



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

CCD DETEKCE STAVU PATNÍCH MĚŘIČŮ S RF KOMUNIKACÍ

CCD DETECTION OF MEDIA METERS WITH RF COMMUNICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Petřek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Miroslav Petřek

ID: 174235

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci bateriově napájeného mikrokontrolérového systému pro CCD detekci stavu patních měřičů s komunikačním rozhraním 433MHz/868MHz. Systém navrhněte jako miniaturní systém vybavený mikrokontrolérem a nezbytnými vstupy/výstupy. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte. Vyberte programovým vybavením, otestujte a demonstруйте funkčnost.

1. Zpracujte literární rešerši
2. Navrhněte a popište vlastní koncepci systému
3. Realizujte vlastní obvodové řešení, realizujte DPS, oživte
4. Vytvořte funkční programové vybavení
5. Ověřte a demonstруйте funkčnost systému a vyhodnoťte výsledky

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je navrhnout a realizovat zařízení schopné snímat a bezdrátově přenášet stavy neboli naměřené hodnoty patních měřičů. V práci jsou nejprve stručně popsány základní typy patních měřičů a jejich možnosti zpracování a předání naměřených dat. Dále jsou v práci zmíněny nejčastější typy komunikací, které se dnes používají pro předávání dat mezi snímači a mikrokontroléru. Návrh samotného zařízení se skládá z určení vhodných celků a jejich vlastností a následného výběru konkrétních obvodů. V práci je krátce popsán postup návrhu schémat a desek plošných spojů, jejich osazení zvolenými součástkami a moduly a následné oživení. Předposlední část práce se zabývá návrhem programového vybavení pro zprovoznění a komunikaci mezi počítačem a jednotlivými součástmi zařízení. V závěru jsou konzultovány dosažené výsledky a návrhy na vylepšení stávajícího zařízení.

Klíčová slova

Patní měřič, bezdrátová komunikace, CCD kamera, hodiny reálného času, dálkový odečet spotřeby, mikrokontrolér

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to design and implement devices capable of sensing and transmitting states wirelessly, meaning the measured values of the consumption meters. In the work are first briefly described the basic types of the consumption meters and their possibilities of processing and transmission of the measured data. Furthermore, the most common types of communications used today for data transfer between sensors and microcontrollers are mentioned. The design of the device itself consists of identifying suitable units and their properties and then choosing the circuits. In the work is briefly described the process of schematic and printed circuit boards design, their installation with selected components and modules and the subsequent first startup. The penultimate part of the thesis deals with the design of software for commissioning and communication between the computer and individual components of the device. At the end, the results and suggestions for improvement of the existing equipment are consulted.

Keywords

Consumption meter, wireless communication, CCD camera, real time clock, wireless consumption reading, microcontroller

Bibliografická citace:

PETŘEK, M. *CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *CCD detekce stavu patních měřičů s RF komunikací* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 21. května 2018

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 21. května 2018

.....
podpis autora

Obsah

1.	ÚVOD	12
2.	TEORETICKÝ ROZBOR	13
2.1	Patní měřič	13
2.1.1	Vodoměry	13
2.1.2	Plynoměry	14
2.1.3	Elektroměry	14
2.2	Stávající koncepce dálkových odečtů	15
2.2.1	Drátové sběrnice	15
2.2.2	Bezdrátová komunikace.....	15
2.3	Komunikace	16
2.3.1	SPI.....	16
2.3.2	I ² C (TWI).....	17
2.3.3	USART	18
2.3.4	Bezdrátová komunikace.....	19
3.	NÁVRH ZAŘÍZENÍ.....	20
3.1	Návrh koncepce řešení	20
3.2	Snímač patních měřičů (CCD sensing board).....	22
3.2.1	Mikrokontrolér.....	22
3.2.2	CCD kamera	25
3.2.3	Hodiny reálného času.....	25
3.2.4	Paměť	26
3.2.5	Modul bezdrátová komunikace.....	26
3.2.6	Napájení	27
3.3	Bezdrátový přijímač k počítači (PC COM).....	30
3.4	Návrh schémat a desek plošných spojů.....	31
4.	REALIZACE ZAŘÍZENÍ	32
4.1	Osazení a oživení hardwaru DPS	32
4.2	Software pro počítač	33
4.3	Softwarová výbava mikrokontrolerů a oživení	34
5.	ZÁVĚR	37

Seznam symbolů a zkratek

Zkratky:

ADC	...	Analog digital converter
ASCII	...	American Standard Code for Information Interchange
Atd.	...	A tak dále
CPU	...	Central processing unit
CS	...	Chip Select
DC	...	Direct current
FEKT	...	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
FIFO	...	First In First Out
FRAM	...	Ferroelectric Random-Access Memory
GND	...	Ground
GUI	...	Graphical User Interface
I ² C	...	Internal Integrated Circuit
IC	...	Integrated circuit
JPEG	...	Joint Photographic Experts Group
JFIF	...	JPEG File Interchange Format
LDO	...	Low-dropout
MCU	...	Micro controller unit
MISO	...	Master Input – Slave Output
MOSFET	...	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MISO	...	Master Input – Slave Output
NiCd	...	Nickel–cadmium
NiMH	...	Nickel–metal hydride
Např.	...	Například
OCR	...	Optical Character Recognition
Opcode	...	Operation code
RISC	...	Reduced Instruction Set Computing
RTC	...	Real time clock
SDA	...	Serial data
SCK	...	Serial clock (SPI)

SCL	...	Serial clock (I ² C)
SMD	...	Surface mount device
SPI	...	Serial Peripheral Interface
SS	...	Slave Select
THT	...	Through hole technology
TWI	...	Two wire interface
Tab.	...	Tabulka
Tzn.	...	To znamená
Tzv.	...	Takzvané
USART	...	Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	...	Universal Serial Bus
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně

Symboly:

U	...	napětí	[V]
R _{DS(ON)}	...	odpor mezi drain a source v otevřeném stavu	[Ω]
I _{Cmax}	...	Celkový součet proudových odběrů zařízení	[A]
P _t	...	výkon vysílače	[dBm]

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Příklad lopatkového vodoměru s mechanickým číselníkem [28]	14
Obrázek 2.2 Zapojení uzlů sběrnice SPI [22]	17
Obrázek 2.3 Zapojení uzlů sběrnice I2C [23]	17
Obrázek 2.4 Zobrazení komunikace na sběrnici I2C [17]	18
Obrázek 2.5 Zapojení uzlů sběrnice UART [24]	19
Obrázek 3.1 Blokové schéma zapojení CCD sensing board	22
Obrázek 3.2 Výsledné zapojení vstupů a výstupů mikrokontroléru	24
Obrázek 3.3 Graf bezpečné provozní zóny čipu ATmega328P [18]	25
Obrázek 3.4 Zapojení obvodu hodin reálného času	26
Obrázek 3.5 Zapojení obvodu pro ochranu proti přepólování	27
Obrázek 3.6 Zapojení obvodu pro snímání napětí baterie	28
Obrázek 3.7 Zapojení obvodu napájecího regulátoru LTC3103	29
Obrázek 3.8 Blokové schéma napájení pro CCD sensing board	30
Obrázek 3.9 Blokové schéma zapojení bezdrátového přijímače (PC COM)	31
Obrázek 4.1 Foto zařízení po dokončení osazení a oživení	32
Obrázek 4.2 Uživatelské prostředí pro ovládání zařízení	33
Obrázek 4.3 Zapojení hlavní desky pro účely oživování	34
Obrázek 4.4 Ukázka kódu ve vývojovém prostředí Atmel Studio 7	35
Obrázek 4.5 Diagram provázání vytvořených knihoven testovacího programu	36

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Proudové odběry čipu ATmega328P [18]	23
Tabulka 3.2 Chybovost komunikace USART pro dané frekvence krystalů	24
Tabulka 3.3 Proudové odběry jednotlivých obvodů zařízení	28

1. ÚVOD

V poslední době se stále více zvětšuje trend automatického bezdrátového předávání informací ať už ve firmách či domácnostech. A i proto již dnes existují bezdrátové měřicí přístroje určené pro dálkové odečty spotřeby nejen firem ale i domácností. Starší patní měřiče však fungující zcela na mechanickém principu a tuto možnost tak postrádají. Pro potřeby bezdrátového přenosu by tedy byla potřeba jejich výměna za elektronické, což sebou nese nemalé náklady. Částečně proti této myšlence jsou dnes k dostání moduly pro dálkový odečet, které je možné připojit na již stávající mechanické patní měřiče, jako například na vodoměry. Existují však stále typy, u kterých montáž není možná bez úpravy stávajícího patního měřiče. Tato práce se zabývá netradičním řešením tohoto problému, a to možností snímání stavu patních měřičů CCD kamerou. Získání hodnot bude tedy probíhat způsobem, pro který byly patní měřiče bez možnosti dálkového odečtu navrženy, a to přečtením hodnot číselníků.

Úkolem mé bakalářské práce je tedy navrhnout, sestavit a otestovat bateriově napájené zařízení schopné zachytit a bezdrátově předat informace o stavu patního měřiče přes komunikační rozhraní 433/868MHz. Informace budou zachyceny a zpracovány počítačem připojeným ke komunikačnímu modulu. V rámci bakalářské práce se jedná pouze o přijímání a ukládání snímků stavů do osobního počítače.

Text práce je rozdělen do několika celků. Prvním z nich je teoretický rozbor. V jeho první části jsou obecně popsány patní měřiče, jejich rozdělení a z části i funkce. Druhý celek se věnuje teorii použitých způsobů komunikace. Třetí celek se zabývá návrhem koncepce, výběrem funkčních bloků a následně i jednotlivých součástí a obvodů zařízení. Následuje část věnující se sestavení, oživení a tvorbě softwarové výbavy jednotlivých částí zařízení. V závěru je pak shrnuto celkové stádium vypracování a naznačení dalšího postupu.

2. TEORETICKÝ ROZBOR

2.1 Patní měřič

Název patní měřič je odvozen z jeho umístění na měřeném objektu, a to na patě objektu neboli vstupu měřeného média do objektu. Spadají ve většině případů do vlastnictví dodavatele měřeného média či energie. Jedná se o zařízení hojně využívána k odečtu spotřeby bytů, domů a dalších objektů a její následné fakturaci [1]. Výstupem jsou číselná data, která jsou zobrazena jako absolutní hodnota spotřebovaného média či energie na číselníku nebo displeji měřiče. Dnes jsou již k dostání přesné digitální měřiče umožňující bezdrátový odečet, nepřetržité sledování spotřeby i jejich zapojení do chytré domácnosti. Jsou však často mnohem dražší. Většina starších patních měřičů, které jsou dodnes používány, byla konstruována jako čistě mechanická. U takovýchto je otáčivý pohyb (popř. impulsy) převáděn přímo na absolutní hodnotu zobrazovanou na rotačním číselnicovém zobrazovači. Pro umožnění dálkových odečtů u některých takovýchto patních měřičů jsou dnes k dostání bezdrátové moduly, které většinou snímají jeden z možných impulsních výstupů mechanického měřiče [2]. Nejrozšířenějšími typy patních měřičů podle typu měřeného média jsou vodoměry, plynoměry a elektroměry.

2.1.1 Vodoměry

Patní vodoměry jsou využívány pro měření spotřeby studené, teplé i horké vody. Podle využití je lze rozdělit na bytové, domovní a průmyslové. Pracují na principech měření rychlosti či objemu protékajícího média.

Podle konstrukce se rozdělují na [3]:

- lopatkové a turbínkové
- šroubové
- objemové
- průřezové
- ultrazvukové
- indukční

Velký počet dnes používaných vodoměrů v domácnostech má mechanickou konstrukci pracující na principu měření rychlosti. Pro převod rychlosti proudění na otáčivý pohyb a následně na množství protečené vody jsou vybaveny lopatkovým kolečkem nebo turbínkou. Zobrazování hodnot probíhá na mechanickém číselníku. Tyto vodoměry nejsou vhodné pro měření velkých průtoků. Pro účely průmyslu je často potřeba využít průtokoměry pro měření větších průtoků, jakými jsou například šroubové průtokoměry.

Ultrazvukové a indukční měřiče průtoku jsou ze všech jmenovaných nej přesnější a také nejdražší.



Obrázek 2.1 Příklad lopatkového vodoměru s mechanickým číselníkem [28]

2.1.2 Plynoměry

Patní plynoměry se používají pro měření množství protečeného plynu do objektu. Nejčastěji jde o zemní plyn, nebo propan-butan. Stejně jako u vodoměrů jsou nejpoužívanějšími principy měření objemu a rychlosti [4].

Podle konstrukce se nejčastěji používané plynoměry dělí na:

- Membránové – pro malé odběry (domácnosti)
- Rotační – pro větší odběry
- Rychlostní (turbínové a ultrazvukové) – Pro velké odběry

Membránové plynoměry fungují na principu měření objemu. Jsou uvnitř rozděleny měchem na dvě komory. Při průtoku měřeného plynu dochází k plnění a vyprazdňování pomocí šoupátkového rozvodu [5]. Výsledná hodnota protečeného plynu je tedy udána počtem cyklů plnění.

2.1.3 Elektroměry

Elektroměry se používají pro měření spotřebované elektrické energie (protečeného proudu při daném napětí). V minulosti se využívalo stejnosměrného elektrického napětí, a tak elektroměry měřili spotřebu stejnosměrného proudu. Kvůli snadné výrobě, levnějšímu přenosu na větší vzdálenosti a možnosti zvyšování a snižování napětí pomocí transformátoru se dnes využívá střídavá síť. Podle způsobu zapojení se využívají

jednofázové a třífázové elektroměry. Existují také elektroměry s více sazbami (často dvěma). Např. normální a zlevněná (tzv. noční sazba), která má motivovat spotřebitele pro větší odběr energie v čase kdy je jí v síti přebytek (často v noci – odtud název noční).

Jedny z prvních elektroměrů měřících odběr energie ve střídavé síti byly indukční elektroměry a fungovaly na Ferrarisově principu točivého magnetického pole. Princip funkce je podobný jako u asynchronního motoru s kotvou na krátko. Hliníkový kotouč se otáčí v otáčivém magnetickém poli vytvářeném proudovou a napěťovou cívkou. Jeho otáčení pak pohání přes hřídel mechanické počítadlo, které zobrazuje údaj spotřebované energie v kWh. Tohoto principu se využívalo do nedávna.

V současnosti se využívají elektroměry tzv. statické, tedy bez pohyblivých součástí. Měření vychází z měření počtu impulzů daných elektronickým wattmetrem. Jsou vybaveny mikro počítačem, který počítá impulzy a převádí na kWh pomocí konstanty elektroměru. Kromě toho zvládá např. komunikaci po rozvodné síti, přepínání mezi sazbami, komunikaci s počítačem a ukládání historie odběru. Tyto elektronické mají mnoho dalších výhod jako např. nižší spotřebu, vyšší přesnost, LCD displej zobrazující mnoho informací a některé umožňují i automatický a dálkový odečet [6].

2.2 Stávající koncepce dálkových odečtů

U dnes používaných řešení pro dálkový odečet jde buď o již elektronický měřicí přístroj, který již tuto funkci umožňuje, nebo o mechanický měřicí přístroj doplněný o modul dálkového odečtu. Mezi jejich nesporné výhody patří např. absence nutnosti vstupu do cizích objektů za účelem odečtů stavů patních měřičů na straně zřizovatele či možnost sledování trendů spotřeby pro uživatele za účelem jejího snížení. Další výhodou mohou být některé z dalších funkcí jako např. varování při možném vzniku poruchy vedení, díky kterému lze zabránit například vytopení domu či bytu. Samotný přenos informací od měřiče k počítači může být řešen dvěma následujícími způsoby.

2.2.1 Drátové sběrnice

Jedním z možností propojení místa měření odběru a místa zpracování naměřených nebo uložených dat je pomocí metalické sběrnice. Klasické řešení takové komunikace představuje např. sériová sběrnice M-Bus, která může dosahovat až do vzdálenosti 1000m [7]. Jasnou nevýhodou takového řešení je samotné vedení metalické sítě, jehož zřízení je často velmi nákladné.

2.2.2 Bezdrátová komunikace

V současnosti se ale stále více výrobců přiklání k druhému způsobu propojení, a to s využitím bezdrátové komunikace. Tato komunikace probíhá v povoleném pásmu radiových

frekvencí. Způsob odečtu samotných hodnot probíhá buď tzv. *OFFLINE (WALK-BY)* nebo *ONLINE*:

- V prvním případě je potřeba nejdříve se přiblížit do dosahu vysílače patního měřiče. Pak může jít buď o jednosměrný způsob komunikace, kdy je třeba vyčkat na vyslání hodnot z patního měřiče, který je vysílá v pravidelných intervalech, nebo o obousměrný způsob. Při něm komunikační část patního měřiče spí a čeká na požadavky k vyslání dat.
- V případě *ONLINE* odečtu odesílá komunikační modul patního měřiče data v pravidelných intervalech. Přenos dat je zajištěn pomocí veřejné sítě do datacentra neboli na server, kde je možné je sledovat a kdykoliv dále analyzovat [8]. Příkladem může být jedno z komplexních řešení bezdrátového snímání nejen patních měřičů určených pro chytrou domácnost, které se označuje Energomonitor.

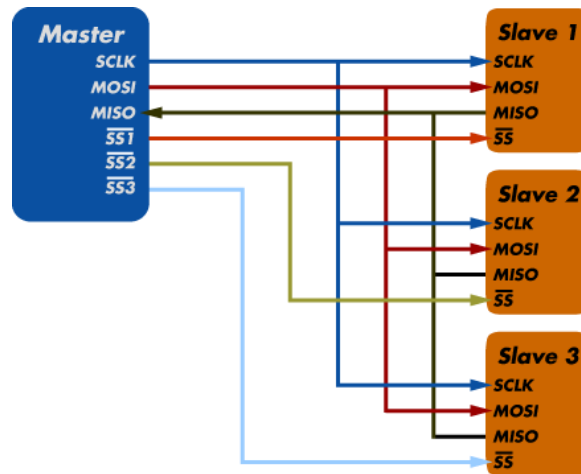
2.3 Komunikace

Pro řešení tohoto zadání je potřeba použití několika typů sériové komunikace, a to ať už jde o předávání informací mezi mikrokontrolérem a k němu připojenými celky jako kamera, hodiny reálného času, paměť a komunikační modul, tak i pro bezdrátovou komunikaci s počítačem. Mezi dnes užívané způsoby komunikace patří následující komunikační rozhraní.

2.3.1 SPI

Jde o sériovou sběrnici, ve které se vyskytuje vždy jeden modul MASTER, který komunikaci řídí a jeden či více SLAVE modulů. Pro komunikaci se využívá nejčastěji 4 signálových vodičů. Jsou to:

- SCK – přenáší synchronizační hodinový signál generovaný MASTER modulem
- MOSI – slouží pro přenos dat od MASTER modulu k SLAVE modulu
- MISO – slouží pro přenos dat od SLAVE modulu k MASTER modulu
- SS/CS – slouží pro výběr SLAVE modulu



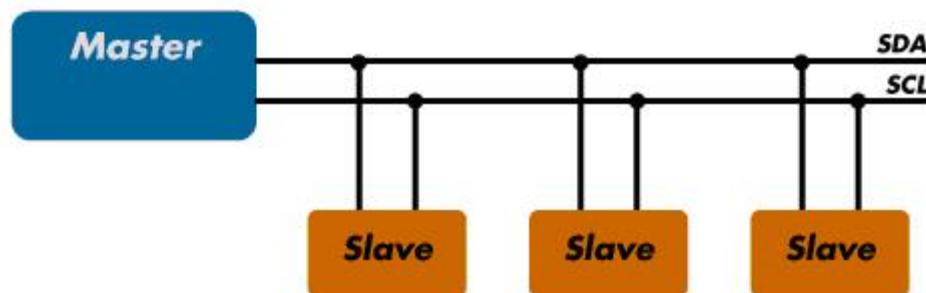
Obrázek 2.2 Zapojení uzlů sběrnice SPI [22]

Díky tomu že komunikace po vodiči je vždy jednosměrná, je její implementace poměrně jednoduchá. Nevýhodou je schopnost přenášet data na kratší vzdálenosti a velký počet vodičů, způsobený typem výběru SLAVE modulu [9]. V případě potřeby lze ještě pro některé obvody počet signálových vodičů snížit spojením vodičů MISO a MOSI v jeden. Příklad zapojení uzlů je vidět na obrázku 2.2.

2.3.2 I²C (TWI)

Název I²C je chráněnou značkou počítačové interní sériové sběrnice vyvinuté firmou Philips. Z tohoto důvodu existuje prakticky identická sběrnice, která skrývá pod označením TWI užívaným například firmou Atmel (od roku 2016 Microchip).

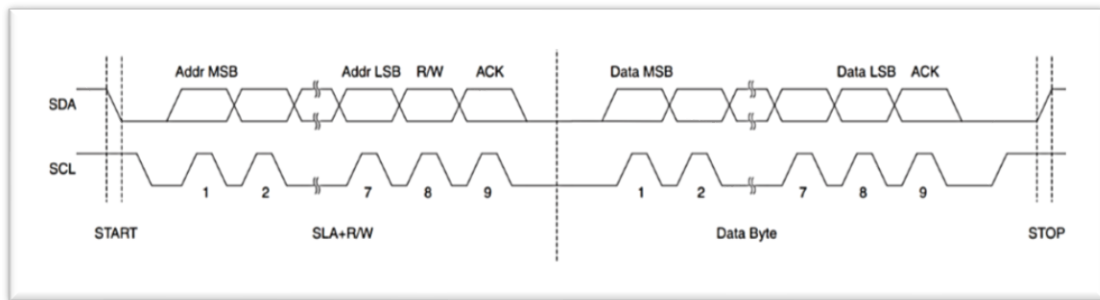
Pro správnou funkci se doporučuje zapojení z obrázku 2.3 doplnit o dvojici rezistorů, kterými se propojí oba vodiče s napájecím napětím. Vyplývá to z konstrukce vnitřních obvodů, které vytváří logickou úroveň nula připojením daného vodiče k zemi. Sběrnice je často využívána pro komunikaci v rámci jednoho zařízení, a to kvůli omezení kapacity, a s tím související délky jednotlivých vodičů. Často jde o komunikaci mezi mikrokontrolérem a k němu připojenými obvody. Obvody připojené na sběrnici se



Obrázek 2.3 Zapojení uzlů sběrnice I2C [23]

rozdělují na řídicí tzv. MASTER a řízené tzv. SLAVE s tím, že počet obou typů obvodů není omezen. Pro přenos jsou využívány dva signálové vodiče, jak je vidět na obrázku 2.3. Jedním je vodič s názvem SDA, který slouží pro obousměrný přenos dat, a druhým je SCL, který slouží pro synchronizaci přenosu pomocí hodinového signálu generovaného MASTER obvodem. Jeho maximální frekvence je omezena podle typu na 100kHz, popř. na 400kHz. K jednotlivým SLAVE obvodům se přistupuje pomocí jejich adresy. Oproti SPI tedy není potřeba vést pro každý SLAVE modul vlastní vodič. Komunikace na sběrnici probíhá podle časového diagramu na obrázku 2.4.

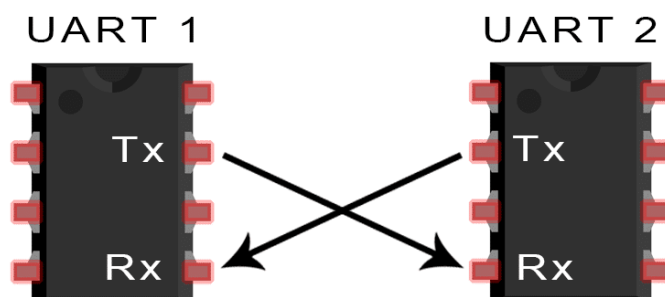
Tato sběrnice je často využívána pro komunikaci s jednoduchými obvody jako např. RTC.



Obrázek 2.4 Zobrazení komunikace na sběrnici I2C [17]

2.3.3 USART

Jde o sériovou synchronní či asynchronní komunikaci mezi dvěma moduly/zařízeními používanou nejen u mikrokontrolérů. Díky tomu, že ji lze provozovat v asynchronním režimu, lze použít pouze dvou signálových vodičů. Jeden z nich označujeme RX a slouží pro příjem dat a druhý označujeme TX a slouží pro vysílání dat, a proto se pro vzájemnou komunikaci propojují do kříže, jak je tomu znázorněno na obrázku 2.5. V tomto případě je ale synchronizace obou komunikujících konců zajištěna pouze pomocí známe rychlosti, která je označována jako baud rate neboli modulační rychlost. Ta vyjadřuje rychlost komunikace, tedy počet změn za jednu sekundu a pro jednoduché systémy označuje rychlost přenosu informací včetně doprovodných bitů. Komunikace začíná vždy pomocí start bitu, po kterém následuje 5 až 8 bitů obsahujících přenášená data, jeden paritní bit a jeden či dva stop bity v závislosti na nastavení. Pomocí tohoto rozhraní lze např. komunikovat s počítačem s využitím převodníku UART-USB nebo dalšími obvody jako třeba CCD kamera.



Obrázek 2.5 Zapojení uzlů sběrnice UART [24]

2.3.4 Bezdrátová komunikace

Pro bezdrátovou komunikaci mezi bateriově napájeným snímačem a počítačem je potřeba využít pásma k provozování zařízení krátkého dosahu, na které není nutné individuální oprávnění. O podmínky provozu bezdrátových komunikačních zařízení v České republice se stará Český telekomunikační úřad. Ten pro využívání radiových kmitočtů a provozování zařízení krátkého dosahu vydal všeobecné oprávnění, ve kterém jsou sepsány technické parametry a podmínky, které musí každé legálně užívané zařízení splňovat pro provoz na území České republiky. [10]

Mezi nejčastěji využívané frekvence patří 433MHz a 868MHz. Maximální vyzařovaný výkon pro frekvenční pásmo 433MHz je omezen na hodnotu 10mW, díky čemuž se může dosah pohybovat až okolo 300m v závislosti na okolních podmínkách. Toto pásmo je však velmi vytížené, a tak se zde objevuje silné vzájemné rušení. Oproti tomu v pásmu 868MHz lze využít vyššího vyzařovacího výkonu, a to až 25mW. I proto lze v tomto pásmu dosáhnout srovnatelné či větší komunikační vzdálenosti [11].

3. NÁVRH ZAŘÍZENÍ

3.1 Návrh koncepce řešení

Koncepčním návrhem pro rozsah zadání bakalářské práce je bateriově napájené zařízení, umístěné na patním měřiči, se kterým lze bezdrátově komunikovat pomocí počítače. Na tento počítač se tedy budou ukládat pořízené snímky stavu patních měřičů doplněné o čas jejich pořízení. Od počítače se pak dá očekávat zpracování a převedení získaných snímků pomocí optického rozpoznávání znaků (OCR) na potřebné číselné informace, což však nespadá do rozsahu zadání bakalářské práce, a tudíž v ní není řešeno. Jelikož celá koncepce se zabývá pouze pořízením a přenosem informací o stavech patních měřičů, tedy naměřených absolutních hodnot, nemůže tento koncept zanášet žádné další chyby do naměřených hodnot a ovlivňovat tak přesnost měření.

Při návrhu zařízení tohoto rozsahu lze za nejvhodnější řešení řídicí jednotky považovat 8bitový mikrokontrolér. Je vhodný díky své příznivé ceně, dostatečném výkonu, nízké spotřebě a jednoduchosti.

Pro snímání lze obecně použít různé metody. Mohou být založené na snímání relativní hodnoty, jako například snímání otáčení světlé výseče v kruhu, nebo absolutní hodnoty, kde můžeme například snímat hodnotu spotřeby od vynulování neboli kalibrace číselníku vodoměru. Pro obě varianty lze využít CCD kamery, která bude snímat důležité části zobrazovače. Avšak kvůli bateriovému napájení a množství výstupních dat nelze za vhodné považovat využití kontinuálního režimu potřebného pro snímání relativních hodnot. Proto bude odečet hodnot zajišťovat pořízení jednoho snímku aktuální hodnoty číselníku patního měřiče v pravidelných intervalech. Pro možnost zajištění vhodných světelných podmínek při snímání obrazu jsou v návrhu doplněny přisvětlovací diody.

Kamera bez komprese dokáže při rozumném rozlišení generovat nemalý objem dat. Pro případ snímání dostatečně kontrastního displeje si lze vystačit se snímáním monochromatického obrazu v nižší bitové hloubce. Při pořízení monochromatického obrazu s rozlišením 640x480 pixelů a 8bitovou hloubkou bez komprese lze získat 300 kB dat. Tak velký obraz se ale nevejde do paměti většiny mikrokontrolérů. Z tohoto důvodu je výhodné rozšířit návrh zařízení o interní paměť pro možnost dočasného uložení obrazu kamery.

Protože informace o stavech patních měřičů snímaných kamerou je potřeba identifikovat v čase, je zařízení opatřeno možností zjistit aktuální čas. Za nejjednodušší řešení bylo považováno připojit k zařízení obvod přesných hodin reálného času.

Jelikož bude zařízení napájeno z baterií, je pro prodloužení doby výdrže důležité, aby spotřeba energie byla co nejnižší. Spotřeba energie neboli příkon je závislý na hodnotě napájecího napětí a proudu protékajícího obvodem (zařízením). Proto je důležité, aby nejen proud ale i napětí dosahovalo nízkých hodnot. Mezi standardně používaná napájecí

napětí patří i zde zvolená hodnota 3,3V. Toto napětí je společné pro všechny části zařízení.

Další úsporu energie je možné zajistit úplným odpojením těch částí, které nejsou v daných okamžicích potřeba pro funkci zařízení a mají nezanedbatelnou nejnižší možnou spotřebu. Jedním z možných řešení je využití CMOS tranzistorů ve funkci elektronického spínače. Ten je využit hlavně pro obvod kamery, jejíž nejnižší udávaná spotřeba činí $100\mu\text{A}$ [19].

Jako zdroj energie lze použít různé typy dnes snadno dostupných baterií a akumulátorů. Pro jednoduchost řešení a dostatečnou kapacitu, bylo vybráno využití standardních tužkových článků velikosti AA s napětím 1,5V, popřípadě i nabíjecích s napětím 1,2V.

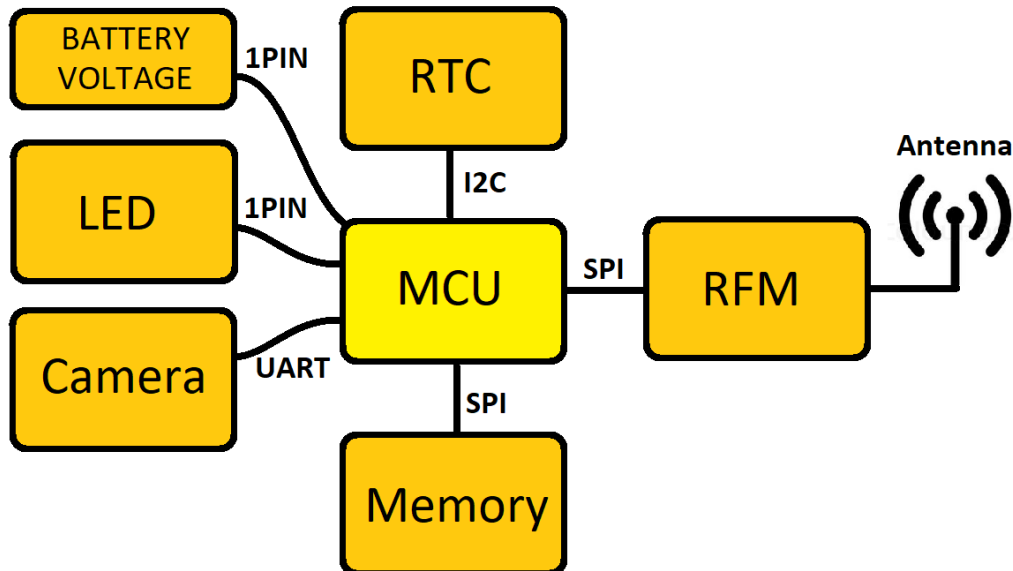
Pořízená obrazová data budou pro svou výpočetní náročnost potřebnou pro vykonání OCR předána pomocí bezdrátového modulu počítači. Je tedy potřeba vytvořit na straně počítače modul pro bezdrátovou komunikaci umožňující spojení počítače s bezdrátovým snímačem umístěným na patním měřiči. Pro prototyp zařízení lze tudíž využít klasického osobního počítače s USB rozhraním.

Vzhledem k možnému umístění snímaných patních měřičů v exteriérech, je důležité zaručení správné funkce prvků zařízení ve větším rozsahu teploty, a to hlavně teplotám pod bodem mrazu. Mezi typicky používané rozsahy pracovních teplot patří -40°C až $+85^{\circ}\text{C}$. Všechny vybrané součásti zařízení by tedy měli splňovat tyto teplotní rozsahy.

Pro splnění všech výše uvedených požadavků jsem vybral následující prvky zařízení.

3.2 Snímač patních měřičů (CCD sensing board)

V následujících podkapitolách jsou vybrány a popsány hlavní celky zařízení pro umístění na patní měřič označovaného jako „CCD sensing board“. Jejich výběr probíhal



Obrázek 3.1 Blokové schéma zapojení CCD sensing board

z části z komponentů již ve škole dostupných a z části z komponentů a součástek dostupných na trhu. Základní princip propojení jednotlivých celků je znázorněn na blokovém schématu na obrázku 3.1.

3.2.1 Mikrokontrolér

Podle návrhu koncepce řešení spočívá úloha 8bitového mikrokontroléru v řízení všech jeho součástí. Stará se tedy nejen o řízení spotřeby, ale především o komunikaci mezi dílčími částmi zařízení a počítačem. Díky očekávání malých nároků na výpočetní výkon, lze pro zvýšení výdrže napájecí baterie zařízení provozovat většinu doby ve stavu nízké spotřeby.

Pro výběr řídicího mikrokontroleru byly považovány tyto parametry za důležité:

- Dostatečné množství vstupů a výstupů
- Dostatečná velikost vnitřní paměti
- Nízké napájecí napětí (3,3V)
- Nízká spotřeba (úsporné režimy)
- Dostatečná konektivita (podpora užitých komunikací)

Jako vhodný adept byl vybrán lehce dostupný mikrokontrolér ATmega328P od firmy Atmel (od roku 2016 Microchip), dnes velmi rozšířený hlavně díky populární platformě

Arduino. Jde o mikrokontrolér s 20 programovatelnými vstupy/výstupy. Pro své operace využívá redukovanou instrukční sadu (RISC) a harvardské rozložení paměti. Velikost

Symbol	Parameter	Condition		Min.	Typ. ⁽²⁾	Max.	Units
I _{CC}	Power Supply Current ⁽¹⁾	Active 1MHz, V _{CC} = 2V	T = 85°C		0.3	0.5	mA
		Active 4MHz, V _{CC} = 3V	T = 85°C		1.7	3.5	
		Active 8MHz, V _{CC} = 5V	T = 85°C		5.2	12	
		Idle 1MHz, V _{CC} = 2V	T = 85°C		0.04	0.5	
		Idle 4MHz, V _{CC} = 3V	T = 85°C		0.3	1.5	
		Idle 8MHz, V _{CC} = 5V	T = 85°C		1.2	5.5	
	Power-save mode ⁽³⁾	32kHz TOSC enabled, V _{CC} = 1.8V	T = 85°C		0.8		μA
		32kHz TOSC enabled, V _{CC} = 3V	T = 85°C		0.9		
	Power-down mode ⁽³⁾	WDT enabled, V _{CC} = 3V	T = 85°C		4.2	15	
		WDT disabled, V _{CC} = 3V	T = 85°C		0.1	2	

Tabulka 3.1 Proudové odběry čipu ATmega328P [18]

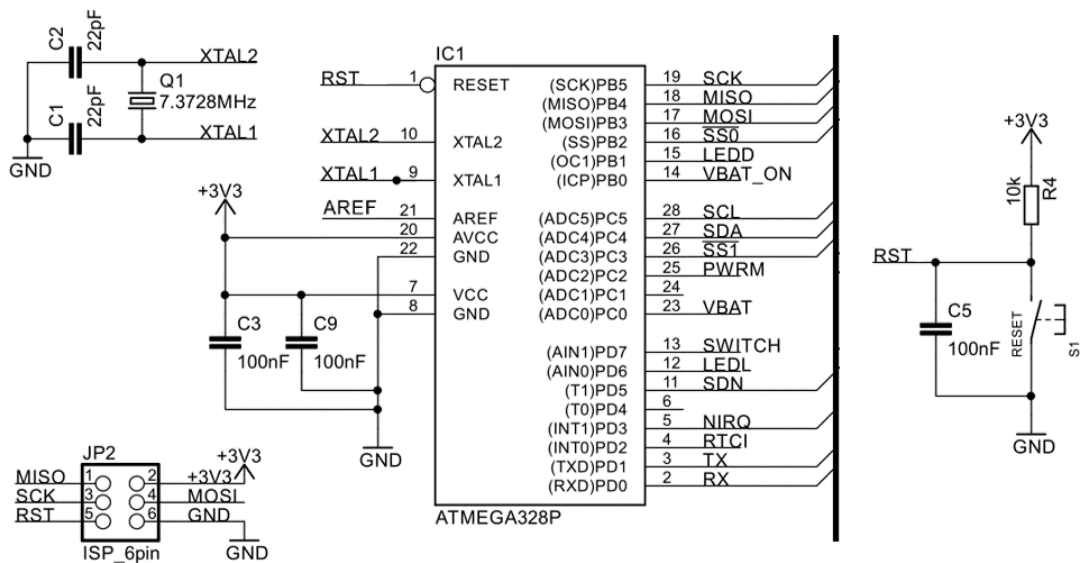
programovatelné paměti činí 32kB. Rozsah stejnosměrného napájecího napětí dosahuje hodnot od 1,8V do 5V. Díky řízení spotřeby lze pomocí úsporných režimů dosáhnout velmi nízké spotřeby v době, kdy není vyžadován výpočetní výkon, jak ukazuje tabulka 3.1.

Atmega328P-PU umožňuje následující režimy spotřeby:

- Power-Down Mode
- Power-Save Mode
- Standby Mode
- Idle Mode

Pro účely zajištění komunikace mikrokontroléru s dílčími obvody podporuje ATmega328P 3 různá komunikační rozhraní, které jsou využity v zařízení. Jsou to SPI, TWI (neboli I²C) a USART.

Pro zajištění bezchybné asynchronní komunikace je vhodné k mikrokontroléru připojit externí krystal pro přesný chod interního oscilátoru. Frekvence takového krystalu by měla co nejlépe odpovídat násobkům frekvence dané asynchronní komunikace. Vhodné frekvence krystalů pro tuto rychlost jsou zelenou barvou vyznačeny v tabulce 3.2. Jejich vhodnost je určena na základě chybovosti komunikace určené v procentech při maximální použitelné rychlosti UART komunikace, která pro kameru činí 115 200bps.

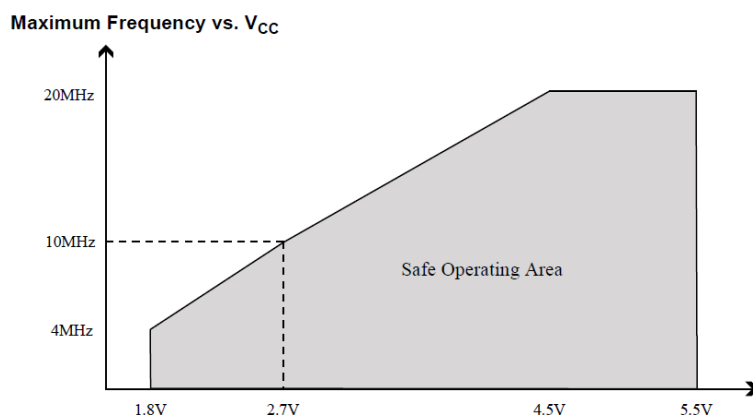


Obrázek 3.2 Výsledné zapojení vstupů a výstupů mikrokontroléru

Frekvence	Chybovost	
	U2Xn=0	U2Xn=1
[MHz]	[%]	[%]
1,0000	-	8,5
1,8432	0,0	0,0
2,0000	8,5	8,5
3,6864	0,0	0,0
4,0000	8,5	8,5
7,3728	0,0	0,0
8,0000	8,5	-3,5
11,0592	0,0	0,0
14,7456	0,0	0,0
16,0000	-3,5	2,1
18,4320	0,0	0,0
20,0000	-1,4	-1,4

Tabulka 3.2 Chybovost komunikace USART pro dané frekvence krystalů

Ze všech možných frekvencí nejlépe vyhovuje 7,3728MHz. Při této frekvenci komunikace dosahuje nulové chyby a pro zvolené napájecí napětí 3,3V se MCU podle tabulky 3.3 stále pohybuje v bezpečné operační zóně.



Obrázek 3.3 Graf bezpečné provozní zóny čipu ATmega328P [18]

3.2.2 CCD kamera

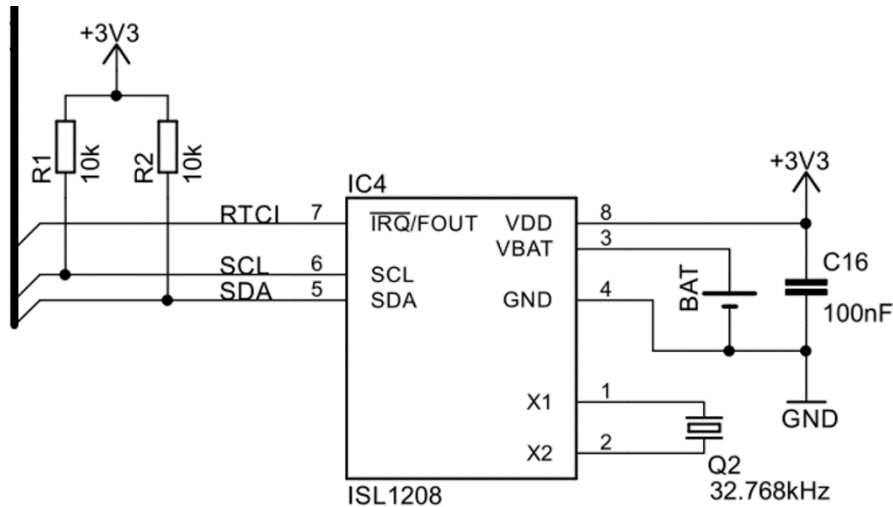
Jako snímač číselníku patního měřiče byla vybrána kamera s označením ITM-C-C328 umožňující nahrávání barevného videa, nebo pořizování snímků s kompresí JPEG (JFIF). Na čipu s rozlišením 640x480 bodů je připevněna čočka se světlostí F 2,2. Nastavení parametrů kamery a její ovládání umožňuje soubor 11 příkazů. Kamera je schopna zmenšení rozlišení pořizovaného obrázku až na 80x64pix v několika krocích i nastavení bitové hloubky barev v rozmezí 256RGB až po 4 stupně šedi. Díky tomu lze jednoduše omezit množství pořizovaných dat. Komunikace a přenos dat probíhá pomocí UART sběrnice. Její nejvyšší rychlost komunikace činí 115,2kbps [19].

3.2.3 Hodiny reálného času

Na základě koncepčního návrhu je nutné, aby stavy patních měřičů byly zaznamenány s časem jejich pořízení. Pro výběr obvodu bylo vhodné, aby dosahoval rozumné přesnosti v rozsahu venkovních teplot za rozumnou cenu. Zároveň by měl dosahovat nízkého proudového odběru a umožňovat uchování času i v případě odpojení napájení, tedy při výměně napájecích baterií.

Z dostupných integrovaných obvodů byl vybrán obvod ISL1208. Jedná se o obvod takřka totožný s obvodem DS1339, ovšem s nižší pořizovací cenou. Dosahuje nízkého spotřeby (< 4 μ A) a nízkého svodového proudu (< 0,1 μ A). Komunikace s MCU probíhá pomocí I²C sběrnice. Umožňuje připojení externí 3V baterie a generování přerušení pro probuzení MCU. Pro správnou funkci vyžaduje pouze připojení přesného externího

krystalu s frekvencí 32,768kHz a kapacitou 12,5pF. Umožňuje také případnou kompenzaci teplotního driftu krystalu.



Obrázek 3.4 Zapojení obvodu hodin reálného času

3.2.4 Paměť

Do obvodu zařízení byla vybrána i paměť pro již zmíněnou možnost dočasného uložení obrazových dat stavu daného patního měřiče. Jelikož se jedná o zařízení bateriově napájené, bylo použito paměti FRAM s dostatečnou velkou kapacitou, která činí 4Mb (512kB) a označením CY15B104Q. Jde o nevolatilní paměť, která dokáže uchovávat data i po odpojení napájení. Využívá se hlavně tam, kde je potřeba velmi nízká spotřeba a vysoká rychlost zápisu. Pro komunikaci využívá rozhraní SPI a opcode příkazů a umožňuje několik režimů ochrany dat proti jejich náhodnému přepisu [25].

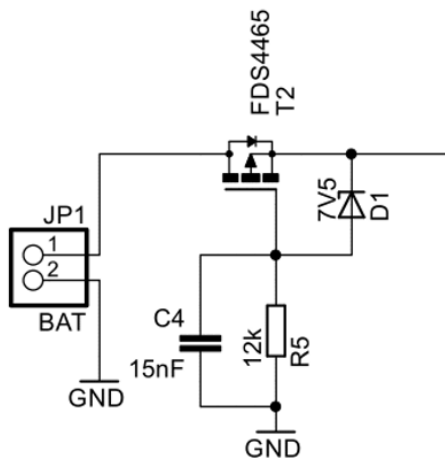
3.2.5 Modul bezdrátová komunikace

Pro bezdrátovou komunikaci bylo použito modulu RFM22B. Jde o modul vhodný pro bateriově napájená zařízení, a to díky jeho nízkému napájecímu napětí do 3,6V a malému proudovému odběru nastavitelného pomocí úsporných režimů, při kterých může dosáhnout velmi nízké spotřeby. Zachovává si možnosti dosáhnout velkého vysílacího výkonu, a to až +20dBm (100mW), který lze omezit s krokem 3dBm až na hodnotu +1dBm. Jak je uvedeno v teoretickém rozboru, v České republice je však maximální dovolený vysílací výkon omezen na 25mW což pro modul znamená nastavení maximálního výkonu na +13dBm. Jednou z možností jeho komunikace je rozhraním SPI. Kromě toho má vývody SDN pro možnost vypnutí a nIRQ pro signalizaci přerušení. Pro vyčkávání na příjem signálu využívá režim s nízkou spotřebou tzv. Low Duty Cycle Mode. Díky němu se přijímač v pravidelných nastavitelných intervalech probouzí a kontroluje, zda je k dispozici platný signál.

Zapojení modulu do obvodu zařízení je provedeno podle katalogového listu na straně 58 [13]. Je využito modulu s přesným označením RFM22B-D díky možnosti jeho snadné montáže a demontáže pomocí konektoru/patice.

3.2.6 Napájení

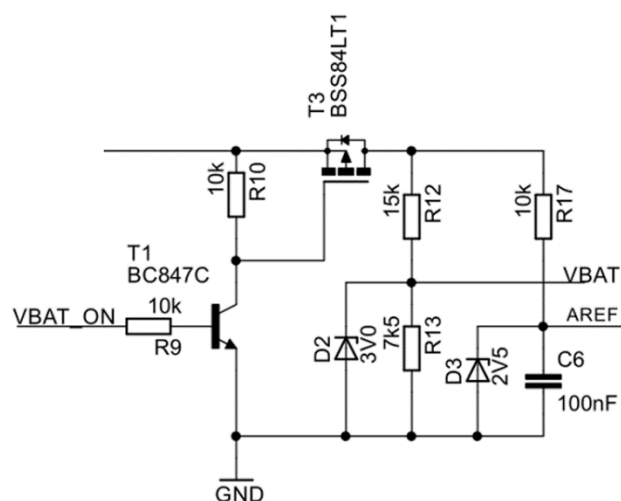
Jako zdroj pro obvod bezdrátového snímače je využito baterií. Dnes nejjednodušejí dostupné a pro potřeby zařízení vyhovující jsou tužkové baterie (označení AA). Napájecí napětí je pro všechny části zařízení shodné a má hodnotu 3,3V. Bateriové napájení bude tedy zajištěno tužkovými bateriemi, které poskytují dostatečnou kapacitu v řádu 1000 až 2000 mAh. Jejich napětí však v průběhu vybíjení klesá. Pro co největší využití kapacity, se proto zdroj skládá ze sériového spojení 4 článků o jmenovitém napětí $U_{\text{čl}} = 1,2V$ až $U_{\text{čl}} = 1,5V$. Hodnota napětí baterie složené z jednotlivých článků se pohybuje v rozmezí od 3,6V pro téměř vybité články, až po hodnotu zhruba 6,5V pro články nové v závislosti na napětí článků na prázdko.



Obrázek 3.5 Zapojení obvodu pro ochranu proti přepólování

Source a Gate ochráněn 7,5V Zenerovou diodou, pro případ připojení napájecího napětí vyššího než 8V [15].

Pro účely zajištění ochrany proti přepólování je nejjednodušším řešením zapojení sériové diody. Ta zabráni průchodu při připojení zdroje obrácenou polaritou. Na této diodě však vzniká při průchodu proudu propustným směrem úbytek napětí, a tudíž ztrátový výkon. To však není vhodné pro bateriově napájené aplikace. Jako vhodné řešení bylo tedy vybráno využití aktivního prvku (spínače) s minimální ztrátou umožňující průchod proudu při přiložení napětí správné polaritě. Proto bylo zařízení vybaveno o zapojení MOSFET tranzistoru s P-kanálem, které umožňuje spínat a rozspínat kladnou část napájení zařízení [14]. Vybrán byl tranzistor FDS4465 s $R_{DS(ON)} < 11m\Omega$, který je mezi



Obrázek 3.6 Zapojení obvodu pro snímání napětí baterie

Pro účel zjištění napájecího napětí, a tedy i přibližné výdrže zařízení je obvod vybaven napěťovým děličem 1:3. Tento obvod je však z důvodu zamezení trvalého vybíjení baterie spínán vlastní dvojicí tranzistorů (bipolární NPN a unipolární P-kanál). Proto je obvod doplněn o pevnou napěťovou referenci 2,5V. Pin mikrokontroléru připojený na dělič napětí přiváděného z baterie je chráněn proti přepětí pomocí paralelního zapojení Zenerovy diody v závěrném směru s hodnotou Zenerova napětí 3V.

Následující tabulka 3.1 obsahuje odběry proudu pro účely výběru regulátoru. Hodnoty proudových odběrů jednotlivých obvodů byly převzaty z katalogových listů [12] [13] [18] [19] [25].

Název IC	Minimální odběr proudu	Normální odběr proudu	Maximální odběr proudu
	[μA]	[mA]	[mA]
ATmega328P	<1	~2,5	200
RFM22B	<1	~8,5	85
C328-7640	100	60	-
CY15B104Q	3	~0,1	3
ISL1208	1,4	0,04	0,12

Tabulka 3.3 Proudové odběry jednotlivých obvodů zařízení

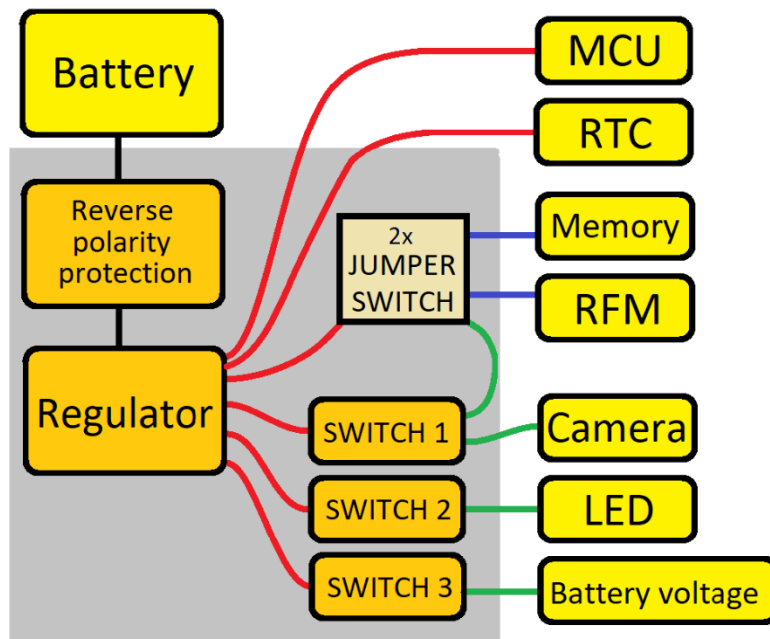
Sloupec minimálního odběru proudu v tabulce udává hodnotu proudu daným obvodem dosaženou využitím úsporných režimů. Při sloupci normální odběr proudu je obvod aktivní a sloupec maximálního odběru proudu je dán nejvyšším možným odběrem obvodu daný v jeho katalogovém listu. U obvodu kamery C328-7640 není hodnota maximálního proudu v katalogovém listu udána. Naopak pro mikrokontrolér ATmega328P je jeho udávaný maximální proudový odběr velmi vysoký, protože je závislý nejen na jeho stavu, ale hlavně na využití jeho vstupních/výstupních pinů.

Pro co největší dobu výdrže je důležité se u zdroje zaměřit na:

- Nízký klidový proud
- Vysoká účinnost

Z velkého množství vyráběných DC-DC měničů s nízkým klidovým proudem a vysokou účinností, se výběr omezil na integrované obvody, které lze sehnat k dostání v pouzdrech vhodných pro ruční osazení. Jako jedno z krajních řešení co do velikosti pouzdra jsem vybral obvod LTC3103 v pouzdře MSOP-10. Ten umožňuje chod v úsporném režimu při zajištění minimálních ztrát a v případě potřeby jej lze přepnout do stavu PWM s nižším výstupním šumem. Splňuje tak nízký klidový proud v rozmezí $1,8\mu A < I_Q < 3,3\mu A$ a vysokou účinnost, která pro vstupní napětí 5V dosahuje 80-90% v rozmezí výstupního proudu 100 μA až 300mA. Jeho rozsah vstupních napětí je 2,5 – 15V. Rozsah výstupních hodnot je nastavitelný děličem, a to v rozsahu 0,6 – 13,8V [20].

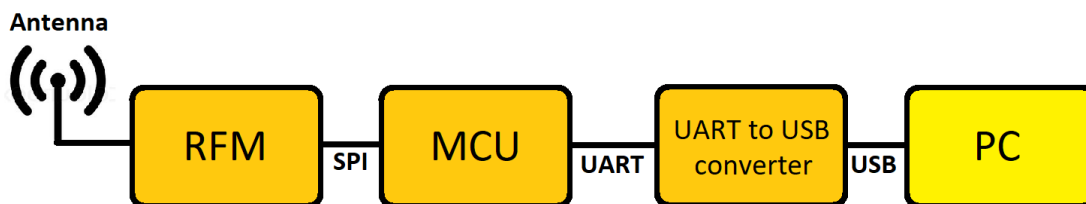
Jelikož jde o prototyp je obvod rozšířen i o přepínače tvořené pomocí pinů a jumperu pro možnost dodatečné úpravy napájení.



Obrázek 3.8 Blokové schéma napájení pro CCD sensing board

3.3 Bezdrátový přijímač k počítači (PC COM)

Pro přijímání informací o stavu patního měřiče je na straně počítače zapotřebí zařízení schopné komunikovat s oběma celky. Na straně CCD snímací desky (CCD sensing board) s bezdrátovým modulem RFM22B pomocí bezdrátového pásma 868MHz a na straně



Obrázek 3.9 Blokové schéma zapojení bezdrátového přijímače (PC COM)

počítače s dnes obvyklým USB portem. Pro tento účel byl vytvořen jednoduchý obvod s označením „PC COM“. Skládá se z druhého modulu RFM22B, který prostřednictvím MCU ATmega328P a modulu UB232R komunikuje s počítačem. UB232R lze provozovat nejen s napájecím napětím 5V přímo z USB portu, ale i pomocí jeho vlastního LDO regulátoru s napětím 3,3V. Ten je samozřejmě připojen na napájecí napětí 5V z USB portu, který je vyveden i na pin modulu UB232R a poskytuje dostatečný proud pro napájení obvodu vzniklého obvodu. Nižší napětí je použito kvůli omezení napájecího napětí modulu RFM22B. Ten má své maximální dovolené napájecí napětí dané katalogovým listem $U_{max} = 3,6V$ [13]. Proto je modul RFM22B i celý zbytek zařízení napájen pomocí LDO regulátoru TS1117 s pevným výstupním napětím $U = 3,3V$ [21]. Na ten nejsou v případě napájení z USB portu kladeny takové nároky na efektivitu. Kromě toho je obvod vybaven jen nejdůležitějšími pasivními součástkami, krystalem s frekvencí 7.3728MHz a LED pro indikaci přítomnosti napájecího napětí. V závěru byl obvod ještě dodatečně rozšířen i tři signalizační LED a dvě tlačítka pro možnost jejich využití při oživování a provozu zařízení.

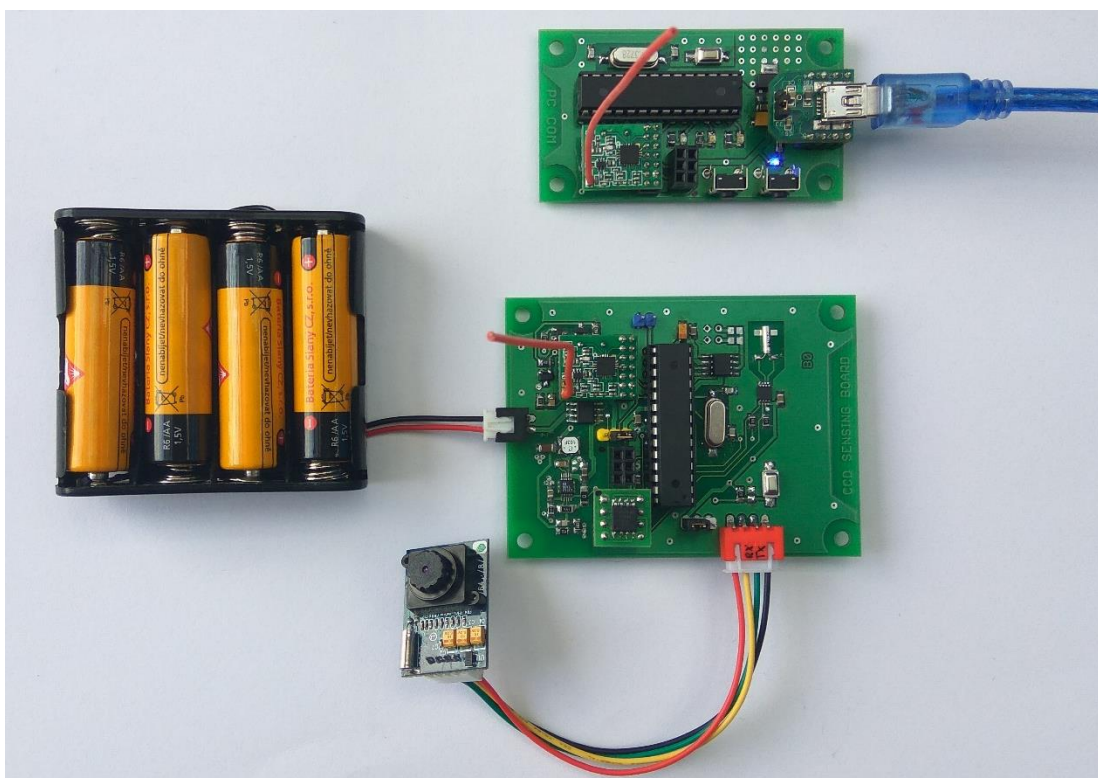
3.4 Návrh schémat a desek plošných spojů

Pro návrh schémat a desek plošných spojů byl vybrán CAD editor s názvem Eagle ve verzi 6.6.0 od společnosti Autodesk. Bylo využito freeware licence, která umožňuje návrh desek plošných spojů do velikosti 8x10cm, což je velikost dostačující pro jednotlivé desky samostatně. I proto je návrh rozložen na dva projekty, a tedy do čtyř souborů. Kromě standardních knihoven byla pro zařízení vytvořena i vlastní knihovna obsahující jednotlivé nestandardní součásti a moduly. Pro návrh specifických obvodu jako jsou např. ISL1208 a LTC3103 bylo využito doporučení obsažených ve volně dostupné dokumentaci [12] [30]. Pro zjednodušení vedení jednotlivých cest jsou oba obvody navrženy na deskách plošných spojů ve dvou vrstvách. Pro možnosti snadného vyjmutí některých obvodů je v návrhu použito patič pro vývodové součástky jako jsou mikrokontrolér v pouzdře DIL28-3 a modul bezdrátové komunikace RFM22B. Pro paměť FRAM bylo využito jednoduché redukce z patice SOIC8 na patici DIL8. Výsledná schémata a desky plošných spojů jsou obsaženy v přílohách 1, 2, 3 a 4. Soubory pro výrobu obou desek plošných spojů jsou obsaženy v příloze 6.

4. REALIZACE ZAŘÍZENÍ

4.1 Osazení a oživení hardwaru DPS

Po závěrečné kontrole byly návrhy desek plošných spojů zaslány k výrobě profesionální firmě a zakoupeny jednotlivé součástky. Jejich následné osazení probíhalo postupně, a to z důvodu postupného oživování jednotlivých částí pro možnost kontroly jejich správné funkčnosti. Po osazení každé další části byl obvod zkontrolován a otestován pomocí zdroje napětí s možností omezení výstupního proudu pro zamezení zničení některé z částí obvodu a multimetru. U desky bezdrátového CCD snímače (CCD sensing board) byly nejdříve osazeny součástky obvodu ochrany proti přepólování, dále spínaný napájecí zdroj, obvod pro měření napětí baterie, mikrokontrolér a dále jednotlivé integrované obvody a moduly. V případě druhého obvodu bylo postupováno stejně, a tedy od zdroje napětí. Z důvodů nedostupnosti některých součástek v lokální prodejně je však finální výrobek osazen několika odlišnými součástkami, ale tak aby nebyla ovlivněna funkčnost zařízení.



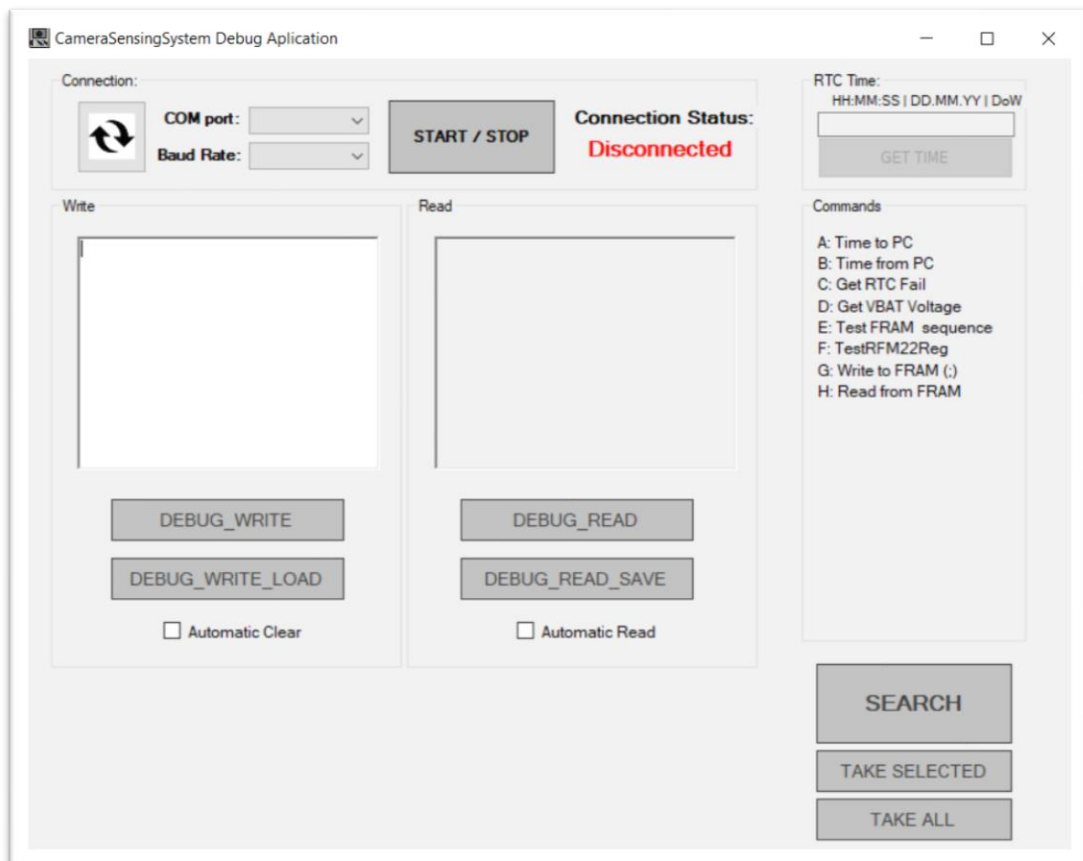
Obrázek 4.1 Foto zařízení po dokončení osazení a oživení

Po ověření správného zapojení jednotlivých desek plošných spojů bylo přistoupeno k oživení pomocí softwarové vybavy. Z tohoto důvodu bylo nejprve potřeba mít možnost zobrazení dat ze sestaveného hardwaru. V tomto případě mělo být zařízení podle zadání doplněno o software, který by toto umožňoval, a tak bylo snahou v první řadě takový

software vytvořit. Nejdříve bylo vytvořeno několik verzí aplikace pro počítač, které nebyly uspokojivé. Následně se podařilo naprogramovat funkční verzi popsanou v následující podkapitole. Pomocí ní bylo nadále sestavováno programové vybavení pro jednotlivé části obvodů, jak je uvedeno v kapitole 4.3.

4.2 Software pro počítač

Od začátku bylo záměrem navrhnout software pro počítač s grafickým uživatelským prostředím (tzv. GUI) a to hlavně pro svou uživatelskou přívětivost. Pro psaní a ladění programu bylo využito vývojového prostředí Visual Studio 2013 poskytnutého od školy se studentskou licenci. První pokusy o sestavení aplikace pro počítač probíhaly za pomoci rozhraní API systému Win32 v jazyce C, a knihovny *windows*. V průběhu času však bylo od tohoto způsobu upuštěno a vytvořeno jiné prostředí pomocí funkce Visual Studia zjednodušeně vytvářet aplikace s GUI pro systém Windows. Jako použitý programovací jazyk byl nakonec vybrán C++. Uživatelské prostředí navrženého počítačového programu bylo vybaveno o možnosti nastavení parametrů sériové komunikace mezi počítačem a mikrokontrolerem. Po úspěšném spojení s vybraným sériovým portem se využívá dvou textových polí pro odesílání a přijímání zpráv mezi počítačem a mikrokontrolery, které



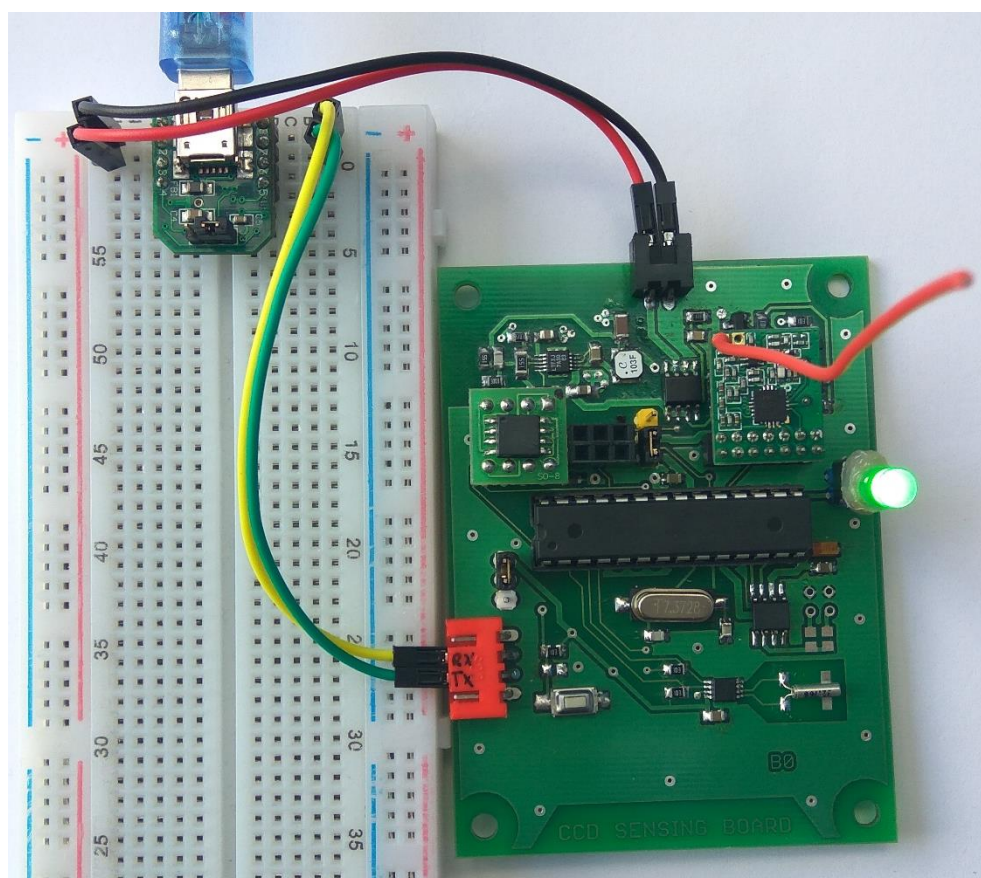
Obrázek 4.2 Uživatelské prostředí pro ovládání zařízení

probíhá v ASCII kódu. V pravém horním rohu je implementováno pole pro zobrazení hodnot získávaných z hodin reálného času daného zařízení.

4.3 Softwarová výbava mikrokontrolerů a oživení

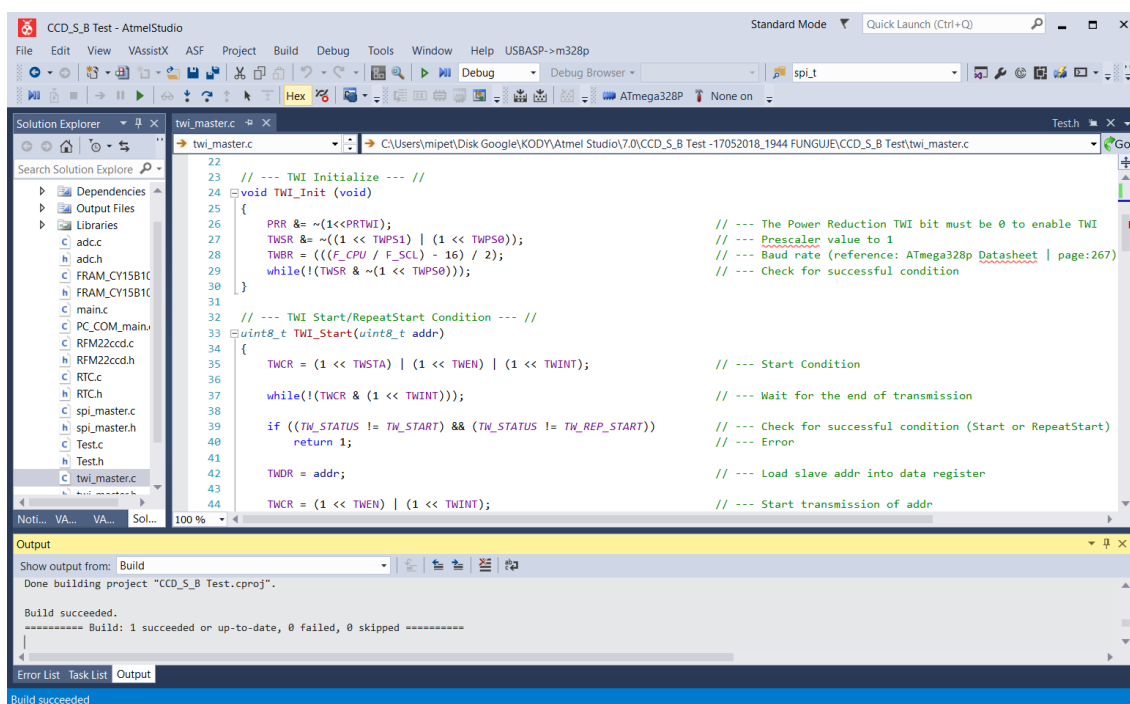
Pro programování a ladění mikrokontrolerů společnosti Atmel (od roku 2016 Microchip) bylo použito prostředí Atmel Studio ve verzi 7. Jedná se o kompletní vývojové prostředí určené pro mikrokontrolery ATmega. Pro samotný zápis programu do paměti mikrokontroléru byl školou zapůjčen programátor JTAGICE3 s možností ladění daného programu za běhu, a to pomocí funkce debugWire. Programátor komunikuje s mikrokontrolery na obou deskách pomocí 6pinového konektoru a sběrnice SPI. Jako postačující programovací jazyk byl zvolen jazyk C.

Pro postupné oživování softwarového vybavení byla deska pro bezdrátové snímání patních měřičů připojena k počítači pomocí modulu UB232R spojeného s deskou skrze konektor kamery tedy UART komunikací, jak je ukázáno na obrázku 4.3. Nejdříve byla zprovozněna komunikace mezi počítačem a daným mikrokontrolerem. Toho bylo



Obrázek 4.3 Zapojení hlavní desky pro účely oživování

dosaženo díky vytvoření funkcí uložených v knihovně *uart*. Ta se skládá z funkcí pro inicializaci, zapisování a čtení dat po UART rozhraní. Dalším krokem bylo vytvoření knihovny pro komunikaci s hodinami reálného času, jež využívají komunikační rozhraní

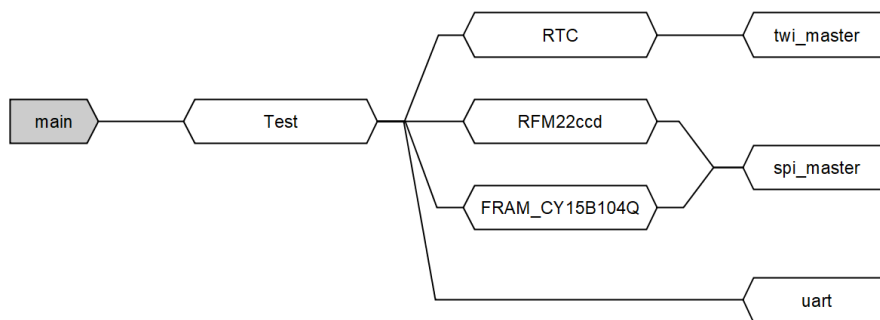


Obrázek 4.4 Ukázka kódu ve vývojovém prostředí Atmel Studio 7

TWI. Proto byla nejprve vytvořena knihovna pro komunikaci samotnou s názvem *twi_master*. V ní je obsažen kód pro inicializaci komunikace, jednorázové i hromadné čtení a zápis a konečně i čtení a zápis požadovaných registrů. Tuto knihovnu dále využívá další knihovna označená *RTC*, která je určena pro samotné ovládání hodin reálného času. Ta umožňuje kromě inicializace a zjištění výpadku zálohování času také čtení a zápis informací uložených v registrech hodin reálného času, jejichž hodnoty umí pro následné předávání počítači převádět na hodnoty ASCII. Mezi další připojené obvody spadá paměť FRAM a modul bezdrátové komunikace RFM22B. Oba tyto obvody využívají ke komunikaci jednu a tu stejnou sběrnici SPI. Pro její implementaci byla vytvořena další knihovna, a to s označením *spi_master*. Tato knihovna opět zvládá základní funkce dané komunikace, jako jsou její inicializace a jednotlivé i hromadné čtení a zápis dat. Těchto funkcí využívají oba zmíněné obvody. Obvod FRAM prostřednictvím knihovny *FRAM_CY15B104Q*, která obsahuje funkce pro čtení a zápis hodnot v oblasti dat, pro nastavení a čtení hodnot stavového registru a funkce pro převedení obvodu do režimu spánku a z něj. Druhý výše zmíněný obvod vlastní knihovnu *RFM22ccd*. Pro inicializaci modulu RFM22B je potřeba správně nastavit hodnoty jeho vnitřních registrů. Proto bylo využito kalkulačky poskytované výrobcem na jeho stránkách, která umí na základě požadovaného nastavení vygenerovat hodnoty většiny registrů [27]. Knihovna kromě funkce inicializace modulu zajišťuje také čtení a zápis dat vyrovnávací paměti FIFO. Pro účely demonstrace implementovaných knihoven je program doplněn o knihovnu *Test*, která obsahuje jednotlivé funkce pro komunikaci s uživatelským prostředím, jako jsou předání stavu a času hodin reálného času a čtení a zápis do paměti FRAM. Celý testovací

program je spouštěn ze souboru *main*. Ukázka vývojového diagramu je vložena v příloze 5 na konci dokumentu. Druhá část zařízení připojovaná na stranu počítače s názvem PC COM využívá pro komunikaci taktéž výše zmíněných knihoven.

Při vyhotovení knihoven pro jednotlivé komunikace bylo využito postupů a příkladů obsažených v dokumentaci mikrokontroleru [18] a popisu funkcí v dokumentacích jednotlivých modulů a obvodů.



Obrázek 4.5 Diagram provázání vytvořených knihoven testovacího programu

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout koncepci bateriově napájeného systému schopného získávání stavů patních měřičů pomocí kamery a jejich následného přenosu pomocí bezdrátového komunikačního rozhraní v pásmu 868MHz.

Během řešení tohoto tématu byla nejprve provedena rešerše týkající se nejen patních měřičů ale i metod užívaných pro získávání a přenos jejich stavů v praxi. Dále byla provedena rešerše na téma nejčastěji využívaných typů komunikace mezi celky systémů řízených mikrokontrolérem a byl nastíněn výběr pásma bezdrátové komunikace. V další části práce byla v první řadě navržena koncepce a její požadavky na hardwarovou skladbu zařízení a následně byly vybrány jednotlivé obvody celky s uvedením jejich základních vlastností. Z nich byla následně vytvořena schémata a navrženy desky plošných spojů jednotlivých obvodů. Ty byly úspěšně vyrobeny profesionální formou a postupně osazeny a oživeny. V poslední části práce byl postupně nejdříve vytvořen testovací program pro osobní počítač, který je schopen s mikrokontrolerem komunikovat a následně sestaven program pro mikrokontroler samotný. Ten využívá vytvořených knihoven pro demonstraci některých oživených částí. Zbylé části však z důvodu nedostatku času, resp. dlouhé doby, která uplynula od vyhotovení návrhu po oživení celého zařízení.

Během dalšího postupu bude potřeba rozšířit software pro počítač o možnosti zobrazení a uložení jednotlivých obrazových dat pořízených kamerou. Dále doplnění programu pro mikrokontrolery o knihovny pro nastavení kamery a bezdrátového přenosu získaných dat. Poté lze provést plnohodnotné závěrečná měření týkající se výdrže bateriově napájené části zařízení a vyhodnocení takto pořízených dat.

Zařízení poté lze s největší pravděpodobností považovat za vhodné nejen pro získávání stavů patních měřičů ale i pro další aplikace, kde je zapotřebí bezdrátově zaznamenávat malé množství obrazových dat jako například časové monitorování libovolného objektu zájmu.

Literatura

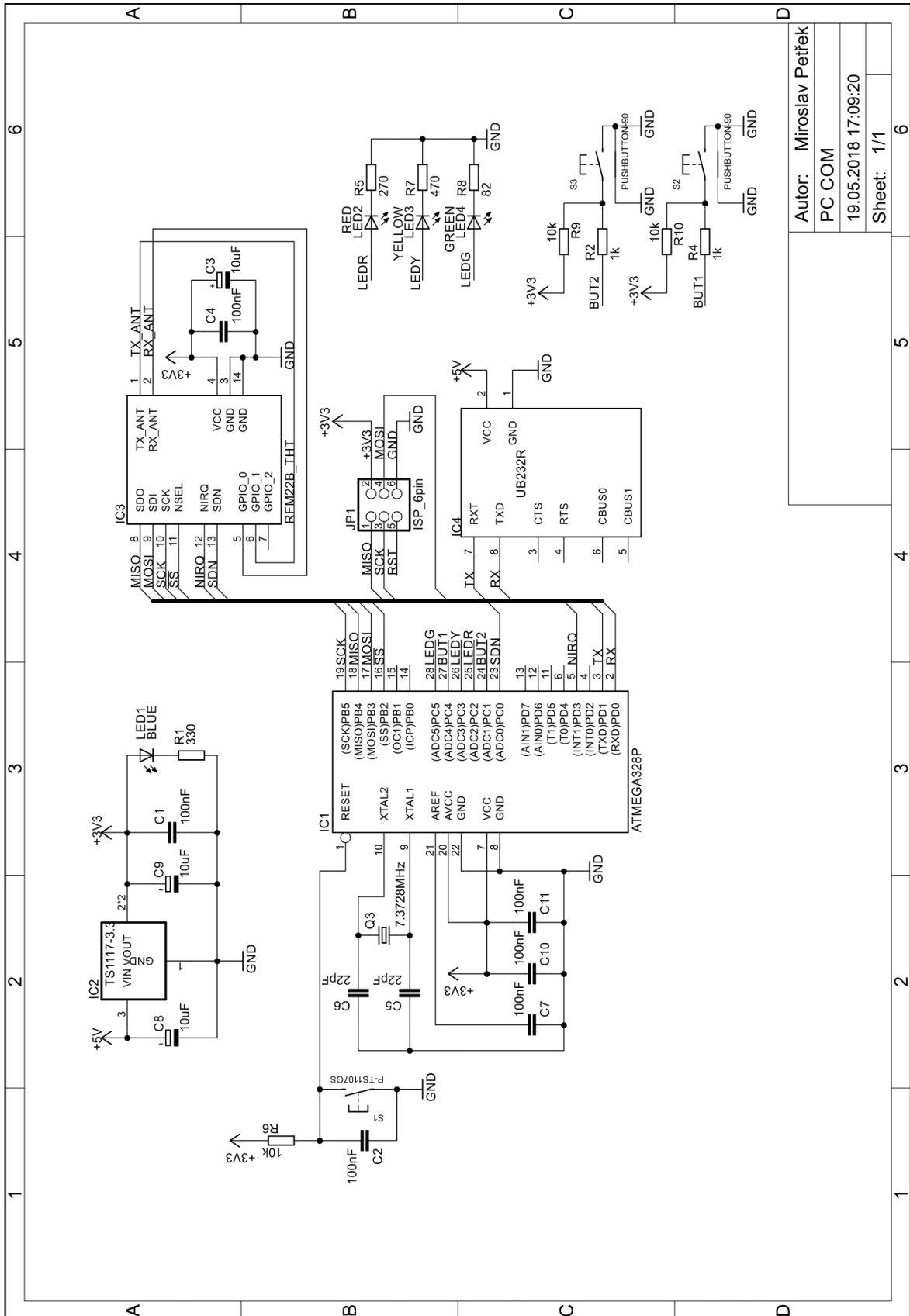
- [1] *Slovník základních pojmů* [online]. 4-Energetická, a. s. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.4-energeticka.cz/Zakaznicka-podpora/slovník-zakladnich-pojmu>
- [2] *Bonega* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.vymenavodomeru.cz/bonega>
- [3] *RIPKA, Pavel. Senzory a převodníky* [online]. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005 [cit. 2018-05-19]. ISBN 80-010-3123-3.
- [4] *Výtah z TPG 934 01 Plynoměry* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/15343-vytah-z-tpg-934-01-plynomery-umistovani-pripojovani-a-provoz>
- [5] *Snímače průtoku kapalin - objemové* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Snimace%20prutoku%202.pdf>
- [6] *Elektroměry Historie a současnost* [online]. [cit. 2017-12-13]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost>
- [7] *Instalace komunikační sběrnice M-Bus* [online]. [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/9539-instalace-komunikacni-sbernice-m-bus-1-cast>
- [8] *Dálkový odečet, aneb jak to funguje v praxi* [online]. [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <https://www.vymenavodomeru.cz/dalkovy-odecet-aneb-jak-to-funguje-v-praxi>
- [9] *Externí sériové sběrnice SPI a I²C* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/externi-seriove-sbernice-spi-a-i2c>
- [10] *všeobecné oprávnění č. VO-R/10/11.2016-13* [online]. Praha: ČTÚ 2016 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/vseobecne-opravneni-c-vo-r10112016-13>
- [11] *JAKÝ JE ROZDÍL MEZI POUŽITÍM FREKVENCE 433MHZ A 868 MHZ?* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.tssgroup.cz/item/jaky-je-rozdil-mezi-pouzitim-frekvence-433mhz-a-868-mhz/>
- [12] *ISL1208* [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: <https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/isl1/isl1208.pdf>
- [13] *RFM22B/23B ISM TRANSCEIVER MODULE* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/General/RFM22B.pdf>
- [14] *Reverse current / battery polarity protection* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://www.circuits.dk/reverse-current-battery-protection-circuits>
- [15] *FDS4465* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/149/FDS4465-1008309.pdf>
- [16] *DC/DC měniče* [online]. [cit. 2017-12-23]. Dostupné z: <https://uart.cz/952/dc-dc-menice/>

- [17] *AVR315: Using the TWI module as I2C master* [online]. [cit. 2018-01-02].
Dostupné z: <https://www.element14.com/community/docs/DOC-31004/1/atmel-avr315-application-note-on-using-the-twi-module-as-i2c-master-on-tinyavr-and-megaavr-devices>
- [18] *ATmega328/P DATASHEET COMPLETE* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- [19] *ITM-C-328* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <https://cdn.sos.sk/productdata/54/0f/57a087a2/itm-c-328.pdf>
- [20] *LTC3103* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3103fa.pdf>
- [21] *TS1117* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/50383.pdf>
- [22] *Zapojení SPI* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: <http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2016/01/Introduction-to-UART-Basic-Connection-Diagram.png>
- [23] *Zapojení uzlů I2C* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: http://i.iinfo.cz/urs/pc_43_11-123050258311835.jpg
- [24] *Zapojení USART* [online]. [cit. 2017-12-02]. Dostupné z: <http://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2016/01/Introduction-to-UART-Basic-Connection-Diagram.png>
- [25] *CY15B104Q* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.cypress.com/file/209146/download>
- [26] *AVR042: AVR Hardware Design Considerations* [online]. [cit. 2017-12-27].
Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-2521-AVR-Hardware-Design-Considerations_ApplicationNote_AVR042.pdf
- [27] *RFMXXB Register Settings. HOPERF* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: http://www.hoperf.com/demo_tools/106.html
- [28] *Vodoměr ET DN 15/2,5/80 SV MID* [online]. In: . [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.enbra.cz/vodomer-et-dn-15-2-5-80-sv-mid>

Seznam příloh

Příloha 1 - Schéma zapojení části PC COM	41
Příloha 2 - Schéma zapojení části CCD sensing board.....	42
Příloha 3 - Předloha pro výrobu DPS	43
Příloha 4 - Osazovací plány DPS.....	44
Příloha 5 - Vývojový diagram části testovacího programu pro CCD sensing board	45
Příloha 6 - Soubory pro výrobu DPS jsou uloženy na přiloženém CD	
Příloha 7 - Program pro PC je uložen na přiloženém CD	
Příloha 8 - Zdrojový kód programu pro PC je uložen na přiloženém CD	
Příloha 9 - Zdrojový kód pro mikrokontroler je uložen na přiloženém CD	

Příloha 1 - Schéma zapojení části PC COM



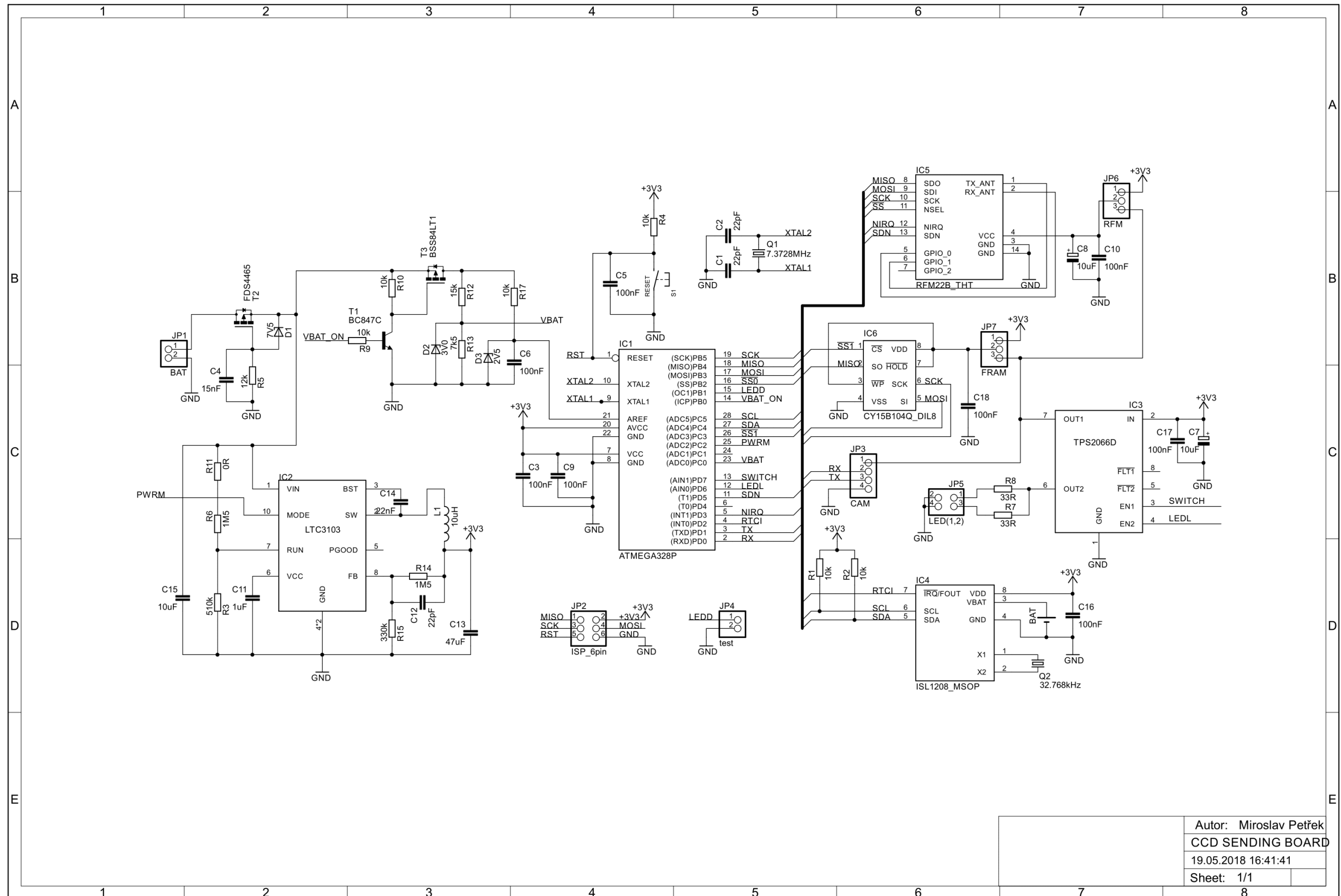
Autor: Miroslav Petřek

PC COM

19.05.2018 17:09:20

Sheet: 1/1

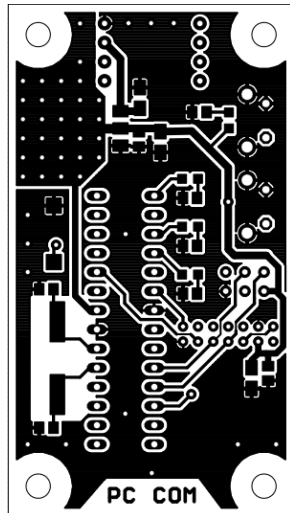
Příloha 2 - Schéma zapojení části CCD sensing board



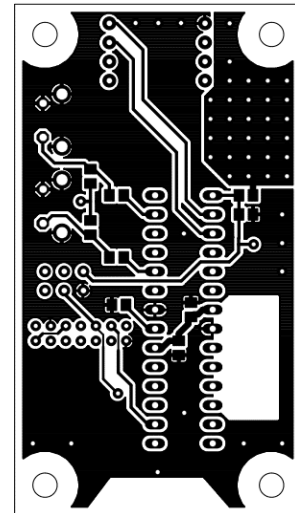
Autor: Miroslav Petřek
 CCD SENDING BOARD
 19.05.2018 16:41:41
 Sheet: 1/1

Příloha 3 - Předloha pro výrobu DPS

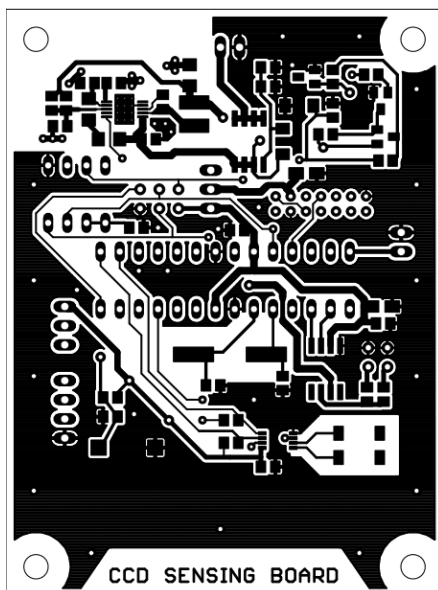
Horní vrstva PC COM



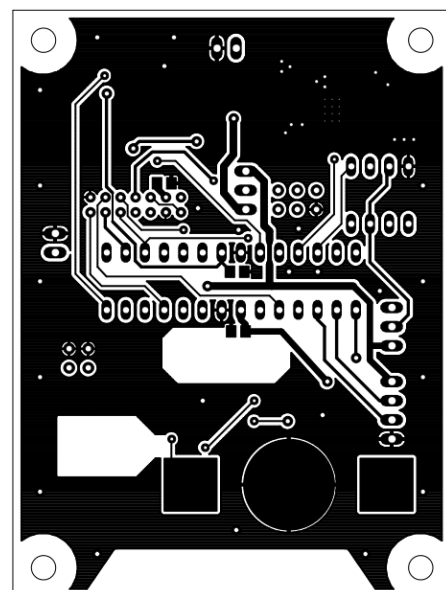
Spodní vrstva PC COM



Horní vrstva CCD sensing board

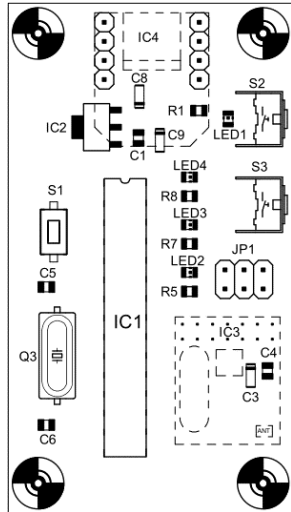


Spodní vrstva CCD sensing board



Příloha 4 - Osazovací plány DPS

Horní vrstva PC COM



Příloha 5 - Vývojový diagram části testovacího programu pro CCD sensing board

