

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ**

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

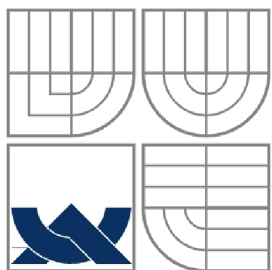
**BEZDRÁTOVÉ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

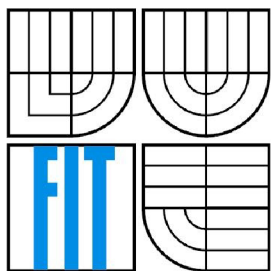
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN MATYÁŠ**

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

# BEZDRÁTOVÉ ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ

WIRELESS SECURITY SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN MATYÁŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Doc. Dr. Ing. PETR HANÁČEK

**Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií**

Ústav inteligentních systémů

Akademický rok 2010/2011

**Zadání bakalářské práce**

Řešitel: **Matyáš Jan**

Obor: Informační technologie

Téma: **Bezdrátové zabezpečovací zařízení  
Wireless Security System**

Kategorie: Vestavěné systémy

**Pokyny:**

1. Prostudujte právní předpisy a doporučení pro provozování vysílačů malého výkonu v pásmech ISM. Vyberte vhodné typy přijímače/vysílače/transceiveru.
2. Navrhněte obvodové schéma univerzálního miniaturního zabezpečovacího zařízení pracujícího v tomto pásmu s oboustrannou komunikací mezi zabezpečovací jednotkou umístěnou na hlídaném objektu a přenosnou jednotkou. Oboustranná komunikace slouží zejména ke vzájemné kontrole dosahu a možnosti dálkového vypnutí alarmu. Obě jednotky budou osazeny mikrokontroléry ATMEL a ovládací program bude napsán v jazyce C. Klíčová je co nejmenší spotřeba zařízení.
3. Navrhněte uspořádání plošných spojů a realizujte toto řešení.
4. Ověřte funkčnost řešení a zhodnoťte dosažené výsledky.

**Literatura:**

- MANN, B. : C pro mikrokontroléry. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6
- VÁŇA, V. : Programování v jazyce C - popis a práce ve vývojovém prostředí CodeVisionAVR C. Praha: BEN, 2003. ISBN 80-7300-102-0

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1 a 2 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Hanáček Petr, doc. Dr. Ing., UITS FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2010

Datum odevzdání: 18. května 2011

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta informačních technologií  
Ústav inteligentních systémů  
612 66 Brno, Božetěchova 2

doc. Dr. Ing. Petr Hanáček  
vedoucí ústavu

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací přenosného bezdrátového zabezpečovacího zařízení umožňující kontrolu hlídaného předmětu na dálku. Zařízení se skládá z řídicího modulu umožňující nastavení a informování o aktuálním stavu zařízení a měřících modulů, které s řídicím modulem komunikují bezdrátově v pásmu ISM. Zařízení je napájeno z baterií a je u něj vyžadována co možná nejvyšší výdrž na jedno nabití.

## **Abstract**

This thesis describes the design and implementation of portable wireless security device for monitoring object. The device consists of a control module allowing user to set and monitor current state of the measuring module which communicates with the control module wireless using the ISM band. The device is battery powered and highest possible battery life per charge is required.

## **Klíčová slova**

Zabezpečovací zařízení, ISM pásmo, SPI, AVR Studio, ISP, ATtiny, RFM22, Akcelerometr.

## **Keywords**

Security device, ISM band, SPI, AVR Studio ISP ATtiny, RFM22, Accelerometer.

## **Citace**

Jan Matyáš: Bezdrátové zabezpečovací zařízení, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, rok 2011

# Bezdrátové zabezpečovací zařízení

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Dr. Ing. Petra Hanáčka.

Další informace mi poskytl Ondřej Pavelka z firmy Honeywell.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Jan Matyáš  
18.05.2011

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu doc. Dr. Ing. Petru Hanáčkovi a panu Ondřeji Pavelkovi za pomoc s vypracováním mé bakalářské práce.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.*

# Obsah

1 Úvod.....	2
2 Návrh zařízení.....	3
2.1 Popis činnosti a očekávané vlastnosti.....	3
2.2 Bezdrátový přenos.....	3
2.3 Blokové schéma.....	5
2.4 Rozhraní SPI.....	7
2.5 Hardware.....	9
2.5.1 Mikroprocesor.....	9
2.5.2 Transceiver.....	11
2.5.3 Displej.....	11
2.5.4 Baterie a obvod pro její nabíjení.....	13
2.5.5 Akcelerometr.....	14
2.6 Napájení.....	15
2.7 Schéma zapojení.....	16
2.7.1 Řídící modul.....	17
2.7.2 Měřicí modul.....	20
2.8 Desky plošných spojů (DPS).....	22
3 Programové vybavení.....	24
3.1 Vývojové prostředí.....	24
3.2 Popis programu.....	25
3.3 Průběh komunikace.....	27
3.4 Komunikace s uživatelem.....	27
3.4.1 Informační diody.....	27
3.4.2 Menu a nastavení.....	28
4 Testy.....	29
4.1 Měření spotřeby.....	29
4.2 Měření dosahu.....	29
5 Závěr.....	31
Literatura.....	32
Seznam příloh.....	33

# 1 Úvod

Na otázku co je to zabezpečovací zařízení je těžké jednoduše odpovědět. Může to být mechanický zámek, systém zabezpečující celý dům zavřením mříží na oknech a dveřích ale i jednoduché systémy sledující pohyb v okolí, které při detekci neočekávaného pohybu spustí alarm. Tato práce se zabývá jednoduchým přenosným zařízením, které pouze upozorní na vzniklou neočekávanou situaci.

Potřeba chránit svůj majetek je s námi od nepaměti. V minulosti nebyly dostupné zabezpečovací zařízení hlásící narušení. Místo toho se využívali lidé nebo zvířata. Moderní doba umožňuje použití automatizovaného systému, které monitorují za pomoci senzorů daný objekt nebo věc. Při výběru zabezpečovacího zařízení musíme brát v úvahu co chceme hlídat. Například k hlídání domu použijeme jiný systém než k hlídání automobilu. Tyto systémy se liší především svou velikostí, sledovanými parametry a chováním v případě vzniku neočekávané situace.

Spuštění alarmu se na daném místě může a nemusí projevit. Dozví-li se lupič, že byl alarm spuštěn, může opustit místo a zůstat utajen. Proto se využívají varianty, o kterých lupič neví ani když dojde-li k jejich aktivaci, protože pouze upozorní např. pomocí SMS majitele, bezpečnostní agenturu nebo policii. Ti se snaží dostavit na místo co nejrychleji a lupiče dopadnou. V případě dlouhé reakční doby informované osoby je ale tento systém nevhodný, protože lupiče nijak nevyruší a pravděpodobně se mu podaří uniknout. V takových případech je vhodnější upozornit okolí a samotného lupiče o stavu narušení a pokusit se snížit škody jím způsobené jeho vystrašením. Je tedy na zvážení, který ze systémů použít, případně není-li výhodné je zkombinovat do jednoho.

V případě přenosného zařízení jsme při výběru sledovaných parametrů omezeni jednoduchostí instalace. Nelze např. jednoduše použít sledování pohybu v okolí, protože měřicí modul by se musel složitě umísťovat tak, aby byl schopen sledovat vybranou oblast. U pevných měřicích modulů je lze umístit na zeď, kde zůstanou po celou dobu, což u přenosného zařízení není vhodné.

Co tedy můžeme měřit? Chceme-li např. sledovat, zda-li se nám nepohybuje batoh, zatímco jsme ve vedlejší místnosti můžeme sledovat zrychlení a měřicí modul umístit do batohu. Stačí pak kontrolovat řídicí modul, který si vezmeme sebou. Další možností může být sledování úrovně hluku. Dojde-li k rozbití okna u našeho auta a měřicí modul je uvnitř, může nás o této skutečnosti informovat. Zamkneme-li si kolo, můžeme chtít sledovat, nedošlo-li k přestřížení zámku. Mohli bychom také hlídat intenzitu světla a kontrolovat, je-li krabice stále uzavřená. V extrémních případech bychom mohli chtít sledovat teplotu v okolí nebo životní funkce osoby a jiné.



## 2 Návrh zařízení

Protože se jedná o bezdrátové zabezpečovací zařízení, očekává se od něj schopnost bezdrátové komunikace mezi jednotlivými moduly, které budou napájeny baterií. Dále musíme uvažovat o nestandardních situacích, které mohou nastat vlivem výpadku systému nebo vybité baterie. Také nesmíme zapomenout na co možná nejnížší spotřebu a maximální možnou výdrž na jedno nabití.

### 2.1 Popis činnosti a očekávané vlastnosti

Jedná se o přenosné bezdrátové zabezpečovací zařízení, která má umožňovat měření zrychlení a obsahovat bezpečnostní okruh, u kterého se hlídá jeho fyzické přerušení. Toto zařízení je složeno ze dvou modulů – řídicí a měřicí. Řídicí modul má uživatel u sebe a provádí pomocí něj nastavování celého zařízení a může na něm sledovat informace o stavu zařízení, včetně informací o stavu baterií obou modulů. Měřicí modul je umístěn na hlídaném objektu, monitoruje své zrychlení a bezpečnostní okruh. Protože má být zařízení přenosné, musí být napájeno bateriemi. Jednotlivé moduly komunikují bezdrátově v pásmu ISM.

Protože od systému očekáváme rychlé reakce v případě narušení, musí být systém schopen reagovat v reálném čase a neumožnit lupiči jej zneškodnit, zatímco se probouzí z úsporného režim. Musí se také umět vypořádat se situací, kdy řídicí modul ztratí signál od měřicího modulu. Taková ztráta je pravděpodobně způsobena zneškodněním modulu a je třeba na toto korektně reagovat. Dochází-li ke komunikaci s uživatelem z důvodu zapnutí, vypnutí nebo nastavení systému je také očekávaná rychlá odezva na pokyny.

Použití bezdrátové komunikace sebou nese kromě nesporných výhod mobility také nevýhody v podobě možného výpadu signálu, nebo případným zarušením. Také by mohla nastat situace, kdy dojde k odposlechnutí komunikace a následného podvrhnutí informace o stavu měřicího modulu a zneškodnění původního. Bezpečnosti komunikace jsou věnovány různé studie a jsou vytvořeny různé algoritmy řešící možné bezpečnostní mezery. Je ale pravděpodobné, že u jednoduchých systémů nebudou implementovány náročné šifrovací algoritmy, protože tyto systémy obsahují úsporné nízko-výkonové mikroprocesory a složité výpočty by byly příliš náročné.

### 2.2 Bezdrátový přenos

Existují tři základní typy bezdrátové komunikace. Optická, sonická a rádiová. Naším požadavkům nejlépe vyhovuje rádiová komunikace, protože nevyžaduje přímou viditelnost (jako optická) a zároveň má ve vzduchu delší dosah než komunikace sonická, která navíc může být rušivá pro okolí.

Rádiová komunikace probíhá na různých frekvencích. Tyto frekvence jsou rozděleny do pásem, které jsou stanoveny na základě mezinárodních dohod. U většiny z nich musíme žádat o licenci, ty jsou pro naše účely nevhodné. Na některé pásma jsou uděleny generální licence. Tyto pásma můžeme využít, řídíme-li se licenčními podmínkami. Tyto licence jsou u nás přidělovány a vydávány Českým telekomunikačním úřadem (ČTÚ[1]). Při určování jednotlivých pásem a jejich využití se řídí radiokomunikačním řádem Mezinárodní telekomunikační unie (ITU[2]).

Jednou z možností by bylo použití GSM modulů a využití služeb mobilních operátorů. Tím by jsme docílili relativně neomezeného dosahu, zároveň by jsme ale museli mít aktivní simkarty do každého modulu. Stačí-li nám komunikace na krátkou vzdálenost, můžeme využít pásmo ISM, na které je vydána generální licence. Toto pásmo obsahuje několik různých frekvencí, jejichž možné využití upřesňují vyhlášky a podmínky generální licence.

## Pásmo ISM

Pásmo ISM (industrial, scientific and medical) je vyhrazené frekvenční pásmo k použití nespecifikované stanice krátkého dosahu na základě všeobecného oprávnění. Podmínky pro provoz takovýchto zařízení jsou stanoveny generálními licencemi, které vydal Český telekomunikační úřad. Toto pásmo se s drobnými odchylkami používá na celém světě. Frekvence a dostupnost ve světě ukazuje Tab. 2.1.

Frekvenční rozsah	Základní frekvence	Dostupnost
6,765 – 6,795 MHz	6,780 MHz	Potřeba povolení
13,553 – 13,567 MHz	13,560 MHz	
26,957 – 27,283 MHz	27,120 MHz	
40,66 – 40,70 MHz	40,68 MHz	
433,05 – 434,79 MHz	433,92 MHz	Potřeba povolení, jen oblast 1
902 – 928 MHz	915 MHz	Jen oblast 2
2,400 – 2,500 GHz	2,450 GHz	
5,725 – 5,875 GHz	5,800 GHz	
24 – 24,25 GHz	24,125 GHz	
61 – 61,5 GHz	61,25 GHz	Potřeba povolení
122 – 123 GHz	122,5 GHz	Potřeba povolení
244 – 246 GHz	245 GHz	Potřeba povolení

**Oblast 1:** Skládá se z Evropy, Afriky, Středního východu na západ od Perského zálivu, včetně Iráku, bývalého Sovětského svazu a Mongolska.

**Oblast 2:** Skládá se ze Severní a Jižní Ameriky, Grónska a některých východních Pacifických ostrovů.

*Tab. 2.1: Frekvence ISM*

Zařízení pracující v tomto pásmu musí strpět škodlivé rušení způsobené ostatními zařízeními pracujícími v tomto pásmu a zároveň musí omezit vlastní škodlivé rušení na minimum.

Potřeba povolení znamená, že: „Využívání těchto pásem pro účely ISM podléhá zvláštnímu oprávnění příslušné správy v souladu s ostatními správami, jejichž radiokomunikační služby by mohly být dotčeny. Při uplatňování tohoto ustanovení správy patřičně zohlední nejnovější příslušná doporučení ITU-R“ ([3], část 5.138).

## Výběr frekvence

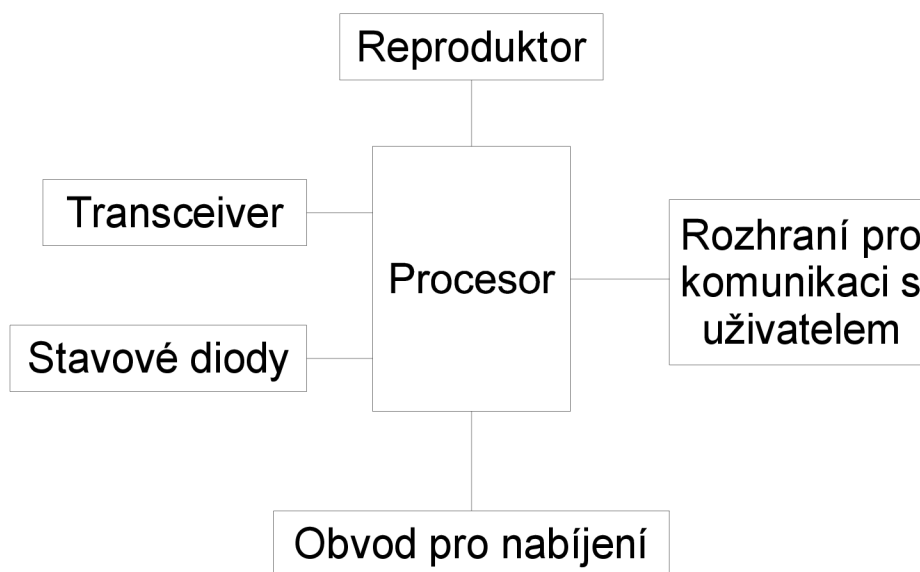
Chceme-li využít hotové RF moduly dostupné na trhu, omezují se nám použitelné frekvence na rozmezí více než 100 MHz a méně než 6 GHz. Proto připadají v úvahu frekvence 433,92 MHz, 2,450 GHz a 5,800 GHz. Frekvence 2,450 GHz a 5,800 GHz jsou v dnešní době intenzivně využívány standardy Bluetooth, IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g a 802.11n. Chceme-li mít zaručenou nižší úroveň zarušení u námi použitého spektra, měli bychom se těmito frekvencím vyhnout. Zbývá tedy frekvence 433,92 MHz, která by také měla být dobrou volbou v rámci dosahu a dostupnosti překážek.

V České republice je pásmo 433,05 – 434,79 MHz využíváno jako pásmo ISM, pásmo pro používání SRD (Short Range Device – stanice krátkého dosahu) nebo pro amatérské aplikace. Použití toho pásma je v ČR povoleno na základě všeobecného oprávnění[4] při dodržení určitých technických parametrů jako je např. maximální vysílací výkon. Provoz a koordinace tohoto pásma se vztahuje ustanovení Radiokomunikačního řádu a ustanovení Dohody HCM[5]. Mě zařízení tedy splňuje podmínky použití tohoto pásma a lze tedy použít již hotové transceivery dostupné na trhu a podporující vysílání a příjem v tomto pásmu.

## 2.3 Blokové schéma

Celé zařízení se skládá ze dvou modulů, které se navzájem liší. Od jednoho je očekávaná komunikace s uživatelem a schopnost informovat o aktuálním stavu zařízení. Tento modul je řídicí. Druhý modul, měřicí, slouží pouze ke zjišťování a předávání informací o sledovaných prvcích.

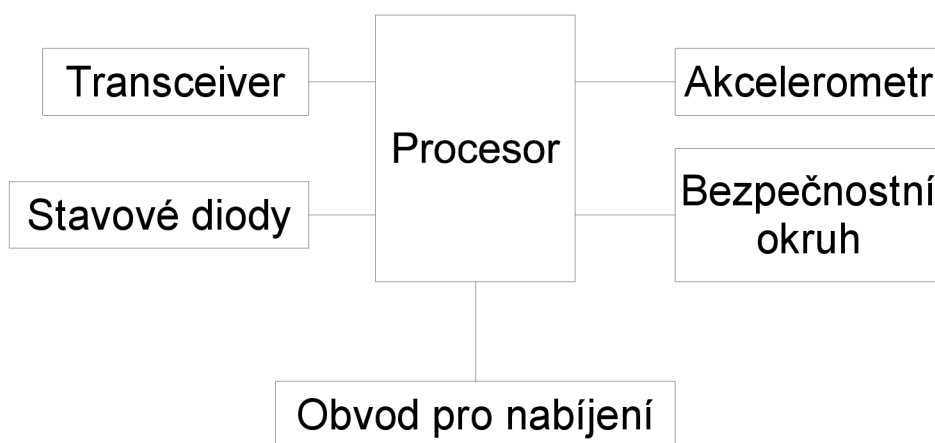
Jak je vidět na obrázku 2.1, řídicí modul musí být schopen komunikace s uživatelem, musí být schopen upozornit na vznik neočekávané situace, musí být schopen nabíjet baterii a musí umožňovat komunikaci s měřicím modulem. Obsahuje tedy šest hlavních částí. Rozhraní pro komunikaci



*Obrázek 2.1: Řídicí modul - blokové schéma*

s uživatelem – displej a tlačítka pro navigaci, reproduktor pro zvukovou signalizaci neočekávané situace, stavové diody pro zřetelné a rychlé zobrazení aktuálního stavu zařízení, obvod pro nabíjení integrované baterie, transceiver pro bezdrátovou komunikaci a mikroprocesor řídící tento modul.

Měřicí modul, zobrazen na obrázku 2.2, musí umožňovat měření zrychlení, hlídání bezpečnostního okruhu, zobrazování základních informací o svém stavu, komunikovat s řídicím

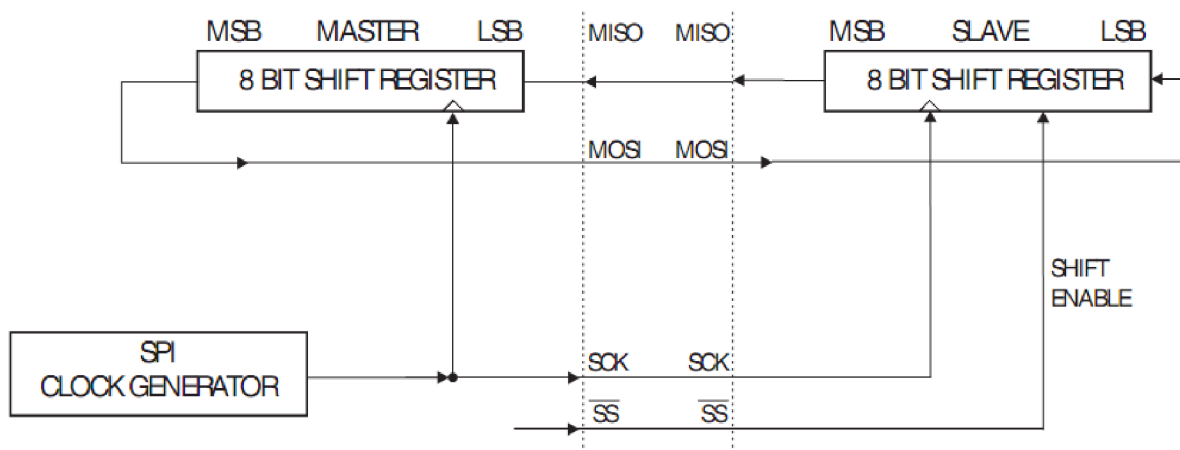


*Obrázek 2.2: Měřicí modul - blokové schéma*

modulem a nabíjet integrovanou baterii. Skládá se tedy z šesti hlavních částí. Akcelerometr pro měření zrychlení, bezpečnostní okruh, stavové diody, transceiver pro bezdrátovou komunikaci, obvod nabíjení baterie a mikroprocesor řídící jeho činnost.

## 2.4 Rozhraní SPI

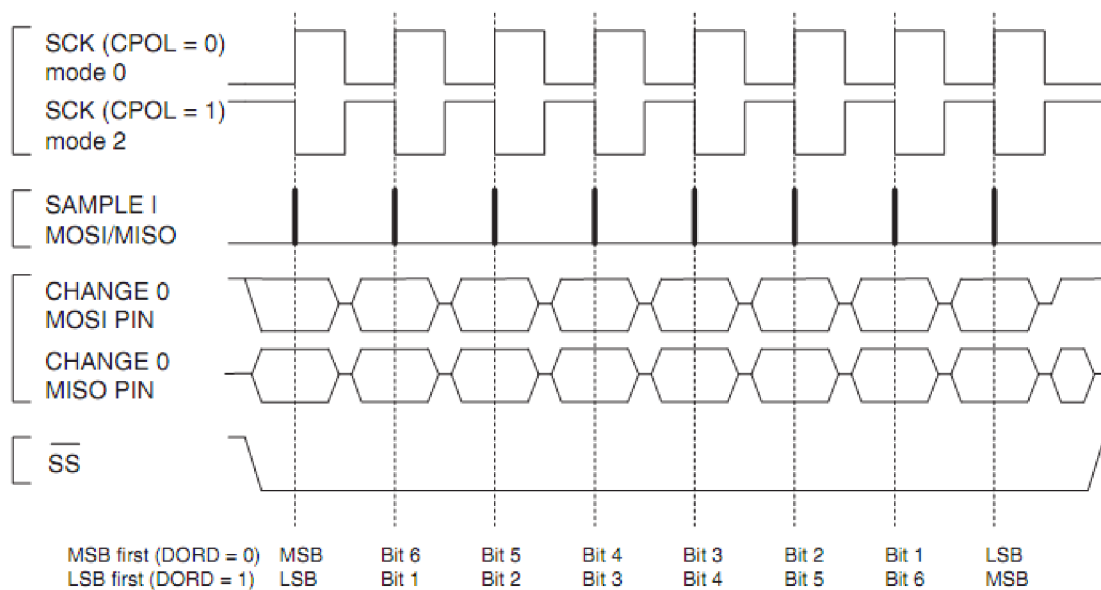
Rozhraní SPI (Serial Peripheral Interface) je synchronní, plně duplexní sériové rozhraní využívající čtyři vodiče. Umožňuje kromě spojení point to point také vytvoření sběrnice s omezením v možnosti komunikace pouze dvou komponent současně. Při této komunikaci je jedna z komponent master a druhá slave. Master generuje synchronizační hodinový signál, čímž inicializuje a řídí komunikaci. V případě použití zapojení na sběrnici může být takto konfigurována pouze jedna z připojených komponent. Komponenta konfigurovaná jako slave čeká na svou aktivaci a začátek synchronizačního hodinového signálu, čímž je zahájena komunikace. Je-li na sběrnici více komponent typu slave, musí master nejprve vybrat pouze jednu z nich, která se připojí na sběrnici. Ostatní do komunikace nezasahují. Některé chytřejší komponenty umožňují automatické přepnutí do režimu slave v případě zjištění aktivace hodin jinou komponentou na sběrnici.



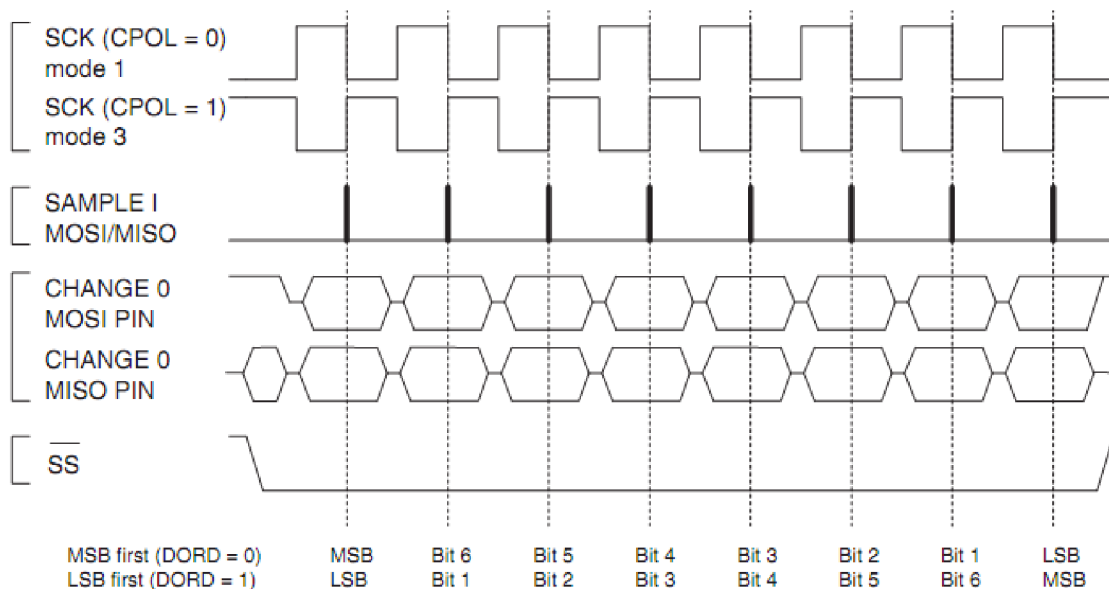
Obrázek 2.3: Komunikace pomocí rozhraní SPI

Rozhraní SPI používá dva datové vodiče označované jako MISO a MOSI, vodič pro vysílání synchronizačního hodinového signálu označovaného SCK a vodič  $\overline{SS}$  (slave select), kterým se provádí aktivace jedné komponenty nakonfigurované jako slave. Tento vodič bývá aktivní v log. 0. Označení datových vodičů značí směr toku dat – master in, slave out a master out, slave in. SCK může být neaktivní v log. 1 nebo log. 0 a čtení dat může probíhat buď při náběžné, nebo sestupné hraně. V případě, že čtení dat probíhá při náběžné hraně, další bit se chystá při sestupné hraně a naopak.

Směr vysílání dat může být MSB nebo LSB první. Standardně se používá MSB první a velikost dat nejčastěji 8 nebo 16 bitů.



Obrázek 2.4: Komunikace SPI, čtení dat při náběžné hraně



Obrázek 2.5: Komunikace SPI, čtení dat při sestupné hraně

Na obrázcích 2.4 a 2.5 jsou zobrazeny všechny možné režimy komunikace, které lze využít u mikroprocesorů řady ATtiny firmy Atmel. Tyto režimy se liší klidovou úrovní signálu SCK a hranou, při které dochází ke vzorkování dat. Dále je zde zobrazeno možné pořadí, ve kterém jsou bity vysílány a přijímány.

## 2.5 Hardware

Při návrhu schéma zapojení se musíme řídit informacemi uvedenými v datasheetech od jednotlivých součástek. Již při výběru jednotlivých součástek je vhodné uvažovat nad možnostmi jejich propojení a na možnostech našeho napájení, abychom se vyvarovali pozdějších problémů.

### 2.5.1 Mikroprocesor

V dnešní době, kdy není problém integrovat na malý čip vysoký počet tranzistorů je i v nejjednodušších mikroprocesorech mnoho funkcí, takže se stává limitujícím faktorem počet I/O pinů pro připojení externích komponent. Dalším omezujícím faktorem by mohl být nedostatek paměti. Jednoduché zařízení by si měly vystačit s pamětí umístěnou přímo na čipu, která v dnešních dobách není nejmenší, navíc jsou dostupné modely lišící se pouze velikostí paměti, případně lze použít rozšiřující externí paměť.

Mé řešení má obsahovat mikroprocesor firmy Atmel. Tato firma vyrábí mikroprocesory rodiny AVR v různých řadách lišících se výkoností, velikostí paměti a integrovanými periferiemi.

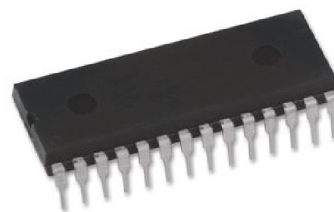
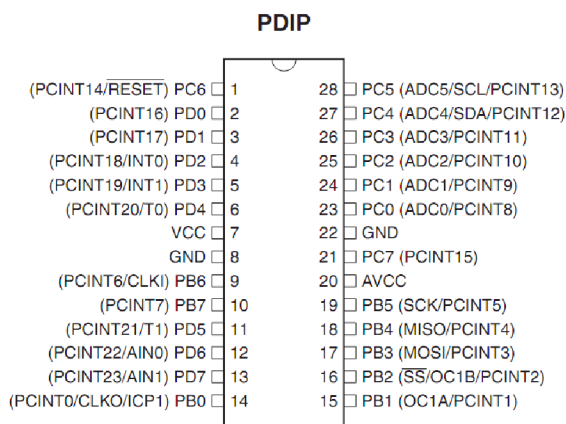
Mými hlavními požadavky na mikroprocesor jak do řídicí jednotky, tak do čidla, byla nízká spotřeba a schopnost pracovat s malým napětím, protože zařízení je napájeno z baterie. Vhodné jsou i různé úsporné režimy pro případ, kdy nebude potřeba využívat jeho úplný potenciál. Protože nepotřebuji provádět složité výpočty stačí mi jednoduchý mikroprocesor z řady ATtiny (8-bit), který obsahuje AD převodník, časovač, watchdog a má dostatek I/O pinů.

Dále jsem potřeboval uchovat data v případě, kdy dojde k odpojení napájení zařízení. Protože je uživateli umožněno provádět nastavení, je vhodné aby o něj v takovýto okamžik nepřišel. Proto jsem vybíral z mikroprocesorů, které obsahují paměť EEPROM, do které se bude nastavení ukládat.

Z důvodu potřeby komunikace s dalšími součástkami bylo potřeba volit mikroprocesory vybavené rozhraním použitým u ostatních komponent. toto nebyl zásadní problém, protože většina mikroprocesorů obsahuje univerzální sériové rozhraní, které lze použít jako SPI nebo I2C. Toto pro mne bylo dostačující, protože jsem použil pouze SPI. Paralelní připojení je bezproblémové, pokud máme dostatek volných pinů.

Protože na řídicí jednotce je paralelně připojen displej, potřeboval jsem velké množství pinů. Proto jsem volil mezi ATtiny48 a ATtiny88, které mají nejvíce pinů z dané řady. Jsou to identické procesory lišící se pouze velikostí paměti. Zvolil jsem si ATtiny88 [6] s větší pamětí, abych byl co nejméně limitován. Ten obsahuje 8 kB programové paměti, 521 B datové paměti a 64 B EEPROM paměti, dále plnohodnotné rozhraní SPI, dva čítače/časovače, watchdog, vícekanálový ADC převodník a další mnou nepoužité periferie jako I<sup>2</sup>C, analogový komparátor atd. Dodává se v provedení s 24 nebo 28 programovatelnými I/O piny v závislosti na zvoleném pouzdře. Pro ruční

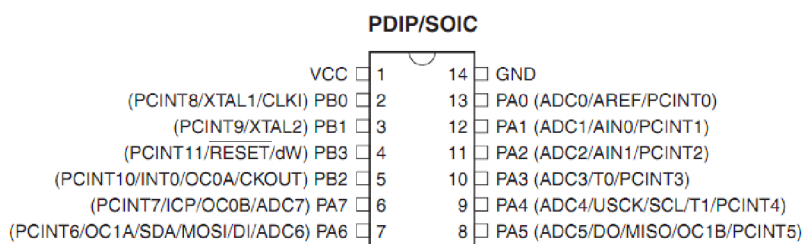
manipulaci a montáž je nejvhodnější PDIP pouzdro s 24 I/O piny. Maximální možná frekvence je 12MHz při použití napájecího napětí 4,5 – 5,5 V.



Obrázek 2.7: Atmel ATtiny88

Obrázek 2.6: ATtiny88 PDIP pouzdro, rozmístění pinů

U čidla nebylo potřeba tolik pinů, zato je u něj vhodná co nejmenší velikost. Proto jsem vybíral mikroprocesor s co nejmenším počtem pinů, ale zároveň dostačující pro připojení všech komponent. Nakonec jsem si výběr zjednodušil požadavkem na vlastnost picoPower, která by měla zajistit nižší spotřebu. Ve výběru zůstaly opět pouze dva mikroprocesory, které se liší velikostí paměti a z nich jsem si vybral ATtiny44A[7] s větší pamětí. Ten obsahuje 4 kB programové paměti, 256 B datové paměti a 256 B EEPROM paměti, dále univerzální sériové rozhraní, dva čítače/časovače, watchdog, vícekanálový ADC převodník a další mnou nepoužité periferie jako analogový komparátor, teplotní senzor atd. Dodává se v provedení s 12 programovatelnými I/O piny v pouzdech s různým celkovým počtem pinů (14, 15 nebo 20). Pro ruční manipulaci a montáž je nejvhodnější PDIP pouzdro se 14 piny. Maximální možná frekvence je 20 MHz při použití napájecího napětí 4,5 – 5,5 V.



Obrázek 2.9: Atmel ATtiny44A

Obrázek 2.8: ATtiny44A PDIP pouzdro, rozmístění pinů

Oba mikroprocesory umožňují sériové programování, dostatek vnějších přerušení a několik úsporných režimů. Napájecí napětí se pohybuje v rozmezí 1,8 – 5,5 V a spotřeba v aktivním režimu při frekvenci 1 MHz a nízkém napájecím napětí nepřesahuje 0,5 mA.



## 2.5.2 Transceiver

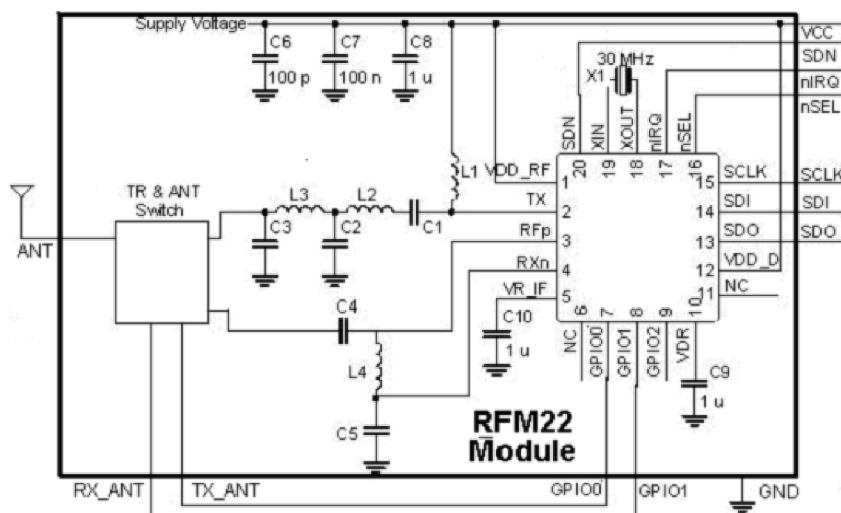
Na trhu je k dostání velký počet komponent, které obsahují vše potřebné pro bezdrátovou komunikaci a stačí je připojit pomocí sériového rozhraní k mikroprocesoru, provést jejich nastavení a nechat je data odeslat nebo přijmout. Stačí jim připojit napájení a anténu. Některé nabízí kromě bezdrátové komunikace navíc např. teplotní čidlo, I/O piny nebo ADC převodníky. Jediným problémem je tedy vybrat si vhodný. Byl mi doporučen transceiver od firmy HopeRF, který nabízí dostatek funkcí za nízkou cenu a je k dostání hotový modul včetně krystalu. Protože u těchto transceiverů není problém měnit výstupní výkon a tím i spotřebu při vysílání a příjmu, vybíral jsem si podle výstupního výkonu, kde jsem volil co možná nejsilnější z důvodu co nejvyššího dosahu s ohledem na napájecí napětím.

Konečná volba padla na model RFM22[8], který splňuje požadavky vysílání v pásmu ISM, nízké napájecí napětí a má z nabízené řady nejvyšší možný výkon při splnění mých podmínek.

Tento transceiver má nativní podporu adresování při přenosu, vysílání dat z FIFO fronty



Obrázek 2.10:  
HopeRF RFM22



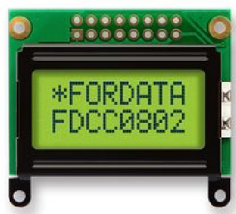
Obrázek 2.11: Vnitřní uspořádání modulu HopeRF RFM22

a automatický výpočet a kontrolu CRC kódu. Umožňuje také zjištění intenzity signálu a obsahuje mimo jiné i ADC převodník. Jeho spotřeba se pohybuje od 10nA při použití pinu pro shutdown přes stovky nA v úsporných režimech až po 80 mA při plném vysílacím výkonu 17 dBm. V režimu příjmu spotřebovává necelých 20 mA. Transceiver obsahuje piny potřebné pro komunikaci pomocí rozhraní SPI, pin pro signalizaci přerušení, tři konfigurovatelné univerzální piny, piny pro přepínání režimu antény mezi příjmem a vysíláním a pin pro vypnutí.

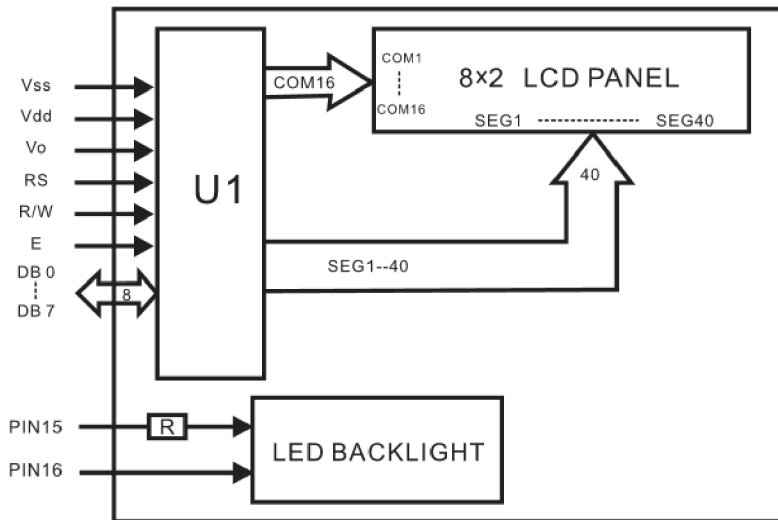
## 2.5.3 Displej

Protože se má jednat o přenosné zařízení a není potřeba zobrazovat na displeji graficky složité výstupy, bohatě postačí alfanumerický displej. Většina displejů na trhu komunikuje pomocí

8 bitového paralelního přenosu, zaměřil jsem se na výběr podle velikosti, protože displej bude spolu s baterií výrazně ovlivňovat velikost výsledného modulu.

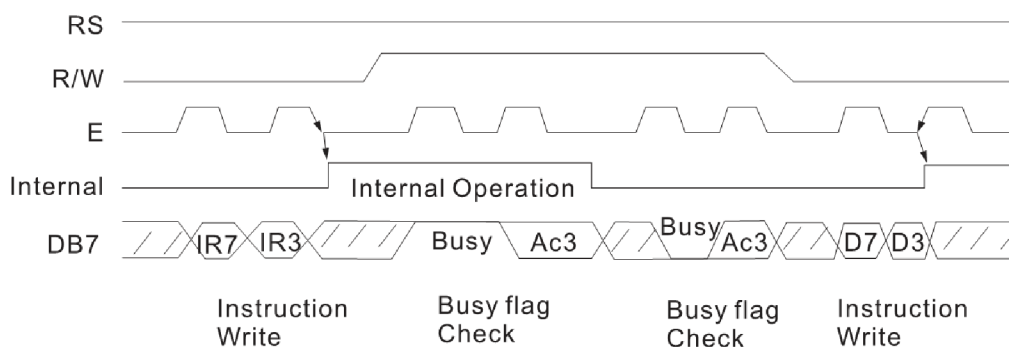


Obrázek 2.12: LCD displej Fordata 8×2 znaků



Obrázek 2.13: Vnitřní uspořádání LCD Fordata 8×2 znaků

Z malých displejů se nabízel displej firmy Fordata s možností zobrazení dvou řádků po osmi znacích. Zároveň umožňuje připojení pomocí 4 bitového rozhraní, což se hodí v případě nedostatku I/O pinů. Tento se nabízí s napájením logiky buď 3 V nebo 5 V. Protože kromě napájení logiky je potřeba napájet také podsvětlení a pomocí napájení redukovat kontrast, je vhodnější displej s napájením 5 V, protože s tímto jedním napětím se napájí jak logika, podsvětlení i redukce kontrastu na rozdíl od displeje s napájecím napětím logiky 3 V, kde navíc potřebujeme 4,2 V na napájení podsvětlení a záporné napětí na redukci kontrastu, což by znamenalo tři různé napětí a s tím spojené zbytečné ztráty při převodech napětí z baterie na potřebné napětí.



Note: IR7,IR3: Instruction 7th bit,3rd bit  
Ac3: Address Counter 3rd bit

Obrázek 2.14: Příklad komunikace s displejem Fordata přes 4-bitové rozhraní

Proto padla výsledná volba na displej 8×2 znaků s napájením 5 V, konkrétně model FDCC0802C-FLYYBW-51LK[9].

Tento displej komunikuje paralelně pomocí osmi nebo čtyř bitové datové sběrnice a tři řídicích signálů. Jeden slouží pro výběr řídicích nebo datových registrů, druhý k signalizaci čtení nebo zápisu a poslední je aktivační. Časový průběh komunikace přes čtyřbitové rozhraní je zobrazen na obrázku 2.14.

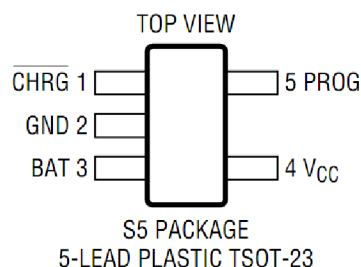
## 2.5.4 Baterie a obvod pro její nabíjení

Vzhledem k přenositelnosti zařízení je nutnost použít baterii. Baterie bohužel nevydrží napájet zařízení do nekonečna, takže je vhodné použít baterii nabíjecí, případně akumulátor. Baterií existuje více typů, které se liší svými vlastnostmi. Nejvýraznější je asi různé napětí jednoho článku. Dalším výrazným rozdílem je kapacita, kterou je baterie schopna uchovat při dané váze nebo rozměru. Dnes se nejčastěji využívá baterie typu Li-Ion, která má nominální napětí 3,6 V resp. se pohybuje v rozmezí 3 – 4,2V mezi vybitou a plně nabitou baterií. Navíc má dobrý poměr váha (rozměr)/kapacita a obecně z nabízených typů vykazuje dobré vlastnosti. Při nabíjení baterie je potřeba dodržet předem stanovený postup, který se u různých druhů baterií liší. Při nedodržení stanoveného postupu může dojít k okamžitému, nebo postupnému zničení baterie, v horším případě může dojít k přehřátí baterie, jejímu vytečení nebo explozi.

Z důvodu dostatečného napětí při použití jednoho článku pro napájení integrovaných obvodů a její nižší velikosti resp. vyšší kapacity při malé velikosti jsem si vybral baterii Li-Ion. Výběr obvodu pro nabíjení se tímto zjednoduší na obvody, které podporují nabíjení baterií typu Li-Ion. Různé obvody nabíjení nabízejí různé možnosti. Uživatel určitě ocení možnost kontroly procesu nabíjení a informace o průběhu nabíjení, jeho dokončení a případná možnost zjistit, zda-li je připojen zdroj napětí, když se baterie nenabíjí. Existují i obvody s možnostmi pokročilého nastavení, ale nakonec jsem zvolil jednoduchý obvod, který splňoval mé požadavky.



Obrázek 2.15:  
LTC4054L



Obrázek 2.16: Pouzdro  
LTC4054L

Obvod LTC4054L[10] od firmy Linear Technology umožňuje sledování stavů nízkého vstupního napětí, nabíjení, připojeného vstupního napájení a navíc umožňuje sledovat napájecí proud, takže lze zjistit přibližný stav nabití baterie v průběhu nabíjení. Je určen pouze pro nabíjení Li-Ion baterií, takže není potřeba nastavování výstupního napětí pro různé typy podporovaných baterií.

Obvod LTC4054L má pět pinů. Jeden je uzemněn, na druhý je připojen kladný pól baterie, další slouží k připojení kladného pólu napájecího napětí, ke kterému má být paralelně připojen kondenzátor o minimální kapacitě 1 $\mu$ F. Další z pinů slouží k nastavení maximálního nabíjecího proudu baterie a poslední slouží ke sledování stavu obvodu.

Vstupní napájecí napětí se může pohybovat v rozsahu 4,5 - 6 V, čemuž vyhovuje i USB s napětím 4,75 - 5,25 V podle specifikace pro napájené huby. K nabíjení tedy lze použít i USB.

Nastavení nabíjecího proudu se provádí pomocí rezistoru podle vzorce  $I_{CHG} = \frac{1000}{R_{PROG}}$ .

Zvolil jsem rezistor o velikosti 1,65 k $\Omega$ , což odpovídá nabíjecímu proudu 600 mA. Tento proud je volen s ohledem na možnost nabíjení přes USB, přestože mírně přesahuje specifikace pro napájené huby, neměl by způsobovat problémy. Zároveň jsem se snažil zachovat jej co nejvyšší, aby se nabíjení zbytečně nebrzdilo v případě použití dostatečně silného zdroje.

Obvod se může nacházet ve třech různých stavech, které reflektují tři možné stavy pinu  $\overline{CHRG}$  určeného ke sledování stavu obvodu. Jeho stavy mohou být:

- uzemněn s maximálním proudem 10 mA - probíhá nabíjení
- uzemněn s maximálním proudem 20  $\mu$ A - dostatečné vstupní napětí pro nabíjení, nenabíjí se
- stav vysoké impedance - nedostatečné vstupní napětí pro nabíjení

Obvod také umožňuje zjistit okamžitý nabíjecí proud. Stačí změřit napětí na pinu PROG a podle vzorce  $I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \cdot 1000$  dopočítat okamžitý nabíjecí proud. Spolu s napětím baterie tak lze zjistit přibližný stav nabití baterie během nabíjení.

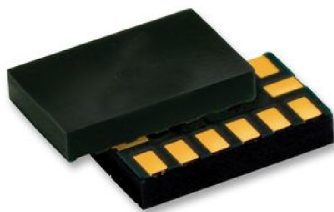
## 2.5.5 Akcelerometr

Při výběru akcelerometru můžeme vybírat mezi analogově nebo digitálně komunikujícími. Digitální komunikace je vhodná zejména z důvodu jednodušší komunikace s mikroprocesorem, kdy není nutné využívat pro připojení AD převodníky. Jednodušší je i případná kalibrace klidové pozice, protože nemusíme korigovat výsledky naměřené pomocí AD převodníku, ale pouze nastavíme registr v akcelerometru.

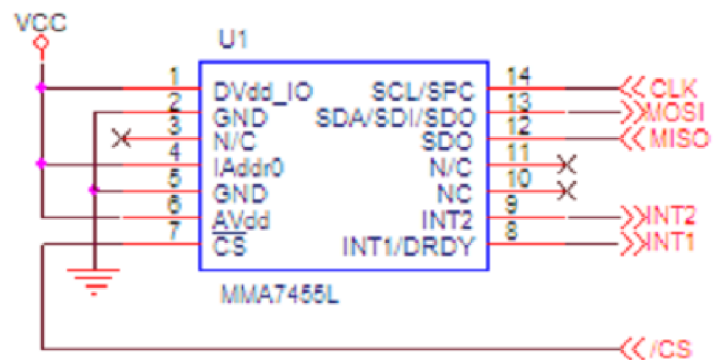
Dále musíme vědět, jaké hodnoty zrychlení budeme chtít rozpoznat. Existují akcelerometry s různým maximálním rozsahem ale také s různým detailem rozlišení. Protože potřebuji měřit malé a pomalé pohyby, volil jsem mezi akcelerometry s nižším maximální zrychlením. Při překročení maximálního zrychlení akcelerometru budeme dostávat informace o tomto zrychlení, pouze jeho hodnota nebude odpovídat skutečnost, ale maximální možné výstupní hodnotě akcelerometru. Toto je pro mne v daných zrychleních dostatečná informace. Při použití akcelerometru s vysokým maximálním zrychlením bych naopak nebyl schopen detekovat pohyby s nízkým zrychlením, protože tyto akcelerometry mívají nižší detail rozlišení.

V poslední řadě je potřeba znát počet sledovaných os. Existují akcelerometry měřící jednu, dvě a tři osy. Pro detekci pohybu v každém směru je potřeba akcelerometr měřící ve třech směrech, takže zde byla volba jasná.

Při výběru pro mne byla rozhodující komunikace pomocí SPI, měření všech tří os, nízké napájecí napětí a nižší maximální měřené zrychlení. Těmto parametrů vyhovuje velké množství



Obrázek 2.17: Freescale MMA7455L



Obrázek 2.18: Připojení akcelerometru MMA7455L pomocí rozhraní SPI

akcelerometrů na trhu. Nakonec jsem si vybral akcelerometr MMA7422L[11] firmy Freescale Semiconductor.

Maximální zrychlení tohoto akcelerometru lze volit mezi 2, 4 nebo 8 G v osmi nebo deseti bitovém rozlišení. Pracuje v napětí 2,4 - 3,6 V a obsahuje úsporný režim. Akcelerometr komunikuje pomocí rozhraní SPI, nebo I2C. Volba se provádí pomocí jednoho z pinů. Kromě pinů pro připojení k mikroprocesoru obsahuje akcelerometr dva piny přerušování a napájení.

## 2.6 Napájení

Protože k napájení zařízení používám akumulátor u něž se napětí pohybuje v rozmezí 3 - 4,2 V, musel jsem použít napětíovou regulaci z důvodu nízkého maximálního napájecího napětí u modulu pro bezdrátový přenos a akcelerometru. Zvolil jsem napětí 2,5 V. To je vhodné pro všechny použité

součástky s výjimkou displeje na řídicím modulu, který vyžaduje 5 V, zároveň je dostatečně nízké na využívání celé kapacity baterie. Podle datasheetu je nutné stabilizovat vstupní a výstupní napětí regulátoru pomocí kondenzátor, jejíž hodnoty jsou uvedeny výrobcem.

Protože potřebuji 5 V pro napájení displeje, bylo třeba použít DC/DC konvertor, které z nižšího vstupního napětí vytváří vyšší výstupní. Volba výstupního napětí je jednoduchá - potřebuji 5 V. Vstupního napětí je omezeno maximálním a minimální napětí daného DC/DC konvertoru. Protože toto napětí se u mého pohybuje v rozmezí 2,97 - 3,63 V, bylo nutné jej také regulovat. Spodní hranice vstupního napětí koresponduje s napětím vybité baterie, proto není vhodné použití napěťový regulátor, který není schopen zachovat vstupní napětí, klesne-li na regulované napětí, ale vytvoří určitou ztrátu v řádu desetin voltu. Vznikaly by situace, kdy baterie není úplně vybitá, ale z důvodu nízkého napětí regulátoru bychom nemohli použít displej. Nabízí se tedy použití Zenerovy diody zapojené jako regulátor napětí. Toto zapojení bude způsobovat zbytečné vybíjení baterie v případě, kdy bude napětí baterie vyšší než Zenerovo napětí zvolené diody, na druhou stranu nám umožní použít baterii až do úplného vybití, což je vzhledem k vybíjecí křivce baterie vhodnější. Dále je třeba regulovat výstupní napětí DC/DC konvertoru, které se může v závislosti na zatížení dostat mimo rozsah napájecího displeje a ten by se mohl poškodit.

Displej je vybaven podsvětlení, které by mělo svítit pouze při používání displeje. Hlavním důvodem tohoto řešení je co možná nejvyšší výdrž baterii. Převody a regulace napětí se podepsaly na efektivitě napájecího obvodu displeje a proto je vhodné vypínat kromě podsvětlení napájení celého displeje. Znamená to sice inicializaci displeje před každým použitím, ale předpokládaná intenzita používání displeje a doba potřebná k inicializaci displeje naznačují bezproblémovou použitelnost tohoto řešení. Zapínání a vypínání je řešeno tranzistorem řízeným pinem mikroprocesoru.

## 2.7 Schéma zapojení

Protože se řídicí a měřicí modul výrazně liší, liší se i jejich schémata zapojení. Při návrhu zapojení je třeba vycházet z údajů uvedených v datasheetech. Zejména je důležité hlídat napájecí napětí a hranice napětí logických úrovní pro vstup a výstup, aby byla zajištěna korektní komunikace mezi součástkami. Chceme-li připojit přímo na piny proudově náročné součástky, musíme si také ověřit, že daný pin je schopen tento proud dodávat. Také je vhodné zkontrolovat možné rychlosti komunikace jednotlivých součástek, protože různé komponenty mohou mít různé rozsahy rychlostí pro vysílání nebo příjem dat. U mnou použitého rozhraní SPI je rychlost řízena jedním z komunikujících členů, masterem, kterým je v mém případě mikroprocesor umožňující měnit rychlost v dostatečném rozsahu, neměl by být s tímto problém, protože lze nastavit dostatečně nízkou rychlost.

## 2.7.1 Řídicí modul

Mikroprocesor na řídicím modulu musí komunikovat s transceiverem a displejem, sledovat stav tlačítek, informovat uživatele pomocí stavových diod a reproduktoru a sledovat stav baterie a obvodu pro její nabíjení.

Transceiver komunikuje pomocí rozhraní SPI a je schopen žádat o přerušení. Možnost použít pin pro shutdown transceiveru jsem nevyužil, proto je tento pin trvale uzemněn. Pro přepínání antény do režimu RX/TX jsem použil univerzální piny transceiveru, přičemž jeden nepotřebný je uzemněn.

Z důvodu nedostatku volných pinů je displej připojen pouze 4-bitově. Protože tuto komunikaci displej nativně podporuje, není to problém. Celkem je k ovládání displeje použito osm pinů, čtyři datové, tři signální a jeden řídicí tranzistor pro zapínání napájení displeje. Napájení displeje je řešeno pomocí DC/DC konvertoru, jehož vstupní napětí je omezeno pomocí zenerovy diody a výstupní napětí regulováno regulátorem. Blíže je toto popsáno v kapitole 2.6.

Tlačítka jsou připojeny na piny umožňující pomocí přerušení probudit mikroprocesor ze spánku, čímž odpadá nutnost jejich neustálé kontroly. Diody jsou připojeny přímo na piny mikroprocesoru, protože ty jsou dostatečně silné k jejich napájení. Dále je přímo na pin připojen reproduktor sloužící ke zvukové signalizaci spuštění alarmu.

Stav baterie, resp. její napětí je sledováno pomocí analogově digitálního konvertoru (ADC). Protože je maximální napětí baterie vyšší než referenční napětí mikroprocesoru, použil jsem k připojení napěťový dělič. Hodnoty odporu lze jednoduše spočítat pomocí vzorce

$$U_{pin} = \frac{U_{BAT} \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad \text{kde } R_2 = \frac{R_{2p} \cdot R_{3pin}}{R_{2p} + R_{3pin}}. \quad \text{Datasheet uvádí pro ADC } R_{3pin} = 100M\Omega,$$

výsledný  $R_2$  tedy nijak výrazně neovlivní. Protože mikroprocesor obsahuje referenční napětí 1,1V a maximální napětí baterie je 4,2V, potřebujeme snížit napětí v poměru minimálně 4,2 : 1,1. Zvolíme si tedy dostatečně velký odpor  $R_1$ , aby přes něj neprotékal vysoký proud a tím se zbytečně nevybíjela baterie. Zvolil jsem si  $R_1 = 5.6M\Omega$ . Poté můžeme dopočítat hodnotu druhého odporu. Pomocí vzorce 2.1 zjistíme potřebnou hodnotu  $R_2$ . Musíme ale vybírat z rezistorů dostupných na

$$\begin{aligned} U_{pin} &= \frac{U_{BAT} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \\ 1.1 &= \frac{4.2 \cdot R_2}{5.6e6 + R_2} \\ R_2 &= \frac{1.1 \cdot 5.6e6}{3.1} \\ R_2 &= 1.99M\Omega \end{aligned}$$

Vzorec 2.1

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{R_{2p} \cdot R_{3pin}}{R_{2p} + R_{3pin}} \\ R_2 &= \frac{2e6 \cdot 100e6}{2e6 + 100e6} \\ R_2 &= 1.96M\Omega \end{aligned}$$

Vzorec 2.2

trhu, vybereme tedy nejbližší možný –  $R_{2p} = 2M\Omega$ . Poté můžeme dopočítat skutečnou hodnotu

$R_2$  s uvážením  $R_{3pin}$  (Vzorec 2.2) a výsledné napětí na pinu při plně nabitě baterii (Vzorec 2.3).

K této hodnotě musíme přihlídnout při převádění výsledku ADC převodníku na procentuální vyjádření zbývající kapacity baterie. Výsledný maximální ztrátový proud můžeme spočítat pomocí

Ohmova zákona  $I = \frac{U}{R}$ . V mém případě činí hodnota  $I_{Zmax} = 0.6\mu A$  (Vzorec 2.4).

Kdybychom chtěli tuto hodnotu ještě snížit, museli bychom použít větší odpory.

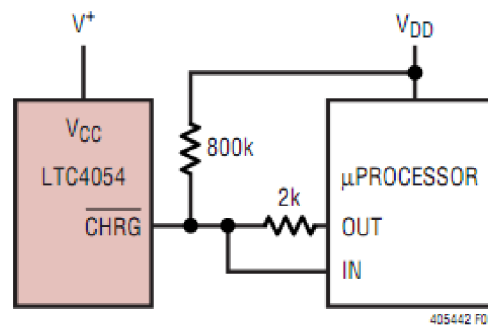
$$U_{pin} = \frac{U_{BAT} \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad I_{Zmax} = \frac{U_{BAT}}{R_1 + R_2}$$

$$U_{pin} = \frac{4.2 \cdot 1.96 e6}{5.6 e6 + 1.96 e6} \qquad I_{Zmax} = \frac{4.2}{7.56 e6}$$

$$U_{pin} = 1.09 V \qquad I_{Zmax} = 0.6 \mu A$$

*Vzorec 2.3* *Vzorec 2.4*

Obvod pro nabíjení informuje o svém stavu pomocí jednoho z pinů, který se může nacházet ve třech stavech (viz. 2.5.4). Datasheet naznačuje možné zapojení pro zjištění všech tří stavů využívající dva piny procesoru (Obrázek 2.19). Jeden z pinů slouží ke zjišťování logické úrovně a druhý slouží k napájení. K tomu je připojen rezistor umožňující dodávat proud v řádech mA, maximálně necelých



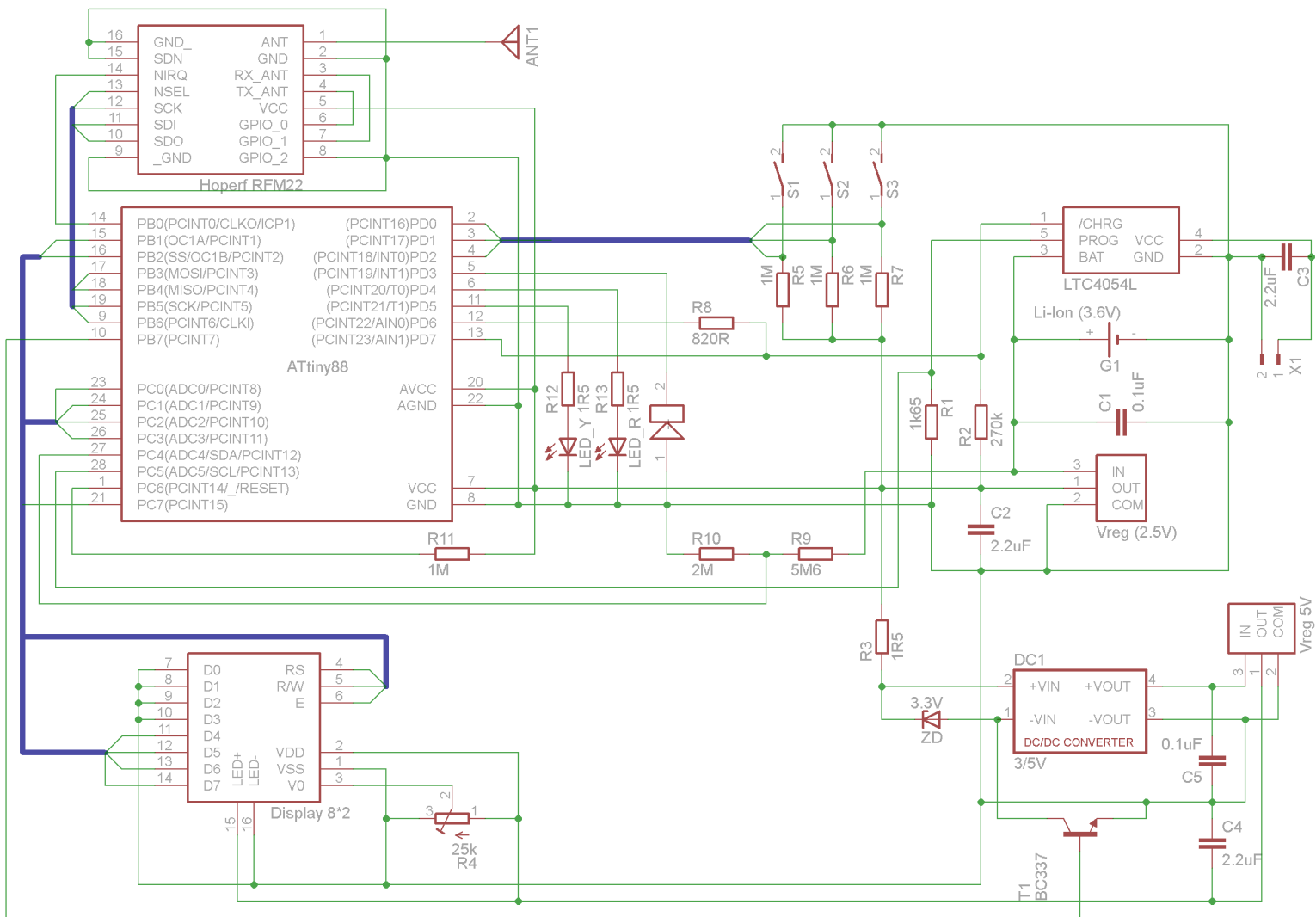
Obrázek 2.19: Příklad zjištění stavu

### LTC4054L

10 mA. Dále je na pin informující o stavu obvodu pro nabíjení připojeno napájecí napětí přes rezistor omezující protékající proud na méně než  $20\mu A$ . Provádí-li se nabíjení, naměříme na tomto pinu log. 0 i v případě, že výstupní pin mikroprocesoru nastavíme do log. 1. Nastavíme-li výstupní pin mikroprocesoru do stavu vysoké impedance, lze rozeznat, je-li přítomno vstupní napětí. Není-li přítomno, zjistíme log. 1, kterou vytvoří vstupní napětí připojené přes rezistor. Je-li přítomno napájecí napětí dostatečné k nabíjení baterie, obvod pro nabíjení uzemní tento zdroj a my naměříme log. 0. Budeme-li chtít sledovat aktuální nabíjecí proud stačí měřit napětí na dalším z pinů obvodu pro nabíjení (viz. 2.5.4). Protože toto napětí je maximálně 1 V, lze jej měřit přímo pomocí ADC mikroprocesoru při použití vestavěného referenčního napětí 1,1 V.



Obrázek 2.20: Řídící modul – schéma zapojení



## 2.7.2 Měřicí modul

U měřicího modulu je pouze jedna napájecí větev 2,5 V. Zapojení baterie a obvodu pro nabíjení je stejné jaku u řídicího modulu včetně použitých rezistorů u napěťového děliče pro zjišťování stavu baterie. Signalizační dioda je připojen na jeden z univerzálních pinů transceiveru z důvodu nedostatku pinů procesoru.

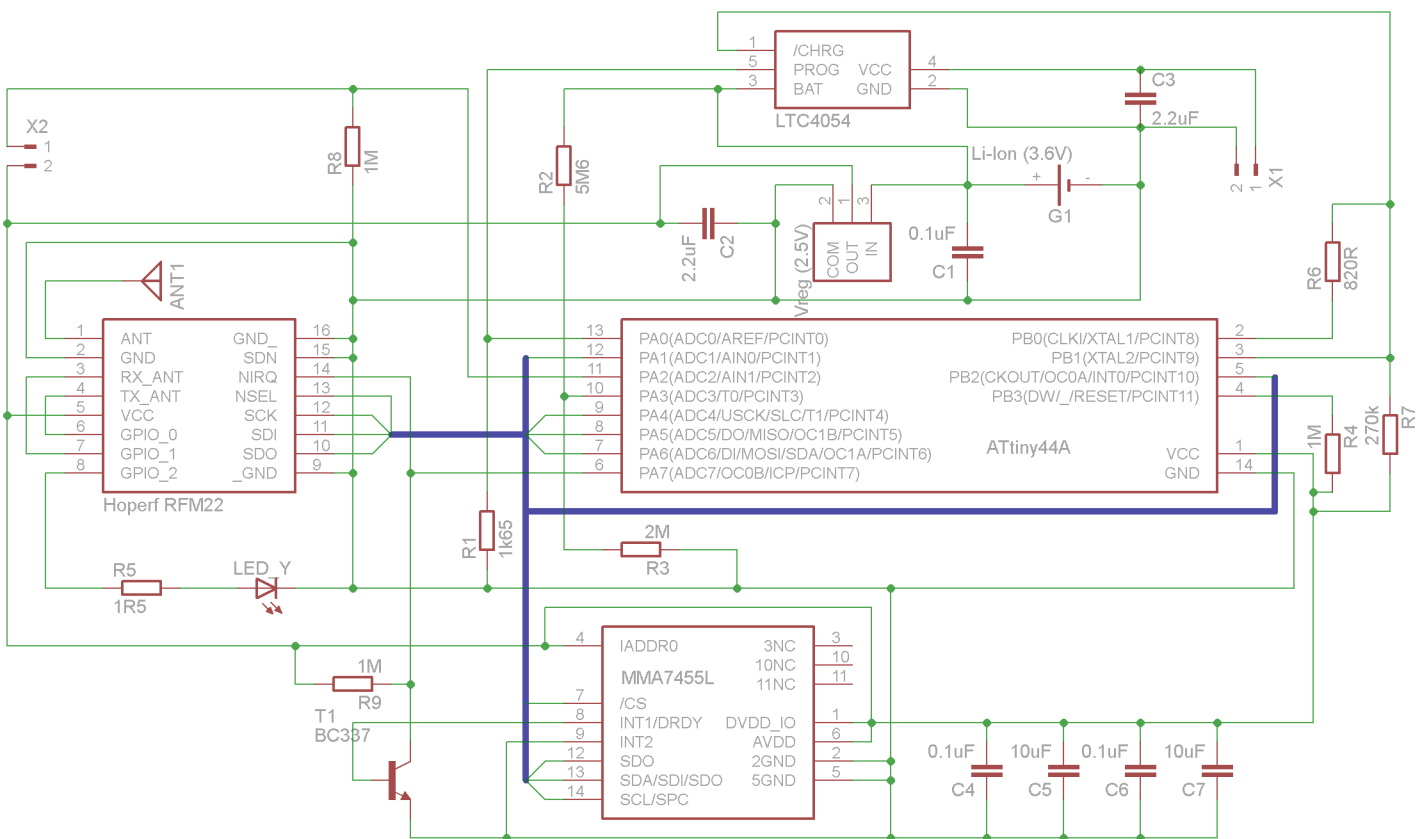
Bezpečnostní okruh je vytvořen připojením vstupního napětí přímo na pin mikroprocesoru s konektorem pro vyvedení části tohoto spojení mimo desku kolem hlídaného objektu. K pinu mikroprocesoru je dále připojen rezistor, který je uzemněn. Toto zajišťuje případné rychlé snížení napětí v případě přerušení. Nebude-li obvod přerušen, bude jím protékat proud, který by měl být co nejnižší, aby zbytečně nevybíjel baterii. Proto volíme rezistor s velkým odporem. Použil jsem odpor

$$R=1M\Omega, \text{ tudíž ztrátový proud bude } I_z = \frac{U}{R} = \frac{2.5}{1e6} = 2.5\mu A. \text{ V případě, že nebude}$$

bezpečnostní okruh použit a dojde k odpojení jeho externí části, dojde k přerušení obvodu a ztrátový proud bude nulový.

Dále je zde sběrnice SPI na kterou je připojen mikroprocesor chovající se jako master, transceiver a akcelerometr jako slave. Protože mikroprocesor ATtiny44A nemá plnohodnotné rozhraní SPI, ale pouze univerzální sériové rozhraní (USI), které je řízeno softwarem, je nutné si dát pozor na skutečnost, že neobsahuje ani piny MISO a MOSI, ale pouze piny data in (DI) a data out (DO). Toto by mohlo způsobit problém v případě potřeby přepínat mezi režimem master a slave. V mém případě je mikroprocesor stále slave, proto jsem pin DI považoval za MISO a DO za MOSI.

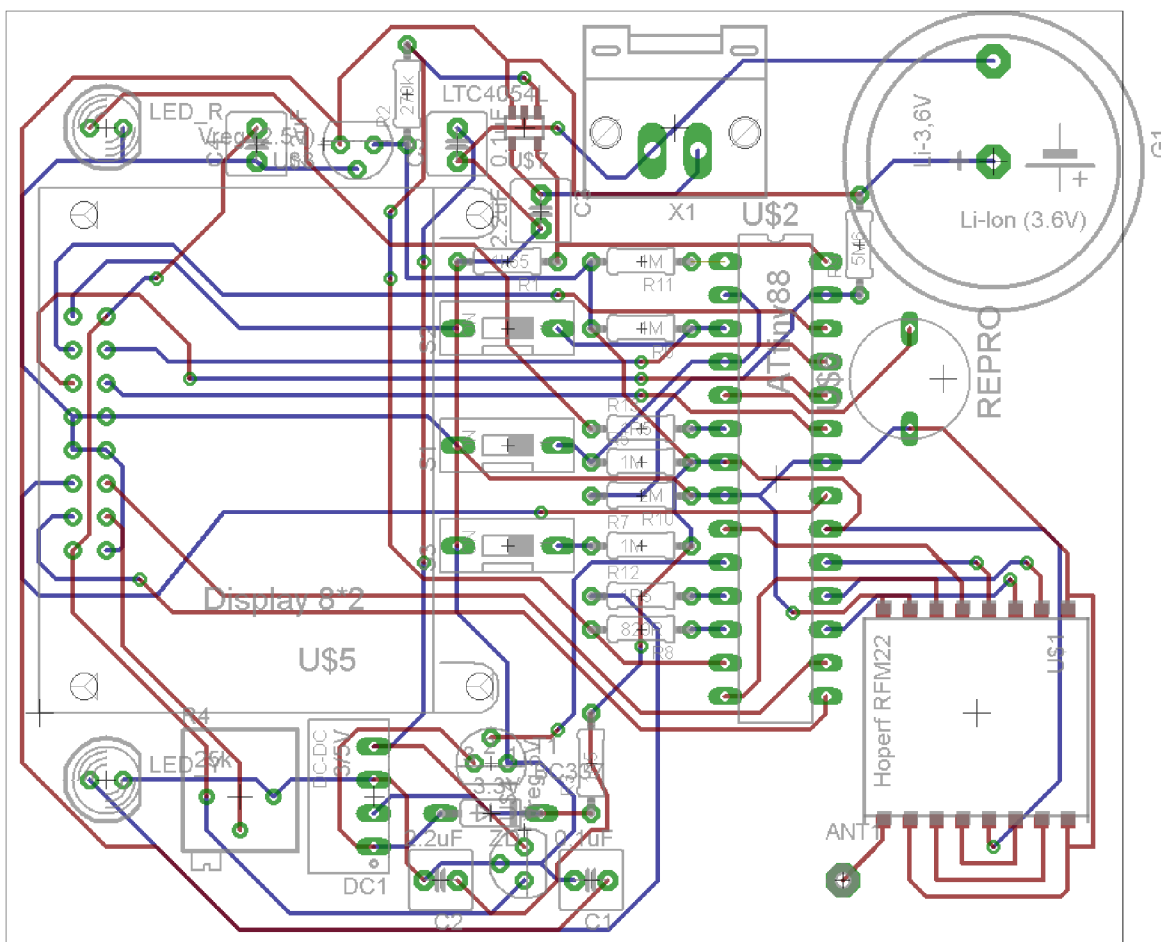
Přerušení od transceiveru a akcelerometru jsou spojeny a připojeny na jeden pin, čímž byl snížen počet potřebných pinů mikroprocesoru, ale v případě přerušení je potřeba zjišťovat zdroj přerušení softwarově dotazováním, tzv. poolingem. Aby toto řešení bylo použitelné, bylo třeba sjednotit logické úrovně přerušení u akcelerometru, který jej má v log. 1 a transceiveru, který je má v log. 0. K invertování přerušení od akcelerometru jsem použil tranzistor řízený tímto přerušením a přivedení log. 1 na pin mikroprocesoru pomocí rezistoru připojeného na napájecí napětí.



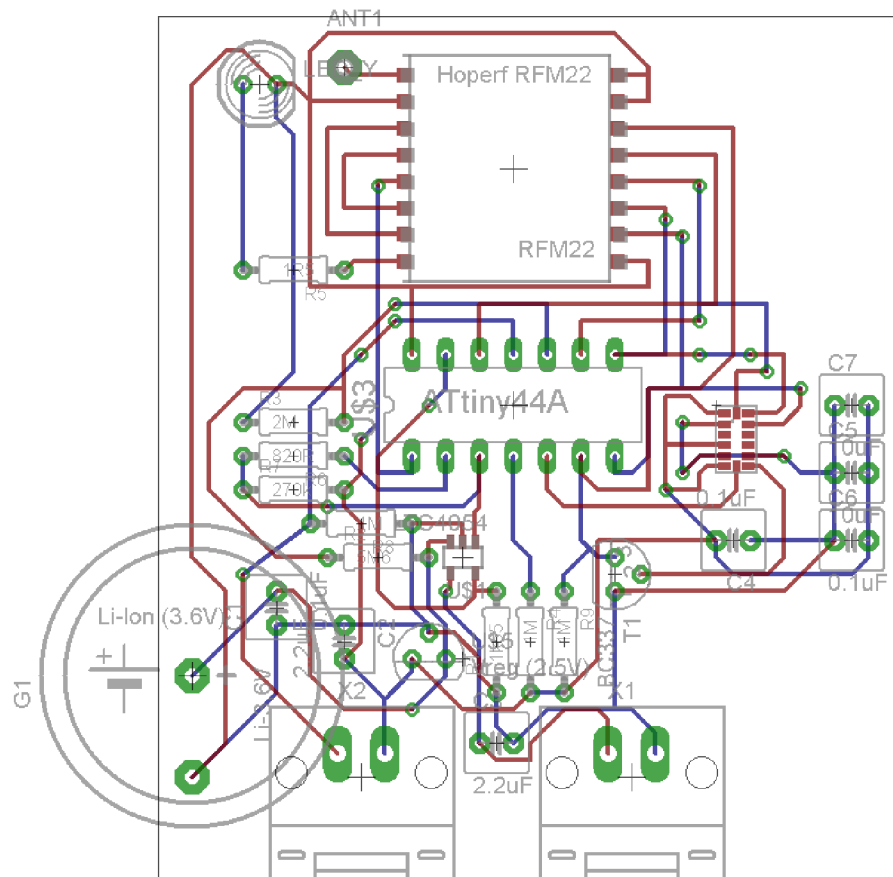
Obrázek 2.21: Měřičí modul - schéma zapojení

## 2.8 Desky plošných spojů (DPS)

Výsledné DPS jsou oboustranné z důvodu potřeby křížení vodičů. Součástky jsou soustředěny na jedné straně, přičemž některé jsou instalovány přes díru, jiné mají povrchovou montáž. Výsledná velikost je 85 × 71 mm u řídicího modulu a 65 × 56 mm u měřicího modulu. Velikost DPS není závislá na velikosti baterie a případná celková velikost se může mírně zvýšit.



Obrázek 2.22: Řídicí modul - DPS

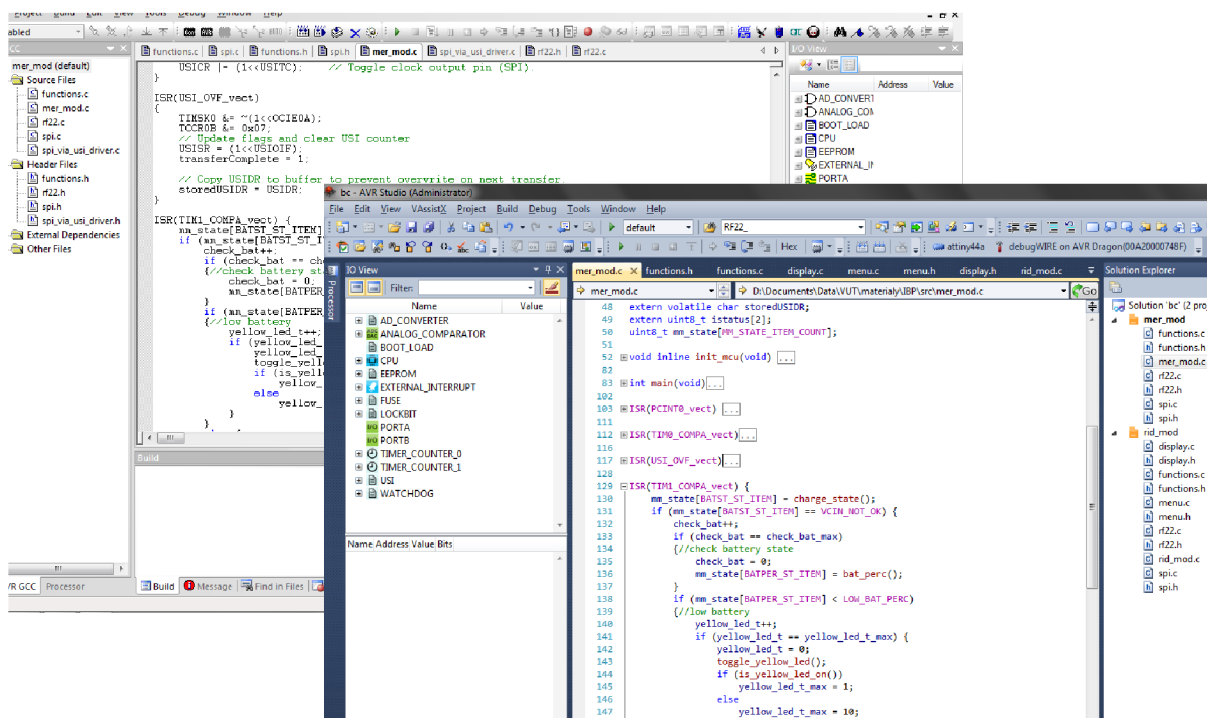


Obrázek 2.23: Měřicí modul - DPS

# 3 Programové vybavení

## 3.1 Vývojové prostředí

Firma Atmel nabízí zdarma dostupné vývojové prostředí AVR Studio. Tento program využívá pro překlad AVR Toolchain nebo WinAVR. Samozřejmě je možné použít externí programy pro překlad a využít například generovaný makefile. Přímě AVR Studio nabízí možnost programování mikroprocesorů s využitím různých programátorů a také možnost ladění v simulátoru nebo přímo na desce. Aktuální stabilní AVR Studio je verze 4, v beta verzi je nyní dostupné AVR Studio verze 5, které využívá rozhraní Microsoft Visual Studio 2010 včetně všech jeho vymožeností, což výrazně zvyšuje komfort programování oproti verzi 4.



Obrázek 3.1: AVR Studio v.4 vs v.5

Pro programování jsem použil programátor AVR Dragon, který umožňuje programování pomocí rozhraní ISP, JTAG, high voltage programování, paralelní programování a obsahuje několik rozhraní pro ladění. Já jsem používal programování pomocí ISP, neboli In System Programming.

### ISP (In System Programming)

ISP komunikuje s procesorem přes rozhraní SPI a pin  $\overline{\text{RESET}}$ . Napájení se provádí přímo z desky. Podmínkou pro využívání toho rozhraní je zachování funkce reset pinu  $\overline{\text{RESET}}$ . Celkem se používá šest nebo deset vodičů - MISO, MOSI, SCK,  $\overline{\text{RESET}}$ , Vcc a GND. Tento způsob programování lze

využít i pro pozdější upgrade programu, je-li zařízení již napájeno na desce. Stačí mít vyvedený konektor pro připojení programátoru. Je-li na desce k rozhraní SPI připojena další komponenta, je potřeba počítat s možností jejího odpojení od sběrnice, pokud budeme programovat mikroprocesor, protože při programování jsou piny mikroprocesoru v log. 0 a mohlo by dojít k aktivaci jedné ze slave komponenty, která by rušila programování. Toto lze řešit například přepínačem pro trvalé přivedení log. 1 na pin slave select dané komponenty.

Tento způsob programování podporuje drtivá většina mikroprocesorů firmy Atmel.

## 3.2 Popis programu

V rámci co možná nejnižší spotřeby budou moduly přecházet do režimu spánku, ze kterého je bude budit čítač po určitém intervalu, případně přerušení od některé z ostatních komponent na desce. Proto je většina činnosti prováděna v obsluze přerušení. Hlavní program provede prvotní konfiguraci mikroprocesoru a ostatních komponent modulu a přejde do režimu spánku, do kterého se poté systematicky vrací po ukončení obsluhy přerušení.

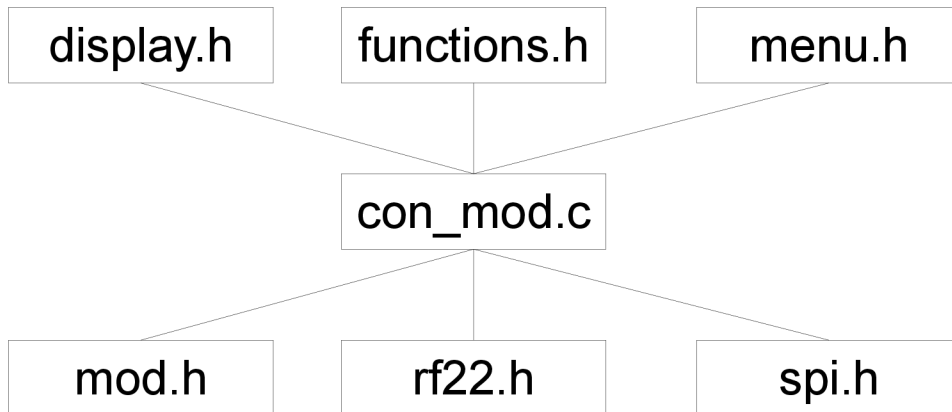
Program je psán v jazyce C, čímž si ušetříme mnoho práce například při práci s proměnnými přesahující šířku naší datové sběrnice. Postupný přenos a zpracování za nás obstará překladač. Při programování mikroprocesorů s omezeným množstvím paměti je třeba dávat pozor na její zbývající velikost a v případě potíží využít nejrůznějších možností optimalizace pro snížení velikosti. Potřebujeme-li snížit výslednou velikost programu, je vhodné při psaní programu používat co možná nejvíce univerzální funkce, které se použijí vícekrát a tím šetří paměťové místo.

Protože jsem programoval dva rozdílné programy – pro řídicí a měřicí modul, snažil jsem se využívat podmíněného překladu a tím sjednotit velkou část programu do společných souborů, abych si ušetřil práci při jejich úpravách a používání. Navíc oba moduly provádějí některé úkony naprosto stejně pouze s rozdílem použitého pinu a je tudíž jednodušší použít jednotné funkce, které se přeloží s mírnými rozdíly na základě aktuálně použitého mikroprocesoru.

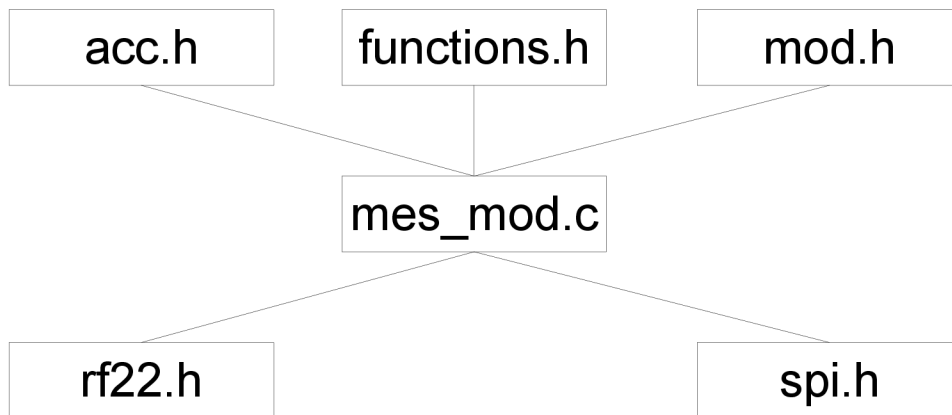
Konečný počet souborů se ustálil na patnácti, z toho sedm hlavičkových.

- `acc.c + acc.h` – funkce pro práci s akcelerometrem
- `display.c + display.h` – funkce pro práci s displejem
- `functions.c + functions.h` – nejrůznější obecné funkce, většinou závislé na konkrétním mikroprocesoru a zapojení modulu
- `menu.c + menu.h` – funkce pro zobrazování a procházení menu na displeji
- `rf22.c + rf22.h` – funkce pro práci s transceiverem
- `spi.c + spi.h` – funkce pro komunikaci pomocí rozhraní SPI
- `mes_mod.c` – řídicí část programu měřicího modulu

- con\_mod.c – řídicí část programu řídicího modulu
- mod.h – definice stavových struktur a struktur pro odesílaná data



Obrázek 3.2: Řídicí modul - použité soubory



Obrázek 3.3: Měřicí modul - použité soubory

U měřicího modulu nejsou funkce pro obsluhu přerušení volány přímo při výskytu přerušení, ale na základě masky, která se nastavuje při výskytu přerušení. Je to z důvodu potřeby použití přerušení pro komunikaci pomocí SPI, což je uvnitř obsluhy přerušení mírně problematické. Bylo by potřeba povolit přerušení pro SPI, ale zároveň blokovat ostatní, aby nedošlo k zacyklení. Protože jediný úkol hlavní smyčky je uspávání mikroprocesoru, není problém před uspáním provést kontrolu, nenastalo-li přerušení. Nastane-li přerušení, je mikroprocesor probuzen a před dalším uspáním dojde ke kontrole vzniklých přerušení. Je tedy zajištěno, že vzniklé přerušení bude obsluhueno i tímto způsobem v dostatečně krátkém čase.

U měřicího modulu nejsou funkce pro obsluhu přerušení volány přímo při výskytu přerušení, ale na základě masky, která se nastavuje při výskytu přerušení. Je to z důvodu potřeby použití přerušení pro komunikaci pomocí SPI, což je uvnitř obsluhy přerušení mírně problematické. Bylo by potřeba povolit přerušení pro SPI, ale zároveň blokovat ostatní, aby nedošlo k zacyklení.



Protože jediný úkol hlavní smyčky je uspávání mikroprocesoru, není problém před uspáním provést kontrolu, nenastalo-li přerušení. Nastane-li přerušení, je mikroprocesor probuzen a před dalším uspáním dojde ke kontrole vzniklých přerušení. Je tedy zajištěno, že vzniklé přerušení bude obslouženo i tímto způsobem v dostatečně krátkém čase.

### **3.3 Průběh komunikace**

Komunikace je obousměrná, přičemž jako první se ozývá měřicí modul. Řídící modul čeká na zprávu od měřicího modulu, který se v pravidelných intervalech ozývá i v případě, že nedostává odpovědi od řídicího modulu. Při těchto pravidelných vysíláních měřicí modul posílá informace o svém nastavení a stavu jednotlivých komponent. Řídící modul na toto odpovídá aktuálním požadovaným nastavením. Dojde-li ke změně nastavení, měřicí modul tuto změnu potvrzuje řídicímu modulu okamžitě. Dokud není změna potvrzena, řídicí modul ji nepovažuje za platnou. Dojde-li ke ztrátě nastavení u měřicího modulu, načte se jakmile se opět spojí s řídicím modulem. Toto by mohl způsobit například watchdog, přestane-li měřicí modul reagovat.

Při příjmu se na základě síly příchozího systému upravuje vysílací výkon pro následující vysílání. V případě kdy měřicí modul nedostane odpověď na své vysílání, použije pro další vysílání maximální výkon.

### **3.4 Komunikace s uživatelem**

Informace jsou uživateli zobrazovány pomocí stavových diod, které poskytují základní informace, nebo pomocí displeje, na kterém jsou dostupné nejrůznější informace o řídicím a měřicím modulu, je-li připojen.

#### **3.4.1 Informační diody**

Řídící modul obsahuje dvě informační diody. Červená slouží k informování uživatele o aktuální stavu alarmu. Je-li zapnutý, dioda bliká. Dojde-li k neočekávané situaci, dioda trvale svítí a dojde také ke spuštění zvukové signalizace. Druhá dioda je žlutá a informuje o stavu baterie. Pokud bliká, naznačuje, že baterie se brzy vybití. Pokud svítí, probíhá nabíjení baterie a je-li neaktivní (nesvítí) stav baterie je v pořádku.

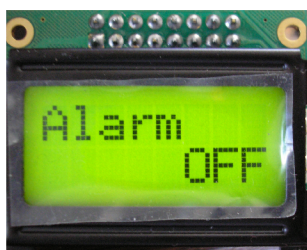
Žlutou informační diodu obsahuje i měřicí modul a její chování je obdobné jako u řídicího modulu. Pro podrobnější informace o stavu zařízení je potřeba použít řídicí modul a jeho menu zobrazované na displeji.

### 3.4.2 Menu a nastavení

Pro průchod menu a nastavování hodnot jsou použity tři tlačítka, z nichž dvě slouží pro posun vpřed a zpět, třetí slouží k potvrzování vybraných nabídek a hodnot. Zobrazení na displeji je dvouřádkové, přičemž na prvním řádku se zobrazuje název nabídky a pod ní aktuální hodnota.

Menu obsahuje tyto základní položky:

- *Alarm*
  - provádí se zapínání a vypínání alarmu
  - běží-li výstraha o neočekávané situaci, jsou zde zobrazeny podrobnosti:
    - Acc – hlášena vysoká hodnota zrychlení od akcelerometru
    - SC – byl přerušen bezpečnostní okruh
    - No sig. - měřicí modul přestal komunikovat



Obrázek 3.4:  
*Menu - alarm vypnut*



Obrázek 3.5:  
*Menu - bezpečnostní okruh zapnut*

- *Accel.*
  - provádí se zapínání kontroly zrychlení, je-li zapnut alarm i akcelerometr, zobrazují se zde hodnoty zrychlení jednotlivých os
- *Sec. cir*
  - provádí se zapínání kontroly bezpečnostního okruhu
- *Bat c.m.*
  - zobrazuje se procentuální stav baterie řídicího modulu, případně informace o nabíjení
- *Bat m.m.*
  - zobrazuje se procentuální stav baterie měřicího modulu, případně informace o nabíjení
- *Signal*
  - informace o síle signálu

Při zapínání alarmu, akcelerometru nebo bezpečnostního okruhu se na displeji nejprve objeví „...“, dokud nedejde k potvrzení hodnoty od měřicího modulu.

## 4 Testy

Provedl jsem základní testy v podobě měření spotřeby a dosahu zařízení. Měření spotřeby bylo mírně problematické, protože se v čase mění vlivem vstupu do úsporných režimů a různých vysílacích výkonů.

### 4.1 Měření spotřeby

Spotřeba obvodu výrazně závisí na aktuálním stavu zařízení. Je-li zařízení v klidu a nekomunikující, pohybuje se spotřeba kolem 1 mA. Při zapnutém displeji na řídicím modulu spotřeba vzroste na hodnoty kolem 200 mA. Aktuální spotřebu v různých režimech shrnuje tabulka 4.1.

Režim	Řídicí mod.	Měřicí mod.
Klidový stav	1 mA	1 mA
Klidový stav, blikající dioda	6 mA	6 mA
Režim příjmu	20 mA	20 mA
Režim vysílání	40 mA	40 mA
Zapnutý displej	200 mA	

Tab. 4.1: Spotřeba v různých režimech.

Je tedy zřejmé, že výsledná průměrná spotřeba závisí na způsobu využívání jednotlivých modulů. Pokud bychom brali v úvahu režim zapnutého alarmu s pouhým sledováním stavových diod a dostatečné nabitou baterii (tzn. neblíká dioda oznamující vybití baterie), pohybuje se průměrná spotřeba řídicího modulu kolem 15 mA a měřicího modulu kolem 5 mA. Pokud je alarm vypnutý, sníží se spotřeba na hodnoty kolem 10 mA pro řídicí modul a 2 mA pro měřicí modul.

V případě nepříznivých podmínek pro šíření signálu mezi moduly, případně jejich velké vzdálenosti může docházet k nárůstu spotřeby vlivem používání vyššího vysílacího výkonu.

Očekávaná výdrž při běžném používání se pohybuje na úrovni pěti dnů pro řídicí modul a deseti dnů pro měřicí modul při použití baterie 2200 mAh.

### 4.2 Měření dosahu

Velikost dosahu silně závisí na prostředí, ve kterém se signál šíří. Protože použití vyššího vysílacího výkonu výraznému nárůstu spotřeby, snaží se moduly inteligentně snižovat vysílací výkon na základě síly přijímaného signálu při posledním příjmu. Nedostanou-li očekávanou odpověď, pokouší se opakovat vysílání s vyšším výkonem.

Pro co nejvyšší dosah je potřeba použít vhodné antény. Vzhledem k účelu zařízení se očekává použití všesměrové antény. Antény a jejich vlastnosti je rozsáhlé téma, kterému se v této bakalářské práci nevěnuji. Bral jsem v potaz pouze délku antény. Použitý RF modul používá jako anténu

monopól a frekvenci 433,92 MHz. Při těchto parametrech by měla anténa mít délku  $\frac{1}{4}$  vlnové délky, na základě poměru délky a průměru o něco kratší.

V nezarušeném prostředí bez výraznějších překážek se dosah pohybuje v řádek několika stovek metrů. Jsou-li v cestě překážky, jako například budovy nebo hustý porost, velikost dosahu klesá.

## 5 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout bezdrátové zabezpečovací zařízení skládající se ze dvou modulů. Řídícího a měřícího. Zařízení mělo mít co možná nejnižší spotřebu, proto jsem se snažil použít komponenty s nízkou spotřebou, případně komponenty umožňující přechod do režimu spánku. Dále jsem se soustředil na co možná nejjednodušší strukturu zařízení a tím i jeho malou velikost z důvodu jednoduché přenositelnosti.

Výsledné řešení používá pro vzájemnou komunikaci transceiveru RFM22B komunikující na frekvenci 433,92 MHz, řídicí mikroprocesory řady ATtiny a akcelerometr firmy Freescale. Uživatel je informován o stavu zařízení pomocí informačních diod, případně prostřednictvím displeje zobrazujícího všechny dostupné informace o jednotlivých modulech. Obslužný program je napsán v jazyce C v AVR Studiu firmy Atmel. Zapojení obou modulů i jejich řídicí programy se vzhledem k rozdílnému účelu a rozdílným komponentám výrazně liší.

Jako jedno z možných vylepšení se jeví použití součástek s povrchovou montáží a mikroprocesorů v jiném pouzdře, čímž by došlo ke zmenšení potřebné plochy pro osazení. Dále by šlo uvažovat o výměně displeje, který by mohl být o něco větší než použitých 2×8 znaků. Použití grafického displeje by bylo pravděpodobně problematické z důvodu malé paměti u použitých mikroprocesorů, navíc by to bylo celkem zbytečné.

Případné rozšíření měřícího modulu o další možné sledované veličiny by bylo možné s použitím mikroprocesoru s větším počtem I/O pinů.

Výsledné chování celého zařízení je možno z velké části ovlivnit programem mikroprocesorů, z hardwarové části je zařízení funkční a chová se podle očekávání.

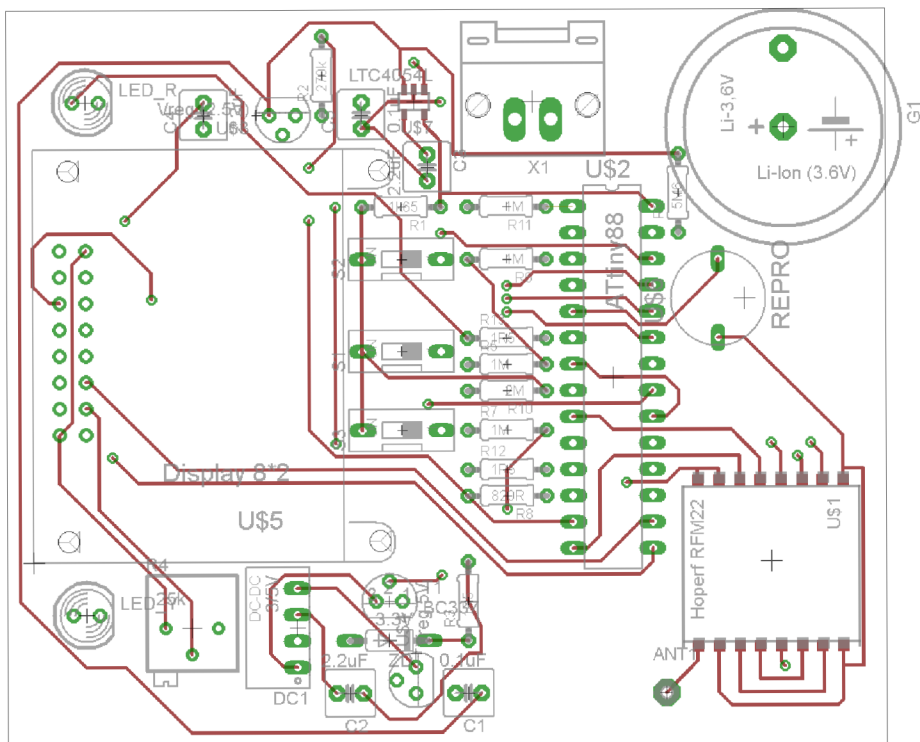
# Literatura

- [1] Český telekomunikační úřad [on-line]. Dostupné z: <<http://www.ctu.cz/>>.
- [2] International Telecommunication Union [on-line]. Dostupné z: <<http://www.itu.int/>>.
- [3] Sbírka zákonů č.105/2010 - Vyhláška o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka) [on-line]. Dostupné z: <[www.mvcr.cz/soubor/sb038-10-pdf.aspx](http://www.mvcr.cz/soubor/sb038-10-pdf.aspx)>.
- [4] Všeobecné oprávnění č. VO–R/10/03.2007-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu, uveřejněné v částce 7/2007 Telekomunikačního věstníku [on-line]. Dostupné z: <[http://www.ctu.cz/1/download/OOP/Rok\\_2007/VO\\_R\\_10\\_03\\_2007\\_4.pdf](http://www.ctu.cz/1/download/OOP/Rok_2007/VO_R_10_03_2007_4.pdf)>.
- [5] Hododa HCM [on-line]. Dostupné z: <<http://www.ero.dk/98DC94BB-F2FB-435E-97A0-6759F2D8539C?frames=no&>>.
- [6] Atmel. ATtiny48/88, Datasheet [on-line]. 06/2008, rev. 04/2011. Dospuný z: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8008.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8008.pdf)>.
- [7] Atmel. ATtiny24A/44A/88A, Datasheet [on-line]. 12/2008, rev. 04/2011. Dospuný z: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc8183.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8183.pdf)>.
- [8] HopeRF. Transceiver RFM22, Datasheet [on-line]. 2006, rev. 1.2. Dospuný z: <<http://www.hoperf.com/upfile/RFM22B.pdf>>.
- [9] Fordata. Display FDCC0802C-FLYYBW-51LK, Datasheet [on-line]. 05/2005, rev. 10/2008. Dospuný z: <<http://www.farnell.com/datasheets/653671.pdf>>.
- [10] Linear Technology. Li-Ion battery charger LTC4054L, Datasheet []. 2003, rev. 1. Dospuný z: <<http://cds.linear.com/docs/Datasheet/4054142f.pdf>>.
- [11] Freescale Semiconductor. Accelerometer MMA7455L, Datasheet [on-line]. 2007, rev. 12/2009. Dospuný z: <[http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MMA7455L.pdf?fp=1](http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf?fp=1)>.

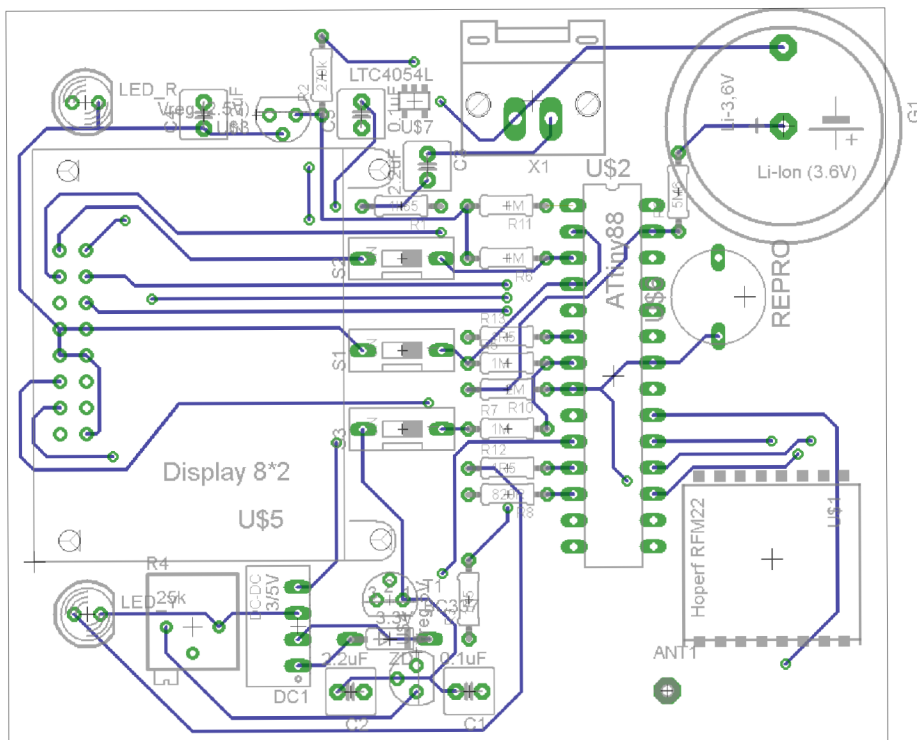
# Seznam příloh

- Příloha 1. DPS řídicí modul – horní strana
- Příloha 2. DPS řídicí modul – dolní strana
- Příloha 3. DPS řídicí modul – rozložení komponent
- Příloha 4. DPS měřicí modul – horní strana
- Příloha 5. DPS měřicí modul – dolní strana
- Příloha 6. DPS měřicí modul – rozložení komponent
- Příloha 7. CD se zdrojovými soubory

## Příloha 1. DPS řídicí modul – horní strana

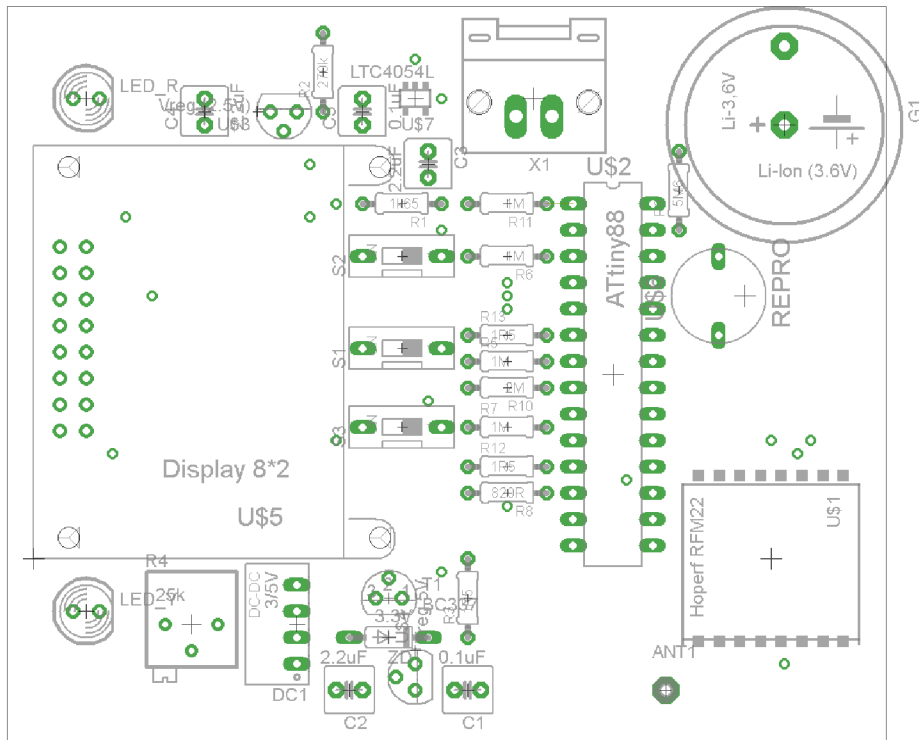


## Příloha 2. DPS řídicí modul – dolní strana

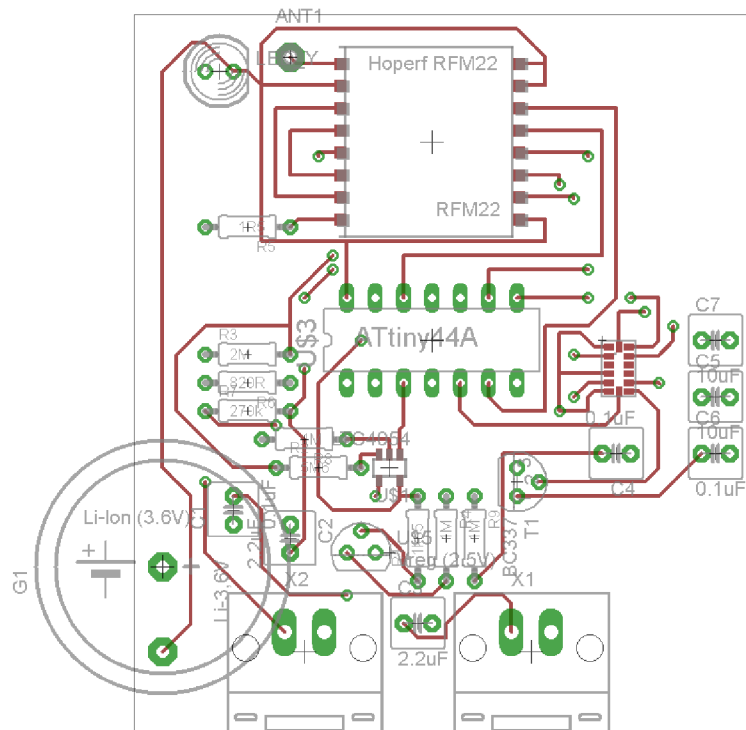




### Příloha 3. DPS řídicí modul – rozložení komponent



### Příloha 4. DPS měřící modul – horní strana



## Příloha 5. DPS měřicí modul – dolní strana

Přilo

