kabel	Monitorování a řízení	Náhrada za kabel
Max. velikost sítě (počet uzlů)	1	32	7	65 000 (až 2^{64})	1
Přenosová rychlost (Kb/s)	64-128	11 000	723	20-250	2,4-115,2
Komunikační dosah (m)	1000 i více	1-100	1-10(až 100)	1-100	1
Výhody	Dosažitelnost, kvalita	Rychlost, flexibilita	Cena, jednoduchost	Spolehlivost, výkon/cena	Cena, jednoduchost
Nevýhody	Náročnost	Spotřeba energie, ochrana dat	Komunikační dosah	Malá oblíbenost	Přímá viditelnost

Tab. 5.: Porovnání bezdrátových technologií

Technologie Bluetooth je založena na radiovém spojení v pásmu s generální licencí, tzv. nelicencované pásmo (pásmo ISM - Industrial, Scientific, Medical) - to je 2,4GHz. Standard je koncipován pro jednoduché a stálé propojení mezi širokou škálou komunikačních zařízení, jako jsou mobilní telefony, počítače, počítačové periferie, tiskárny, fotoaparáty, PDA, komunikační periferie a další přenosná zařízení. Toto bezdrátové řešení je specifické několika klíčovými vlastnostmi - miniaturní velikostí, nízkou cenou, robustním spojením, krátkým dosahem (standardně 10m ale až 100m), malým příkonem, automatickou konfigurací. Vzhledem k těmto vlastnostem standardu se začínají jeho aplikace prosazovat i do průmyslového prostředí. Zde se využívá k propojení senzorů, akčních členů, dále pro telemetrii a přenos informací v měřicích systémech. Používá se vlastně jako náhrada hardwarově a softwarově nekompatibilních kabelových řešení. Bezdrátový přístup k internetu je dnes častou aplikací pro tuto komunikaci. Komunikace je založena na přeskakující rádiové frekvenci (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS). V pásmu 2 400 až 2 483,5 MHz definuje standard 79 frekvenčních pozic se šířkou pásma 1 MHz (1600 skoků za sekundu),

jejichž základní frekvence jsou dány vztahem: $f_k = 2402 + K$. Technologie podporuje komunikaci jak dvoubodovou (point-to-point), tak mnohabodovou až se sedmi dalšími bluetooth zařízeními (sít' piconet), přenosová rychlost se pohybuje okolo 720 kbit/s. V rámci Piconetu je jedno zařízení (master) nadřazeno ostatním (slave). Přístup ke komunikačnímu kanálu řídí pro všechny jednotky master. Na procesor zařízení SMComm je na rozhraní UART0 připojen bluetooth modul LMX9830, který odpovídá vývojové technologii BlueNiceCom4. Ten se nachází na zařízení SMComm na přední menší desce (CSB) kvůli kvalitnějšímu spojení. K přímému odposlechu pinů rozhraní UART0, na kterém je bluetooth modul, může zároveň posloužit kolíková lišta KL-1x5 SG AS sloužící pro jumper (SV3).

Další možnou komunikací, jak už jsem se zmínil u napájení, je USB2.0 s rychlostí přenosu dat 12Mb/s (Full Speed). Tato komunikace je umožněna díky pinům procesoru USB_D+ a USB_D-, na které jsou správně připojené diody BAV99SMD v pouzdrech SOT23 a tranzistor BC817-16 SMD ve stejném pouzdru. Ten zajišťuje správnou definici rychlostí Low Speed a Full Speed díky speciálnímu nastavovacímu režimu, kdy je USB_D+ nebo USB_D- připojeno k 3.3V přes pull-up odpor o velikosti 1,5kΩ. Tento odpor je použit zároveň protistranou k detekci. Dále se pro zapojení nemusí používat USB kabel s feritovou perlou, protože tu už obsahuje zařízení SMComm. Feritové perly se používají jako tlumivky, určeny jsou pro všechny kmitočtové rozsahy, pro VF tranzistorová, tyristorová a triaková zapojení. Tlumicí účinek roste lineárně s počtem nasunutých perel.

Procesor může data nahrávat do 4Mbit DataFlashové paměti AT45DB041B-SU v pouzdře SOIC8 od firmy Atmel. Paměť je připojena na rozhraní procesoru SPI. Řešilo se i možné nahrazení DataFlash paměti, připojením jednotky pro použití paměťové mikro-sd karty. Obtížné ale bylo umístit jednotku pro kartu tak, aby byla dobře přístupná, a také by se musel upravovat kryt zařízení.

K programování zařízení SMComm se opět jako u desky STR910-EVAL používá JTAG rozhraní s 8-piny (V_{DD} , GND, TDI, TDO, TCK, TMS, RTCK, TRST a RESET_IN).

Dále je možné data nebo stav zařízení zobrazit na šestnácti znakovém dvouřádkovém LCD displeji TM162BBC6, u kterého je možnost ovládat podsvícení díky tranzistoru BC817-16 SMD v pouzdře SOT23 a pinu procesoru označeném ON_LCD. LCD displej je umístěn na přední menší desce plošného spoje CSB. Tento LCD displej byl při osazování nahrazen podobným druhem displeje TM162B2D, který je též se dvěma řádky o šestnácti znacích. Stejně tak jsou na přední desce umístěny LED diody, které se využívají na další možné zobrazení stavů zařízení SMComm. Pro ovládání zařízení je na stejné desce umístěno pět

tlačítek. LED diody se nalézají v řadě nad těmito tlačítky, aby se při ovládání pravou rukou nezakrývaly a byli přehledně viditelné. Pro ovládání levou rukou se dá také využít potenciometr (odporový trimr) umístěný na velké základní desce plošného spoje CSA vlevo nahoře.

Po zhotovení a osazení zařízení jsem začal přemýšlet o lepším rozmístění součástek tak, aby se získalo více využitelného místa. Toto místo by se pak dalo využít pro další galvanické oddělení, jak bylo původně plánováno. Tím by se zjednodušila volba vzdálené komunikace (CAN, RS-485 nebo RS-232) a odstranilo by se nepříjemné přepínání jumperů. Toto se podařilo a vznikla tak 2.verze zařízení SMCComm. Zde už jsou dvě galvanická oddělení, jedno pro komunikaci CAN a druhé pro komunikaci RS-485 nebo RS-232. Zde je opět na výběr podle zákazníka a záleží na osazení zařízení. Verze č.2. zatím nebyla zhotovena a čeká se na ověření a funkčnost verze č.1. Všechny navržené dvouvrstvé spoje CSA a CSB (verze č.1. i č.2.) jsou obsaženy v příloze diplomové práce společně se seznamem všech použitých součástek.

5. Programování procesoru

Procesor STR912FW44X6 se může programovat jak v jazyku C tak i pomocí assembleru. Zvolil jsem programovací jazyk C. Na výběr bylo z několika programovacích prostředí jako například Hitex, Keil, IAR, Raisonance. Hodně výhod díky možnosti použití USB J-TAG programátoru (J-link), který například poskytuje přímé nahrávání do procesoru a krokování procesoru při běhu programu, nabízí vývojové prostředí IAR Embedded Workbench. J-link je možno nahradit Flash-linkem, který se připojuje na paralelní port počítače. K přehrání programu do procesoru se pak používá program CAPS (Configuration and Programming Software) od STMicroelectronics.

5.1. Oživení procesoru

Při oživení procesoru byl použit externí regulovatelný napájecí zdroj s ochranou přepětí nastavený na 5V, který byl připojen na piny pro baterii. Odběr proudu nesměl přesáhnout 500mA. Po kontrole správné hodnoty napětí na výstupech stabilizátorů se mohlo zařízení přepojit na jiný vhodný zdroj napájení.

Ve vývojovém prostředí byl vytvořen nový projekt, který obsahoval základní konfigurační programy. Poté se už mohly začít kontrolovat jednotlivé vstupy a výstupy na procesoru. Ověřila se funkčnost LED diod, tlačítek a poosvětlení LCD displeje.

5.2. Programování sběrnice 1-Wire

Sběrnice 1-Wire™ byla navržena firmou Dallas Semiconductor. 1-Wire umožňuje připojit několik zařízení k řídicí jednotce prostřednictvím pouhých tří vodičů (Vcc, GND, Data). Sběrnice má jeden řídicí obvod (master) a jeden či více ovládaných zařízení (slave). Všechny součástky technologie se zapojují jednak na společnou zem, jednak paralelně na společný datový vodič. Dále je všechny prvky nutno napájet napětím +5V, i když existují součástky využívající stav Parasite Power, ty se pak zapojují pouze na dva vodiče. Datový vodič se připojuje přes odpor cca 5k na napájecí napětí. Jeho úkolem je zdvihat sběrnici do log. 1.

Komunikace se zahajuje vždy, když master vyšle reset puls. To se nejprve stáhne datový vodič do log. 0 (uzemní ho) a na této úrovni ho drží minimálně 480 mikrosekund. Pak se sběrnice uvolní a přejde se do stavu naslouchání. Odpor zatím vrátí sběrnici zpět do log. 1. V momentu, kdy je na sběrnici připojené nějaké 1-Wire zařízení, je detekována vzestupná hrana a po prodlevě (15 - 60 μ s) se stáhne sběrnice na 60-240 μ s k log. 0.

Při správném ohlášení zařízení může master začít vysílat nebo přijímat data. Data se vysílají blocích nazývaných Timeslot. Česky by se dalo říct nejspíš v časových úsecích nebo v okénkách. Slot se pohybuje v rozmezí 60 až 120 μ s a obsahuje jeden bit informace. Mezi jednotlivými sloty musí být minimálně mezera o velikosti 1 μ s, kdy je sběrnice v klidu.

Druhy slotů existují celkem čtyři: Zápis log. 1, Zápis log. 0, Čtení log. 1 a Čtení log. 0. Zápisové sloty se používají k tomu, aby master vyslal data do slave zařízení. Zápis log. 1 vypadá tak, že master stáhne sběrnici k nule minimálně na 1 μ s a maximálně do 15 μ s od začátku ji zase uvolní a tak ji ponechá. Zdvihací odpor tedy sběrnici vrátí do log. 1. Zápis log. 0 je o trochu jednodušší. Master stáhne sběrnici k log. 0 a ponechá ji tak minimálně po celý slot, to znamená min. 60 μ s. Zařízení slave sleduje stav na datovém vodiči zhruba 30 μ s po začátku timeslotu.

Čtecí sloty opět inicializuje master tím, že stáhne sběrnici k nule na minimálně 1 μ s a opět ji uvolní. Po tomto zahájení může zařízení vyslat 1 bit buď tím, že ponechá sběrnici v klidu (log. 1) nebo že ji stáhne (log. 0). Citace [16].

Figure 2. Reset Pulse and Presence Pulse

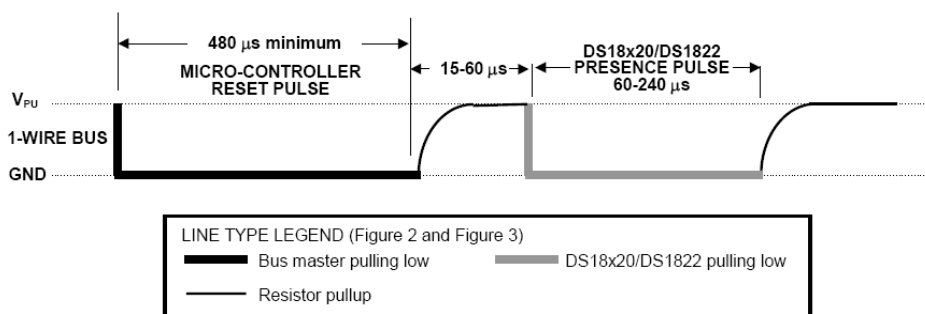
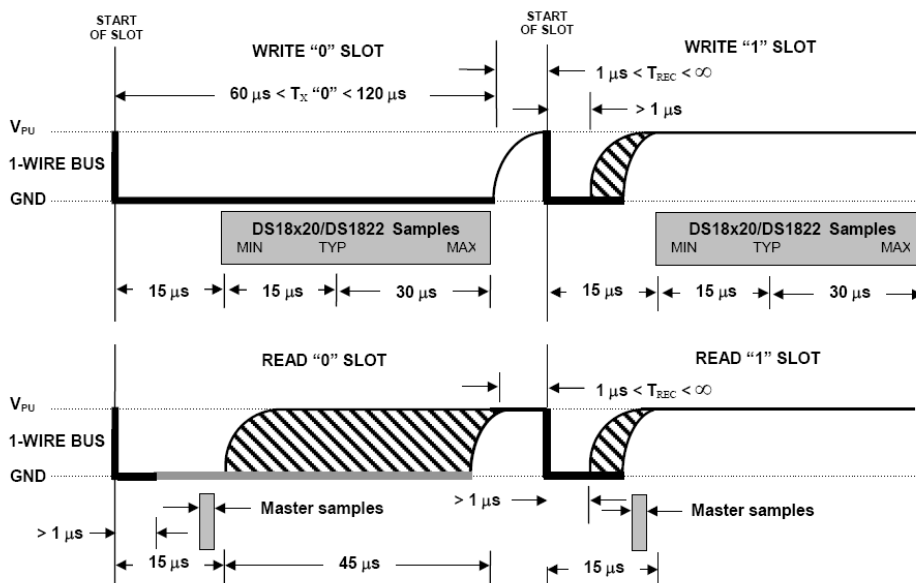


Figure 3. Write and Read Time Slots

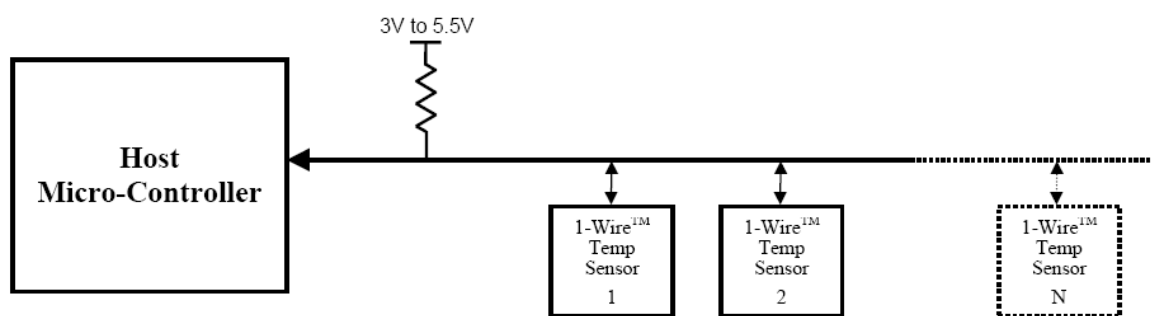


Obr. 20.: Průběhy na sběrnici 1-Wire™. Zdroj [19].

Tyto časy jsou pouze doporučené, podrobné mezní hodnoty anebo časování pro overdrive komunikaci jsou uvedeny [17]. Komunikace probíhá po bytech a vždy se nejdříve vysílá bit 0 (nejmenší) a pak až po bit 7, který je jako poslední.

Pokud se na jedné sběrnici nachází více 1-Wire zařízení, postup je složitější. Každé 1-Wire™ zařízení (iButton, teploměry, převodníky apod.) má vlastní adresu uloženou v paměti ROM, která obsahuje 64bitové unikátní číslo, pomocí kterého se jednotlivá zařízení na sběrnici od sebe navzájem dají odlišit. Toto číslo označuje typ zařízení (spodních 8 bitů, kódy jsou uvedeny v [18]), dále pak sériové číslo (48 bitů) a CRC kód (nejvyšších 8 bitů). Pomocí této adresy je každé zařízení jednoznačně identifikovatelné. Komunikace se pak stává poněkud složitější, protože po reset pulsu je nutno vyslat příkaz MatchROM, a pak 64bitový kód zařízení, se kterým se bude pracovat. Poté už se dají posílat příkazy. Citace [17,18]

Pokud je na jedné sběrnici připojeno více 1-Wire zařízení, je třeba nejprve zjistit ID adresy jednotlivých slave zařízení. Algoritmus je vcelku elegantní, ale není triviální.



Obr. 21.: Více zařízení připojených na 1-Wire™ sběrnici. Zdroj [19].

Pro většinu 1-Wire™ zařízení existuje příkaz Search (kód 0xF0). Zařízení, která se mohou nalézat i v nějakém poplachovém stavu akceptují i příkaz Alarm Search (kód 0xEC). Tento příkaz se od původního liší pouze tím, že na něj reagují zařízení, které jsou právě v poplachovém stavu (teplotní čidlo, u něhož je překročena nastavená hranice teploty apod.). To umožňuje rychleji najít, které zařízení má být obslouženo.

Zařízení přijímající příkaz Search odpovídá vysláním prvního (nejnižší) bitu své ID adresy (64bitového kódu). Pokud je na sběrnici víc zařízení, odpovídají všechny naráz. Ze specifikace 1-Wire™ sběrnice vyplývá, že pokud jsou zařízení připojena paralelně ke společnému vodiči k výstupu s otevřeným kolektorem, logický součin (AND) všech bitů. Po přijmutí tohoto bitu mastrem, vyšle se příkaz Search znova k získání dalšího bitu. Zařízení pak odpovídá na tento požadavek negací prve vyslaného bitu. Z těchto dvou přijatých bitů se pak odvozuje situace na sběrnici. Nastat mohou čtyři různé možnosti, což je vidět v následující tabulce.

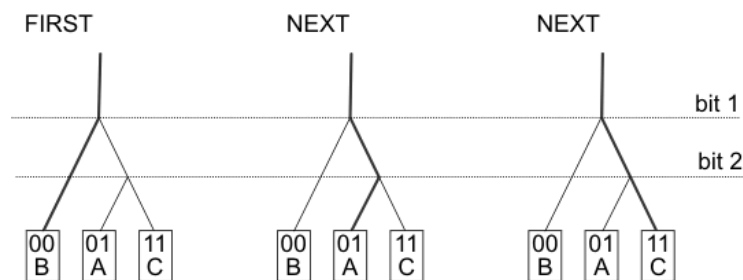
První bit	Druhý bit	Situace
0	0	Na sběrnici je více zařízení. Tato zařízení mají na tomto místě ve svých kódech různé hodnoty. Došlo k neshodě.
0	1	Na sběrnici je jedno či více zařízení. Tato zařízení mají na tomto místě ve svých kódech bit s hodnotou 0.
1	0	Na sběrnici je jedno či více zařízení. Tato zařízení mají na tomto místě ve svých kódech bit s hodnotou 1.
1	1	Na sběrnici není žádné zařízení, které by reagovalo na příkaz Search.

Tab. 6.: Tabulka možných situací po druhém příkazu Search. Zdroj [16].

Master poté vysílá jeden potvrzovací bit. V dalším momentu se budou vyhledávat pouze zařízení, která mají na prvním místě bit stejný jako vyslal master. Při shodnosti hodnot

bitů v daných pozicích na zařízeních, vysílá master tuto hodnotu. Při různých hodnotách, musí si master uložit, na které pozici došlo k neshodě. Poté vyšle buď log. 1 nebo log. 0, to určí na základě předchozích hledání (pozice poslední nalezené neshody). Popsaný algoritmus vysílá nejprve nulu a při druhém průchodu vysílá jedničku.

Tento postup se musí opakovat, dokud není načteno všech 64 bitů ID adresy. Postup procházení se dá ukázat pro zjednodušení na hledání tří zařízení s dvoubitovými kódy. Existují zařízení A s kódem 01, zařízení B s kódem 00 a zařízení C s kódem 11. Algoritmus je přesně popsán v [20]. Jde o tzv. algoritmus prohledávání binárního stromu.

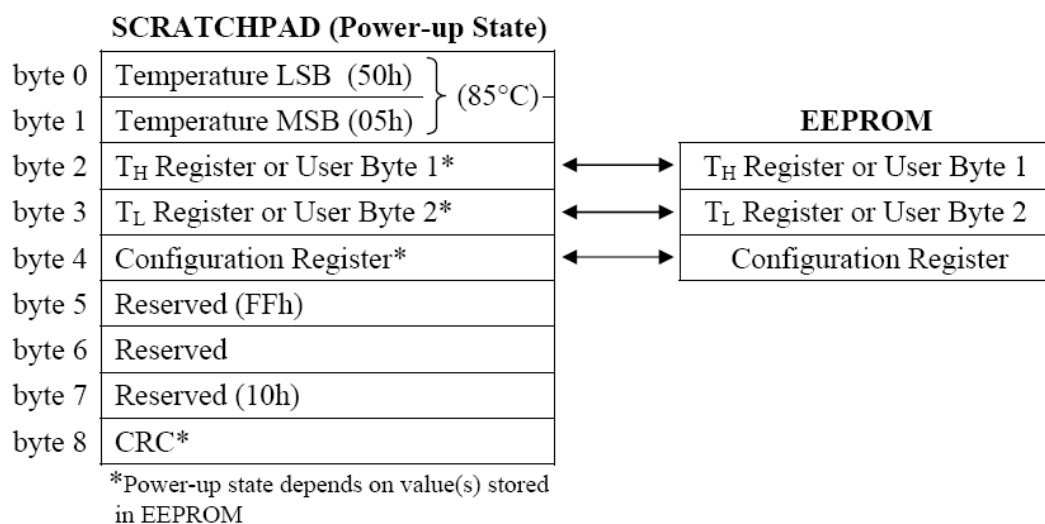


Obr. 22.: Ukázka prohledávání algoritmu binárního stromu. Zdoj [20].

Nejdříve jsem vyzkoušel pro ukázkou ověření funkčnosti sběrnice 1-Wire, jednoduché zapojení se součástkou DS18B20, což je přesný digitální senzor teploty firmy Dallas. Zapojení a výrobu senzoru jsem už popsal. Připojil jsem pouze jeden, takže jsem nemusel procházet sběrnicí a hledat ID adresy.

5.3. Programování komunikace digitálního teploměru DS18B20

Komunikace digitálního teploměru DS18B20 probíhá pomocí jednoduchých příkazů, kde každý příkaz obsahuje dva bajty, které se zobrazují pomocí hexadecimálních čísel. Teploměr používá implementovanou 8bajtovou paměť typu EEPROM, do které ukládá nejen změřenou teplotu, ale je zde uloženo i nastavení. Ke změně tohoto nastavení se používá tzv. konfigurační registr. Dále pak paměť obsahuje registr TH a TL, do kterého se může ukládat horní nebo dolní mez teploty. Při překročení těchto mezí pak teploměr signalizuje svým specifickým stavem.



Obr. 23.: Rozložení dat v paměti. Zdroj [6].

CONFIGURATION REGISTER Figure 8

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	R1	R0	1	1	1	1	1

THERMOMETER RESOLUTION CONFIGURATION Table 3

R1	R0	Resolution	Max Conversion Time
0	0	9-bit	93.75 ms (t _{CONV} /8)
0	1	10-bit	187.5 ms (t _{CONV} /4)
1	0	11-bit	375 ms (t _{CONV} /2)
1	1	12-bit	750 ms (t _{CONV})

Obr. 24.: Rozložení bitů konfiguračního registru. Zdroj [6].

Základní příkazy potřebné pro ovládnutí funkcí teploměru jsou popsány v následující tabulce. Citace [6, 16].

Instrukce	Kód (HEX)	Popis
Čtení instrukce	AA	Čtení posledně provedené konverze teploty z teplotního registru DS18B20
Start konverze	EE	Zahájení měření teploty
Stop konverze	22	Zastavení teplotní konverze
Zápis TH	01	Zápis dat do registru TH
Zápis TL	02	Zápis dat do registru TL
Čtení TH	A1	Čtení dat z registru TH
Čtení TL	A2	Čtení dat z registru TL
Zápis status	0C	Zápis dat do konfiguračního registru
Čtení status	AC	Čtení dat z konfiguračního registru
Čtení čítače	A0	Čtení dat z 9bitového registru pro kalkulaci vyššího rozlišení

Tab. 7.: Tabulka základních příkazů potřebných pro ovládání všech funkcí teploměru DS18B20. Zdroj [16].

Ovládací program teploměru DS18B20 je kompatibilní s obvodem teploměru DS1822. Několik základních příkazů nutných pro práci s teploměrem DS18B20 je uvedeno v tabulce 12. Procesor může také použít příkaz CCh těsně po resetu k tomu, aby dalším příkazem oslovil všechna zařízení připojená na sběrnici. To znamená, že například po vyslání příkazu 44h všechny obvody provedou teplotní konverzi bez nutnosti použití nějaké další kódovací informace. Příkaz šetří čas při komunikaci na sběrnici. Nesmí být ale použit v souvislosti s příkazy pro čtení v případě, že je na sběrnici více obvodů. Obvody by pak odpověděly všechny najednou a došlo by ke kolizi dat. Jak už bylo řečeno, příkaz 44h spustí jeden převod teploty. Po převedení je výsledná teplota ve stupních Celsia uložena do dvou bajtů (LSB a MSB) paměti RAM a obvod se vrátí do nízkoodběrového režimu. Pokud by byl obvod napájen parazitně, musel by procesor držet sběrnici v log.1 po celou dobu trvání převodu. V našem případě je použito externí napájení a může tak probíhat další komunikace s obvodem. Obvod odpovídá log.0 až do ukončení převodu. Příkaz BEh umožňuje čtení paměti obvodu. Přesun dat z paměti začíná nejnižším bitem bajtu 0 a pokračuje až k bajtu 9, kde je uložen CRC kód. Čtení lze kdykoliv přerušit příkazem reset, když další data už nejsou potřeba. Mnohdy stačí přečíst pouze první dva bajty, kde se nalézá uložená naměřená teplota. Příkaz 33h lze použít tam, kde je pouze jeden obvod na sběrnici. Umožňuje pak procesoru číst 64-bitový kód obvodu. Když bychom tento příkaz použili na sběrnici, kde je více obvodů, došlo by ke kolizi dat, protože by se všechny obvody pokusily odpovědět najednou. Příkaz 55h následovaný 64-bitovým kódem daného obvodu umožní procesoru zvolit právě tento

obvod jako cíl z několika zařízení připojených na sběrnici. Bude komunikovat pouze ten obvod, kterému odpovídá 64-bitový kód. Ostatní obvody pak budou čekat na další reset impuls vyslaný procesorem.

Komunikační algoritmus procesoru probíhá v následujících krocích. Nejdříve se provede reset impuls. To znamená stáhnout sběrnici na 0, počkat 480 μ s, uvolnit sběrnici, počkat 70 μ s, pokud je pak na sběrnici log.1, není na ni připojeno žádné zařízení 1-Wire. V opačné případě je vyslán příkaz CCh následovaný příkazem 44h. Po dalším reset signálu následuje příkaz CCh a BEh, který umožní zařízení vyslat svůj obsah paměti k procesoru. Ten pak zachytí všech 8 bajtů, z prvních dvou bajtů LSB a MSB pak přeloží teplotu. Základní rozlišení teploměru je 0,0625°C, přitom nejvyšší z dvanácti bitů je znaménko. Teplota je kladná, když je bit znaménka S = 0, záporná pak, když S je 1. Základní rozlišení převodníku je nastaveno na 12-bitů.

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

Obr. 25.: První dva bajty paměti obsahující teplotu a znaménko. Zdroj [6].

Někdy se na sběrnici objeví stav FFh. To znamená, že příchozí data nebyla zachycena nebo vůbec odeslána. Na sběrnici je tak neustále log.1. a po načtení bajtu je výsledná hodnota právě FFh. Tento stav proto musel být při komunikaci ošetřen, protože byl procesorem překládán jako chybová teplota, vyskytoval na sběrnici vždy častěji, když byl použit senzor umístěný na delším kabelu. Někdy se také po prvním přečtení teploty na sběrnici objeví chybová teplota 85°C, která je pravděpodobně defaultně nastavená výrobcem v paměti. Stejně tak se někdy objeví při delší nečinnosti teploměru po prvním načtení stára hodnota, která už není aktuální, po dalším načtení je však už teplota realná.

Výsledná teplota může být logována každou vteřinu a zobrazena například na LCD displeji. Jednoduchým algoritmem procesoru pak může být převáděna třeba do stupnice Kelvina nebo Fahrenheita, která se používá převážně v USA.

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

Tab. 8.: Převodní tabulka dat na teplotu. Zdoj [6].

5.4. Programování komunikace vlhkoměru

Výroba vlhkoměru byla už popásána, ale jenom krátce zopakují, že vlhkoměr je složen hlavně z převodníku DS2438Z+ a senzoru HIH-4000, což je relativní čidlo vlhkosti s lineárním napěťovým výstupem.

Komunikace převodníku DS2438Z+ je velmi podobná komunikaci digitálního teploměru DS18B20 a základní příkazy jsou téměř totožné. Algoritmus procesoru probíhá v následujících krocích. Nejdříve se provede reset impuls. Pokud je pak na sběrnici zařízení 1-Wire, je vyslán příkaz CCh, který umožní, že dalším příkazy budou patřit všem zařízením na sběrnici. Následující příkaz je B8h, který zahájí nahrávání dat do paměti, podobně jako byl u teploměru DS18B20 příkaz 44h. Příkaz B8h je však v zápětí doplněn hodnotou 00h, která určí stránku, do které budou data nahrána. DS2438Z+ má totiž celkem sedm takových stánek vždy po 7 bajtech. Po dalším reset signálu následuje opět příkaz CCh a BEh, ten je však ale opět doplněn hodnotou 00h pro získání požadované stránky paměti. Procesor pak zachytí všech 7 bajtů a třetí a čtvrtý bajt je LSB a MSB obsahující napětí senzoru HIH-4000. Toto napětí je pak třeba převést díky linearitě v rozsahu 0,8V pro 0% RH až 4,07V pro 100% RH. Na sběrnici se opět někdy objevují podobné chybové stavy jako u teploměru.

MEMORY MAP Figure 7

PAGE	BYTE	CONTENTS	R/W	NV	PAGE	BYTE	CONTENTS	R/W	NV
0	0	STATUS/ CONFIGURATION	R/W	YES	3	0	USER BYTE	R/W	YES
	1	TEMPERATURE LSB	R	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	2	TEMPERATURE MSB	R	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	3	VOLTAGE LSB	R	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	4	VOLTAGE MSB	R	NO		4	USER BYTE	R/W	YES
	5	CURRENT LSB	R	NO		5	USER BYTE	R/W	YES
	6	CURRENT MSB	R	NO		6	USER BYTE	R/W	YES
	7	THRESHOLD	R/W	YES		7	USER BYTE	R/W	YES
1	0	ETM BYTE 0	R/W	NO	4	0	USER BYTE	R/W	YES
	1	ETM BYTE 1	R/W	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	2	ETM BYTE 2	R/W	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	3	ETM BYTE 3	R/W	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	4	ICA	R/W	NO		4	USER BYTE	R/W	YES
	5	OFFSET LSB	R/W	YES		5	USER BYTE	R/W	YES
	6	OFFSET MSB	R/W	YES		6	USER BYTE	R/W	YES
	7	RESERVED				7	USER BYTE	R/W	YES
2	0	DISCONNECT BYTE 0	R/W	NO	7	0	USER BYTE	R/W	YES
	1	DISCONNECT BYTE 1	R/W	NO		1	USER BYTE	R/W	YES
	2	DISCONNECT BYTE 2	R/W	NO		2	USER BYTE	R/W	YES
	3	DISCONNECT BYTE 3	R/W	NO		3	USER BYTE	R/W	YES
	4	END OF CHARGE BYTE 0	R/W	NO		4	USER BYTE/ CCA LSB	R/W	YES
	5	END OF CHARGE BYTE 1	R/W	NO		5	USER BYTE/ CCA MSB	R/W	YES
	6	END OF CHARGE BYTE 2	R/W	NO		6	USER BYTE/ DCA LSB	R/W	YES
	7	END OF CHARGE BYTE 3	R/W	NO		7	USER BYTE/ DCA MSB	R/W	YES

Obr. 26.: Rozložení dat v paměti. Zdroj [7].

VOLTAGE REGISTER FORMAT Table 2

2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	LSB
MSb				(unit = 10 mV)				LSb
0	0	0	0	0	0	2 ⁹	2 ⁸	MSB

Obr. 27.: Dva bajty paměti obsahující napětí odpovídající vlhkosti. Zdroj [7].

BATTERY VOLTAGE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
0.05V	0000 0000 0000 0101	0005h
2.7V	0000 0001 0000 1110	010Eh
3.6V	0000 0001 0110 1000	0168h
5V	0000 0001 1111 0100	01F4h
7.2V	0000 0010 1101 0000	02D0h
9.99V	0000 0011 1110 0111	03E7h
10V	0000 0011 1110 1000	03E8H

Tab. 9.: Převodní tabulka dat na napětí. Zdroj [7].

5.5. Programování LCD displeje

Zařízení SMCComm bylo navrženo se šestnácti znakovým dvouřádkovým LCD displejem TM162BBC6, u kterého je možnost ovládat podsvícení pinem procesoru P95 označeným jako ON_LCD. Tento LCD displej byl při osazování nahrazen podobným druhem displeje TM162B2D, který je též se šestnácti znaky ve dvouřádkách. Oba displeje pracují s řadičem KS0066U, liší se však počtem vstupních pinů LCD. Původní displej TM162BBC6 má celkem 16 pinů. K propojení s procesorem je třeba 4 nebo 8 datových vodičů, jeden další na přepínání zápisu instrukcí nebo dat označený jako RS a další s hodinovým signálem označený jako E. Pro případné čtení obsahu displeje je třeba připojit ještě jeden vodič označený jako R/W, jinak je trvale uzemněn. Základní znakovou sadu lze doplnit osmi vlastními znaky, které jsou pak dostupné pod kódy 0-7 a 8-15. KS0066U má totiž DDRAM (RAM, ve které je uložen obsah displeje) na 80 znaků. Displej TM162B2D se trochu liší tím, že má pouze 13 pinů a komunikuje s procesorem pouze pomocí 4 bitů. Nepodařilo se mi ale nikde najít přesnou specifikaci, která by popisovala průběh inicializace a hlavně popis jednotlivých pinů. Nenašel jsem ani jiný LCD displej, který by měl pouze 13 pinů. Ani výrobce tohoto LCD displeje firma TIANMA ho nevede mezi svými produkty a pravděpodobně už ho nevyrobí. Z těchto důvodů byl LCD displej opět vyměněn. Avšak žádný dostupný šestnácti znakový displej o dvouřádkách neodpovídal potřebným rozměrům pro kryt zařízení SMCComm. Tak byl zakoupen standardní 16pinový displej BC0802A, který je pouze osmi znakový se dvěma řádky s podsvícením a opět s řadičem KS0066U.

Vývod	Název	Funkce
1	Vss	GND
2	Vcc	napájení +5V
3	Vee, V0	nastavení kontrastu
4	RS	volba mezi 0 - instrukce, 1 - data
5	R/W	volba mezi 0 - zápis, 1 - čtení
6	E	hodinový vstup
7	DB0	data 0
8	DB1	data 1
9	DB2	data 2
10	DB3	data 3
11	DB4	data 4
12	DB5	data 5
13	DB6	data 6
14	DB7	data 7
15	LED+	anoda podsvícení
16	LED-	katoda podsvícení

Tab. 10.: Obvyklé číslování a význam vývodů LCD. Zdroj [21].

Při komunikaci pomocí 8-bitové sběrnice se využívá všech osmi datových vodičů. Někdy není patrné jestli dojde k převzetí dat ze sběrnice, k tomu ale pomáhá kladný impuls na E, když jsou data ukládána na DB0 až DB7.

Komunikace pomocí 4-bitové sběrnice využívá jen čtyři datové vodiče DB4-DB7 a zbytek se většinou uzemní. Průběhy a instrukce jsou stejné jako při 8-bit komunikaci, jenom se data nebo instrukce vysílají vždy nadvakrát. Nejprve se na DB4-DB7 pošle horní polovina bytu, vygeneruje se kladný puls na E, na sběrnici se pošle spodní polovina bytu a generuje se druhý puls na E. Výjimkou je první instrukce, která inicializuje displej jako 4-bitový. Zde se posílá jen horní polovina inicializačního bytu a jen jeden puls na E. Celý byte se pak vyše znovu, ale už 4-bit způsobem, aby se nastavily i spodní 4 bity (počet řádků a font).

Znaková sada řadiče KS6600U obsahuje základní anglickou sadu a i některé řecké, německé, japonské a další znaky. Základní znaky odpovídají ASCII kódování a jednotlivé kódy jsou v tabulce.

15-14 13-10	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
CG RAM (1)				0	@	P	`	P					-	9	3	0
0000	(2)		!	1	A	Q	a	a					.	7	7	4
0010	(3)		"	2	B	R	b	r					7	イ	ツ	×
0011	(4)		#	3	C	S	c	s					7	ウ	テ	エ
0100	(5)		\$	4	D	T	d	t					.	エ	ト	ハ
0101	(6)		%	5	E	U	e	u					.	オ	ナ	1
0110	(7)		&	6	F	V	f	v					.	カ	ニ	ヨ
0111	(8)		'	7	G	W	g	w					.	キ	ヌ	7
1000	(1)		(	8	H	X	h	x					.	ク	ネ	リ
1001	(2)		)	9	I	Y	i	y					.	ク	ル	7
1010	(3)		*	:	J	Z	j	z					.	エ	コ	7
1011	(4)		+	:	K	[	k	[					.	オ	サ	7
1100	(5)		,	<	L	#	l	#					.	カ	シ	7
1101	(6)		-	=	M	]m	]	m					.	ユ	ス	7
1110	(7)		.	>	N	^	n	^					.	ヨ	セ	7
1111	(8)		/	?	O	_	o	_					.	ウ	ツ	7

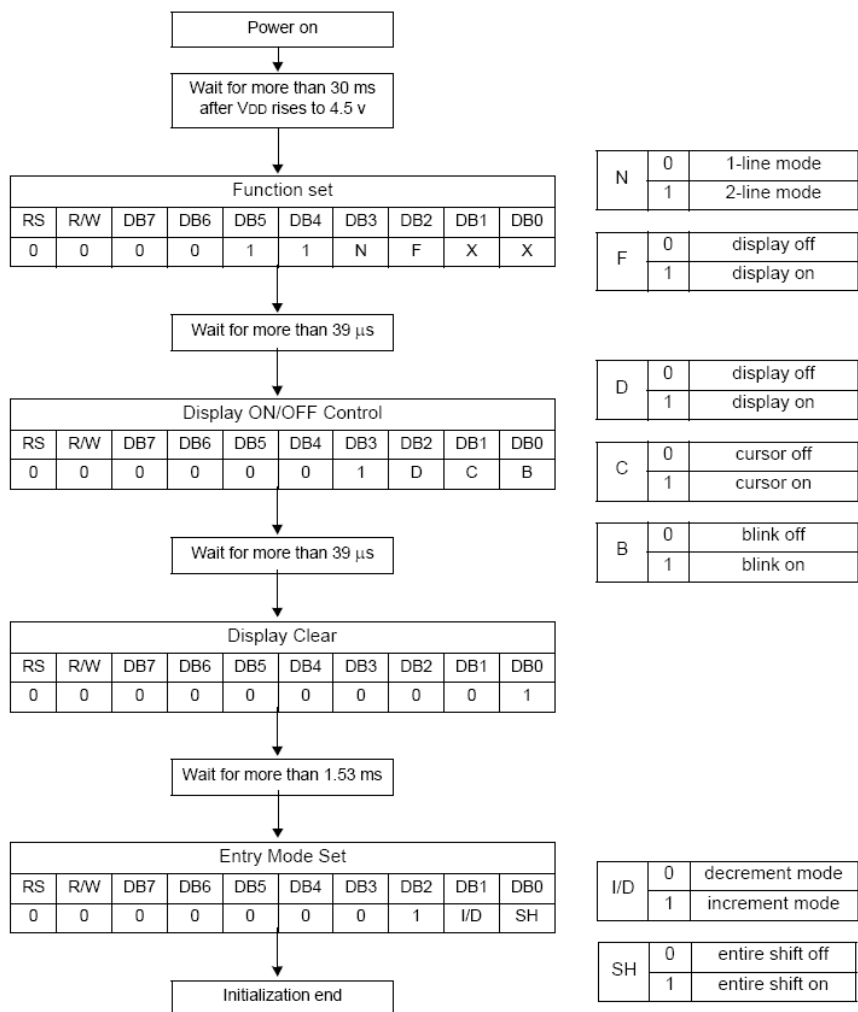
Obr. 28.: Znaková sada. Zdroj [21].

Všechny jednotlivé instrukce a délky vykonávání jsou uvedeny v následující tabulce. Každé adrese v DDRAM odpovídá jedna pozice kurzoru na displeji a rozložení záleží na inicializaci. Paměť CGRAM slouží k vytváření vlastních znaků, má stejně jako zápis do DDRAM svoji adresu. Citace [21].

Význam instrukce	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Délka
smaže displej a nastaví kurzor na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,53 ms
nastaví kurzor na začátek prvního řádku	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x	1,53 ms
směr posuvu kurzoru I/D (0=vlevo, 1=vpravo), posuv textu SH (0=ne, 1=ano)	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	39 us
D - zapne displej, C - zapne kurzor, B - zapne blikání kurzoru	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	39 us
1x posune (S/C=0 kurzor, S/C=1 text) směrem (R/L=0 vlevo, R/L=1 vpravo)	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	x	x	39 us
inicializace: DL=0 4-bit, DL=1 8-bit mód N=0 jednořádkový, N=1 dvouřádkový disp. F=0 font 5x8, F=1 font 5x10	0	0	0	0	1	DL	N	F	x	x	39 us
přepnutí na zápis do CGRAM	0	0	0	1	adresa v CGRAM					39 us	
přepnutí na zápis do DDRAM	0	0	1	adresa v DDRAM					39 us		
čtení příznaku BF (BF=0 příjem povolen, BF=1 řadič zaneprázdněn), čtení adresy v DDRAM	0	1	BF	adresa v DDRAM					0 us		
zápis dat do CGRAM nebo DDRAM	1	0	data					43 us			
čtení dat z CGRAM nebo DDRAM	1	1	data					43 us			

Tab. 11.: Tabulka s jednotlivými instrukcemi. Zdroj [21].

Procesor byl naprogramován pro jednodušší a rychlejší ovládání LCD displeje pomocí 8-bitové komunikace. Po zapnutí napájení a provedení vnitřního resetu se musí provést základní inicializace displeje, ve které se zadá základní uživatelské nastavení. Následující obrázek popisuje inicializaci v jednotlivých krocích. Po naprogramování procedur pro přeložení znaků ASCII do hexadecimální číslice, je pak už ovládání LCD displeje jednoduché.



Obr. 29.: Jednotlivé kroky inicializace LCD displeje. Zdroj [21].

5.6. Programování USB rozhraní

Univerzální sériové rozhraní (USB) je moderní prostředek k vzájemnému propojení elektronických zařízení, nejčastěji se však používá k připojení periférií k počítači. Výhody této technologie jsou všeobecně známy. Existují rozšíření na různých platformách osobních počítačů, velký rozsah přenosových rychlostí, zdarma dostupná specifikace a využití technologie Plug and Play pod operačním systémem Windows.

Použitý procesor STR912FW44X6 má v sobě přímo implementovaný řadič komunikace USB. Řízení řadiče stejně jako přístup k přijímaným a odesílaným datům zajišťuje procesor pomocí instrukcí. Jak už jsem se zmínil firma STMicroelectronics nabízí na svých internetových stránkách použitelná demo k tomuto typu procesoru. Jejich součástí je i použití komunikace USB k vytvoření virtuálního COM portu. Obecným problémem virtuálních sériových portů je neurčitá doba doručení paketu na fyzické rozhraní sériového

portu. Zatímco u klasického sériového portu RS-232 se uvádí toto zpoždění řádově v mikrosekundách, pro USB může zpoždění činit až 16 ms. Dlouhá doba odezvy se stává velkým problémem pro komunikační protokoly, které potvrzují velmi krátké zprávy a používají krátký timeout. Naopak zařízení, která přenášejí a potvrzují na sériovém portu větší balíky dat, nebo mají dobře napsaný komunikační protokol, který počítá s delšími timeouty, fungují bez problémů.

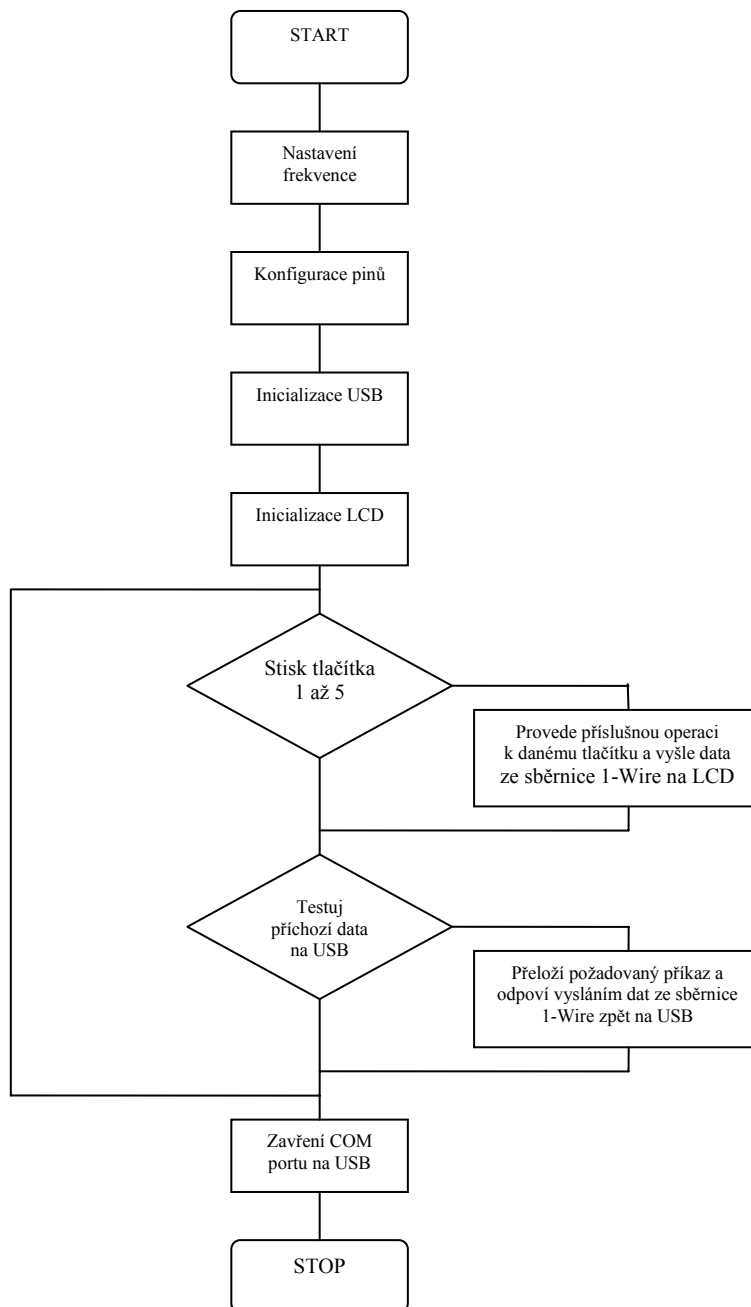
Bylo potřeba upravit několik souborů, které nastavují konfiguraci rozhraní, rychlost komunikace, nebo řeší jednotlivé stavy na lince a další. Tyto soubory se nazývají STR91x_USB.c, USB_dev_desc.c, cd_class.c, cdc_cnfg.h, STR91x_USB_cfg.h a další. Pro komunikaci pak už stačí jenom na začátku provést správnou konfiguraci a příkazy UsbCdcWrite a UsbCdcRead řídit posílání a příjem dat po lince. Zdroj[22].

5.7. Podprogramy procesoru

Pro přehlednost programu v procesoru a co nejjednodušší orientaci v něm byl program v procesoru rozčleněn do několika částí (podprogramů), které představují základní soubory. Hlavní částí celého programu je soubor s názvem main.c, ten obsahuje pouze proceduru Delay k pozastavení běhu procesoru. V další části tohoto souboru už je procedura main, která bude probíhat po zapnutí procesoru. Ta obsahuje základní konfigurační procesy jako nastavení frekvence procesoru, nastavení funkce jednotlivých pinů procesoru (I/O), inicializaci A/D převodníků, konfiguraci USB rozhraní pro virtual COM port a inicializaci pro nastavení LCD displeje. Následuje nekonečná smyčka procesoru, ve které už procesor reaguje na určité vstupy a výstupy. Všechno toto blíže popisuje vývojový diagram souboru main.

Dalším důležitým podprogramem je soubor hw_config.c. Ten obsahuje základní konfigurační procedury, které probíhají při spuštění procesoru (nastavení frekvence procesoru a časovačů, nastavení I/O a další funkce pinů, nastavení A/D převodníku...). Soubor dále obsahuje jednoduchou inicializaci LED diod, které se rozsvítí při spuštění procesoru. Součástí je i důležitá procedura, která rozlišuje jednotlivá tlačítka a určuje jejich funkci.

Procedury sloužící k ovládní LCD displeje jsem už popisoval v předchozí části a nalézají se v souboru lcd.c. A stejně tak už byly popsány i procedury sloužící k ovládní sběrnice 1-Wire a jsou obsaženy v souboru 1-wire.c. Další soubory slouží k rozhraní USB nebo obsahují základní knihovny k ovládní procesoru řady STR91x.



Obr. 30.: Vývojový diagram souboru main.c

6. PC aplikace

Další bod v zadání diplomové práce měl sloužit k archivaci jednotlivých teplot a vlhkostí získaných ve skladovacím prostředí léků. Proto byla ve vývojovém prostředí Delphi 6.0 vytvořena aplikace SMComm Manager, ke které byl vytvořen pro uživatele jednoduchý instalátor v programu Inno Setup 5.1.6 s názvem setup_SMCommManager. Ten je přiložen na CD v příloze diplomové práce.

6.1. SMComm Manager

Tato aplikace pracuje s textovými soubory s příponou smc. Je schopna tyto soubory vytvářet, pozměňovat nebo pouze otvírat v případě, kdy zařízení SMComm není připojeno k počítači.

V textových souborech *.smc se nalézají informace získané ze senzorů 1-Wire připojených k zařízení SMComm. Každý řádek tohoto souboru obsahuje informace o jednom měření senzoru. Na prvním místě je datum, kdy měření probíhalo. Po datumu následuje středník, který vždy jednotlivé informace odděluje. Na dalším místě je přesný čas měření ve formátu HH:MM:SS. Po dalším středníku následuje místo, na kterém je uložen textový popis senzoru. Já jsem například senzory pro ověření správné funkce a získání prvních dat umístil do odlišného prostředí. Jeden měřil pokojovou teplotu a dal jsem mu název Indoor. Druhý byl rámem okna vystrčen ven, a tak měl název Outdoor. Stejně tak by se ale tento popis dal změnit na název, který by popisoval nějaký daný sklad, kde jsou uschovány léky, nebo přímo název léku, u kterého by se senzor nalézal. Další středník už pak odděluje poslední část, kde se nalézají teplota nebo vlhkost, kterou senzor v daném čase naměřil. Tato hodnota teploty nebo vlhkosti je uložena jako pointer, aby se s ní dalo dobře pracovat. Díky přetipování tohoto pointeru lze pak převádět teplotu na stupně Fahrenheita nebo Kelvina. Také lze spočítat průměr nebo sledovat minima a maxima všech provedených měření.

Aplikace obsahuje čtyři základní záložky (komponenta TabbedNotebook). První je nejdůležitější a je označena jako Nastavení. V prvním GroupBoxu se nalézají dvě komponenty Edit určené k popisu senzoru 1-Wire. K nim dále náleží příslušné komponenty SpinEdit, ve kterých je časová hodnota po jejíž uplynutí se pravidelně načítají hodnoty z daného čidla. O tom zda hodnota je uvedena v sekundách, minutách, hodinách nebo dnech určuje následující ComboBox. Druhý GroupBox obsahuje aktuální datum a čas. Poslední GroupBox obsahuje RadioButtony, kterými se volí stupnice Celsia, Fahrenheita nebo Kelvina. Nejdůležitější jsou však na této záložce dvě tlačítka – Start a Stop. Button Start po kliknutí

přejde do stavu Enabled false a tlačítko Stop naopak. Následně se objeví okno veřejné komponenty pro ovládání sériové linky. Ta zajišťuje nastavení, vytvoření sériové linky a zároveň příjem a odesílání dat po vytvořené lince. Důležité je správně nastavit komunikační rychlost na správném COM portu, na který je připojeno zařízení. Po vytvoření komunikace jsou pak už vysílány po uplynutí nastaveného času žádosti o změření veličiny. Následně jsou pak data zpracovávána a ukládána do souboru. Komunikace a zároveň logování hodnot je zastaveno tlačítkem Stop.

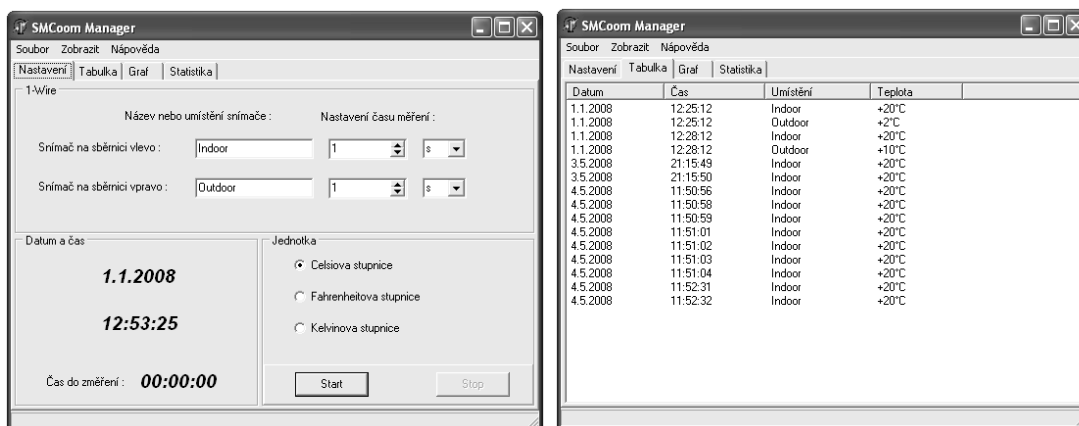
Na další záložku s názvem Tabulka je umístěna komponenta ListView se stylem vsReport, což je vlastně přehledná tabulka, ve které jsou zobrazeny jednotlivé informace měření (datum, čas, senzor, teplota nebo vlhkost).

Další záložka obsahuje komponentu Image, která umožňuje jednoduché zobrazení hodnot v grafu v závislosti na času a datumu. Jednotlivé senzory jsou od sebe barevně rozlišeny.

Poslední záložka se jmenuje Statistika. Zde se po stisknutí Buttonu Aktualizace zobrazí v příslušných komponentách Edit spočítaný průměr, minimum nebo maximum pro daný senzor.

Při vypnutí aplikace nebo otevření popřípadě vytvoření nového souboru, je ošetřeno aby se změřená data nemohla ztratit a je položena otázka zda se má soubor uložit.

Vytvořená aplikace je docela jednoduchá a určitě by se mohla dále vyvíjet a upravovat hlavně pro přesné požadavky skladovacích prostor. Podle přání lékárny by se mohl omezit přístup pro dané pracovníky. A určitě by se dala přesně upravit tak, aby odpovídala příslušným vyhláškám a zákonům Ministerstva zdravotnictví a Ministerstva zemědělství.



Obr. 31.: Aplikace SMComm Manager

7. Možnosti budoucího využití

V této části diplomové práce bych se chtěl pozastavit nad možným budoucím uplatněním zařízení SMComm, které by mělo přesáhnout hranice skladovacích prostor a pokusím se nastínit i jiné zajímavé aplikace nejen z průmyslu.

Nebylo v mých silách v rámci diplomové práce na programovat všechny možné vzdálené komunikace na zařízení SMComm. Podobně jako se programovalo rozhraní USB, by se mohla využít další dema procesoru od společnosti STMicroelectronics a s jejich pomocí by se dal doprogramovat jednoduchý webserver, komunikace UART nebo CAN. Po doprogramování těchto zbylých komunikací by se uplatnění zařízení velmi rozšířilo hlavně díky ethernetu. Právě díky této komunikaci by bylo možné hodnoty teploty a vlhkosti ze senzorů sledovat na síti internet, přístupné pomocí WWW rozhraní, prakticky z celého světa a stejně tak by se daly ovládat i některé další funkce zařízení. Data by byla zobrazována v real-time režimu nebo by byla stahována z interní flash paměti. Po té by se ukládala na disk za určité sledovací období, ve kterém by se dalo softwarově nastavit logování měřených hodnot v určité časové periodě. Grafické rozhraní by se dalo vyvolat zadáním IP adresy zařízení SMComm do adresového řádku webového prohlížeče. Softwarově by se nastavovaly mezní hodnoty, při jejichž překročení by systém mohl rozesílat alarmní zprávy pomocí emailu nebo SMS na mobil. Vše by ale muselo být dostatečně chráněno, aby nedošlo k neoprávněnému zneužití dat. Bezpečnost by byla chráněna rozsahem IP adres, hesly pro přístup atd.

7.1. Využití internetu a různých jeho protokolů

Každé zařízení, které by mělo komunikovat po síti, by mělo mít implementovány protokoly, aby mohlo využívat ty aplikace, které na ně navazují. K tomu všemu se používá rozdělení na určité vrstvy. Na fyzickou vrstvu, která definuje elektrické rozhraní, navazuje vrstva linková. Linková vrstva podle MAC adres distribuuje pakety mezi jednotlivými zařízeními nebo segmenty v síti. Fyzická vrstva tedy zajišťuje distribuci paketů mezi počítači jedné lokální sítě. Na vrstvu linkovou navazuje síťová vrstva tvořená protokolem IP (InterNet Protocol). Linkové protokoly přenášejí data v rámci jedné sítě, zatímco IP přenáší data mezi dvěma sítěmi, skrz mnoho jiných sítí. IP protokol operuje se svojí vlastní známou 4. byte dlouhou IP adresou. Síťová vrstva přenáší síťové pakety mezi odesilatelem a adresátem skrz složité a rozsáhlé sítě. Transportní vrstva je závislá na službách nižších vrstev a zpřístupňuje spojení nadřazené aplikaci. Těchto aplikací může být i několik, takže mezi dvěma počítači se může realizovat několik spojení pro různé aplikace současně. Typickým příkladem je protokol

TCP nebo UDP. Zatímco TCP slouží k doručení paketu a v případě ztráty jej opakuje, UDP slouží pouze k odesílání datagramů a již neověřuje jejich doručení. Tento rozdíl je důležitý pro příslušné aplikace, které nemohou spoléhat na doručení datagramu, nicméně i UDP má mnoho oblastí použití. TCP protokol vytváří po dobu spojení mezi dvěma aplikacemi obousměrný duplexní virtuální okruh. Pakety, které jsou přenášeny, jsou číslovány, ztracená nebo poškozená data jsou znovu vyžádána. Integrita dat se zabezpečuje kontrolním součtem. Zabezpečení však nešifruje a nechrání proti útočníkům, to má za úkol jiný z protokolů rodiny TCP/IP – například SSL. Aplikační protokoly používají ke komunikaci pouze TCP/IP protokoly a využíváme je jako jednotlivé internetové protokoly, nebo služby. Příkladem je SNMP protokol pro správu sítí nebo další uživatelské protokoly jako HTTP, SMTP, Telnet, FTP, IMAP, POP3 atd.. Na internetu existuje mnoho malých, volně šiřitelných programů a aplikací pro PC, které disponují řadou zajímavých funkcí, jako například terminál pro TCP/IP klienta, TCP/IP server, UDP/IP a terminál pro komunikaci po sériové lince. Citace [23].

Se stále více se rozmáhající technologií ethernet a protokoly rodiny TCP/IP se častěji setkáváme i s nasazením SNMP protokolu, který byl původně vytvořen ke kontrole správné funkčnosti aktivních síťových prvků. Nevýhodou ethernetu je neschopnost přesně zaručit dobu, kdy budou data doručena. To se dá obejít, buď aplikačním protokolem, nebo přechodem na rychlejší ethernet. Dnes se pro zvýšení datové propustnosti začínají stále častěji používat přepínače. Mnohé nabízejí možnost konfigurace a monitorování přenosových parametrů právě pomocí protokolu SNMP. Protokol umožňuje komunikaci mezi serverem (SNMP agent) a klientem (SNMP browser či manager). Pokud server přímo nemá k dispozici požadované informace, musí je získávat například další komunikací po sběrnici. To je takzvaný proxy agent. Ten je na straně zařízení, klient je pak na druhém konci, což může být PC nebo pracovní stanice. Protokol je standardně založen na přenosu dat UDP datagramů. Ale protokol SNMP poskytuje pouze okamžité hodnoty. Složitější analýzy pak nabízí protokol RMON (remote monitoring). Pokud bychom chtěli vytvářet grafické vizualizace nebo data archivovat, musíme zařízení periodicky dotazovat, nebo by se dala stáhnout z interní paměti na zařízení SMCComm. Při použití protokolu UDP není nutné navazovat síťové spojení a zařízení ani nemusí obsahovat protokol TCP s jeho náročným stavovým mechanismem. To umožňuje použít i méně výkonné mikroprocesory (rodina x51, AVR, ARM). Implementaci je možné přizpůsobit potřebám konkrétního produktu. Dalo by se i přidat vzdálené zapínání a vypínání zařízení. Další výhodou by byla schopnost zařízení poslat informaci (trap) o nečekané události (hodnota mimo rozsah, změna vstupu, výpadek napájení, atd.). Použitím těchto standardních prvků pro správu a řízení průmyslových zařízení bychom ušetřili i lidské

zdroje. Mnoho monitorovacích programů umožňuje vyslat e-mail, SMS, informaci na pager či spustit externí utilitu. Není nutné, aby tyto funkce obsahovalo koncové zařízení v podobě složitěho firmwaru v procesoru. Požadovaná bezpečnost by se dala zvýšit omezením přístupu pouze z určitých IP adres a změnou default hodnot community řetězců.

Při srovnání protokolu SNMP s ostatními protokoly, které jsou zastoupeny v průmyslu, nabízí SNMP širokým standard právě při správě informačních sítí. Výhodou při nasazení v průmyslu je podpora použitého standardu mnoha monitorovacími programy, které často umožní i parametrickou vizualizaci. Mohou i zajišťovat logování kritických stavů a jejich následné zpracování. Citace [24].

Dalším možným protokolem, který by se dal na zařízení SComm použít je Modbus, konkrétně jeho varianta over-TCP používající spojovaný přenos. Pakety protokolu jsou velmi krátké a mají jednoduchou strukturu. Snadná je jejich implementace zpracování a pokud použijeme již hotový TCP stack, není už pak zapotřebí tolik kódu jako v případě SNMP protokolu. Ve variantě over-TCP chybí i popis proměnných. Ty jsou definovány pouze jako jednoduché datové typy. Každé zařízení má pak předem definované adresy, na kterých jsou k dispozici hodnoty proměnných, dohodnutých ve specifikaci. Protokol je založen na praxi, kdy primárně existují pouze binární a analogové vstupy a výstupy.

Dalším průmyslovým protokolem, který se používá v průmyslu, je Ethernet/IP (Industrial Protocol) používající TCP pro získávání informačních a konfiguračních dat. Pro komunikaci I/O zařízení se používá multicastingu protokolu UDP a protokolu CIP. Výhodou je zvýšení propustnosti sítě tím, že poskytovatel (producer) posílá data najednou více odběratelům (consumer). Aby multicasting poté nezatěžoval síť s přepínači, je třeba implementovat i složitější protokol IGMP.

Protokol OPC (OLE for Process Control) vznikl právě kvůli potřebám průmyslu. Nabízí informace jak o čase tak i kvalitě měření. Poskytuje i možnost archivace dat a asynchronní upozornění na kritické události. Složitost a náročnost protokolu ale znemožňuje použití v jednoduchých, levnějších zařízeních. Často tedy funguje jako proxy server, který k získávání dat používá jiný protokol. Takový server pak slouží pouze odběratelům a snižuje tím zátěž a náročnost primárního zařízení.

Již delší dobu se dnes pro správu a často konfiguraci zařízení používá protokol http a technologie HTML, pro data pak XML. HTTP by se dalo i zkombinovat s SNMP, když bychom použili Java applet používající k přenosu dat SNMP protokol. Webové stránky, obrázky a jiné soubory se mohou uložit na externí server, ale daleko lepší je jejich umístění přímo do zařízení. Při dnešních cenách flash pamětí nic nebrání dalšímu rozvoji.

Implementace http serveru je velmi jednoduchá a snadná. Nevýhodou je, že zcela chybí možnost iniciovat spojení ze strany serveru a poslat informaci o kritickém stavu. Mohlo by se toho docílit pouze periodickým čtením dat, což ale zatíží síť. Citace [23, 24].

7.2. Využití Power Over Ethernetu

Díky Ethernetu a hlavně variantě Power Over Ethernetu (PoE) by se zařízení mohlo rozšířit i do míst, kde nejsou síťové rozvody elektrické energie, nebo kde se zařízení nemůžou pravidelně vyměňovat baterie. V současné době jde zařízení SMCComm připojit do sítě PoE díky zařízením jako jsou Injektor a Splitter. Injektor je vybaven spínaným síťovým transformátorem, který je možno přímo připojit do zásuvky rozvodné sítě 230 V. Ten transformuje síťové napětí na linkových 48 V definovaných standardem. Současně zajišťuje napojení tohoto napětí na datovou linku a obstarává primární ochranu. Splitter pak funguje jako zdroj pro koncové zařízení. 48V z datové linky převádí na provozní napětí 5 nebo 12 V. Jeho výstupem jsou dva nezávislé vodiče, z nichž jeden je tvořen UTP kabelem zakončeným klasickým ethernetovým konektorem RJ-45 a druhý obvyklým souosým napájecím konektorem 2,5 mm. Samostatný Splitter je dnes ale docela cenově náročný. A tak by se volné místo, které vzniklo lepším uspořádáním na desce první verze zařízení SMCComm, dalo využít pro součástky, jako například stabilizátor se vstupem 48V a výstupem 5V, který by umožnil přímé napojení do sítě PoE.

7.3. Využití komunikace Bluetooth

Další komunikace, která by velmi rozšířila použití zařízení, je bluetooth. Díky této bezdrátové komunikaci by se teplota a vlhkost dala sledovat třeba na mobilním telefonu nebo třeba PDA, či jiném zařízení s bluetooth modulem. Zařízení by se dalo ovládat jednoduchou Java aplikací. Zde by se mohla vytvořit síť Piconet, což znamená, že by se na bluetooth modul na mobilním telefonu, který by byl jako master, mohlo připojit až dalších sedm zařízení SMCComm jako slave. Data v podobě teploty a vlhkosti by se dala sledovat v real-time režimu nebo stáhnout na paměťovou kartu v mobilním telefonu nebo PDA. Bluetooth má však ještě další možné budoucí uplatnění, stává se totiž podstatnou součástí telematických systémů v automobilech, které začínají sloužit na cestách nejen jako prostředky navigace, asistence a přístupu k potřebným informačním zdrojům (včetně přístupu k Internetu), ale i jako vnitřní automobilová komunikace mezi osobními elektronickými zařízeními i elektronickým vybavením automobilu. Podobně se komerčně prosadilo i rozhraní CAN.

7.4. Širší využití senzorů 1-Wire

Další možné využití zařízení by se rozšířilo po doprogramování dalších různých 1-Wire senzorů. Samozřejmostí by byla autodetekce těchto senzorů. Ty by například mohly sloužit ke sledování fyzikálních veličin jako je tlak, váha, napětí, proud, osvětlení a také extrémní rozsah teplot. K měření dalších veličin by se daly použít senzory s impulsním výstupem používané v technice, jako jsou optické čítače, otáčkoměry, měřiče spotřeby, kapacitní senzory vlhkosti, měřiče radiace atp. Také můžou být realizovány snímače polohy, průchodu, přítomnosti, požární signalizace a řízení silových spínačů topení, motorů, ventilátorů. To by umožnilo aplikace v oblasti inteligentních budov, v potravinářství při skladování a přípravě potravin, v oblasti řízení kvality, v oblasti kontroly provozních podmínek technologií, v oblasti vzdálené správy nemovitostí a dalších.

Mezi novinky v nabídce 1-Wire senzorů firmy MAXIM/Dallas Semiconductor patří teplotní senzor DS28EA00 umožňující propojení mnoha senzorů do jednoho řetězce. Velikou výhodou představuje schopnost automatického zjištění a identifikace pořadí senzorů (jejich adres) v řetězci. Tak je možné jednodušeji kontrolovat a měřit teplotu v rozsáhlých zařízeních s mnoha komponentami, kde každá potřebuje svůj teplotní senzor. Pomocí propojení mnoha senzorů do řetězce se dají jednovodičovou sběrnicí sbírat data ze všech teploměřů a zpracovat jen jedním vstupem procesoru. To přináší snížení v množství propojovacích vodičů, což je příjemné nejen při instalaci, ale užitečné i pro zvýšení spolehlivosti. Každá 1-Wire součástka má od výroby unikátní pevnou 64bitovou adresu (64bit. ID), která je využívána pro její adresaci na sběrnici, a kterou nelze měnit. Pokud tedy například náhodně vezmeme několik senzorů, které umístíme na požadovaná místa a propojíme do jednoho řetězce, nelze jednoduše zjistit a přiřadit teploměry, resp. jimi naměřené hodnoty, jednotlivým fyzickým místům. Řídící master si totiž potřebuje nejdříve vytvořit tabulku přiřazující unikátními 64bit. ID určité fyzické pozici (měřicímu místu) v systému či zařízení. Z tohoto důvodu byl vyvinut senzor DS28EA00 obsahující mechanismus pro softwarové zjištění a přiřazení ID adresy senzoru podle jeho pozice v zapojeném řetězci, to znamená kolikátý je ten či onen teploměr od I/O vývodu řídicí master jednotky (procesoru). DS28EA00 je jednochipový křemíkový digitální senzor teploty v rozsahu -40°C až $+85^{\circ}\text{C}$ s přesností 0.5°C (u teplot pod -10°C je přesnost 2°C). Mezi další zajímavé vlastnosti patří široký rozsah napájecích napětí 3.0 až 5.0 V, přičemž obvod může být napájen buď klasicky externím pinem VDD nebo dokonce jen pomocí komunikačního pinu I/O v režimu Parasite Power. Mimo samotné měření teploty se dají i automaticky nebo jednorázově příkazem získávat tzv. ALARM registry, v nichž je

uložená horní a spodní hranice a v případě překročení hodnot dochází k indikaci poplachu. Master pak vysláním příkazu Alarm Search Command okamžitě zjistí, u kterých senzorů připojených na sběrnici došlo k překročení limitů. Pro zachování těchto uložených limitů i bez přítomnosti napájení je součástí senzoru EEPROM paměť. Senzor najde své uplatnění v automatických systémech a v aplikacích, kde může docházet k postupnému připojování nebo odpojování popřípadě i přemísťování senzorů nebo tam, kde se instaluje velké množství senzorů. Nemusí se tak zdlouhavě a pracně zjišťovat ID adresy jednotlivých teploměrů na konkrétních místech a odpadá zadávání těchto informací do systému. Výsledkem toho se zjednodušuje i identifikace problémů a oprava systému. Citace [25].



Obr. 32.: Vývojový kit MAXIM/Dallas se senzorem DS28EA00. Zdroj [25].

Sběrnice 1-Wire je použita také u technologie iButton, která je uložena v pouzdrech MicroCAN (podobné diskovým kovovým bateriím). Bytelné ocelové pouzdro plní funkci ochrany vnitřního obvodu před vnějšími vlivy jako jsou špína, vlhkost a otřesy. Vývody obvodu jsou připojeny ke dvěma vzájemně izolovaným polovinám pouzdra, které slouží jako připojovací kontakty. Komponenty rodiny iButton se používají k řešení specifických úloh k identifikaci, ukládání a přenosu informace. Mnohobodový teplotní monitoring může být snadno řešen i sítí několika součástek DS1921 nazývaných Termochron. Každý z nich může registrovat hodnoty teplot naměřených v určitých a předem zadaných časových intervalech. Následně jsou pak ukládány do paměti. Chová se vlastně jako naprogramovaný záznamník s možností vytvářet histogramy. Uložit lze až 2048 teplotních hodnot v periodických intervalech od 1 do 255 minut. Histogram poskytuje 63 segmentů s rozlišením 2.0°C. Pokud teploty přesáhnou definovaný rozsah, zařízení může zaznamenávat též čas a dobu kdy byla teplota mimo tento rozsah. Úložný prostor pro naměřená data tvoří 512 bytů R/W paměti. Různá zařízení iButton mají roli především jako obvody energeticky nezávislých pamětí, které mají v konstrukci lithiovou baterii. Nalezneme mezi nimi také modifikace mající hodiny reálného času vhodné na generování časových značek autonomních datových záznamníků. Pro tyto účely lze také použít součástky s elektricky mazatelnou pamětí EEPROM. Při

přenosu velkých objemů dat je účelné použít současně součástky s adaptérem USB. Ten zajistí vysokou přenosovou rychlost. Komponenty technologie iButton se také často používají v elektronických zabezpečovacích systémech (vrátníky, docházkové systémy). Citace [26].

7.5. Senzory s jiným rozhraním než 1-Wire

Nevýhodou levných snímačů 1-Wire by se ale mohla stát omezená vzdálenost připojení, která je okolo 10 metrů, proto by se na sběrnici RS-485 mohla připojit požadovaná čidla teploty a vlhkosti až do vzdálenosti 1.000 metrů i v zarušeném průmyslovém prostředí. Na trhu je možno zakoupit například senzor Temp-485 Industry. To je teplotní senzor na sběrnici RS-485 v provedení pro průmyslové prostředí. Teplotní čidlo je umístěno v krabičce s mosaznou trubičkou obsahující nezbytnou elektroniku pro činnost rozhraní RS-485. Připojovací kabel i krabička odolává hodnotám měřených teplot v celém rozsahu čidla. Dále je pak možnost použít třeba senzor Temp-485 indoor. Toto teplotní čidlo na sběrnici RS-485 je v provedení do vnitřního prostředí. Krabička je určena pro osazení na zeď a připojovací kabel může být přiváděn zespodu či z boku pomocí přípojné kabelové lišty. Oba senzory mají podobné vlastnosti jako rozlišení $0,1^{\circ}\text{C}$, přesnost $0,5^{\circ}\text{C}$ a rychlost odezvy do 50ms. S výjimkou interních provedení pracují všechny teplotní senzory v rozsahu -55°C až $+125^{\circ}\text{C}$. 1-Wire vlhkostní senzor by se dal nahradit senzorem HTemp-485. To je čidlo pro měření teploty a relativní vlhkosti, připojitelné na sběrnici RS-485 v provedení do vnitřního prostředí. Senzor dosahuje přesnosti měření absolutní vlhkosti $\pm 2\%$ RH v rozsahu 0-100% RH při teplotě 25°C . Na rozhraní RS-232 by se dalo připojit jednoduchý teplotní senzor Temp-232 opět v provedení mosazné trubičky se závitem. Při použití různých převodníků by se do systému mohly připojit i senzory s výstupem na proudovou smyčku (4 - 20 mA) nebo řada průmyslových platinových teploměrů Pt100, Pt500, Pt1000 (2, 3 nebo 4vodičové připojení). Příklady použití zařízení by pak mohly být ve vzdálených skladovacích prostorech, v potravinářských provozech nebo třeba v nějakém chemickém provozu. Citace [27, 28, 29].



Obr. 33.: Různé druhy senzorů: Temp-485 Industry, Temp-485 indoor, HTemp-485 a Temp-232. Zdroj [27, 28, 29].

7.6. Zařízení SMCComm jako převodník

Zařízení SMCComm může dále fungovat jako převodník sériového přenosu RS-232/485/CAN na fast ethernet 10Base-T (IEEE802.3) a 100Base-TX (IEEE802.3u) sítě s UTP kabely. Tyto dvě varianty tak umožňují sériovou síťovou průmyslovou komunikaci. Druhou protistranu pak vytvoří jiné Ethernet zařízení (např. PC) nebo HUB, switch nebo router, které zpřístupňuje sériový port do sítě Ethernet pomocí protokolu TCP/IP. Výsledkem je možnost komunikace z libovolného PC připojeného k síti LAN nebo do celosvětové sítě internet.

Jako možné příklady použití bych uvedl, že díky převodníku by šlo ovládat vzdálené průmyslové monitorovací systémy a stroje, informační displeje, monitorovací lékařské systémy ve zdravotnictví, bezpečnostní systémy, komunikace a propojení mnoha měřících zařízení (multimetry, osciloskopy apod.).

Zařízení SMCComm může dále fungovat také jako převodník sériového přenosu RS-232/485/CAN na USB. USB-CAN převodník pomocí zařízení SMCComm může být určen zejména pro snadné dynamické ladění CAN aplikací a pro okamžitou a přehlednou diagnostiku CAN linky. Software pro PC ovládající USB-CAN převodník je volně ke stažení na internetu v mnoha podobách. Výhody díky kterým se CAN prosadil především v automobilovém průmyslu jsou známé: vysoká rychlost přenosu dat 1Mbit/s při délce sběrnice do 40m, značná úroveň zabezpečení přenosu, vysoká provozní spolehlivost, nízká cena. Ale má i nevýhody jako omezený počet dat přenášených v rámci jedné zprávy (0 až 8 Byte) a prvotní náročnost nastavení registrů CAN sběrnice. Právě díky sběrnici CAN a možnému převodu na jinou používanou komunikaci jako je USB nebo ethernet (popřípadě u druhé verze zařízení SMCComm i na RS232 nebo RS485) se zařízení SMCComm může uplatnit nejen v automobilovém průmyslu, ale v dnešní době například velmi často i v lékařství. Jako

existující aplikaci můžu na příklad uvést ultrazvukový detektor průtoku krve určený k diagnostice oběhového systému v končetinách, který umožňuje výstup dat přes sběrnici CAN.

7.7. Využití nejen ve skladovacích prostorách

Teplota a vlhkost je sledována nejen při skladování léků, ale i při skladování potravin. Velmi často je důležité sledovat tyto hodnoty například v zemědělství, v pěstírnách sazenic nebo ve sklenících. Vyvedením rozhraní IMC (Three-phase induction motor controller) na procesoru nebo například pomocí komunikace RS-232 by se dal ovládat motor větráku nebo přímo upravená klimatizace. To by rozšířilo použití i v oblasti regulace a řízení nejen při skladování ale i například v oblasti inteligentních budov.

Zařízení SMComm nalezne své uplatnění zejména pro sledování vzdálených objektů, u nichž je třeba neustále sledovat fyzikální parametry či reagovat na změnu sledovaných stavů. Vzhledem k jeho rozhraní je možné univerzální použití s velkým výběrem připojovaných senzorů. Vzdálená správa prostřednictvím rozhraní www dokáže snížit náklady na monitorování a poskytne uživateli okamžitou informaci o změně sledovaných parametrů.

8. Závěr

Výsledkem diplomové práce je nové zařízení s názvem SMComm, které je především určené pro monitoring prostředí s léky, kde bylo nutno sledovat teplotu i vlhkost. Jeho využití je ale díky velkému množství různých senzorů a průmyslových komunikací použitelné i v mnoha různých aplikacích a nejen ve skladování.

Prvním úkolem bylo najít takové rozhraní, které by nabídlo jednoduchou kalibraci senzorů teploty a vlhkosti. Jako nejjednodušší řešení se ukázalo použití senzorů 1-Wire senzorů, jejichž kalibraci zajišťuje výrobce – firma Dallas Semiconductor. Výhody těchto senzorů vyplívají ze standardu 1-Wire sítí, to je jednoduché a originální řešení adresovatelnosti účastníků, jednoduchý protokol, jednoduchá struktura spojení (pouze tři vodiče = napájení 5V, data a zem), malé množství potřebných komponentů, snadná změna konfigurace sítě, značný dosah sítě a výjimečně nízká cena technologie jako celku. Díky 1-Wire sběrnici a adrese, která je pevně přidělena každému 1-Wire senzoru, lze použít libovolného počtu senzorů k získání hodnot různých fyzikálních veličin. Pro ukázkou bylo sestaveno několik senzorů teploty a senzor vlhkosti. Teploměr DS18B20 pracuje v rozsahu teplot -55°C až 125°C s přesností na desetinu Celsia, ale odchylka měření čidla je $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Dovoluje monitoring v reálném čase a díky vestavěné energeticky nezávislé paměti pro

uložení mezních hodnot může signalizovat překročení zadaných teplotních mezí. Vlhkoměr je sestaven ze součástky DS2438Z+ a ze senzoru relativní vlhkosti HIH-4000 s lineárním napět'ovým výstupem v rozsahu 0,8V pro 0% RH až 4,07V pro 100% RH. Operační rozsah je -40°C až $+85^{\circ}\text{C}$ s přesností měření cca $\pm 2\%$ RH při 25°C .

Pro řízení nového HW zařízení SMComm a správu sběrnice 1-Wire byl vybrán procesor STR912FW44X od firmy STMicroelectronics s jádrem ARM966E-S. Pro větší pestrost možností přenosu hodnot ze senzorů bylo zařízení SMComm obohaceno o několik různých vzdálených komunikací. Tou nejzajímavější komunikací je možnost využití Ethernertu pomocí transceiveru STE100P připojeného na rozhraní procesoru MII (Medium Independent Interface). Hodnoty teploty a vlhkosti ze senzorů by se pak daly sledovat na síti internet prakticky z celého světa. Ve spotřební oblasti, například připojení k mobilnímu telefonu nebo PDA, se může uplatnit použitá komunikace Bluetooth, to je však bezdrátové spojovací rozhraní na problematické frekvenci a občas nemusí fungovat zcela spolehlivě, když je například zarušené frekvenční pásmo. Naopak další možností je použité rozhraní USB, které je dnes standardem každého osobního počítače. Zároveň je i možnost zařízení SMComm takto napájet a nahradit tak síťový napáječ vytvářející stabilizované napětí 5V. V průmyslu se dále využívá celá řada nejrůznějších komunikací, a proto bylo zařízení osazeno rozhraními RS-232, RS-485 a CAN. Tyto komunikace jsou galvanicky odděleny. Každý takový protokol je vhodný pro určitý okruh aplikací a je podporován různými výrobci. Většina těchto rozhraní však je vyvinuta ke konkrétnímu účelu do konkrétního prostředí. Tato rozhraní výborně odolávají průmyslovým rušením a rozvodům na velké vzdálenosti. Zařízení SMComm je dále navrženo i z interní Flash paměti. Vzniklé zařízení je chráněno krytem proti poškození a pouze potřebná rozhraní jsou vyvedena pro snadné a bezpečné používání.

Procesor bylo potřeba naprogramovat v jazyku C pomocí JTAG programátoru a jako vývojové prostředí firmwaru byl použit program IAR Embedded Workbench. K prvnímu seznámení s procesorem posloužila deska STR910-EVAL. Současné trendy ukazují, že jak v průmyslu, tak v domácím použití je jediným reálně použitelným standardem v současnosti síť typu TCP/IP. Využít toto bylo původně v plánu, ale z důvodů náročnosti a nedostatku času, byla zatím naprogramována jako jediná komunikace USB. Takto byl vytvořen virtuální COM port, díky kterému jsou přenášena data do počítače. Pro nejjednodušší ovládání zařízení se používá pět tlačítek. Ke sledování dat je na zařízení naprogramován LCD displej a další různé stavy zařízení zobrazují LED diody.

Programování procesoru ARM nebylo jednoduché a naprogramování všech možných komunikací a možností sítí 1-Wire, by určitě dalo na další samostatnou diplomovou práci, protože problematika použitých komunikací a hlavně ethernetu je veliká. Na výrobě podobných zařízení většinou pracují týmy až o desítkách lidí, kde každý řeší pouze úzkou specializovanou oblast.

Na závěr byla vytvořena PC aplikace, která přenáší hodnoty pomocí USB z 1-Wire senzorů. A ty ukládá do souboru s příponou smc. Uložen je vždy datum, čas, výsledná hodnota na senzoru a jeho umístění. Hodnoty ze senzorů jsou dále zobrazovány v přehledných grafech a tabulkách. Zobrazeny jsou také průměrné, maximální a minimální hodnoty. Přesnou problematikou lékárnického monitoringu, kdy je nutno zaznamenávat chemikálie, činidla a roztoky označené nejen názvem, popřípadě koncentrací, ale i údajem o době použitelnosti a instrukcemi o specifických skladovacích podmínkách, jsem se moc nezabýval, protože se v této problematice moc neorientuji. Je zde ale možnost každý senzor pojmenovat vlastním názvem podle jeho umístění, nebo popsat jaké prostředí nebo látku měří. Aplikace by se určitě dala lehce upravit podle přání a požadavků jednotlivých lékáren.

Zařízení SMComm by se dalo dále použít jako převodník na různé další použité komunikace (Ethernet, USB, RS-232, RS-485, CAN a Bluetooth). Propojování dosud na sobě nezávislých zařízení a vytváření z nich inteligentních celků je trendem, který hýbe současným světem IT technologií. Dobrým příkladem tohoto trendu je průmyslový provoz, nebo inteligentní dům. Zařízení SMComm představuje jednoduché a elegantní řešení pro vzdálené monitorování teploty a vlhkosti skladovacích prostor či výrobních hal. Díky jednoduchému a přehlednému ovládacímu a nastavovacímu prostředí umožňuje nejen jednoduchou obsluhu, ale rovněž instalaci a nastavení. Možnost nastavení alarmu pro jednotlivé senzory v závislosti na naměřených hodnotách nabízí možnost okamžité reakce na vzniklé chybové stavy. Široké spektrum nastavovacích parametrů pak poskytuje snadnou implementaci do stávajících podnikových aplikací ovládajících výrobu či distribuci zboží a zásob.

Literatura

- [1] Vyhláška č. 86/2008 Sb., o léčivech a o změnách některých souvisejících zákonů (zákon o léčivech): Ministerstvo zdravotnictví a Ministerstvo zemědělství, podle § 114 odst. 2 a k provedení § 23 odst. 6 zákona č. 378/2007 Sb., ze dne 26. února 2008.
<http://www.zakonycr.cz/seznamy/086-2008-Sb-vyhlaska-o-stanoveni-zasad-spravne-laboratorni-praxe-v-oblasti-leciv.html>
- [2] Poseidon model 3262 / 3265, HW Group.
http://www.hwgroup.cz/download/Poseidon_3265_FL_cz.pdf
- [3] A. Vojáček : Měření teploty v průmyslu, HW server , 2004.
<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1149-Mereni-teploty-v-prumyslu.html>
- [4] RNDr. J. Hanzal : Vlhkoměry, HW server , 2004.
<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART1022-Vlhkomery.html>
- [5] M. Malý : Sběrnice 1-Wire™, HW server, 2004.
<http://hw.cz/rozhrani/art1215-sbernice-1-wire.html>
- [6] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer,
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [7] DS2438 Smart Battery Monitor.
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS2438.pdf>
- [8] Application Note 1796 : Overview of 1-Wire Technology and Its Use.
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1796.pdf>
- [9] Humidity Sensor HIH-4000 Series.
www.bfioptilas.com/html_files/country/france/newsletter/lettre20/ipe/hih4000.pdf
- [10] STR910-EVAL Evaluation Board UM0174 User Manual.
www.st.com/stonline/products/literature/um/11759.pdf
- [11] STR91xF Product Catalog P/N's : STR912FW44.
<http://www.st.com/mcu/download2.php?file=12274.pdf&info=STR912FW44>
Datasheet STR91xF&url=<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/12274.pdf>
- [12] A. Vojáček : Porovnání vlastností CPU ColdFire a ARM, HW server, 2007.
<http://hw.cz/teorie-praxe/art2111-porovnani-vlastnosti-cpu-coldfire-arm.html>
- [13] Popis rozhraní JTAG, Test Access Port a architektura Boundary-Scan podle normy IEEE 1149.1 1990.
<http://noel.feld.cvut.cz/vyu/ap2/JTAGmoje.htm>
- [14] ÚVOD DO POŽADAVKŮ SMĚRNIC RoHS 2002/95/ECRoHS.
<http://www.rohs.cz/more.info.html>
- [15] MODULBOX H53, H68, ItalTronic.
<http://www.relko.cz/katalogy/ENIKA/kataloges/169.pdf>
- [16] DS1WM Synthesizable 1-Wire Bus Master.
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/ds/DS1WM.pdf>
- [17] Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software,
www.domotix.net/download/IButton/1-Wire%20Communication%20Through%20Software%20-%20app126.pdf

- [18] Application Note 187: 1-Wire Search Algorithm,
<ftp://ftp.elin.ru/pdf/1-Wire/app187.pdf>
- [19] Application Note 162: INTERFACING THE DS18X20/DS1822 1-WIRE TEMPERATURE SENSOR IN A MICRO-CONTROLLER ENVIRONMENT,
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/app162.pdf>
- [20] Application Note 155: 1-Wire Software Resource Guide,
<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN155.pdf>
- [21] KS0066U 16COM / 40SEG DRIVER & CONTROLLER FOR DOT MATRIX LCD,
http://www.datsi.fi.upm.es/docencia/Micro_C/lcd/ks0066u.pdf
- [22] Products for STR912FW44, STMicroelektronik
<http://www.st.com/mcu/devicedocs-STR912FW44-101.html>
- [23] Protokol SNMP v průmyslových zařízeních, HW server , 2004.
<http://hw.cz/Produkty/Ethernet/ART1094-Protokol-SNMP-v-prumyslovych-zarizenich.html>
- [24] O. Mrázek : SNMP protokol a jeho využití, HW server , 2003.
<http://hw.cz/Produkty/ART957-SNMP-protokol-a-jeho-vyuziti.html>
- [25] DS28EA00 1-Wire Digital Thermometer with Sequence Detect and PIO,
<ftp://ftp.elin.ru/pdf/1-Wire/DS28EA00.pdf>
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS28EA00EVKIT.pdf>
- [26] D. Novák : Co je to iButton, HW server, 2006.
<http://hw.cz/Teorie-a-praxe/ART1696-Co-je-to-iButton.html>
- [27] HTemp-485, Teplotní a vlhkostní čidlo pro vnitřní použití na sběrnici RS-485 s jednoduchým komunikačním protokolem, HW Group
http://www.hw-group.com/download/HTemp-485_cz.pdf
- [28] Temp-485, Teplotní čidlo pro vnitřní použití na sběrnici RS-485 s jednoduchým komunikačním protokolem, HW Group
http://www.hw-group.com/download/Temp-485_cz.pdf
- [29] Temp-232, Teplotní čidlo na RS-232 pro vnitřní použití, HW Group
http://www.hw-group.com/download/Temp-232_cz.pdf

Seznam příloh

Příloha 1 : Schémata HW SMComm

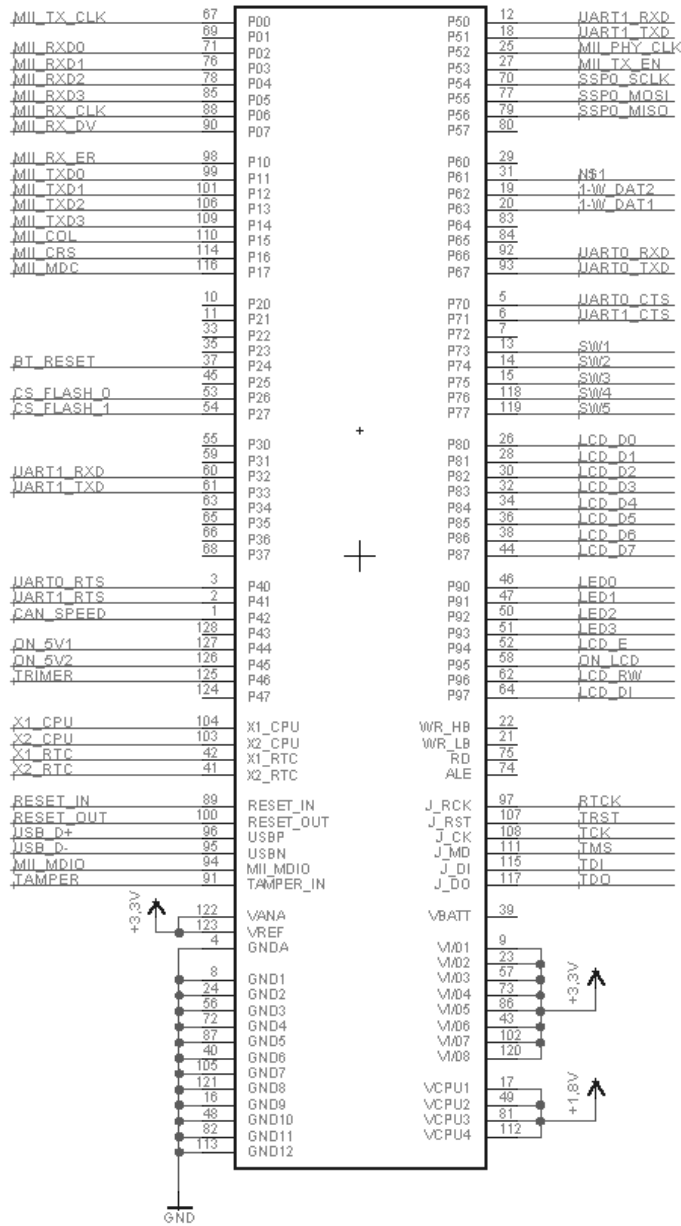
Příloha 2 : Desky HW SMComm

Příloha 3 : Seznam elektronických součástek na HW zařízení SMComm

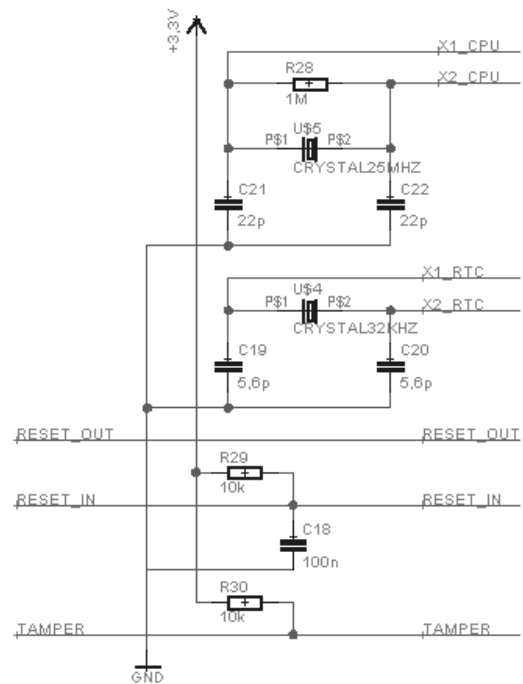
Příloha 4 : Fotografie osazené plošné desky CSA, CSB a zařízení SMComm

Příloha 5 : CD s programy pro procesor, aplikací a použitými datasheety

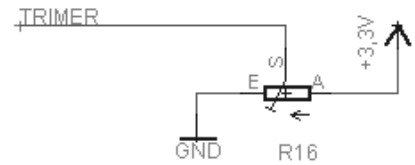
Příloha 1 : Schémata HW SMCComm



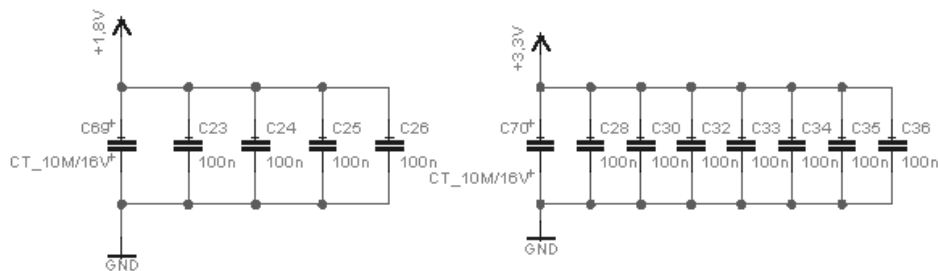
Procesor STR912FW44X6



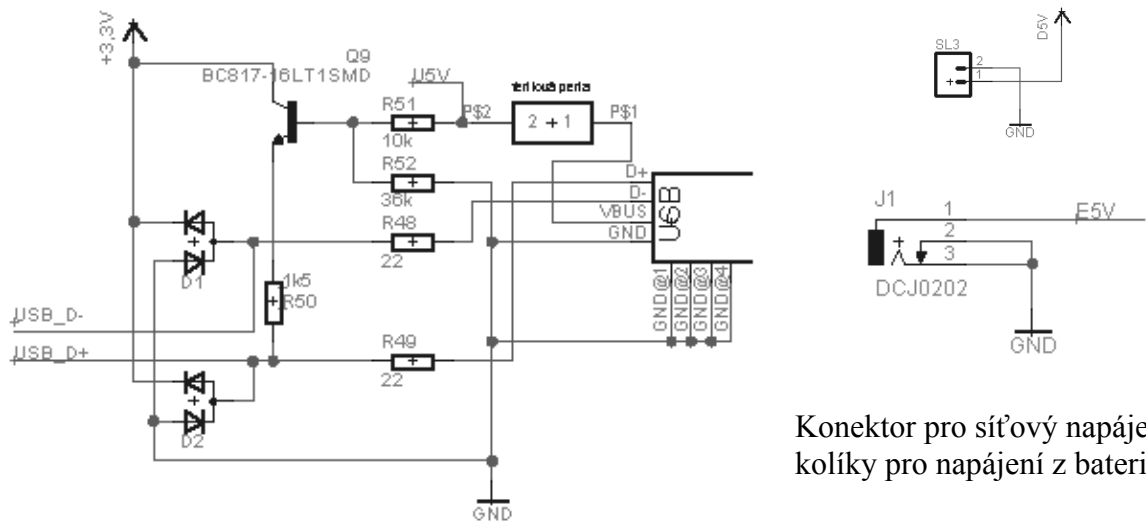
Zapojení krystalů



Ovládací trimer

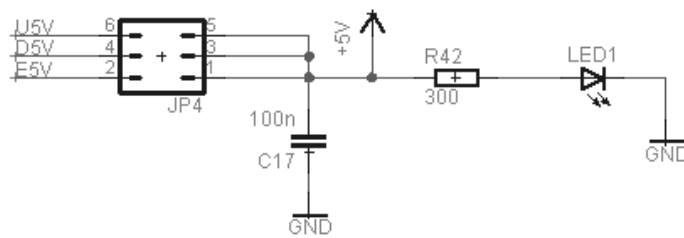


Blokovací kondenzátory

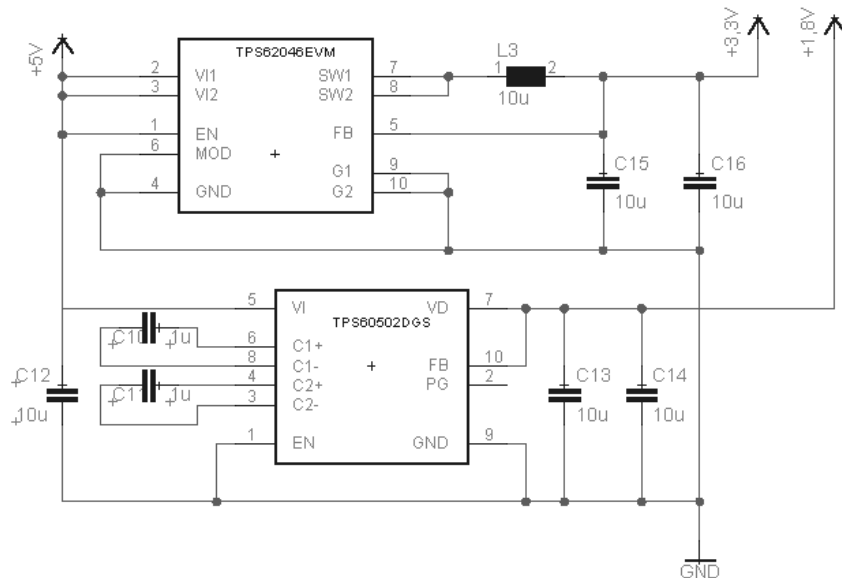


Konektor pro síťový napáječ a kolíky pro napájení z baterie

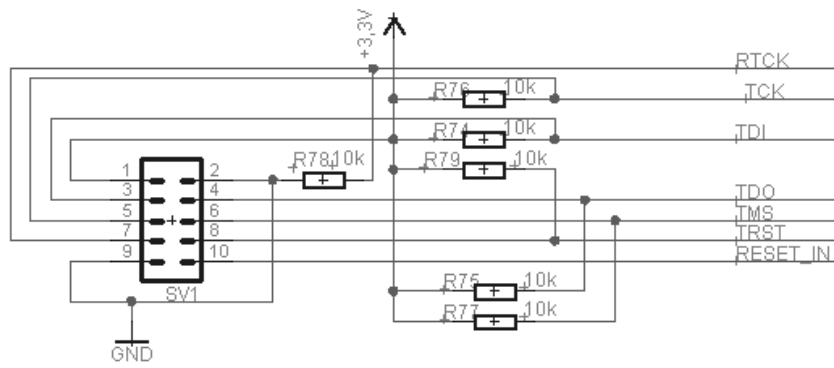
Komunikace a napájení pomocí USB



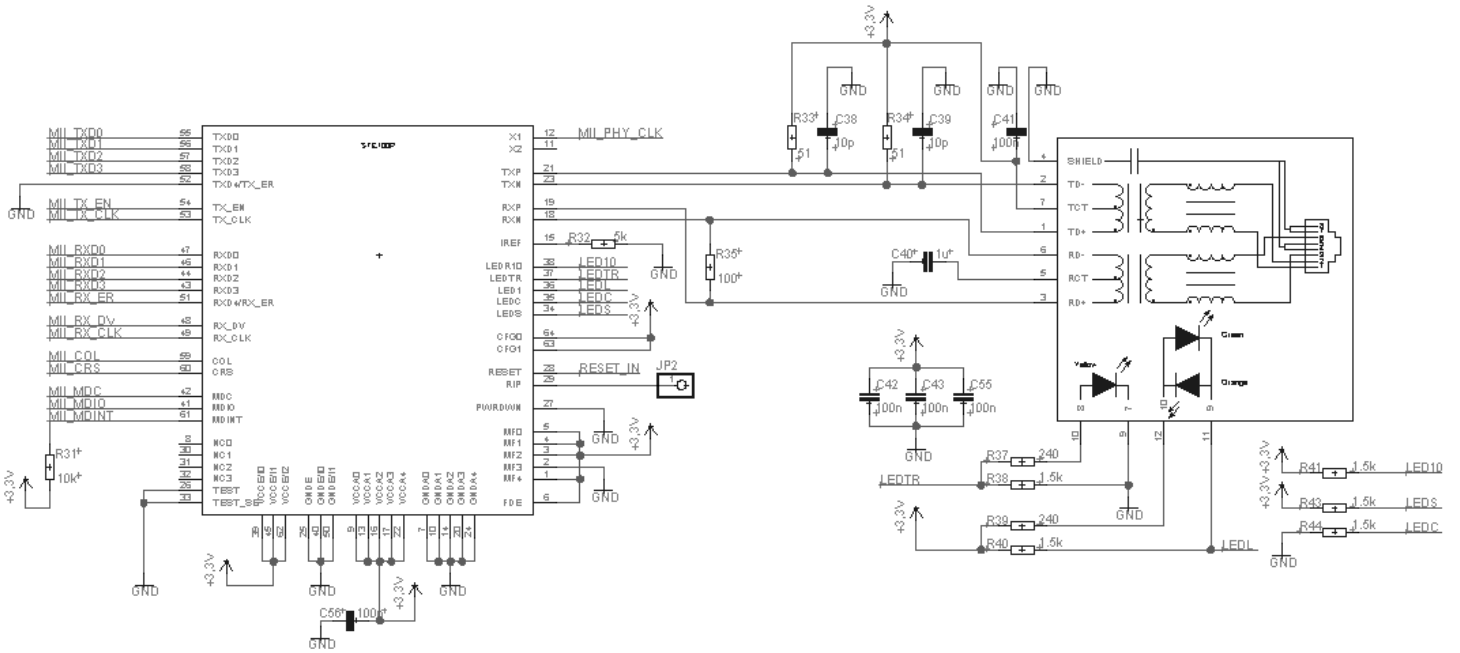
Jumper pro ovládání zvoleného napájení a signalizační dioda napájení



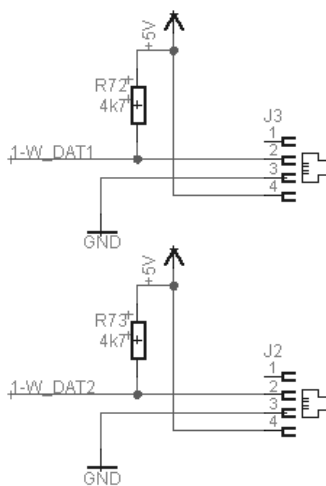
Obvody stabilizátorů napětí 3,3V a 1,8V



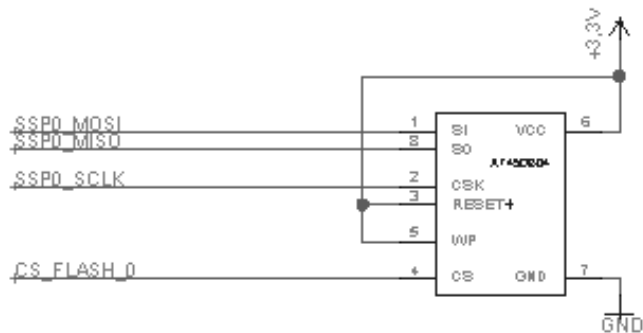
Obvod programovacího rozhraní JTAG



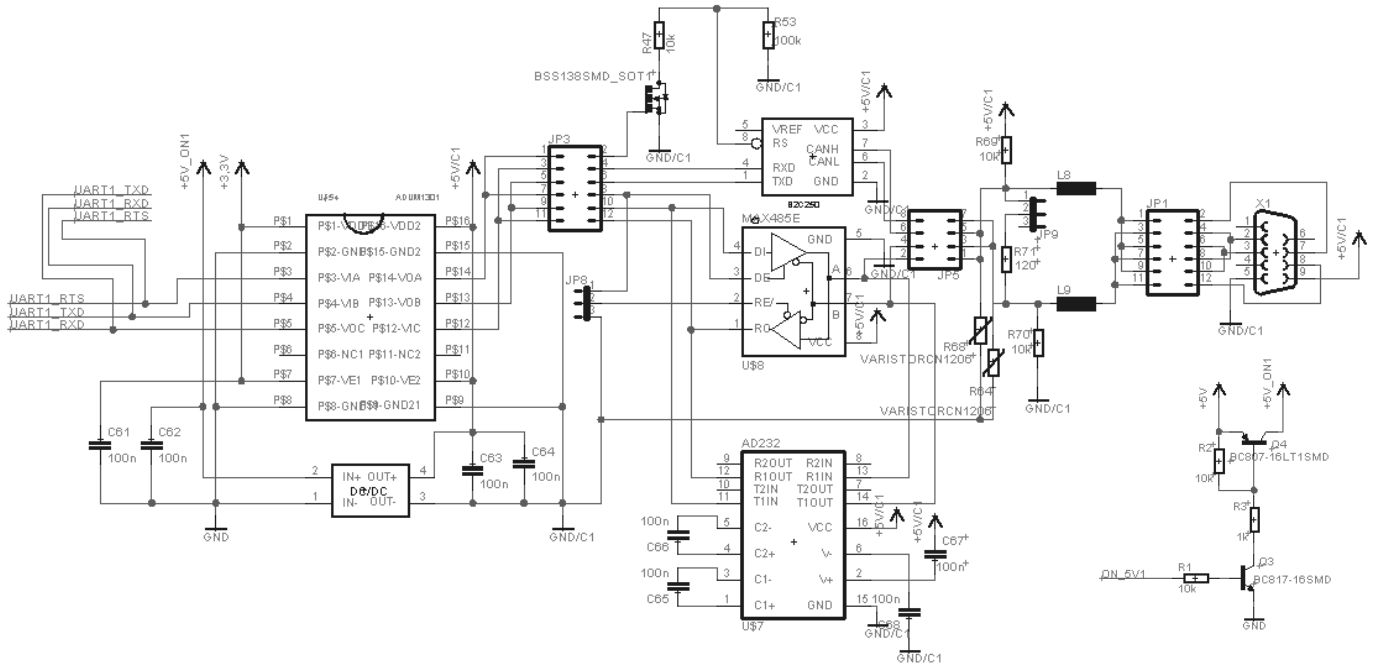
Komunikace Ethernet



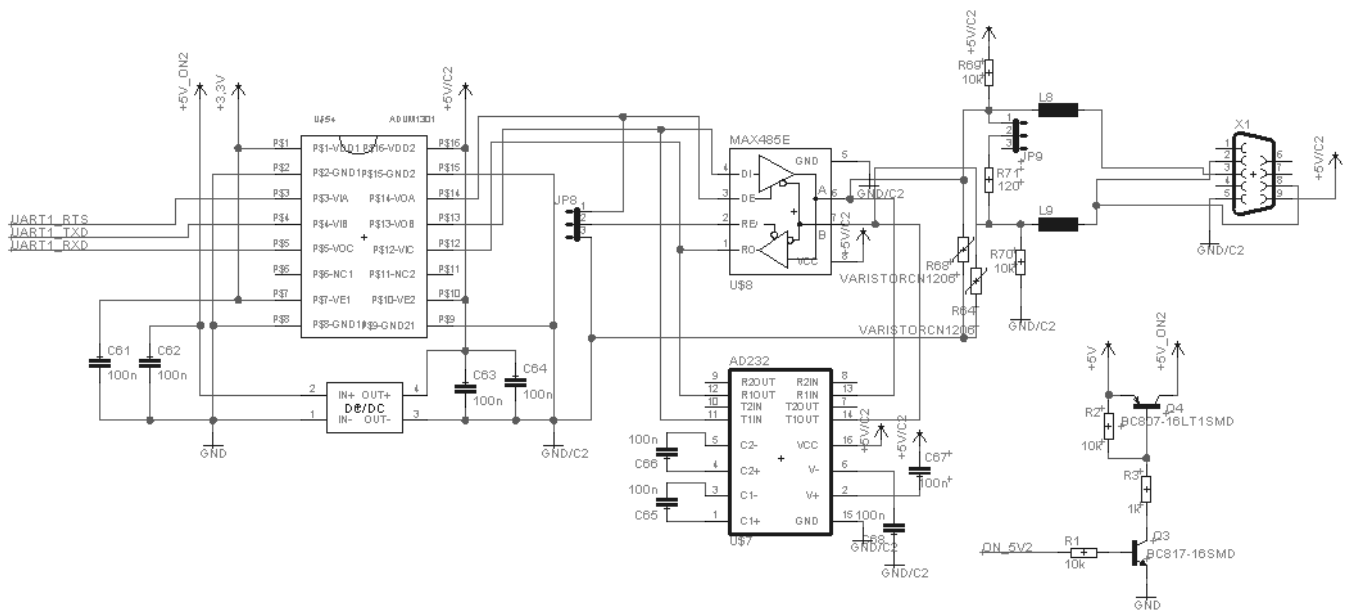
Sběrnice 1-Wire



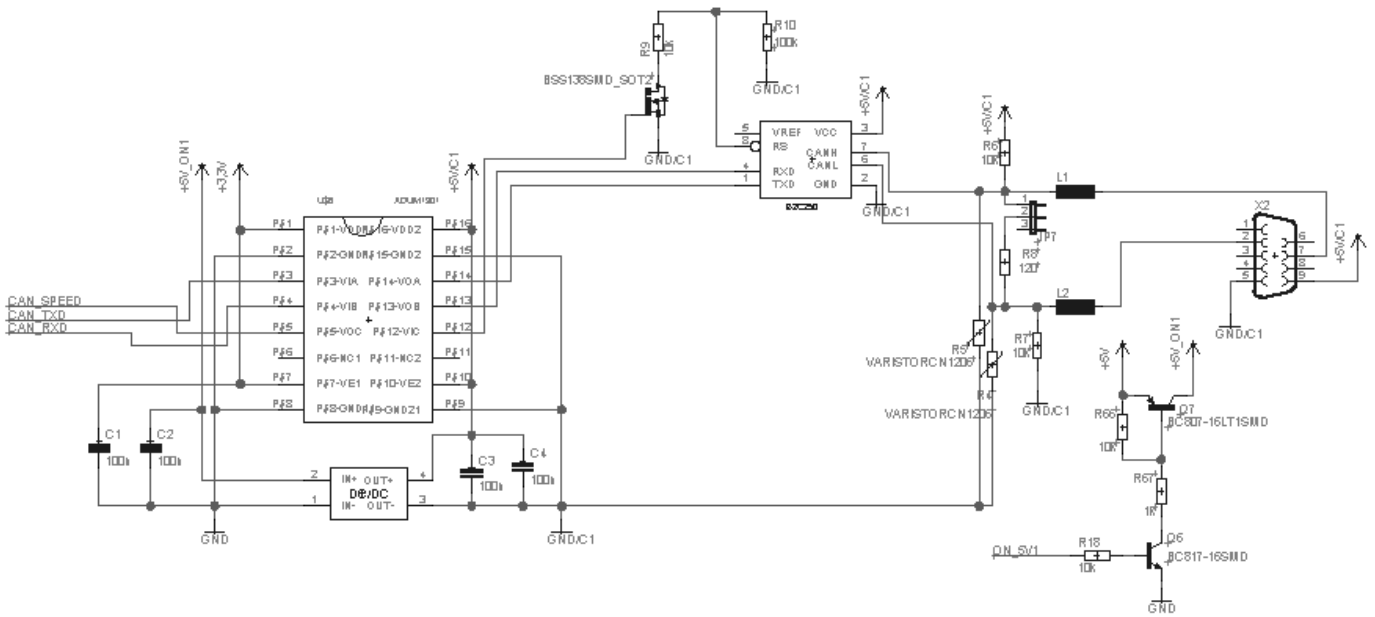
Flash paměť



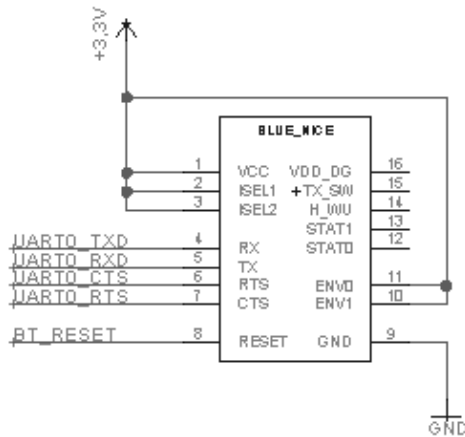
Komunikace CAN, RS-232, RS-485 s galvanickým oddělením,
 které je ovládáno tranzistory, SMCComm verze 1



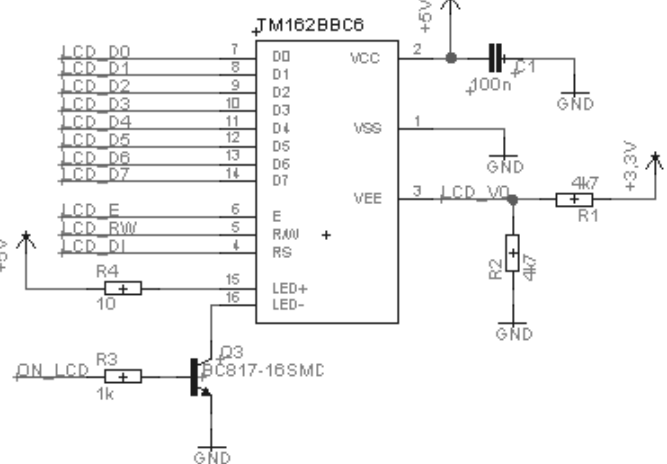
Komunikace RS-232, RS-485 s galvanickým oddělením,
 které je ovládáno tranzistory, SMCComm verze 2



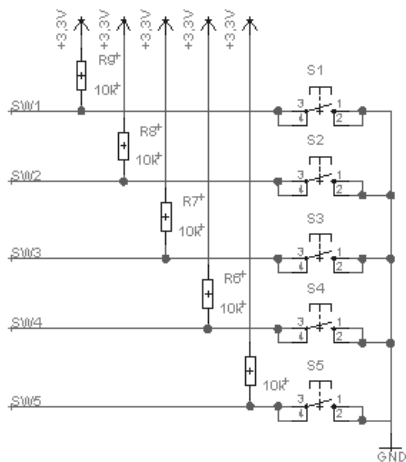
Komunikace CAN s galvanickým oddělením, které je ovládáno tranzistory, SMCComm verze 1



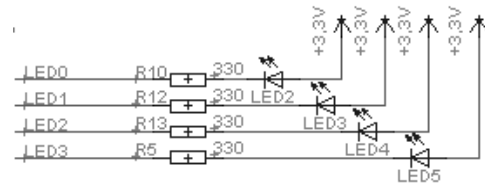
Komunikace Bluetooth



Obvod zapojení displeje

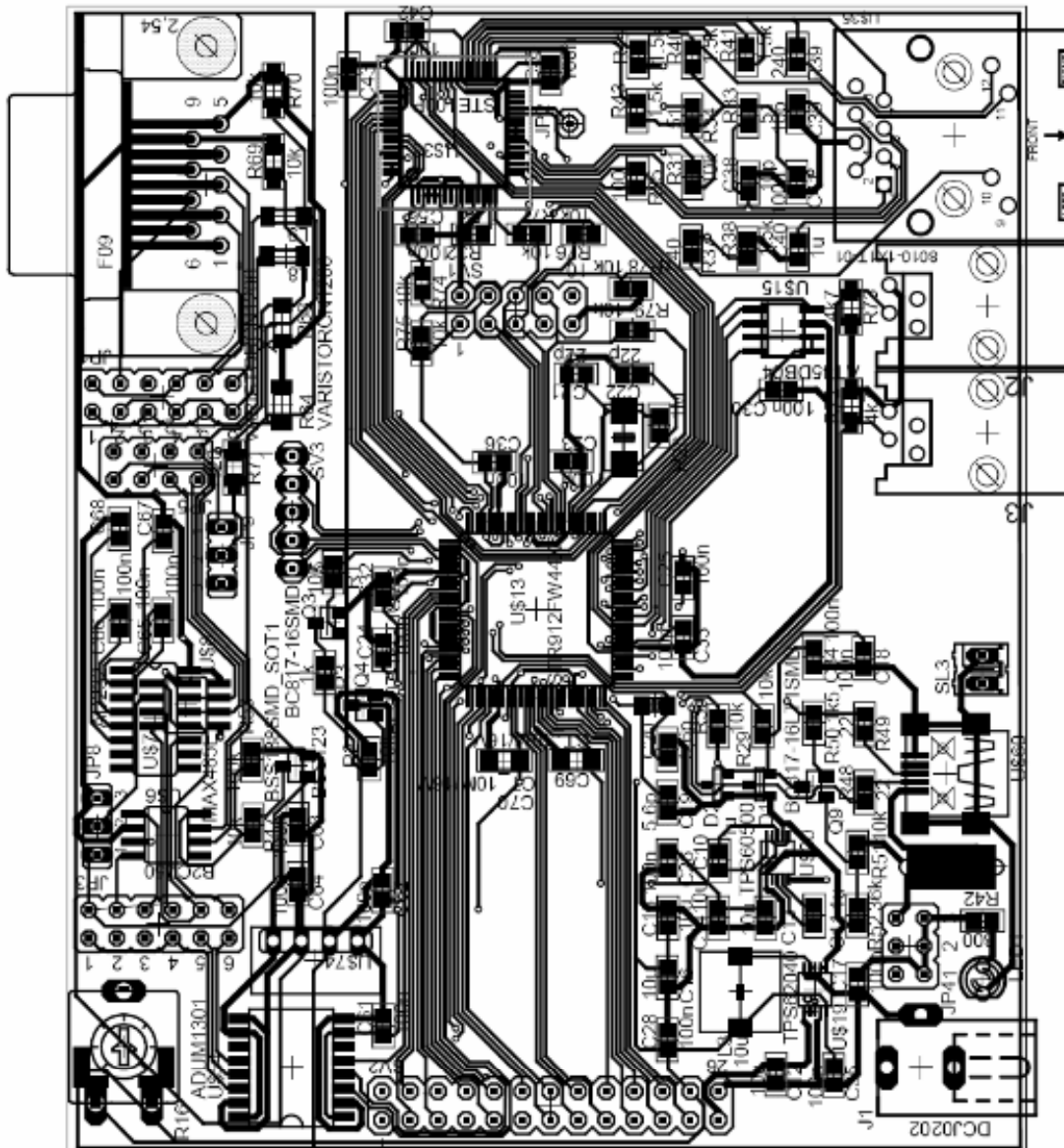


Tlačítka

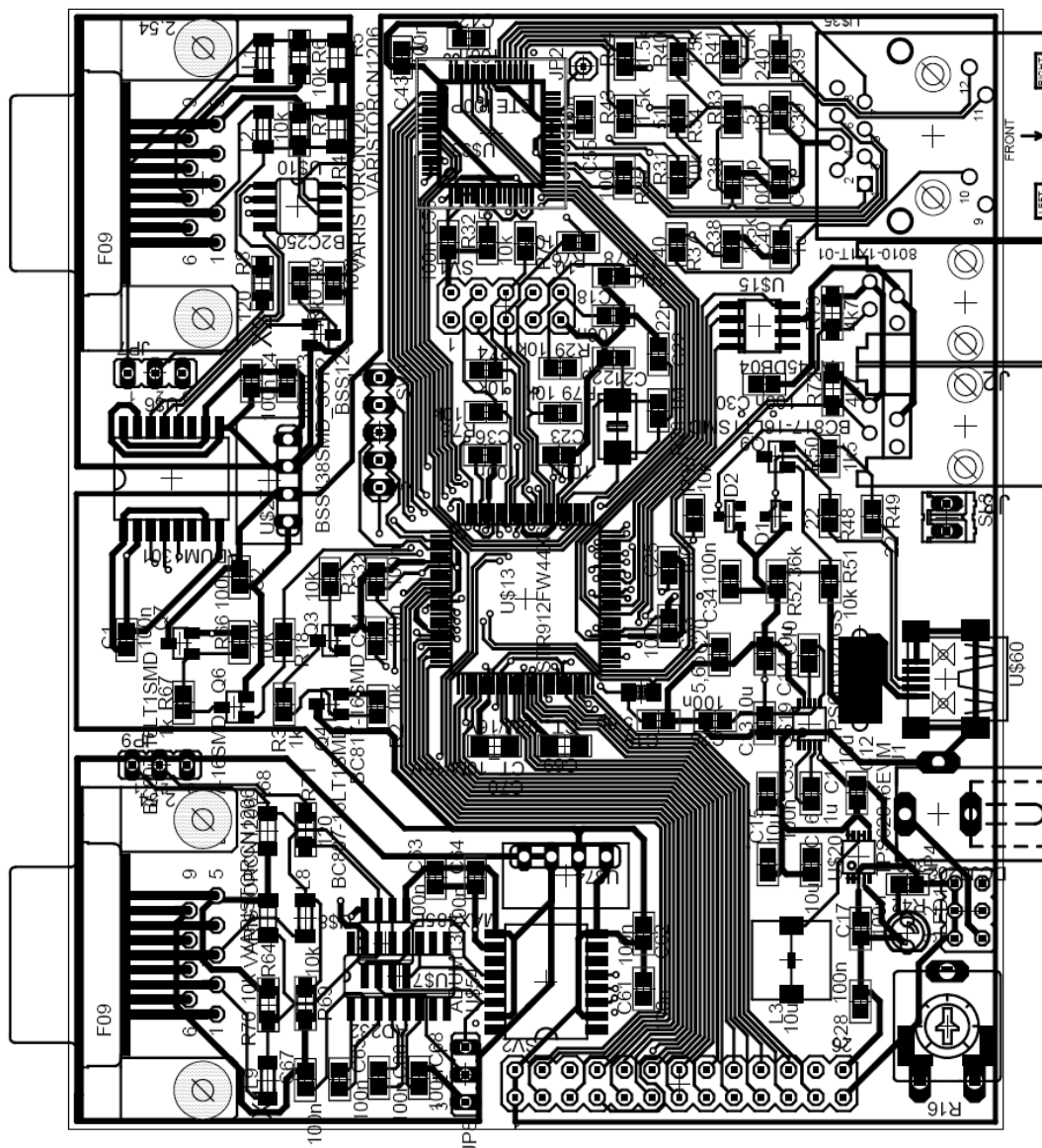


Signalizační LED diody

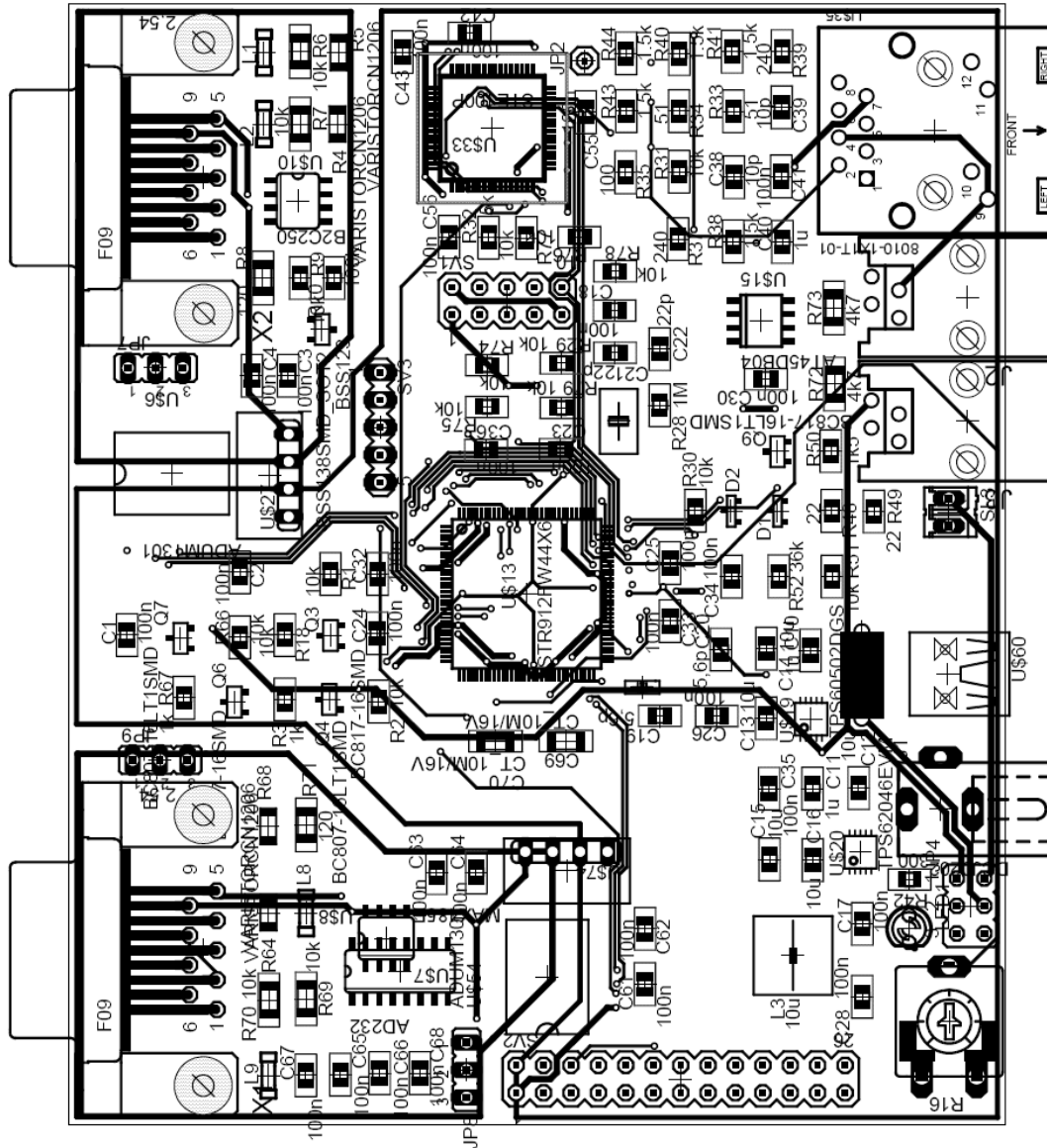
Příloha 2 : Desky HW SMCComm



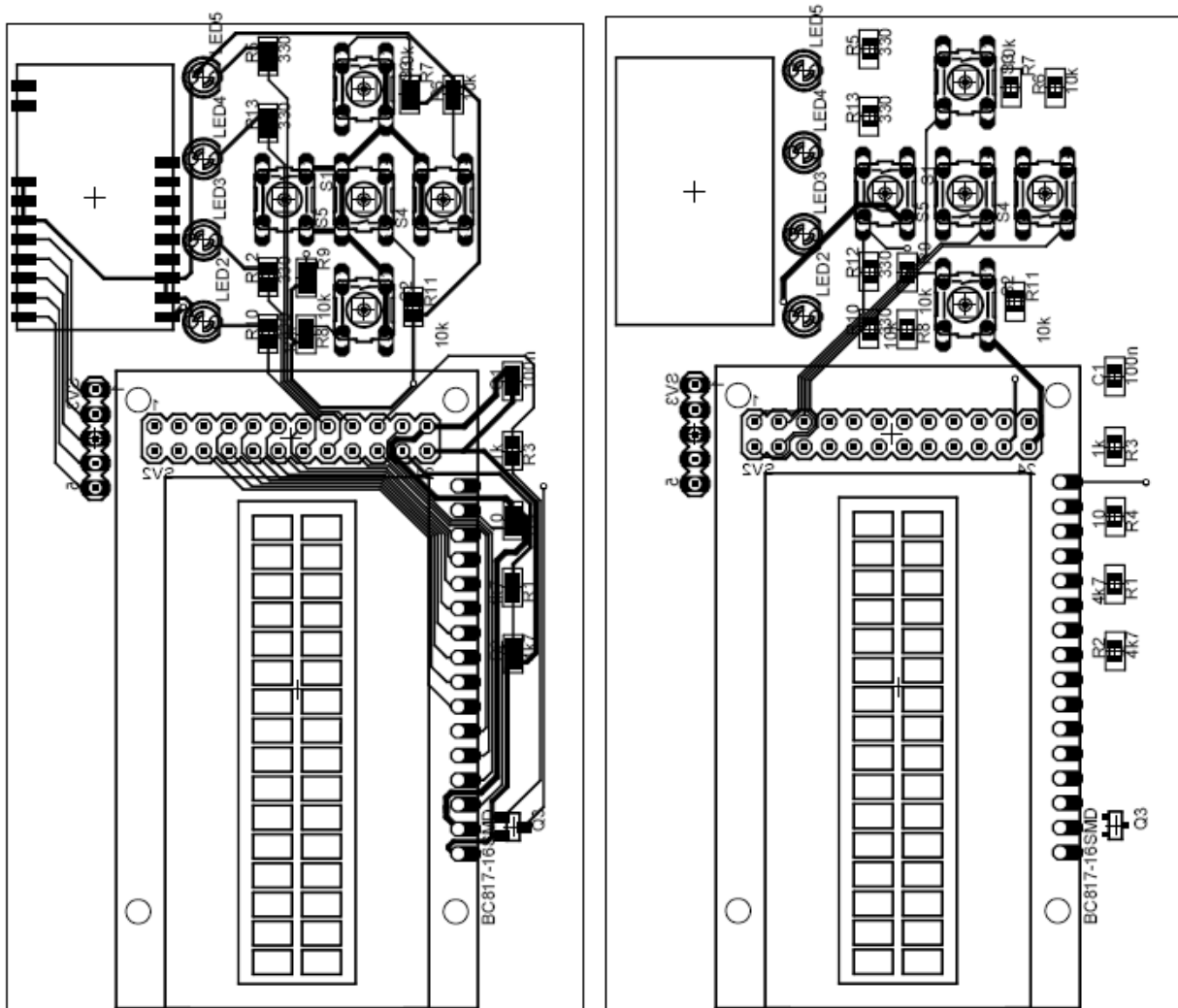
Dvourvrstvý plošný spoj CSA, pohled na přední stranu, verze 1



Dvourstvý plošný spoj CSA, pohled na přední stranu, verze 2



Dvourvrstvý plošný spoj CSA, pohled na zadní stranu, verze 2



Dvouvrstvý plošný spoj CSB, pohled na přední a zadní stranu

Příloha 3 : Seznam elektronických součástek na HW zařízení SMCComm

Součástky na osazení dvouvrstvého plošného spoje CSB:

Název součástky		Pouzdro	Počet kusů
Polovodičové součástky diskrétní		-	-
Tranzistor nf SMD	BC817-16 SMD	SOT23	1
Optoelektrické součástky		-	-
LCD modul	TM162BBC6	TM162BBC6	1
LED diody		3mm	4
Pasivní součástky		-	-
Rezistory [Ω]	10	R0805	1
	330	R0805	4
	4k7	R0805	2
	10k	R0805	5
Kondenzátor [F]	100n	C0805	1
Elektromechanické součástky		-	-
Kolíková lišta lámací	KL-1x5 SG AS	5x2.54	1
	KL-2x13 SG AS	13x2.54	1
Dutinková lišta 5,5mm	ZL8,4-1X05RG	5x2.54	1
Zásuvka dvouřadá samořezná na plochý kabel 2.54mm	PFL-26YYS-1		1
Spínače	P-B1720 4,4mm	B3F-10xx	5
Integrované obvody		-	-
Bluetooth modul	LMX9830	BlueNiceCom4	1

Součástky na osazení dvouvrstvého plošného spoje CSA:

Název součástky		Pouzdro	Počet kusů
Polovodičové součástky diskrétní		-	-
Diody rychlé SMD	BAV 99SMD	SOT23	2
Tranzistory nf SMD	BC817-16 SMD	SOT23	2
	BC807-16 SMD	SOT23	1
Tranzistor MOSFET SMD	BSS138-SMD	SOT23	1
Integrované obvody		-	-
Mikroprocesor	STR912FW44x6	TQFP128	1
Stabilizátor	TPS62040DGQ	S-PSDO-G10	1
	TPS 60500DGS	S-PSDO-G10	1
DC/DC spínaný zdroj	CHM0505 5V/5V 1W	SIP4	1
Tří kanálový izolátor	ADUM1301	SOIC-W RW-16	1
Budič sběrnice CAN	PCA82C250T	SO8	1
Budič sběrnice RS232, 5V	AD232 (MAX232 CSE)	SO16	1

Budič sběrnice RS485, 5V	MAX485 CSA	SO8	1
Paměť DataFlash	AT45DB041B-SU	SOIC8	1
Transceiver 10/100 fast ethernet	STE100P	TQFP64	1
Optoelektrické součástky		-	-
LED dioda		3mm	1
Pasivní součástky		-	-
Rezistory SMD [Ω]	22	R0805	2
	51	R0805	2
	100	R0805	1
	120	R0805	1
	240	R0805	2
	300	R0805	1
	1k	R0805	1
	1k5	R0805	6
	4k7	R0805	2
	5k	R0805	1
	10k	R0805	14
	36k	R0805	1
	100k	R0805	1
1M	R0805	1	
Odporový trimr	CA 9 P V10 10k MA	CA9V	1
	HRIDEL CA -9039		1
Varistory SMD	ZVX 8S 1206 400R	CT/CN1206	2
Kondenzátory SMD [F]	5,6p	C0805	2
	22p	C0805	2
	10p	C0805	2
	100n	C0805	26
	1u	C0805	3
	10u	C0805	5
	CT-10M/16V	C1206	2
Krystaly SMD	32,768kHz	KR..KX327NT	1
	25MHz	KR..KX12B	1
Cívka SMD [H]	10u	WE-PD S/M	1
Elektromechanické součástky		-	-
Kolíková lišta lámací	KL-1x5 SG AS	5x2.54	1
	KL-1x3 SG AS	3x2.54	2
	KL-2x3 SG AS	3x2.54	1
	KL-2x4 SG AS	4x2.54	1
	KL-2x5 SG AS	5x2.54	1
	KL-2x6 SG AS	6x2.54	2
	KL-2x13 SG AS	13x2.54	1
Zkratovací propojky	JUMPER AAG-1		10
Dutinková lišta 5,5mm	ZL8,4-1X05RG	5x2.54	1
Zásuvka dvouřadá samořezná na plochý kabel 2.54mm	PFL-26YYS-1		1

Vidlice	WAF2600-1X02 SYT-3	2x2.54	1
Konektor USB	USB-MINIB 500075-1517	USB-UM-S1	1
Tel. zásuvky do PS 90°nízké	TZ 57 44-NK-1	215875-3	2
	PJ-J0 ethernet 10/100	08-10-1X1T-01	1
D-SUB konektor, vývody do PS 90°	DZV-09 BCBS-1	F09H	1
Napájecí souosý konektor	KNAP ZPS-21/210B	DCJ0202	1
Feritová perla	DFP07 (GES Electronics)	4x8mm	1

**Příloha 4 : Fotografie osazené plošné desky CSA, CSB
a zařízení SMComm**

**Příloha 5 : CD s programy pro procesor, aplikací a
použitými datasheety**