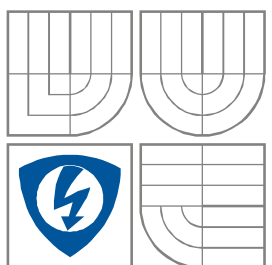


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A  
KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

..

MĚŘIČ RYCHLOSTI RC MODELU AUT  
RC CAR SPEEDMETER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Jaroslav Fadrný

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

Brno 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Jaroslav Fadrný

**ID:** 125211

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

## Měřič rychlosti RC modelů aut

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte jednoduché zařízení pro měření rychlosti, zrychlení a přetížení pro RC model auta. Zařízení bude data ukládat do paměti a po ukončení jízdy se budou data stahovat do PC pomocí USB kabelu. Realizujte navržené zařízení, vytvořte potřebný software, experimentálně ověřte jeho funkčnost a napište podrobnou technickou zprávu.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BURKHARD, M. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

[2] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J. Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*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 zařízení pro měření rychlosti, zrychlení a přetížení pro RC model auta. Zařízení bude naměřená data ukládat do paměti a po ukončení jízdy se data budou přesouvat do PC pomocí USB kabelu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Telemetrie, Akcelerometr, Mikroprocesor

## **ABSTRACT**

The aim of bachelor's thesis is to design a device to measure speed, acceleration and overload for RC model car. The device measured data will be stored in memory and after driving data will be moved to a PC via USB cable.

## **KEYWORDS**

Telemetry, Accelerometer, Microprocessor

FADRNÝ, Jaroslav. *Měřič rychlosti RC modelu aut.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 40s., 8 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jan Prokopec, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měříč rychlosti RC modelu aut 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

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

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

# Seznam obrázků

Obrázek 1 Pouzdro akcelerometru[4] .....	9
Obrázek 2 Rozložení pinů akcelerometru [4].....	9
Obrázek 3 Princip činnosti akcelerometru [4].....	10
Obrázek 4 Grafická ukázka metody postupné integrace [15] .....	12
Obrázek 5 Blokové schéma vysílací části .....	13
Obrázek 6 Blokové schéma přijímací části .....	14
Obrázek 7 Pouzdro TQFP mikrokontroléru ATmega16 [7] .....	15
Obrázek 8 Připojení akcelerometru k mikrokontroléru pomocí SPI [4] .....	16
Obrázek 9 Připojení akcelerometru k mikroprocesoru pomocí I2C [4].....	17
Obrázek 10 Časování přenosu bitů na sběrnici I2C [6] .....	17
Obrázek 11 Struktura adresního paketu sběrnice I2C [6] .....	18
Obrázek 12 Komunikace adresního a datového paketu na sběrnici I2C [5] .....	18
Obrázek 13 Vnitřní struktura jednotky UART [6] .....	20
Obrázek 14 Proces vysílání dat pomocí jednotky UART [5].....	20
Obrázek 15 Proces přijímání dat pomocí jednotky UART [6].....	21
Obrázek 16 Datový rámec UART mikrokontroléru ATmega16 [6] .....	21
Obrázek 17 Programátor AC-PG-USBASP USBASP AVR [9].....	23
Obrázek 18 Prostředí programu Hercules .....	24
Obrázek 19 Vývojový diagram vysílací jednotky .....	26
Obrázek 20 Vývojový diagram přijímací jednotky .....	27
Obrázek 21 Vývojový diagram přerušení v přijímací části .....	28
Obrázek 22 Ukázka programu AVR BURN-O-MAT.....	30
Obrázek 23 Vývojové prostředí AVR studio 4 .....	31
Obrázek 24 Graf zrychlení v osách x,y,z .....	34
Obrázek 25 Graf rychlosti v osách x,y,z .....	34
Obrázek 26 Graf dráhy v osách x,y,z .....	35
Obrázek 27 Vysílací jednotka s FTDI převodníkem.....	35
Obrázek 28 Fotografie přijímací části .....	36

# Seznam tabulek

Tabulka 1 Nastavení citlivosti akcelerometru [4] .....	11
Tabulka 2 Popis pinů RF modul Xbee PRO [5].....	19
Tabulka 3 Piny LCD displeje [10] .....	22
Tabulka 4 Záznam hodnot změřených akcelerometrem .....	33

# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>1</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>1</b>
<b>Obsah.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Úvod.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Teoretický rozbor .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 RC Modely .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Historie.....	5
2.1.2 Budoucnost a další vývoj RC modelů .....	5
<b>2.2 Telemetrie .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Zvuková telemetrie.....	6
2.2.2 Telemetrie pomocí LED.....	6
2.2.3 Telemetrie pomocí rádiových vln.....	6
<b>2.3 Rychlost, zrychlení.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Okamžitá rychlost .....	7
2.3.2 Okamžité zrychlení [8].....	7
<b>3 Způsoby měření rychlosti .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Akcelerometry .....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Základní typy akcelerometrů.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Akcelerometr MMA 7455LT .....</b>	<b>8</b>
3.3.1 Princip činnosti akcelerometru.....	10
3.3.2 G-select .....	10
3.3.3 Pracovní režimy akcelerometru .....	11
<b>3.4 Měření rychlosti a dráhy za pomoci akcelerometru .....</b>	<b>12</b>
<b>4 Návrh zařízení .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Základní požadavky na navrhované zařízení.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Struktura zařízení.....</b>	<b>13</b>
<b>4.3 Blokové schéma – vysílací část.....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Blokové schéma - přijímací část .....</b>	<b>14</b>
<b>4.5 Popis důležitých součástek pro realizaci.....</b>	<b>14</b>
4.5.1 Akcelerometr MMA 7455L.....	14
4.5.2 Mikroprocesor ATmega16L.....	14
4.5.3 Komunikace mikroprocesoru s akcelerometrem .....	15
4.5.4 RF modul (přijímač/vysílač) Xbee PRO .....	19
4.5.5 Komunikace mikroprocesoru s přijímačem/vysílačem (UART) .....	20
4.5.6 Komunikace mikroprocesoru s přijímačem/vysílačem (USART) .....	21
4.5.7 LCD displej FDCC1602L-RNNYBW-16LE .....	21
4.5.8 Napájení vysílací části .....	22
4.5.9 Napájení přijímací části.....	22
4.5.10 Pozitivní regulátor (Stabilizátor) NX1117C .....	22
4.5.11 Programátor .....	23
4.5.12 FTDI převodník (USB - UART) .....	24
<b>5 Realizace zařízení .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Osazení desek plošných spojů .....</b>	<b>25</b>

5.2	Software - Úvod.....	25
5.3	Konfigurace RF modulů.....	25
5.4	Software – vývojové diagramy.....	25
5.5	Popis funkce vysílací jednotky.....	29
5.6	Popis funkce přijímací jednotky.....	29
5.6.1	Popis funkce přerušení čítače TIMER1 v přijímací jednotce.....	29
5.7	Komunikace mezi hardwarem a softwarem.....	30
5.8	AVR studio 4.....	30
6	Praktické ověření funkce zařízení.....	32
6.1	Grafy naměřených hodnot.....	34
6.2	Fotografie výsledného zařízení.....	35
6.2.1	Fotografie vysílací jednotky.....	35
6.2.2	Fotografie přijímací jednotky.....	36
7	Závěr.....	37
	Seznam literatury.....	38
	Seznam použitých zkratk.....	40
8	Seznam příloh.....	41
A.	Schéma zapojení.....	42
A.1.	Vysílací část.....	42
A.2.	Přijímací část.....	43
B.	DPS (Desky plošných spojů).....	44
B.1.	DPS - Vysílací část – top (strana součástek).....	44
B.2.	DPS – Vysílací část – Osazovací výkres (top).....	44
B.3.	DPS – Přijímací část – top (strana součástek).....	44
B.4.	DPS – Přijímací část – Osazovací výkres.....	45
C.	Seznam součástek.....	46
C.1.	Vysílací část.....	46
C.2.	Přijímací část.....	47
D.	CD-ROM.....	48
D.1.	Obsah CD-ROM:.....	48

# 1 Úvod

V dnešní době jsou RC modely aut dostupné jako „hračky“ pro zábavu každému jedinci. Cena za RC model auta není vysoká, může si jej dovolit každý. Mít takový RC model auta a zpestřovat si tak svůj volný čas, tím nepohrdne žádné dítě. Co se ale o modelu auta, se kterým si dotyčný hraje, dozvědět i něco více než jen, že má čtyři kola, karoserii a spalovací nebo elektrický pohon? V tom tkví myšlenka této práce.

Měřič rychlosti RC modelu aut je zařízení, které pomocí senzoru, v tomto případě akcelerometru, dokáže vyhodnotit změřená data od RC auta a zobrazit je na LCD displej, aby se dotyčná osoba mohla přesvědčit, jakou rychlost má jeho model v daný okamžik, jaké má zrychlení, přetížení, případně kolik metrů auto ujelo.

Zpracování a vyhodnocování dat je realizováno pomocí jednoduché telemetrie a jsou zapotřebí následující součástky: Napájecí blok, přijímač a vysílač, dva mikrokontroléry, akcelerometr a samozřejmě LCD displej.

V prvních kapitolách se zabrousí do historie RC modelů aut, čtenář se seznámí s pojmy jako například telemetrie, střípky z její historie, ale rovněž i ze současnosti. Poté se čtenář seznámí se způsoby měření rychlosti a blíže se dozví o použitém druhu akcelerometru. Poté již následuje samotný návrh zařízení, popis použitých součástek a samotná realizace výsledného zařízení.

# 2 Teoretický rozbor

## 2.1 RC Modely

Pod pojmem RC z anglických slov (radio controled) si můžeme představit zmenšené modely na dálkové ovládání. Může se jednat o auto, loď, letadlo apod.

Práce se blíže zaměří na RC modely aut. Základní rozdělení bude podle typu pohonu aut. Existují dva základní druhy modelů, první druh využívá spalovacích motorů a druhý druh jsou modely elektrické, poháněné baterií.

RC model si může koupit víceméně každý. Na internetu nebo i v kamenných obchodech je dostupných mnoho modelů i variant. Ale existuje i možnost, že si modelář svůj model složí sám, ale to je spíše pro opravdové nadšence.

- **Spalovací motory**

Klasické spalovací motory jako u běžných aut, ke svému chodu potřebují palivo. Jsou náročné na údržbu a dělají podstatně větší hluk než elektrické motory

- **Elektrické motory**

V poslední době a velkém pokroku v oblasti elektrotechniky se upouští od spalovacích motorů a ve velkém je střídají motory elektrické. Důvod je jednoduchý, RC auta poháněné baterií jsou mnohem tišší, méně náročné na údržbu a vývoj baterií jde neustále kupředu, tudíž vznikají nové, lepší a rychlejší modely. Na jedno nabití může auto vydržet až 60 minut, ale navíc auta s elektrickým pohonem dokážou jet výrazně rychleji, až 100km/h.

### 2.1.1 Historie

Zabrousí-li se do historie RC modelů, první jméno, které se skloňuje pod touto problematikou, je Nikola Tesla.

Poté přišla první a druhá světová válka, která postihla celou planetu, vznikaly nové technologie a vynálezy, které byly později využity i u RC modelů. V padesátých letech je zaznamenán větší rozmach. Začaly vznikat první modelářské časopisy a různé modelářské kroužky.

Největší průlom v této oblasti nastal v šedesátých letech 20. století, to se dostal na komerční trh první model RC auta, a to typ Ferrari 250LM v měřítku 1:12. Vývoj šel dál a RC modely se neustále zmenšovaly. Od roku 2000 již jsou modely na trhu nejen pro modeláře, ale i jako RC hračky, se kterými si může hrát jak dítě, tak i dospělý člověk.

### 2.1.2 Budoucnost a další vývoj RC modelů

Při zamyšlení nad tím, jaký pokrok se udal v této oblasti – přechod ze spalovacích motorů na elektrické, čím dál více se modely zmenšují a celkový vývoj jde neustále vpřed – je jasné, že vývoj si bude razit cestu dále. Dnes je na trhu obrovský sortiment, ze kterého si může kdokoliv vybrat model podle svého uvážení. S rostoucím pokrokem techniky, která se vyvíjí čím dál rychleji, by měly stoupat rychlosti modelů, určitě se budou vyrábět baterie, které

vydrží déle. Spalovací motory budou vytlačené úplně a nahradí je motory napájené baterií. Už z principu, že neškodí životnímu prostředí a je daleko ekonomičtější. Nemůže se ani vyloučit, že vznikne úplně nová technologie, která nahradí i motory elektrické.

## **2.2 Telemetrie**

Pod slovem telemetrie se skrývá technologie, která umožňuje měření na dálku. Obvykle se jedná o přenos dat pomocí infračerveného nebo rádiového signálu. Dále se telemetrie používá ve vojenství nebo kosmonautice do raketových systémů nebo v meteorologii.

### **2.2.1 Zvuková telemetrie**

Jako první pokus o telemetrii byl pokus pomocí zvukové signalizace. Cílem bylo například určit, jak je baterie nabitá a kdy se vybití.

Celý princip této jednoduché telemetrie spočíval v tom, že na základě postupného vybíjení baterie se měnil charakter zvuku, čili když se baterie vybíjela, hlasitost se neustále zvětšovala a oznamovala modeláři, že se blíží její vybití. K její realizaci stačilo jednoduché schéma tvořené baterií, A/D převodníkem, zvukovým měničem a celou telemetrii řídil mikrokontrolér.

Tato telemetrie ale měla nevýhodu, protože když se dostal model daleko od modeláře, už nemohl slyšet zvuk tak zřetelně a bylo jasné, že bude potřeba udělat další krok kupředu ve vývoji.

### **2.2.2 Telemetrie pomocí LED**

A tak se také stalo, zvukovou signalizaci vystřídali LED. Diody umožňovaly modeláři lepší orientaci o stavu jeho baterie. V principu byly zapojeny diody, mohla být například zelená, oranžová a červená jako na semaforu. Zelená dioda značila, že je vše v pořádku, oranžová upozorňovala, že baterie už není tolik nabitá, a jak vyplývá, červená už značila úplné vybití nebo blížící se vybití baterie.

Systém se skládal ze stejných bloků jako zvuková signalizace s tím, že místo zvuku se používalo světlo v podobě diod. Celý systém byl opět řízen mikrokontrolérem, ovšem i toto řešení nebylo úplně dokonalé, takže se čekalo, jaký další objev přinese doba.

Dala se rovněž kombinovat metoda zvukové signalizace s metodou diod, ale ani to nebylo úplně to pravé ořechové a bylo jasné, že musí přijít nová technologie.

### **2.2.3 Telemetrie pomocí rádiových vln**

A taky že přišla, byla to revoluce v telemetrii, celý systém obsahoval dvě základní části, přijímač a vysílač. I když se stále používala zvuková signalizace pro zjištění stavu baterie, přenos byl mnohem spolehlivější.

Postupem času se vysílací i přijímací část zdokonalovala. Každá část již obsahovala svůj mikrokontrolér. Hlavní rozvoj ale přišel v přijímací části, protože najednou modelář potřeboval vědět více údajů než jen stav baterie, a tak se na scénu dostaly znakové LCD displeje.

Konstrukce přijímač a vysílač zůstává dodnes, jen se neustále vyvíjí software pro mikrokontroléry, tudíž i když se nemění mechanické ani elektrické vlastnosti, pořád dochází k vylepšování telemetrie.

## 2.3 Rychlost, zrychlení

### 2.3.1 Okamžitá rychlost

Okamžitá rychlost je vektorová fyzikální veličina, která má vždy směr tečny k dané trajektorii hmotného bodu a je orientována ve směru změny uražené dráhy.

Nejjednodušeji lze definovat okamžitou rychlost jako podíl přírůstku dráhy  $\Delta s$ , k němuž dojde za čas  $\Delta t$ . [8]

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} [m. s^{-1}] \quad (1.)$$

S použitím diferenciálního a integrálního počtu lze velikost rychlosti definovat vztahem (první derivace vyjádření dráhy v závislosti na čase podle času). Tak se odstraní problém, nepřesné formulace, že časový interval, na kterém se velikost okamžité rychlosti určuje, musí být velmi malý. [8]

$$v = \frac{ds}{dt} [m. s^{-1}] \quad (2.)$$

### 2.3.2 Okamžité zrychlení [8]

Okamžité zrychlení je definováno jako derivace rychlosti v podle času t. Zrychlení je stejně jako rychlost vektorová veličina, tudíž má směr i velikost. Jednotkou je  $m. s^{-2}$ . [8]

$$a_x = \frac{d_x}{dt} [m. s^{-2}] \quad (3.)$$

## 3 Způsoby měření rychlosti

Způsoby, jak měřit rychlost v naší aplikaci, mohou být v principu dva. První způsob je ten, že se využívá reflexního optočlenu s tvarovačem. Počet impulsů se převede na vzdálenost.

Druhý způsob měření rychlosti využívá akcelerometr. Akcelerometr je součástka, která měří zrychlení a z něj matematickými operacemi získáváme rychlost a dráhu.

Jestliže použijeme akcelerometr, rozlišujeme dva druhy zrychlení. Dynamické zrychlení, které vznikne změnou rychlosti pohybu a zrychlení statické, které má za následek tíhové působení Země.

Použití akcelerometrů má jednu obrovskou nevýhodu, a tou je velice malá přesnost, i když už se dnes vyrábí akcelerometry, které již mají digitální výstup, tudíž není potřeba používat A/D převodník, data která jdou z akcelerometru, jsou zašuměná (vibrace, otřesy motoru, a všech pohyblivých částí). Tuto nevýhodu můžeme eliminovat použitím vhodného filtru, který je třeba realizovat číslicově, nestačí tedy použití rezistorů, kondenzátorů, případně cívek.

### 3.1 Akcelerometry

Akcelerometr je součástka (senzor), která měří zrychlení a jeho hodnotu převádí na elektrické napětí.

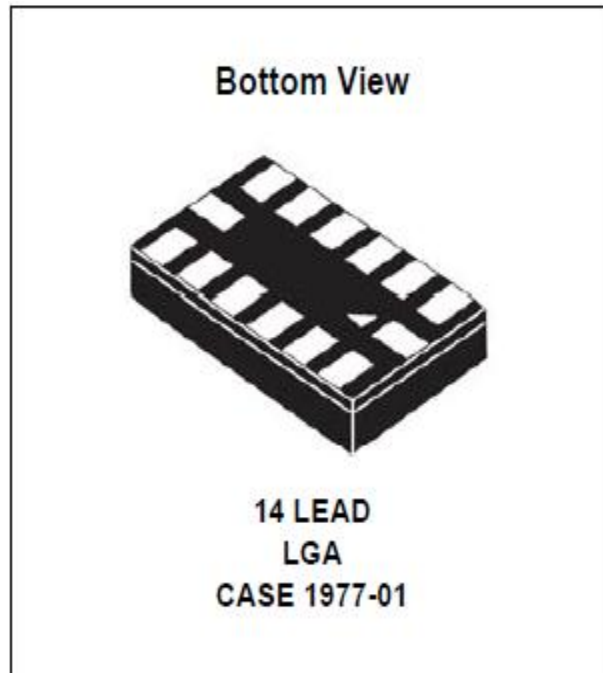
### 3.2 Základní typy akcelerometrů

- Piezoelektrické akcelerometry
- Tenzometrické akcelerometry
- Tepelné akcelerometry
- Kapacitní akcelerometry
- Akcelerometry využívající principu tunelování

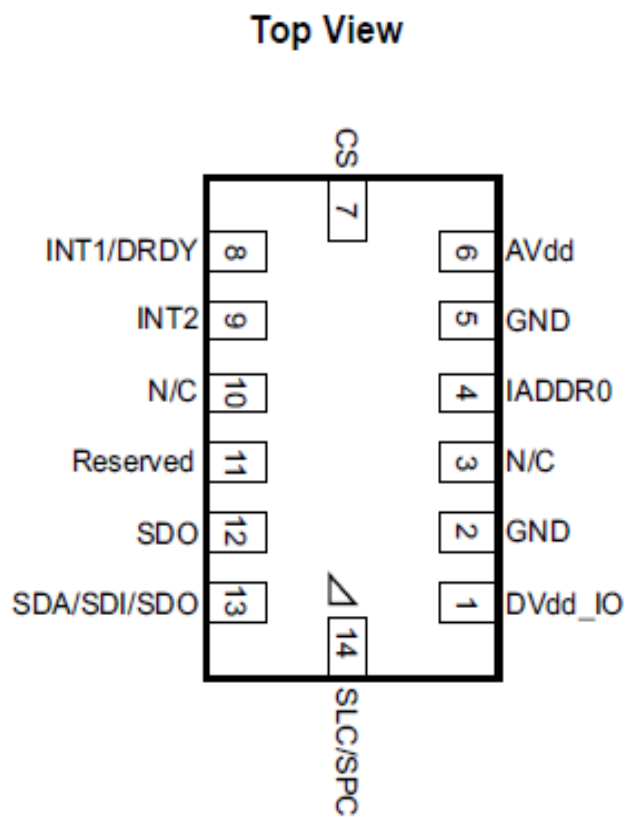
### 3.3 Akcelerometr MMA 7455LT

MMA 7455LT je tříosý akcelerometr od firmy Freescale, který měří dynamické zrychlení a statické zrychlení. Akcelerometr je v pouzdře LGA 14 a jeho napájení se pohybuje v rozmezí 2,4 V – 3,6 V. Jeho rozsah citlivosti se pohybuje od  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$ . Hlavní předností tohoto akcelerometru je digitální výstup. Má velice nízký proudový odběr 400  $\mu A$ . A rovněž jeho cena je nízká.

Jeho použití je v široké oblasti, používá se se u mobilních telefonů, notebooků, navigace, pro detekci polohy, jako krokoměr například i u 3D her.



*Obrázek 1 Pouzdro akcelerometru[4]*

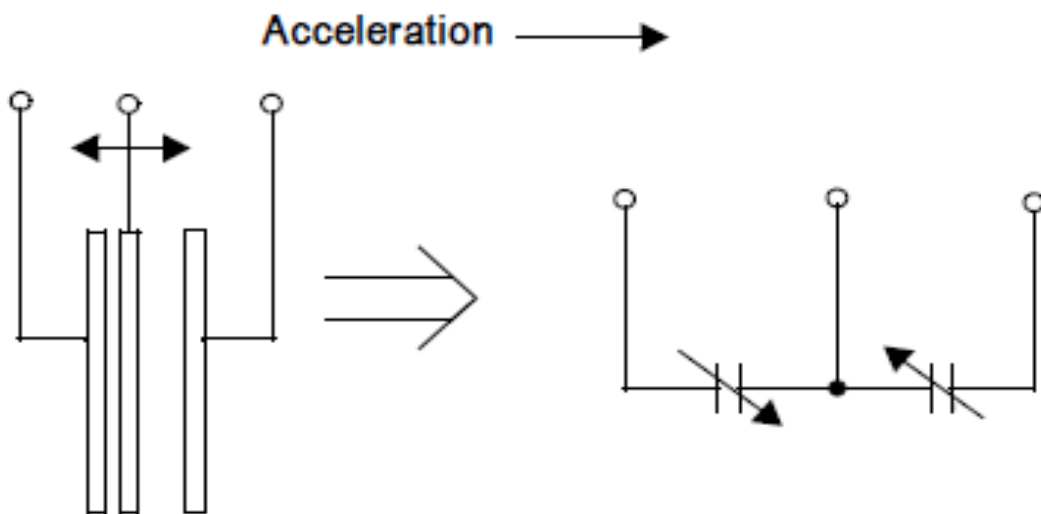


*Obrázek 2 Rozložení pinů akcelerometu [4]*

### 3.3.1 Princip činnosti akcelerometru

Akcelerometr je povrchově mikroobráběný integrovaný obvod. Zařízení se skládá z kapacitních buněk (G-buněk) a signálu ASIC obsaženém v jednom pouzdře.

Snímací prvek je hermeticky utěsněný pomocí hromadných mikroobráběných čepiček. G-buňka má mechanickou strukturu a je tvořena z polovodičových materiálů pomocí polovodičových procesů (maskování, leptání). Může být modelována jako soubor elektrod připojených k movité centrální hmotě, které se pohybují mezi pevnými elektrodami. Pohyblivá elektroda může být odkloněna z klidové polohy, a tak se podřizovat systému zrychlení, **Obrázek 3**



**Obrázek 3** Princip činnosti akcelerometru [4]

Vzhledem k tomu, že elektrody jsou spojené s centrální hmotou pohybu, tak na jedné straně se vzdálenost od nich zvětšuje a na druhé straně se vzdálenost zmenšuje. Změna ve vzdálenosti je měřítkem zrychlení.

G-buňky tvoří dva kondenzátory. Elektroda se pohybuje se zrychlením a mění vzdálenosti mezi elektrodami, a tím pádem každý kondenzátor mění svou kapacitu. Na ploše desek je  $\epsilon$  permitivita a  $D$  je vzdálenost mezi elektrodami. ASIC používá přepínání kondenzátorů k měření G-buněk kondenzátorů a data se zrychlením extrahuje z rozdílu mezi oběma kondenzátory. ASIC také filtruje signál a zajišťuje vysokou úroveň napětí na digitálním výstupu, které je úměrné zrychlení.

### 3.3.2 G-select

G-select je funkce, která umožňuje výběr mezi třemi citlivostmi měření v závislosti na hodnotách registru \$16. Citlivosti jsou na výběr z možností 2g, 4g, 8g. Lze je nastavit pomocí logických jedniček a nul podle vlastních požadavků určité aplikace – viz **Tabulka 1**.

*Tabulka 1 Nastavení citlivosti akcelerometru [4]*

GLVL [1:0]	g-Range	Sensitivity
00	8g	16 LSB/g
10	4g	32 LSB/g
01	2g	64 LSB/g

### 3.3.3 Pracovní režimy akcelerometru

Akcelerometr může pracovat v několika režimech. Výrobce udává následující režimy:

- Standby Mode
- Measurement Mode
- Level Detection Mode
- Pulse Detection Mode
  
- **Standby Mode**

Digitální tříosý výstup akcelerometru nabízí takzvaný pohotovostní režim (Standby Mode), který je ideální pro baterie produktů, protože výstupy jsou vypnuté a tudíž je daleko menší proudový odběr cca. 2,5 $\mu$ A.

V pohotovostním režimu umí akcelerometr číst i zapisovat do registru I2C/SPI, ale nemůže začít žádné nové měření.

- **Measurement Mode**

V měřícím režimu (Measurement Mode), je volitelný G-rozsah. Pro rozsah 2g, 4g se nastavuje s osmibitovou datovou sběrnicí, pro rozsah 8g se používá datová sběrnice desetibitová. Vzorkovací frekvence v měřícím režimu je 125 Hz s 62,5 BW filtrem. Když je vzorkovací frekvence 250 Hz je filtr 125 Hz.

Když jsou dokončena měření na všech třech osách, to je signalizováno vysokou úrovní na pinu DRDY a znamená to, že naměřená data jsou připravena. Ve stavovém registru \$9 se sleduje bit DRDY. Pin DDRY je stále na vysoké úrovni, dokud je jedna z výstupních hodnot čtena. Pokud se při dalším měření data zapíšou před čtením, tak bit DOVR ve stavovém registru bude nastaven. V měřícím režimu není k dispozici Level Detection Mode a Pulse Detection Mode.

- **Level Detection Mode**

V tomto režimu měření jsou povoleny všechny citlivosti, které nabízí akcelerometr. Obvykle se používá pro detekci pohybu. Podle svých konkrétních požadavků si jej nastaví sám. Když dojde k jednomu z přerušení (INT1 nebo INT2) bude výstup v logické jedničce signalizovat toto zjištění.

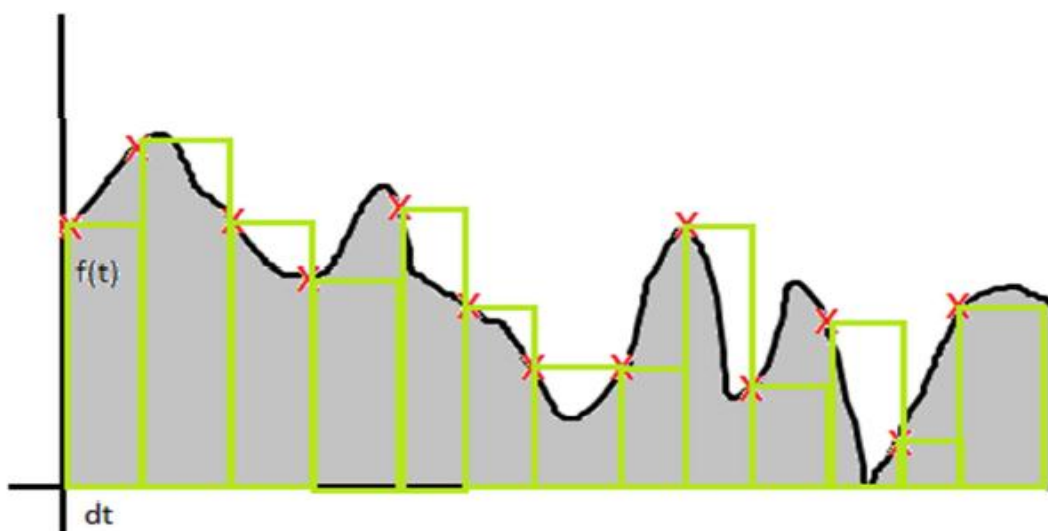
- **Pulse Detection Mode**

V tomto režimu je k dispozici pouze citlivost 8g. Je to nezávislý měřicí rozsah. Takže v případě, kdy je používán rozsah měření v 2g nebo 4g režimu, bude detekce pulsu nezávislá v 8g režimu. V tomto režimu je rovněž povolena úroveň detekce. Puls zachycuje zrychlení a signál je povolen s jedním nebo dvěma pulsy. Detekce umožňuje výběr buď pozitivní, negativní nebo v absolutní hodnotě.

### 3.4 Měření rychlosti a dráhy za pomoci akcelerometru

Pro získání rychlosti nelze užít výpočet přes určitý integrál, protože neznáme funkci zrychlení, ale známe jen diskrétní hodnoty vzorků zrychlení v časovém intervalu. Z tohoto důvodu se rychlost ze zrychlení získává metodou numerické integrace.

V principu metody numerické integrace se jedná o integrál plochy pod křivkou. Známe pouze hodnoty vzorků v určitých časových úsecích, ale nikoli skutečný průběh funkce, ale plocha pod křivkou se může aproximovat jako součet obdélníků zrychlení a trvání jednoho intervalu vzorkování.



Obrázek 4 Grafická ukázka metody postupné integrace [15]

Rychlost se tedy získá podle rovnice (4.) jako součet jednotlivých vzorků zrychlení (a), které jsou vynásobeny časem (t). Podobným způsobem se získá z vypočtené rychlosti (v) dráha (s) a to jako suma vzorků rychlosti, které jsou vynásobeny příslušným časem.

$$v = \sum a * t [m * s^{-1}] \quad (4.)$$

$$s = \sum v * t [m] \quad (5.)$$

# 4 Návrh zařízení

## 4.1 Základní požadavky na navrhované zařízení

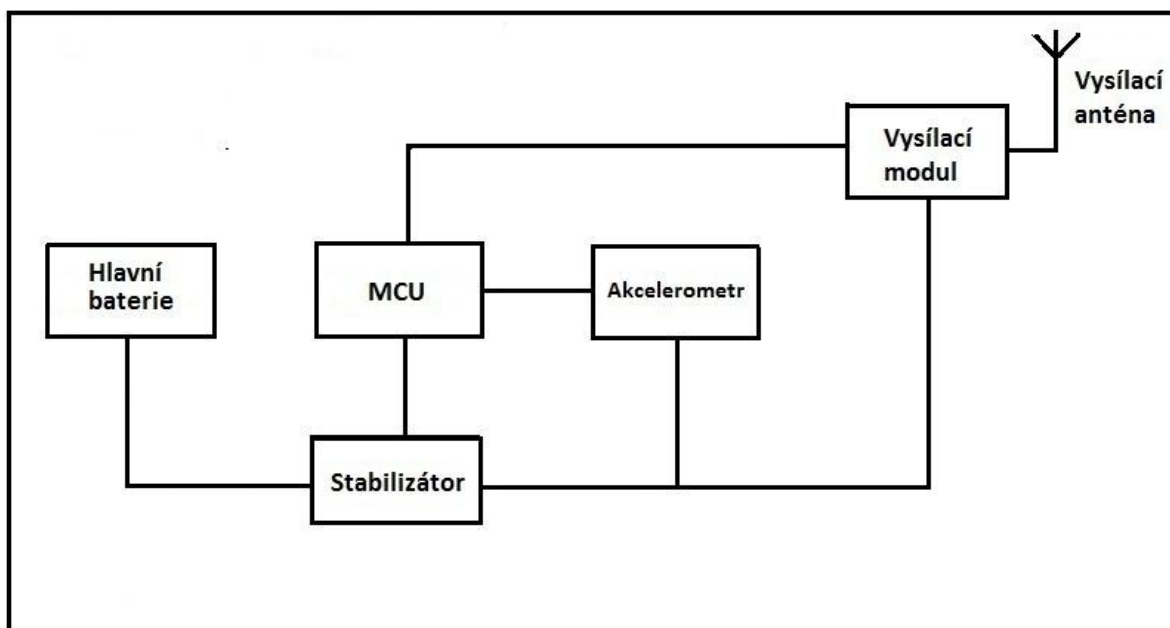
- měření rychlosti, zrychlení, přetížení, a ujetých metrů v ose x (možné rozšíření do všech tří os)
- měření zrychlení s citlivostí 2g až 8g
- bezdrátový přenos dat
- napájení baterií
- nízká spotřeba energie
- malé rozměry
- nízké konstrukční náklady
- výběr vhodného mikrokontroléru

## 4.2 Struktura zařízení

Zařízení se skládá ze dvou dílčích částí, které mezi sebou komunikují bezdrátově (pomocí telemetrie).

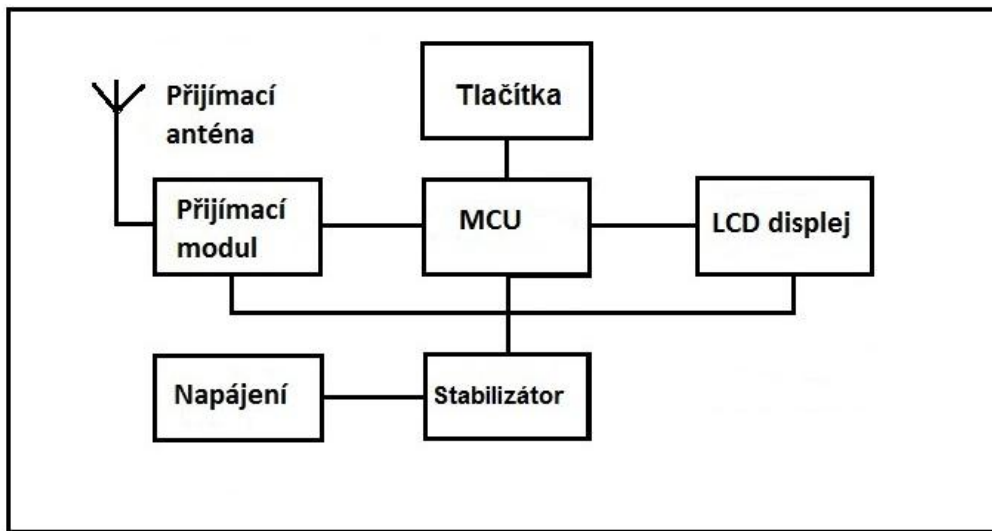
První část tvoří vysílací část, která obsahuje: vysílací modul, mikrokontrolér, akcelerometr, stabilizátor, napájení pomocí baterie. Druhou dílčí část tvoří druhý mikrokontrolér, stabilizátor, napájení pomocí baterie a LCD displej.

## 4.3 Blokové schéma – vysílací část



Obrázek 5 Blokové schéma vysílací části

## 4.4 Blokové schéma - přijímací část



Obrázek 6 Blokové schéma přijímací části

## 4.5 Popis důležitých součástí pro realizaci

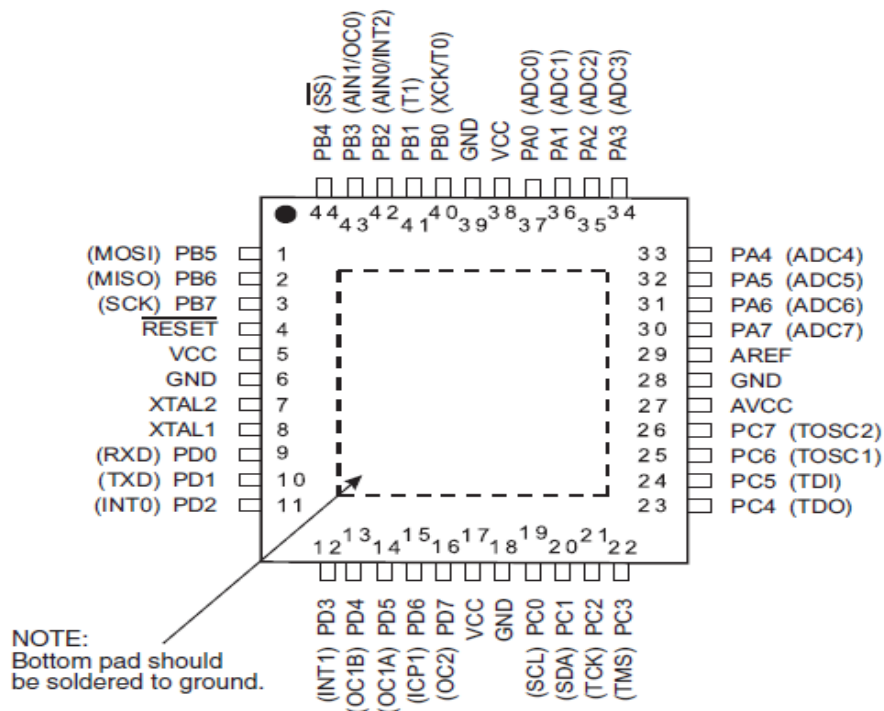
### 4.5.1 Akcelerometr MMA 7455L

viz *Kapitola 3.3*

### 4.5.2 Mikroprocesor ATmega16L

K použitému akcelerometru MMA 7455LT bylo potřeba vybrat vhodný mikroprocesor. Typů mikroprocesorů je mnoho, ale nakonec byl zvolen mikroprocesor od firmy Atmel, konkrétně typ ATmega. Dále bylo zapotřebí mít procesor, který může být napájen od 3 V, kvůli použitému akcelerometru. Díky těmto požadavkům, byl zvolen procesor ATmega16L.

ATmega16L je nízkonapěťový (2,7-5,5 V) CMOS osmibitový mikroprocesor. Je založen na rozšířené AVR RISC (redukovaná instrukční sada) architektuře. Tento procesor obsahuje 16 kB paměti typu flash, 512 kB paměti typu EEPROM a 1 kB paměti typu RAM. ATmega16L má rychlost 0-8 MHz, ATmega16 má dvojnásobek, tedy 0-16 Mhz. Tento procesor dále obsahuje dva osmibitové čítače/časovače a jeden šestnáctibitový čítač/časovač. Dále obsahuje interní RC oscilátor. Další prvek, který obsahuje je 8-kanálový, desetibitový A/D převodník, který v naší aplikaci nevyužijeme, neboť akcelerometr má digitální výstup, tudíž není potřeba převodník. Dále obsahuje čtyři PWM kanály, 32 programovatelných I/O pinů. Rozhraní USART, TWI (I2C), SPI. V této práci se bude programovat přes TWI a USART. Je dodáván v několika druzích pouzder, v naší aplikaci využijeme pouzdro TQFP – viz *Obrázek 7*.



Obrázek 7 Pouzdro TQFP mikrokontroléru ATmega16 [7]

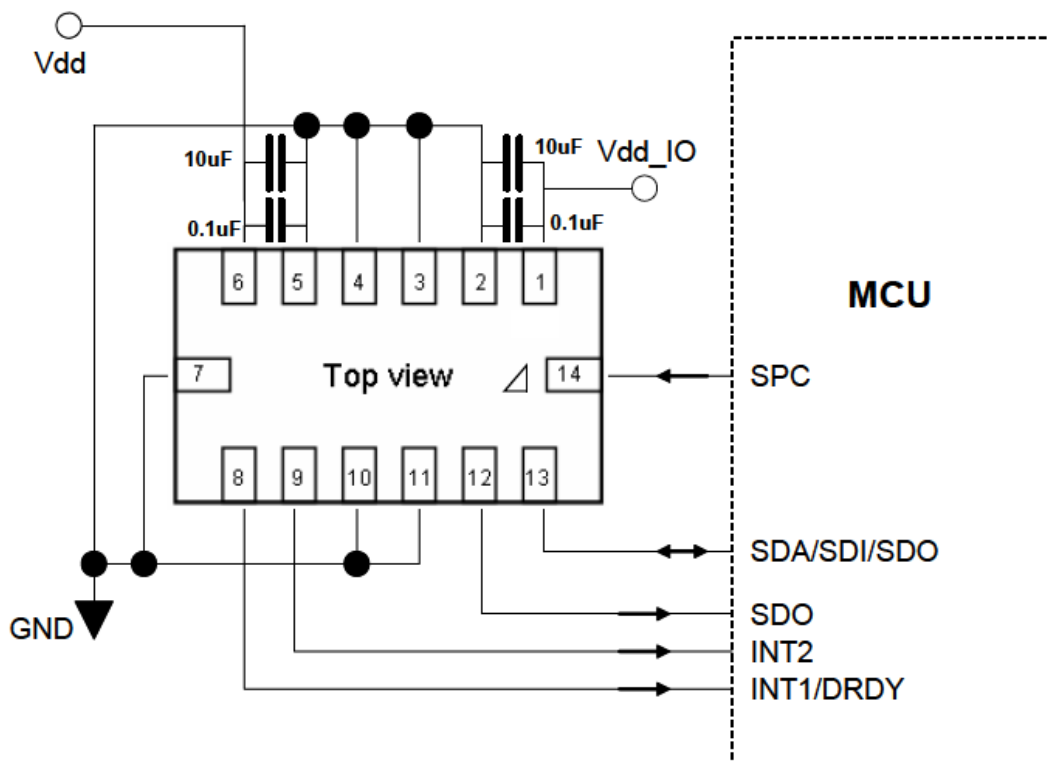
### 4.5.3 Komunikace mikroprocesoru s akcelerometrem

V zásadě může akcelerometr komunikovat s mikroprocesorem dvěma možnými způsoby, a to prostřednictvím sériové komunikace SPI nebo sběrnice I2C. V našem projektu byla využita komunikace pomocí I2C.

- **Komunikace mikroprocesoru s akcelerometrem pomocí SPI**

SPI (Seriál Peripheral Interface), sériová duplexní komunikace, obsahuje čtyři vodiče, MOSI (Master Out Slave In) MISO (Master In Slave Out), SCK (hodinový signál) SS (Slave select).

Master programuje a Slave je programován. Obsahuje dvojici posuvných registrů a generátor hodinového signálu obvodu Master. Zahájení komunikace SS = 0 pro podřízený obvod Slave. Příprava dat, které se přesunou do posuvných registrů. Přenos dat je řízen hodinovým signálem od obvodu Master. Komunikace od Master k obvodu Slave pomocí vodiče MOSI, komunikace od obvodu Slave k obvodu Master po vodiči MISO. Jakmile se odešle byte, zastaví se hodinový signál a může se generovat přerušení. Jakmile se odešlou všechna data odpojí se obvod Slave (SS = 1). Posílání bitů obvykle probíhá od MSB po LSB, ale uživatel si jej může zvolit. **Obrázek 8** popisuje možné připojení mikrokontroléru k akcelerometru prostřednictvím sběrnice SPI.

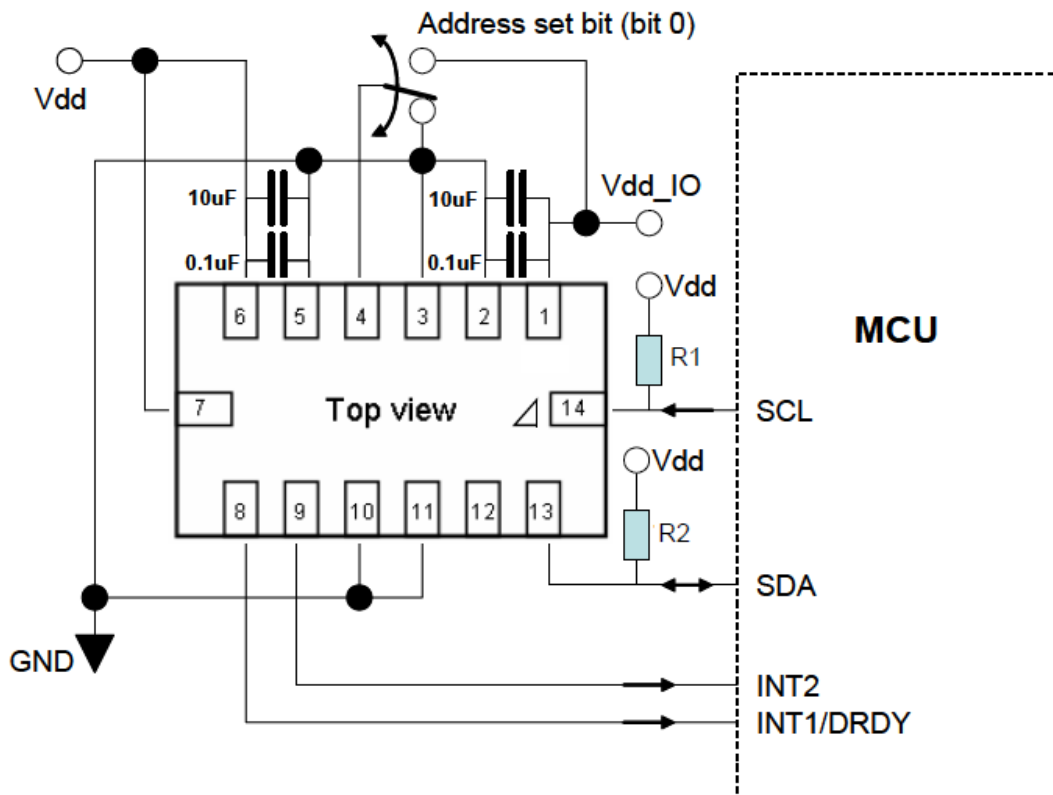


*Obrázek 8 Připojení akcelerometru k mikrokontroléru pomocí SPI [4]*

- **Komunikace mikroprocesoru s akcelerometrem pomocí sběrnice I2C**

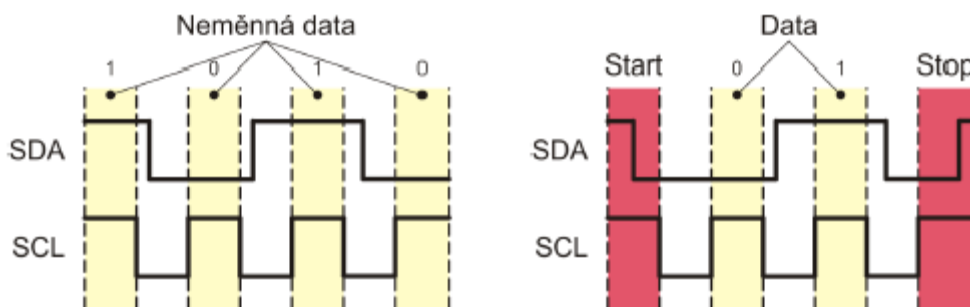
Sběrnice I2C (Inter-Integrated circuit), vyvinuta firmou Philips Semiconductor pro komunikaci mezi bloky uvnitř jednoho zařízení. Komunikační protokol sběrnice umožňuje propojení až 128 zařízení za pomoci dvou obousměrných vodičů. První vodič je datová linka SDA (Synchronous data), druhý vodič je SCL (Synchronous clock). Každý vodič sběrnice obsahuje pull-up rezistor, který zajistí vysokou úroveň signálu v klidovém stavu.

Každé zařízení má již od výrobce implementovanou sedmibitovou datovou sběrnici a stejně tak musí mít implementovaný mechanismus komunikace pomocí I<sup>2</sup>C sběrnice. Komunikační protokol rozlišuje dva typy zařízení a to Master a Slave. Obvod master zahajuje a ukončuje komunikaci na sběrnici, generuje hodinový signál SCL a vysílá všechny požadavky. Slave je zařízení, které je podřízené a je řízené hodinovým signálem a vždy adresované obvodem master. Počet připojených zařízení je omezen pouze kapacitou sběrnice nebo sedmibitovou adresou podřízených obvodů. Komunikace mezi obvody je zahájena startovací podmínkou (Start condition) a je ukončena ukončovací podmínkou (Stop condition). **Obrázek 9** znázorňuje připojení akcelerometru k mikrokontroléru prostřednictvím sběrnice I2C.



**Obrázek 9** Připojení akcelerometru k mikroprocesoru pomocí I2C [4]

Každý bit, který je přenesen, je řízen jedním pulsem hodinového signálu SCL a platí, že úroveň datového signálu SDA musí být konstantní v okamžiku vysoké úrovně hodinového signálu. Start i Stop je signalizován změnou stavu datové linky SDA během doby, kdy je signál na vysoké úrovni – viz **Obrázek 10**.

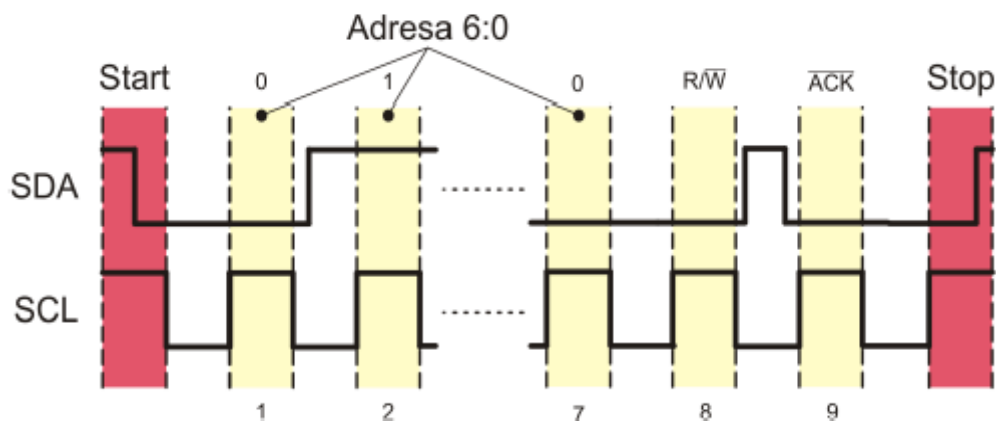


**Obrázek 10** Časování přenosu bitů na sběrnici I2C [6]

Komunikační protokol I2C má definované dva typy rámců, adresní a datový. Všechny adresní pakety jsou 9bitové a obsahují 7bitovou adresu podřízeného zařízení. Dále mají jeden řídicí bit R/W, (R/W = 1: čtení) a potvrzovací bit ACK (Acknowledge bit). Ten vysílá zařízení Slave v případě, že rozpoznalo svou adresu, nuluje stav signálu SDA během

9. hodinového cyklu SCL. Pokud je Slave zaneprázdněn, zůstane signál SDA = 1, což je indikováno NACK (Not acknowledge) a Master následně ukončí komunikaci událostí Stop.[5]

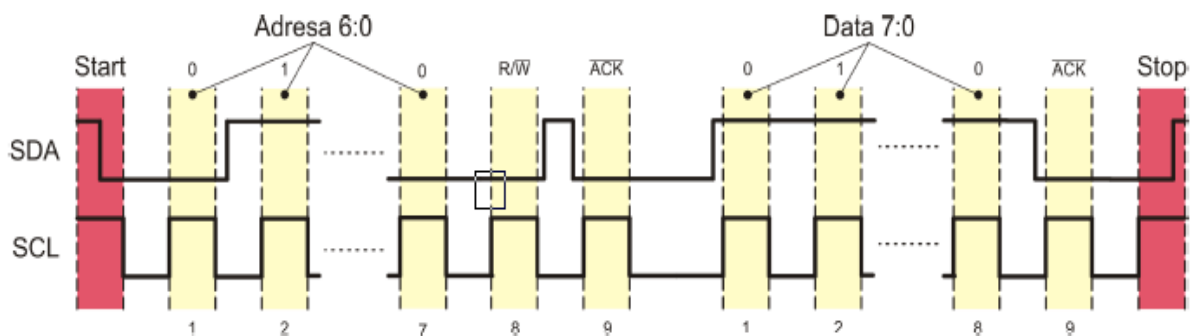
Adresní pakety se schematicky označují SLA+R v případě čtení SLA+W, pokud je následně vyžadován zápis dat do Slave zařízení. Nejvýznamnější adresní bit (MSB) je odeslán jako první. Adresa zařízení je implementována výrobcem, a musí být různá od 0. Adresa 0b000 0000 je vyhrazena pro všeobecné adresování, kdy všechny Slave obvody nastaví SDA = 0. V potvrzovacím ACK cyklu bude následující paket přijat všemi obvody Slave – viz **Obrázek 11**.



**Obrázek 11** Struktura adresního paketu sběrnice I2C [6]

Všechny datové pakety přenášené po sběrnici I2C jsou devítibitové a obsahují 1-bytová data a jeden potvrzovací bit ACK od Slave zařízení během 9. SCL cyklu (shodně s adresním paketem). Pokud je SDA = 1. Slave signalizuje NACK (Not Acknowledge). Nejvýznamnější datový bit (MSB) je vyslán jako první.

Typická komunikace na sběrnici I2C začíná startovací událostí, následuje adresování obvodu Slave SLA+R/W, jeden nebo více datových paketů a ukončení komunikace, jak naznačuje **Obrázek 12**.



**Obrázek 12** Komunikace adresního a datového paketu na sběrnici I2C [5]

#### 4.5.4 RF modul (přijímač/vysílač) Xbee PRO

Jedná se o bezdrátový modul, který může fungovat jak vysílač i jako přijímač. Pracuje v pásmu 2,4 GHz. Vyžaduje minimální výkon a poskytuje spolehlivý přenos dat. S mikrokontrolérem komunikuje pomocí jednotky UART. Popis jednotlivých pinů – viz *Tabulka 2*.

##### Parametry RF modulu

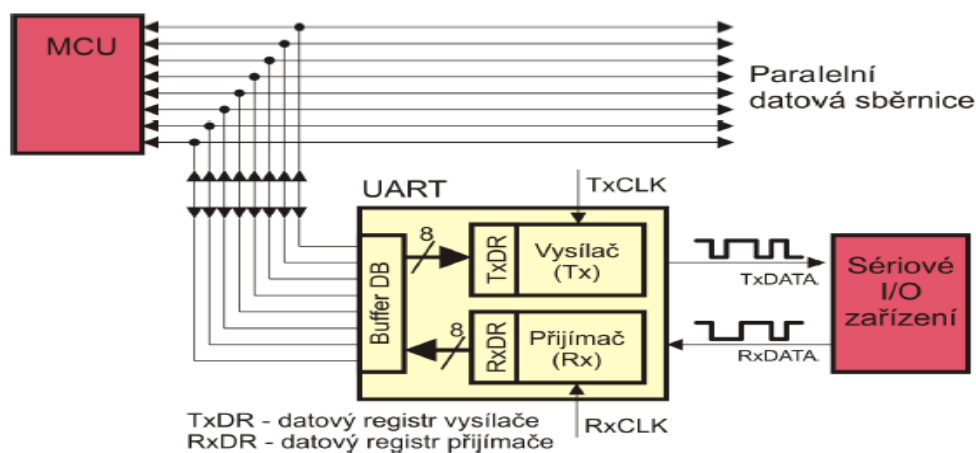
- Napájení 3,3 V
- Vysílací výkon 20 dBm
- Přijímací citlivost -100 dBm
- Frekvenční pásmo 2,4 GHz
- Vnitřní viditelnost až 100 m
- Venkovní viditelnost až 1500 m
- Přenosová rychlost 250 000 bps

*Tabulka 2 Popis pinů RF modul Xbee PRO [5]*

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	CD* / DOUT_EN* / DO8*	Output	Carrier Detect, TX_enable or Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 or RX Signal Strength Indicator
7	[reserved]	-	Do not connect
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	RF_TX* / AD4* / DIO4*	Either	Transmission Indicator, Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS* / DIO7*	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF*	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5* / DIO5*	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS* / AD6* / DIO6*	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	COORD_SEL* / AD3* / DIO3*	Either	Analog Input 3, Digital I/O 3 or Coordinator Select
18	AD2* / DIO2*	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1* / DIO1*	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0* / DIO0*	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

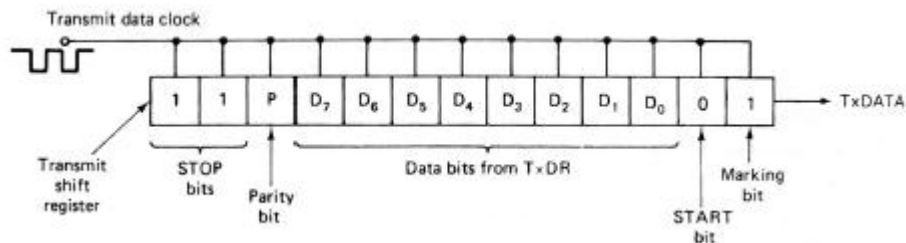
#### 4.5.5 Komunikace mikroprocesoru s přijímačem/vysílačem (UART)

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter), obsahuje dvě základní zařízení, a to sériový přijímač (Rx), který převádí sériová data do paralelní reprezentace a ukládá je v přijímacím datovém registru RxDR pro následný přenos do mikrokontroléru. Druhou základní částí je sériový vysílač (Tx), jehož úkolem je přijímat paralelní datová slova z vysílacího datového registru TxDR a převést je do sériové podoby k následnému přenosu. Jednotka dále obsahuje obousměrný buffer datové sběrnice, který zprostředkovává přenos paralelních dat od mikrokontroléru do TxDR a RxDR do mikrokontroléru prostřednictvím datové sběrnice. Poslední částí jsou hodinové signály RxCLK a TxCLK pro časování přijímací a vysílací jednotky – viz **Obrázek 13**.



**Obrázek 13** Vnitřní struktura jednotky UART [6]

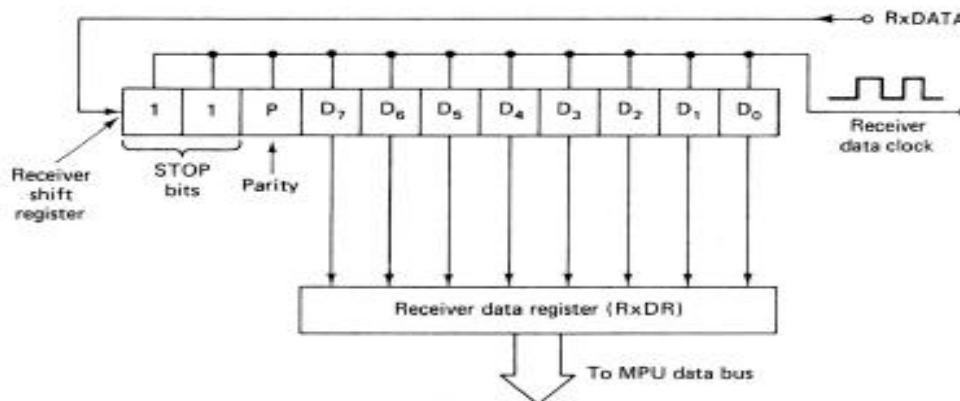
Vysílání dat jednotky UART probíhá následovně. Paralelní data se posílají do datového vysílacího registru, kde řídicí logika vysílače doplní data o start bit, případně o paritní bit a o potřebný počet stop bitů. Celý rámec se následně umísťuje do posuvného vysílacího registru. Ten je poté vyslán symbolovou rychlostí, kterou řídí hodinový signál TxCLK, a tím se vytvoří datový výstup TxData – viz. Obrázek 14.



**Obrázek 14** Proces vysílání dat pomocí jednotky UART [5]

Přijímání dat prostřednictvím jednotky UART probíhá následovně. Na lince RxDATA se změní stav, a tím je zahájen příjem dat (Start bit přejde ze stavu log 1 do log 0). Bity, které následují, jsou uloženy v posuvném registru a rychlost posuvu je řízena hodinovým signálem

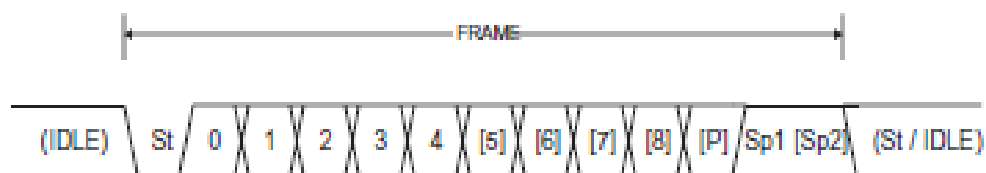
RxCLK. Jakmile se načte celé slovo, jsou data paralelně přesunuta do datového registru RxDR, který může být načten do mikrokontroléru.



Obrázek 15 Proces přijímání dat pomocí jednotky UART [6]

#### 4.5.6 Komunikace mikroprocesoru s přijímačem/vysílačem (USART)

Je to univerzální synchronní a asynchronní vysílač/přijímač. Periferie USART obsahuje mikroprocesor ATmega16, který byl použit v naší aplikaci. Data jsou vyvedena na piny RxD a TxD. USART umožňuje současně přijímat a vysílat dat tzv. duplexní režim. V synchronním režimu může pracovat jako Master nebo Slave. Oproti normálnímu módu navíc obsahuje (Double speed mode), tedy režim s dvojnásobnou rychlostí. Datová slova jsou o velikosti 5 až 9 bitů, USART má volitelnou paritu a obvykle jeden nebo dva stop bity. Dále obsahuje tři druhy přerušování: Odvysílání rámce, vyprázdnění vysílače registru a příjem rámce. Navíc obsahuje dolní propust (číslicovou), která detekuje falešné start bity a ošetřuje zákmity datových signálů.



Obrázek 16 Datový rámec UART mikrokontroléru ATmega16 [6]

#### 4.5.7 LCD displej FDCC1602L-RNNYBW-16LE

Hodnoty změřené akcelerometrem se budou zobrazovat na LCD displej, který má 2 řádky po 16 znacích, K ovládání displeje jsou použita tlačítka, pomocí kterých se dá pohybovat v menu. Hlavním rozhodovacím faktorem při výběru displeje byla nízká cena a napájení 3 V. Připojení k mikrokontroléru je realizováno pomocí 4-bitové komunikace se signály RS, R/W, a E. **Tabulka 3** naznačuje popis pinů displeje.

*Tabulka 3 Piny LCD displeje [10]*

<b>PIN</b>	<b>SYMBOL</b>	<b>FUNCTION</b>
1	Vss	GND
2	Vdd	Power supply for LCM (+3.0V)
3	NC	No connection
4	RS	Register Select Signal
5	R/W	Data Read / Write
6	E	Enable Signal
7-14	DB0 - DB7	Data bus line
15	NC	No connection
16	NC	No connection

#### **Parametry displeje:**

- Napájení 3 V
- Formát displeje 16 znaků na 2 řádcích
- Velikost zobrazované části: 54x14,4 mm
- Režim zobrazení – reflexní

#### **4.5.8 Napájení vysílací části**

Napájecí blok vysílací části je řešený baterií, která napájí celou vysílací část. Pozitivní regulátor (stabilizátor) redukuje napájecí napětí na 3,3 V, na kterém fungují všechny bloky.

#### **4.5.9 Napájení přijímací části**

Napájení přijímací části je řešeno čtyřmi AAA bateriemi, které jsou připojené přes konektor. Napájení je opět regulováno pozitivním regulátorem, který zajistí, aby na výstupu bylo takové napětí, jenž je potřeba pro LCD displej.

#### **4.5.10 Pozitivní regulátor (Stabilizátor) NX1117C**

V zařízení je využit typ NX1117C. Ve vysílací části se nachází stabilizátor, který reguluje napájecí napětí na hodnotu 3,3 V, toto napájení potřebuje akcelerometr a mikrokontrolér. V přijímací části se nachází stejný stabilizátor a reguluje hodnotu ze 4,8 V na 3,3 V pro mikrokontrolér a LCD displej.

## Parametry NX117C

- Reguluje napětí na 3,3 V
- Maximální výstupní proud do 1 A
- Široký provozní rozsah až do 20 V
- Teplotní rozsah 40 °C až 125 °C

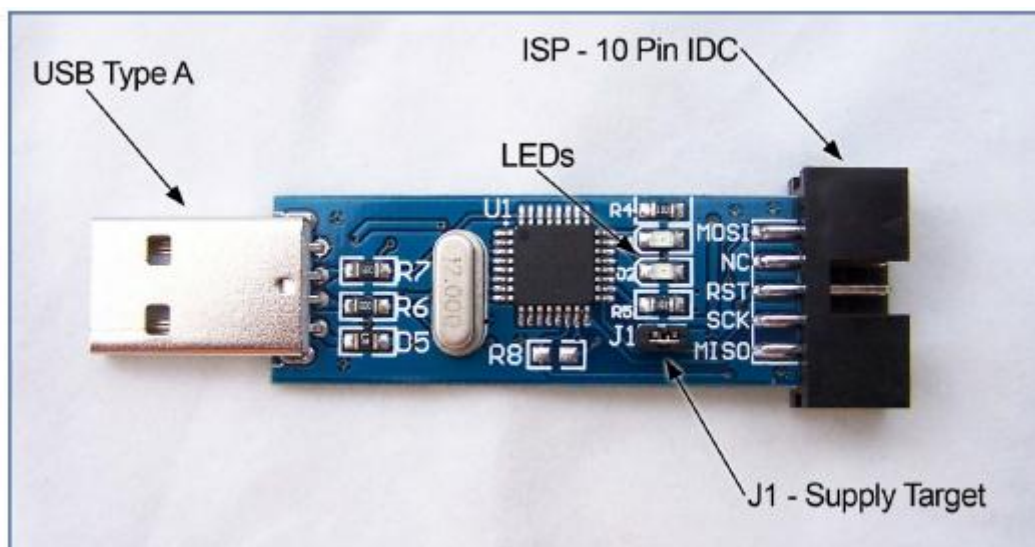
### 4.5.11 Programátor

Aby uživatel mohl komunikovat s mikroprocesorem, potřebuje mezi sebou a mikroprocesorem „prostředníka“. Tímto „prostředníkem“ je programátor (programmer).

- **Programátor USB ASP**

Tento programátor je založený na designu USBASP, k počítači se připojuje pomocí USB kabelu. Rozhraní USB je dosaženo použitím procesoru ATmega a o zbytek práce se postará firmware.

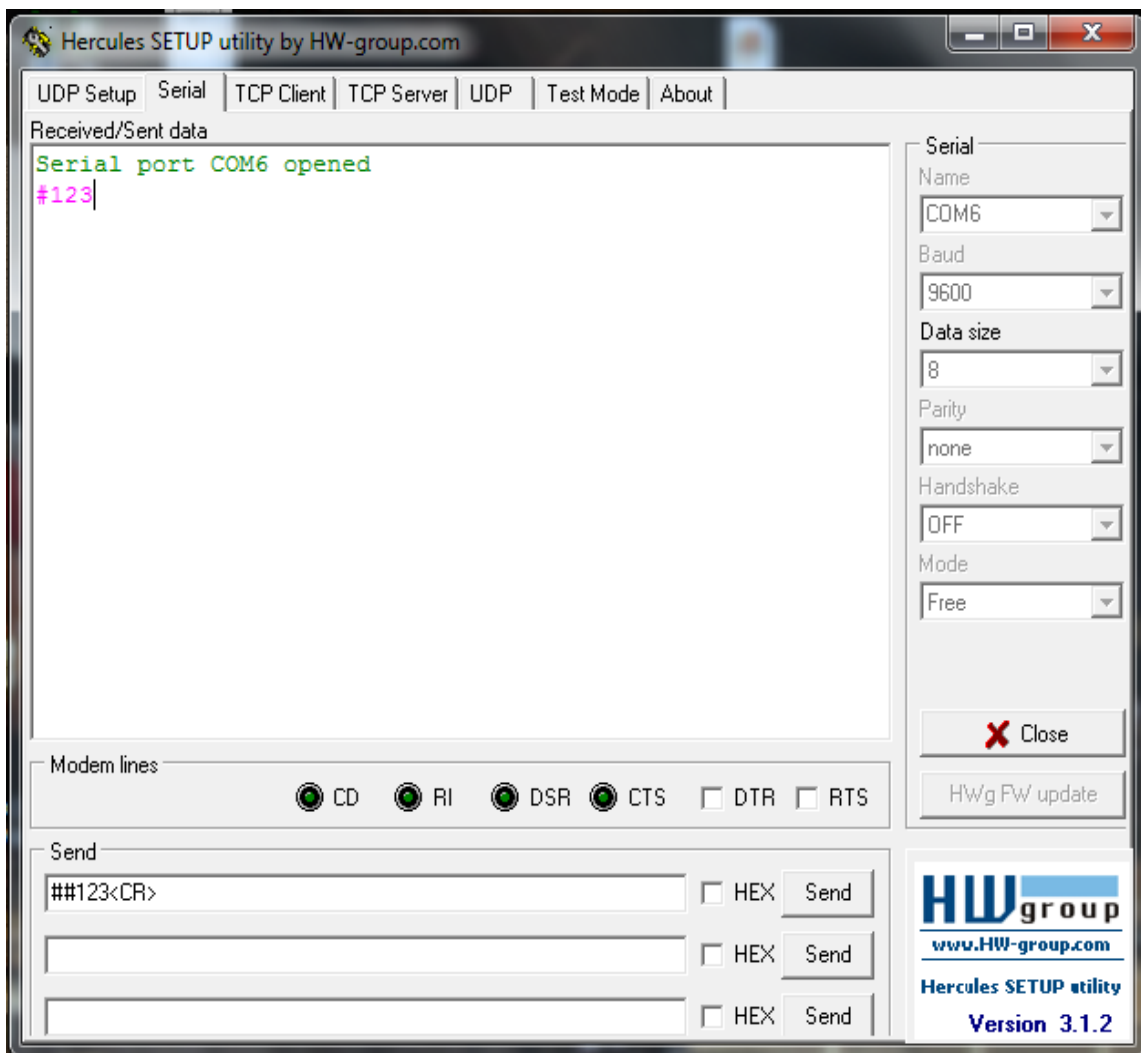
Programátor podporuje programování v AVR studiu. Umožňuje číst nebo zapisovat do paměti EEPROM. Podporuje operační systémy jako Windows, Linux, Mac OS X. Maximální rychlost zápisu je 5 kB/s. Obsahuje 10 pinů. Komunikuje pomocí rozhraní ISP. Samozřejmě, že existuje široké spektrum programátorů, ale při výběru pro naše zařízení hrála velkou roli cena. Použitý programátor popisuje **Obrázek 17**.



**Obrázek 17 Programátor AC-PG-USBASP USBASP AVR [9]**

#### 4.5.12 FTDI převodník (USB - UART)

Jedná se o zařízení, které vytváří standardní seriový port na straně PC a komunikační signály RX a TX v úrovni UART 3.3V. Dokáže simulovat jak vysílač, tak i přijímací část a lze pomocí něj simulovat vysílač nebo monitorovat data na přijímači. Převodník se připojuje místo bezdrátových modulů. Převodník sloužil pro zjednodušení při psaní firmware, netvoří tedy součást zařízení. Obrázek 18 ukazuje program Hercules, ve kterém byla monitorována data z akcelerometru.



Obrázek 18 Prostředí programu Hercules

# 5 Realizace zařízení

## 5.1 Osazení desek plošných spojů

Desky plošných spojů vytvořené v programu Eagle se následně předaly do výroby. Desky byly vyrobeny na ústavě UREL. Jak vysílací, tak i přijímací část jsou jednostranné DPS – viz Příloha. Osazení se provádělo od nejdůležitějších součástí, tedy od mikroprocesoru přes akcelerometr a nakonec byly napájeny konektory. Konstrukce je postavena na SMD technologii.

## 5.2 Software - Úvod

Po zhotovení DPS byl tedy hardware vytvořen a chybělo nyní vymyslet, respektive naprogramovat software, jenž je nezbytný ke správné realizaci výsledného zařízení.

Program zahrnuje dvě dílčí části, a to vysílací a přijímací část. Jak vysílač, tak i přijímač mají svůj mikroprocesor a z toho tedy plyne, že bylo zapotřebí naprogramovat pro každou DPS jiný software.

O většinu práce se stará vysílač, neboť v něm probíhá komunikace přes sběrnici I2C, přes kterou komunikuje mikrokontrolér s akcelerometrem. Uvnitř vysílací jednotky rovněž dochází k výpočtům rychlosti, dráhy a v neposlední řadě tato část vytváří pakety pro přijímací část. Funkce přijímací části by se dala shrnout do dvou důležitých bodů. Co se týká prvního bodu, tak přijímá pakety od vysílače, které následně dekóduje. Druhou úlohou přijímače je zobrazovat výstupy z akcelerometru na LCD displej.

## 5.3 Konfigurace RF modulů

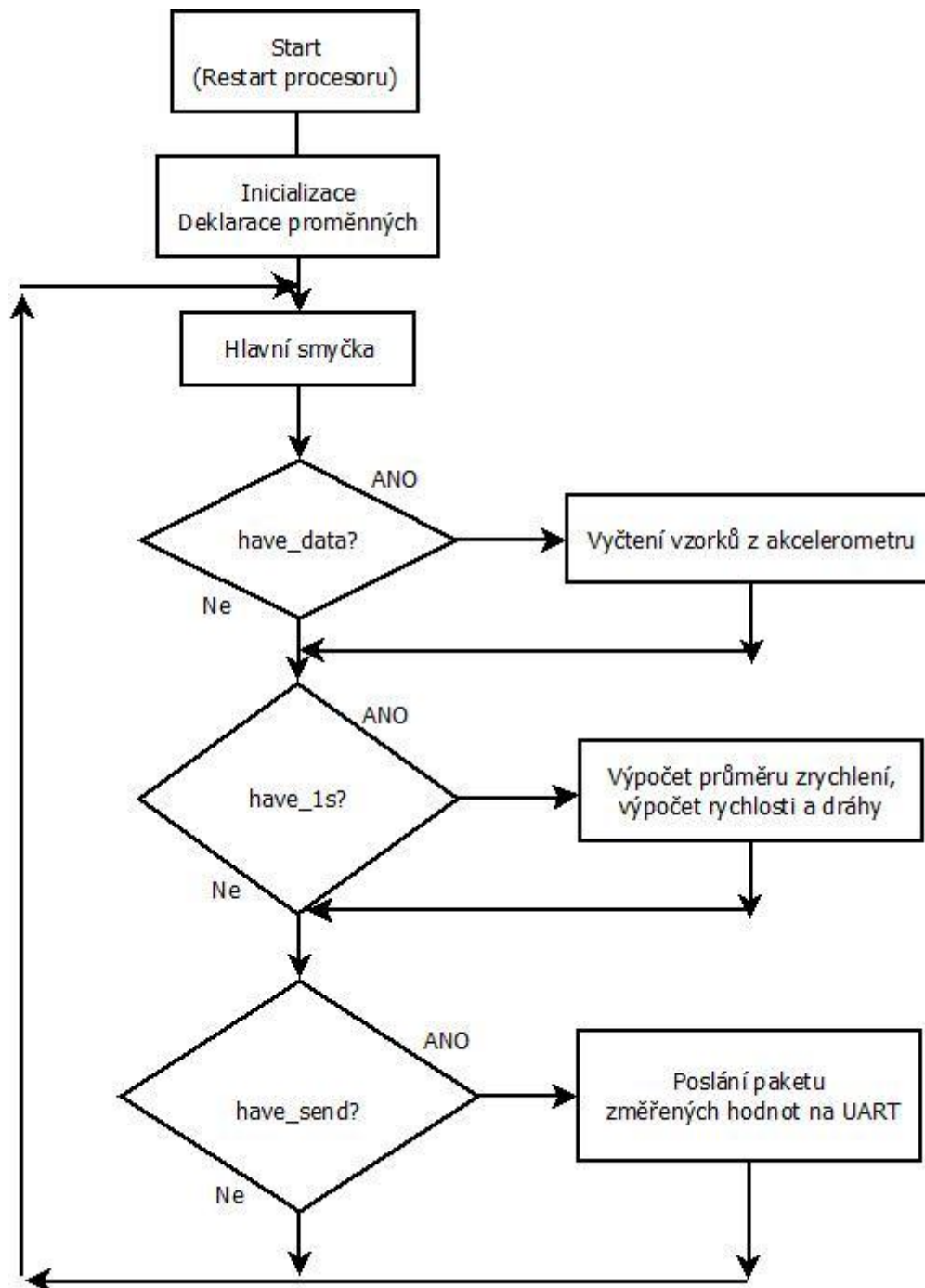
Dříve než bylo přistoupeno k vlastní realizaci programů, musely se spárovat RF moduly Xbee PRO. Pod pojmem spárovat rozumíme komunikaci mezi modulem ve vysílací a modulem v přijímací jednotce.

V konfiguraci byl nápomocen program X-CTU, prostřednictvím něj byla nastavena komunikace. Vysílač bylo třeba nastavit jako koncové zařízení a přijímač jako koordinátor. Následně se nastavil rámec jako 8-N-1, tedy osmibitové číslo bez parity s jedním stop bitem. Jako poslední věc bylo třeba nastavit přenosovou rychlost v našem případě na 9600 Bd. Ještě je třeba zmínit, že komunikace probíhá v pásmu 2,4 GHz.

## 5.4 Software – vývojové diagramy

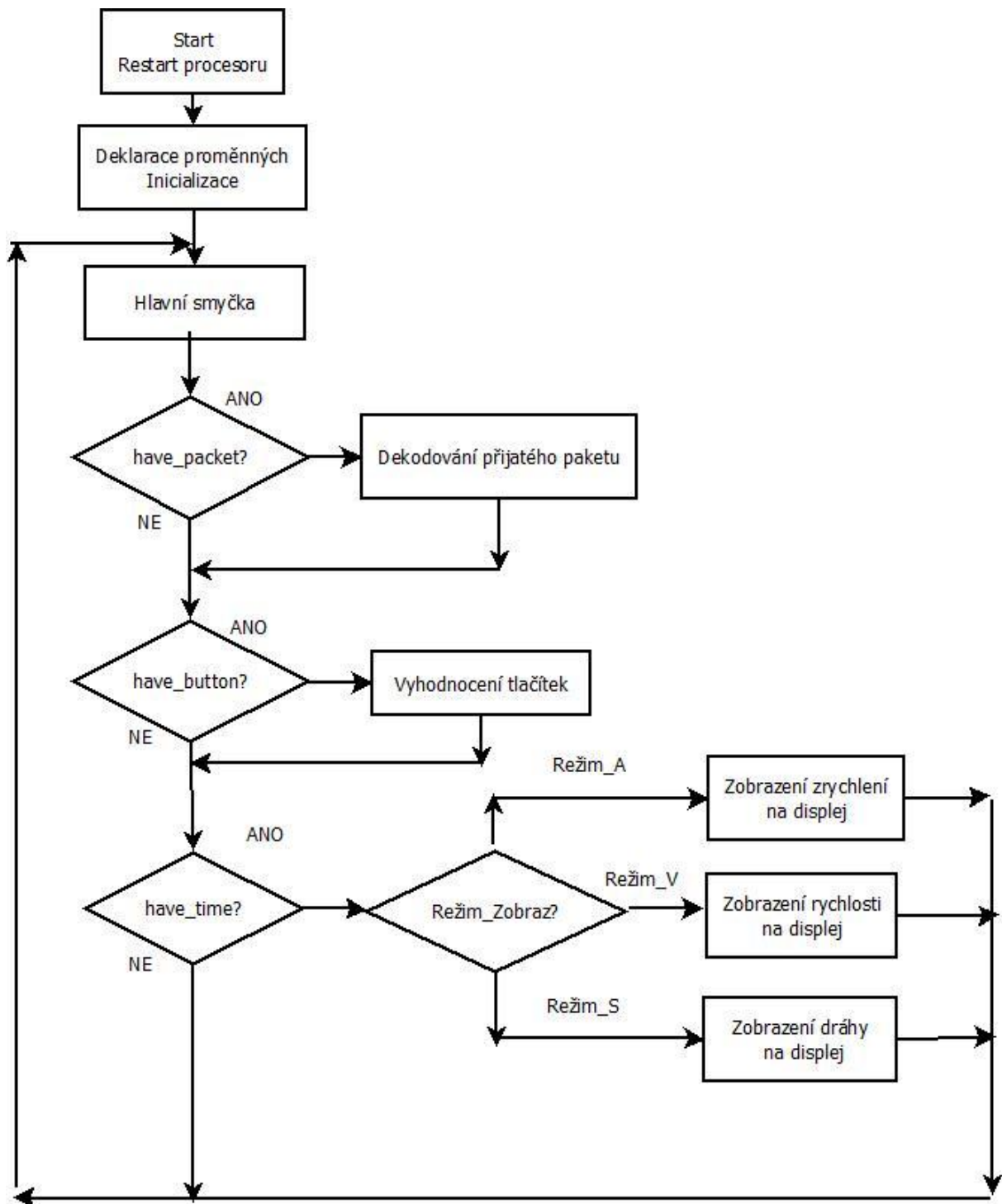
Jak již bylo řečeno, každá z částí zahrnuje svůj vlastní software. V následujícím zjednodušeném vývojovém diagramu můžeme vidět princip činnosti vysílací části, ve které plní hlavní úlohu akcelerometr připojený přes sběrnici I2C.

- Vývojový diagram vysílací jednotky



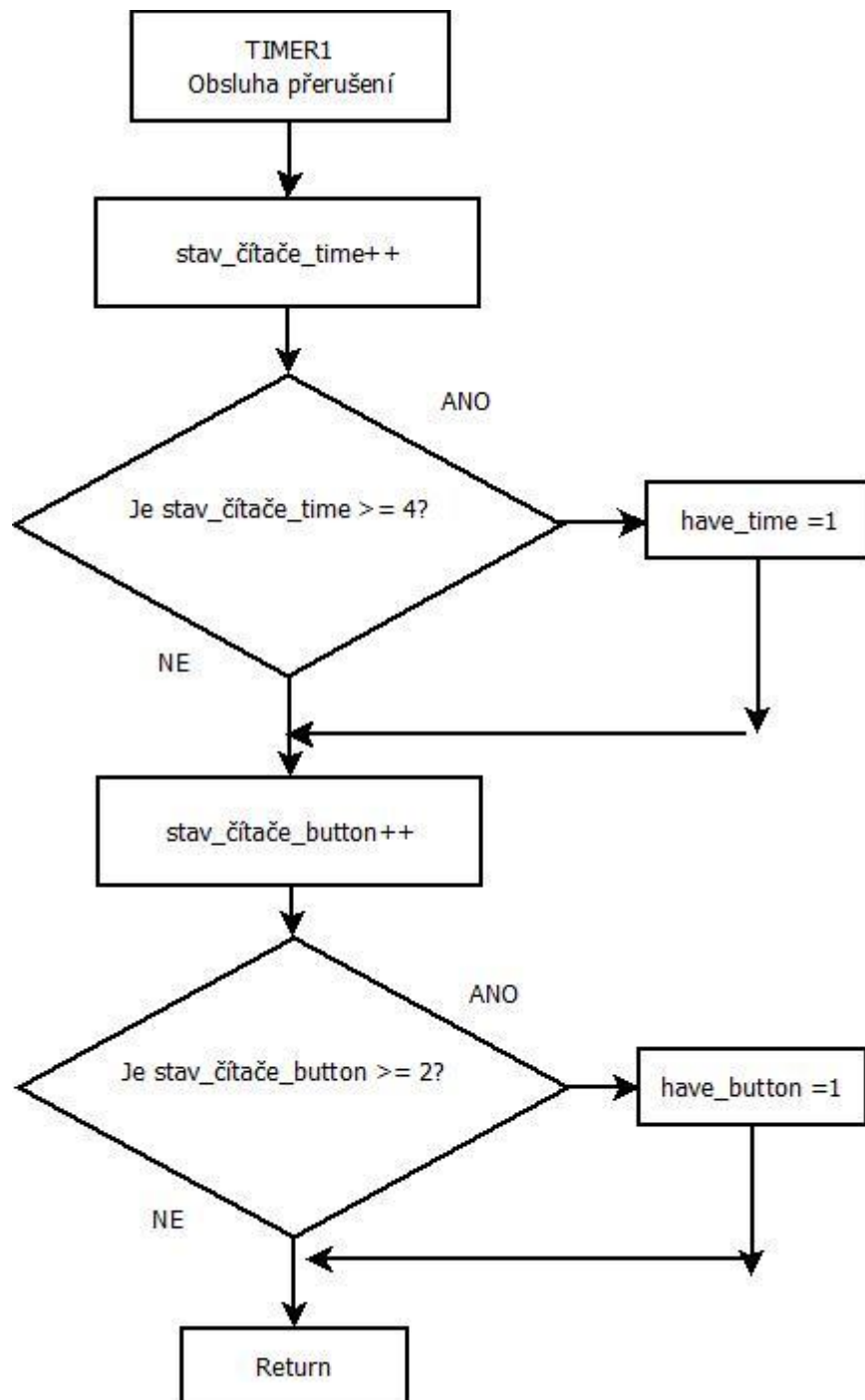
Obrázek 19 Vývojový diagram vysílací jednotky

- Vývojový diagram přijímací jednotky



Obrázek 20 Vývojový diagram přijímací jednotky

- Vývojový diagram pro přerušení v přijímací části



Obrázek 21 Vývojový digram přerušení v přijímací části

## 5.5 Popis funkce vysílací jednotky

Po resetu (restartu) procesoru jsou definovány a deklarovány všechny proměnné. Dochází k inicializaci jednotky UART, jednotky I2C a povolení globálního přerušení.

V hlavní smyčce se testuje vstupní pin PD3, který je propojen se signálem DRDY. Pokud je signál v log1, dochází k vyčtení vzorků. Akcelerometr vzorkuje zrychlení po 8 ms.

Tyto vzorky jsou sumovány a počítány. Při 125 vzorcích je nastaven příznak `have_1s`. Pokud je nastaven příznak `have_1s` a čas po startu je menší než 10 sekund, dochází ke kalibraci akcelerometru. Kalibrace trvá prvních 10 sekund. Kalibrace probíhá tak, že se vypočítá offset jako suma vzorků zrychlení lomeno deseti sekundami. Výsledný průměr vzorků zrychlení je potom roven průměru vzorků zrychlení, od kterých se odečte offset (vzorky zrychlení jsou průměrovány kvůli odstranění případné chyby).

Po uplynutí doby deseti sekund (kalibraci) začíná vlastní měření. Výsledný průměr vzorků zrychlení odečtený o offset se následně převede do základních jednotek a ze zrychlení se poté vypočítá rychlost a dráha za pomoci matematických operací. Rychlost je sumace sekundových vzorků zrychlení a dráha je sumací sekundových vzorků rychlosti.

Při příznaku `have_send`, (nastává každou sekundu po výpočtu dat) jsou vypočtené hodnoty odeslány v komunikačních paketech na jednotku UART.

## 5.6 Popis funkce přijímací jednotky

Po resetu procesoru jsou deklarovány proměnné a inicializují se periferie. Přijímač na přerušení od jednotky UART přijímá data od vysílače a zjišťuje, jestli daná data tvoří komunikační paket. Jestliže paket dorazil v pořádku, je poté dekodován. Nyní následuje přečtení portu, kde se nacházejí tlačítka. Při příznaku `have_button` se testuje, zda-li je některé tlačítko stisknuté či nikoli. Po přečtení portu následuje zobrazení přijatých paketů na LCD displej. Jako poslední věc se již rozhoduje, zda se jedná o paket zrychlení, rychlosti nebo dráhy, po zobrazení hodnot na displej se opět program vrací ke čtení dalšího přijatého paketu.

### 5.6.1 Popis funkce přerušení čítače TIMER1 v přijímací jednotce

V přerušení čítače TIMER1 se inkrementuje počítadlo přerušení pro zobrazení na LCD displej až do hodnoty než je čítač roven nebo je větší než hodnota 4. Pak je nastaven příznak `have_time`.

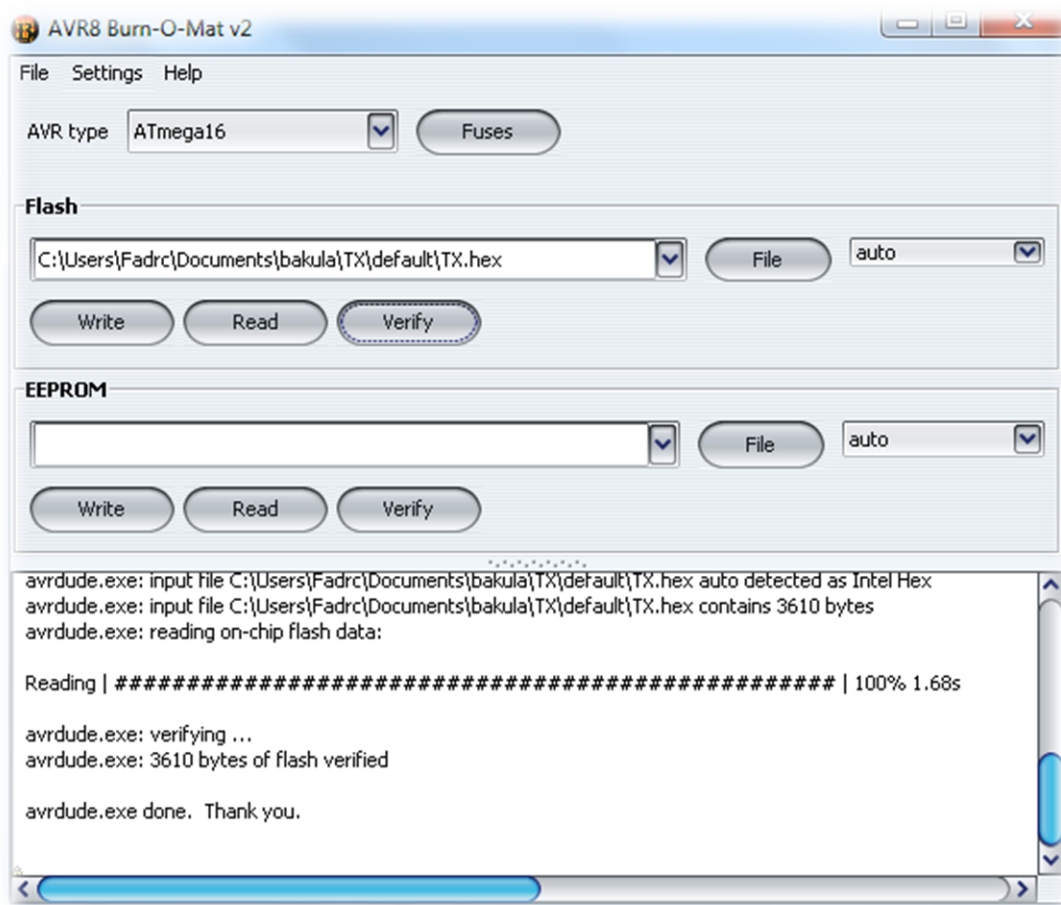
Poté se inkrementuje počítadlo pro test tlačítek, jakmile dosáhne hodnoty 2, dochází k vyhodnocení tlačítek – nastaven příznak `have_button`. V programu je rovněž ošetření tlačítek proti záskmitům.

## 5.7 Komunikace mezi hardwarem a softwarem

Neméně důležitou záležitostí bylo rozběhat komunikaci mezi hardwarem a softwarem. K navázání komunikace nám posloužil programátor USB ASP. Program bylo zapotřebí nahrát do procesoru. K této práci byl využit freewareový program AVR BURN-O MAT a program AVR Dude.

Při nahrání programu do procesoru bylo třeba vypočítat pojistky (anglicky fuse bits). Tyto pojistky jsou nedílnou součástí toho, aby šel program nahrát do hardwaru. Pojistky v aplikaci byly nastaveny na hfuse = 0x99 a lfuse = 0xEF.

Při nesprávném nastavení pojistek může dojít k vypnutí sériového programování a obnova stavu (zapnutí sériového programování) je možná jen přes rozhraní JTAG.



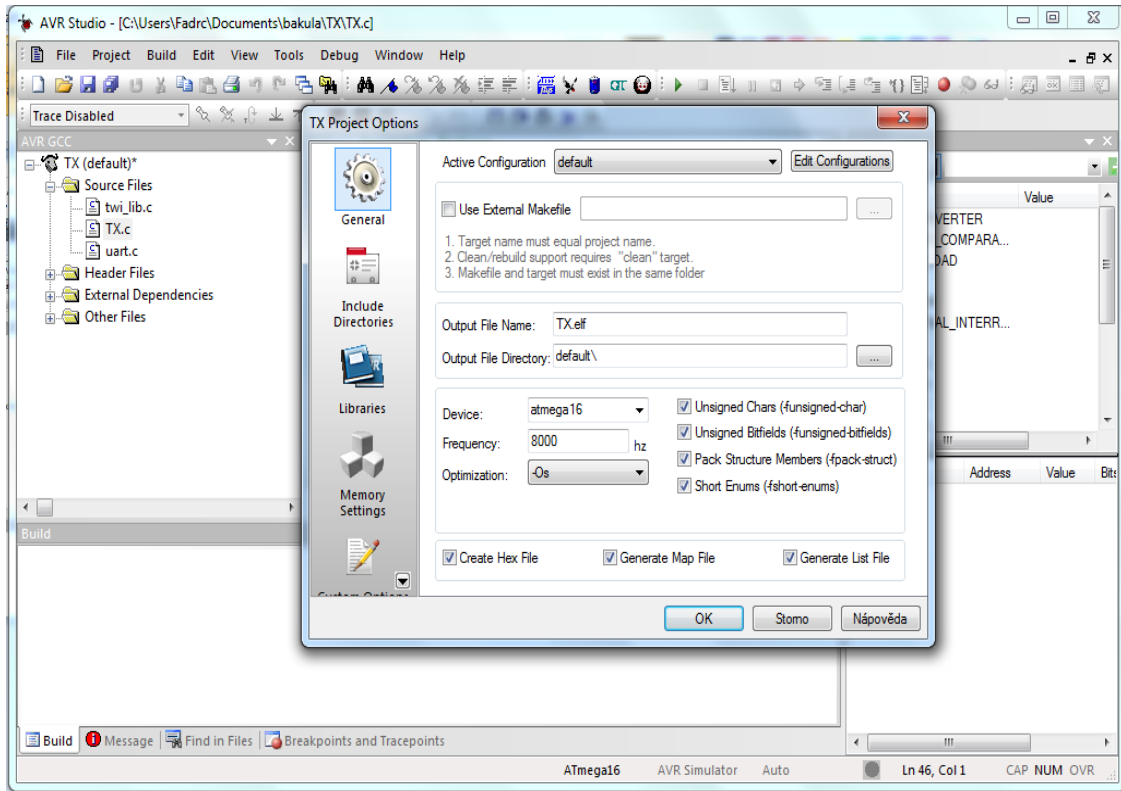
Obrázek 22 Ukázka programu AVR BURN-O-MAT

## 5.8 AVR studio 4

Programování proběhlo v AVR studiu 4. Jedná se o integrované vývojové prostředí pro mikrokontroléry AVR. Programování probíhá v assembleru nebo v jazycích C/C++. Ovšem pro programování v C/C++ je třeba nainstalovat doplněk WinAVR, který obsahuje programátor, debugger rovněž i překladač. AVR studio obsahuje mnoho funkcí. Při simulaci

dokáže například sledovat jednotky jako USART, porty apod. Program je vytvářen v textovém editoru.

AVR studio je pro uživatele příjemným vývojovým prostředím, protože dokáže například barevně rozlišit funkce proměnné a komentáře.



*Obrázek 23 Vývojové prostředí AVR studio 4*

## 6 Praktické ověření funkce zařízení

Praktické ověření zařízení proběhlo místo RC modelu na osobním automobilu Lancia Y z důvodu nedostupnosti RC modelu, ale na funkci zařízení to nic nemění. V tabulce respektive grafech níže můžeme vidět naměřené hodnoty zrychlení, rychlosti a dráhy za pomoci akcelerometru MMA7455L.

Při měření byla vysílací část upevněna na palubní desku vozidla ve směru osy x. Měření probíhalo v rozsahu od 11 sekund do 47 sekund. Prvních 10 sekund slouží ke kalibraci akcelerometru. Měření je v režimu 4g. Při měření bylo zaznamenáno rozjetí automobilu z místa, poté rychlost vystoupala až na hodnotu 35 m/s, kde byla konstantní v intervalu 24 až 29 sekund poté se začalo brzdit až na hodnotu 23 m/s.

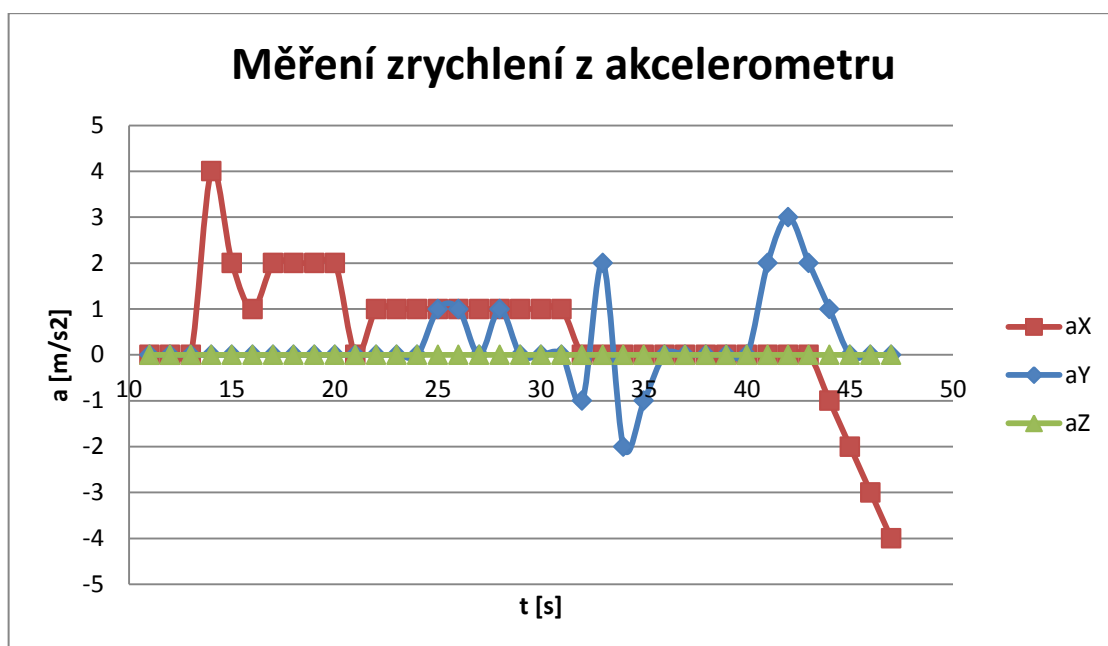
Změřená data z akcelerometru byla zaznamenána do textového souboru v počítači přes FTDI převodník. FTDI převodník byl s počítačem propojen USB kabelem. Data byla posílána přes sériový port prostřednictvím programu Hercules, který monitoroval komunikaci. Po ukončení měření byla data přepsána do programu Microsoft Excel, kde byla vyhodnocena. Z vyhodnocených dat byly vytvořeny grafy pro zrychlení, rychlost a dráhu ve třech osách x, y, z – z důvodu názornějšího zobrazení. Výsledné hodnoty zrychlení, rychlosti a dráhy byly vektorovým součtem jednotlivých složek.

Maximální rychlost při měření v přepočtu na km/h dosahuje 126 km/h, avšak tachometr automobilu nevystoupal na víc jak 120km/h. Tato chyba může mít dvě příčiny. Tachometr nebyl nastaven přesně, protože v automobilech bývá určitá tolerance. Druhou možnou chybou je to, že rychlost se ze zrychlení počítá metodou numerické integrace, kdy neznáme funkci zrychlení, ale pouze záznam vzorků zrychlení v čase. Navíc je v programu na přepočet na základní jednotky zrychlení zaokrouhlováno  $g = 9,82 \text{ m/s}^2$  na  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , čímž chyba opět roste.

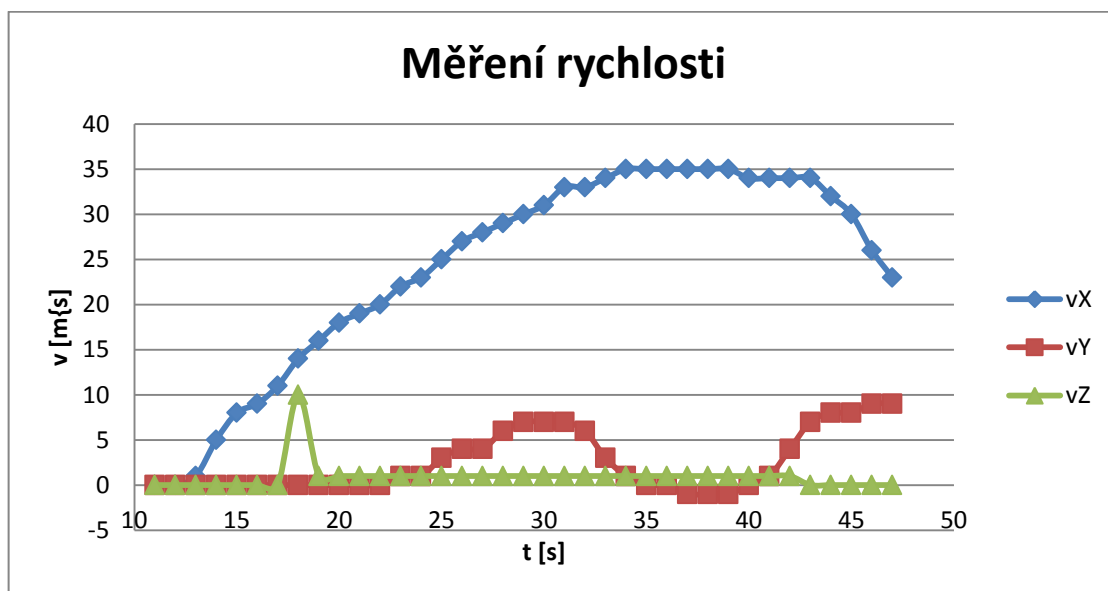
Tabulka 4 Záznam hodnot změřených akcelerometrem

Tabulka hodnot změřených akcelerometrem MMA7455L											
č.m.	t [s]	aX [m/s <sup>2</sup> ]	aY [m/s <sup>2</sup> ]	aZ [m/s <sup>2</sup> ]	vX [m/s]	vY [m/s]	vZ [m/s]	sX [m]	sY [m]	sZ [m]	
1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
3	13	0	0	0	1	0	0	2	0	0	
4	14	4	0	0	5	0	0	7	0	0	
5	15	2	0	0	8	0	0	16	0	1	
6	16	1	0	0	9	0	0	25	0	1	
7	17	2	0	0	11	0	0	35	0	2	
8	18	2	0	0	14	0	10	51	0	3	
9	19	2	0	0	16	0	1	68	0	4	
10	20	2	0	0	18	0	1	86	0	5	
11	21	0	0	0	19	0	1	106	1	6	
12	22	1	0	0	20	0	1	127	1	7	
13	23	1	0	0	22	1	1	149	2	8	
14	24	1	0	0	23	1	1	173	4	9	
15	25	1	1	0	25	3	1	199	7	10	
16	26	1	1	0	27	4	1	226	11	11	
17	27	1	0	0	28	4	1	255	16	12	
18	28	1	1	0	29	6	1	284	23	13	
19	29	1	0	0	30	7	1	315	30	14	
20	30	1	0	0	31	7	1	347	38	15	
21	31	1	0	0	33	7	1	380	45	16	
22	32	0	-1	0	33	6	1	414	52	18	
23	33	0	2	0	34	3	1	449	55	19	
24	34	0	-2	0	35	1	1	484	57	20	
25	35	0	-1	0	35	0	1	520	57	22	
26	36	0	0	0	35	0	1	556	56	23	
27	37	0	0	0	35	-1	1	591	55	25	
28	38	0	0	0	35	-1	1	627	54	26	
29	39	0	0	0	35	-1	1	662	52	27	
30	40	0	0	0	34	0	1	697	51	29	
31	41	0	2	0	34	1	1	732	53	30	
32	42	0	3	0	34	4	1	766	58	32	
33	43	0	2	0	34	7	0	801	65	33	
34	44	-1	1	0	32	8	0	834	74	33	
35	45	-2	0	0	30	8	0	864	82	34	
36	46	-3	0	0	26	9	0	891	92	33	
37	47	-4	0	0	23	9	0	915	102	33	

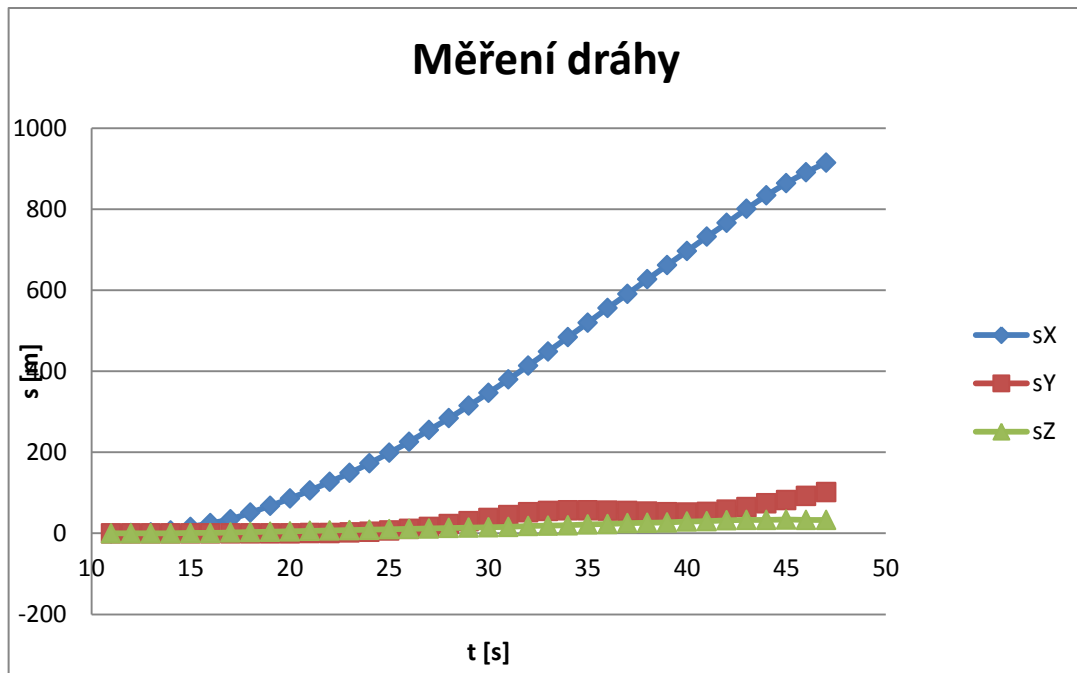
## 6.1 Grafy naměřených hodnot



Obrázek 24 Graf zrychlení v osách x,y,z



Obrázek 25 Graf rychlosti v osách x,y,z



Obrázek 26 Graf dráhy v osách x,y,z

## 6.2 Fotografie výsledného zařízení

### 6.2.1 Fotografie vysílací jednotky



Obrázek 27 Vysílací jednotka s FTDI převodníkem

## 6.2.2 Fotografie přijímací jednotky



*Obrázek 28 Fotografie přijímací části*

## 7 Závěr

V prvních kapitolách této práce jsou popsány teoretické poznatky potřebné ke správné realizaci výsledného zařízení měřiče rychlosti RC modelu aut. Pro měření byl zvolen akcelerometr MMA7455L, který je tříosý.

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit zařízení, které bude měřit zrychlení, rychlost a dráhu a výsledné hodnoty bude zobrazovat na LCD displej. Na základě teoretických poznatků bylo zařízení navrženo, poté vyrobeno a jeho funkčnost byla prakticky ověřena. Zařízení je jednak schopno komunikovat bezdrátově, protože obsahuje vysílací a přijímací část, ale navíc je za pomoci FTDI převodníku schopno ukládat naměřená data do počítače, kde se můžou data dále zpracovávat. Pro bezdrátovou komunikaci byly využity RF moduly Xbee PRO, které se vyznačují velkým dosahem až 1 500 m.

Bylo zjištěno, že měřit rychlost prostřednictvím zrychlení není příliš přesné, protože střední hodnota zrychlení není nulová, a v důsledku toho vzniká integrační chyba při nepohybujícím se zařízením. Chyba byla částečně odstraněna tím, že se vzorky zrychlení průměrovaly a až z následných průměrů vzorků zrychlení se počítaly rychlost a dráha. Dalším problémem bylo, že akcelerometr signalizuje naměřená data signálem DRDY v log.1, zatímco mikroprocesor má konfigurovatelné přerušení na náběžnou nebo sestupnou hranu nebo na log.0, a tudíž se nemohly vzorky vyčítat přes přerušení mikroprocesoru, a tedy se opět ztrácelo na přesnosti, protože se pár vzorků zrychlení ztrácel během výpočtu a posílání dat. Ovšem i tento problém by se dal jednoduše opravit. Jednoduchou možností by bylo pouze signál DRDY invertovat a přerušení procesoru konfigurovat na log.0. Invertování procesoru je jednoduše realizovatelné unipolárním tranzistorem v zapojení SS (ekvivalent klasického zapojení se společným emitorem).

Zařízení v konečném důsledku bylo finančně náročné. Když si vezmeme, že jen za dva RF moduly se zaplatí okolo 2 000 Kč, k tomu když se připočtou další součástky, tak se dostaneme přes 3 000 Kč, což je dvojnásobek ceny, za kterou se dá zařízení koupit v obchodě. Dnes se pro měření rychlosti využívá většinou měření pomocí GPS, které je mnohem přesnější.

# Seznam literatury

- [1] BURKHARD, M. *C pro mikrokontroléry*, 1. vydání. Praha: BEN. 2003. 280s. ISBN 80-7300-077-6.
- [2] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J. *Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení*. Elektronické skriptum. [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 2011. [cit.2011-12-26]. Dostupné z [http://urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt\\_pocitace\\_full.pdf](http://urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt_pocitace_full.pdf)
- [3] KAČMÁŘ, D. *jazyk C*, 1. Vydání. Praha: Computer Press. 2001. 185s. ISBN 80-7226-295-5.
- [4] Freescale Semiconductor: MMA 7455LT, *Three Axis Low-g Digital Output Accelerometer datasheet*. [online]. 2007 [cit.2011-12-26]. Dostupné z <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/211554/FREESCALE/MMA7455LT.html>>
- [5] MaxStream: Xbee PRO *Wireless UART Communication Module datasheet*. [online]. 2009 [cit.2011-12-26]. Dostupné z <<http://www.picaxe.com/docs/xbe001.pdf>>
- [6] FRÝZA, T. *Mikroprocesorová technika a embeded systémy. Přednášky*. Elektronické skriptum. [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 2011. [cit.2011-12-26]. Dostupné z <[http://urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt\\_prednasky\\_2011-12-16.pdf](http://urel.feec.vutbr.cz/~fryza/downloads/mpt_prednasky_2011-12-16.pdf)>
- [7] Atmel Corporation: ATMEGA16 8-bit AVR<sup>®</sup>, *Microcontroller datasheet*: Atmel Corp. [online]. 2010 [cit.2011-12-26]. Dostupné z <[http://atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf) >
- [8] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fyzika – Mechanika*, 5.vydání. Brno: VUTIUM, PROMETHEUS. 2000. 1254s. ISBN 80-214-1869-9.  
Kapitola 2.4: Okamžitá rychlost, s. 12., Kapitola 2.5: Zrychlení, s. 14.
- [9] Proto Stack: AC-PG-USBASP USBASP AVR Programmer. *Module datasheet* [online]. 2011. [cit.2011-12-26]. Dostupné z <[http://protostack.com/download/Users%20Guide%20\(AC-PG-USBASP-UG-V1.2\).pdf](http://protostack.com/download/Users%20Guide%20(AC-PG-USBASP-UG-V1.2).pdf)>
- [10] Fordata Electronic: FDCC1602L-RNNYBW.16LE. *LCD Module datasheet*. [online]. 2008.[cit.2011-12-26]. Dostupné z <<http://www.farnell.com/datasheets/653660.pdf>>
- [11] NXP semiconductors: NX1117C, *Low Dropout linear regulator datasheet*. [online]. 2000 [cit.2011-12-26]. Dostupné z <[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/NX1117C\\_NX1117CE\\_SER.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/NX1117C_NX1117CE_SER.pdf)>
- [12] JANKO, O. *Cesta k telemetrii*. [online]. 2010 [cit.2011-12-26]. Dostupné z <<http://rcmodely.cevaro.sk/index.php?id=22&n=cesta-k-telemetrii---1-cast---doplнены-povodny-clanok>>
- [13] MATĚJKA, F. *Střípky z historie RC modelu aut a organizací. Precti* [online]. 2011 [cit.2011-12-28]. Dostupné z <<http://precti.cz/stripky-z-historie-rc-modelu-a-organizaci/>>

- [14] BÖHM, P. Fyzika na (školním) výletě aneb akcelerometr ve vlaku. [online]. 2010 [cit.2012-04-08]. Dostupné z < <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=150>>
- [15] ROZSÍVAL, P. Akcelerometry. [online]. 2009 [cit.2012- 05-10]. Dostupné z < <http://vyuka.pavelrozsival.cz/isame/Akcelerometry.pdf> >

# Seznam použitých zkratek

ACK	<i>Acknowledge Bit</i> – potvrzovací bit
A/D	<i>Analog/Digital</i> – převod analogového signálu na digitální
DPS	Deska plošných spojů
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Only Read-Only memory</i> – elektricky mazatelná paměť
FTDI	
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit</i> – sériová počítačová sběrnice
GPS	<i>Global positioning system</i> – globální družicový polohový systém
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> – displej z tekutých krystalů
LSB	<i>Least Significant Bit</i> – nejméně významný bit
MISO	<i>Master in Slave Out</i> – vodič sběrnice SPI
MOSI	<i>Master Out Slave In</i> – vodič sběrnice SPI
MSB	<i>Most Significant Bit</i> – nejvýznamnější bit
RC	<i>Radio Control</i> – dálkové ovládání
SCL	<i>Synchronous clock</i> – hodinový signál
SDA	<i>Synchronous data</i> – synchronní data
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> – sériové periferní rozhraní
SS	<i>Slave Select</i> – řídicí signál
UART	<i>Universal asynchronous Receiver Transmitter</i> – univerzální asynchronní přijímač, vysílač
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i> – Univerzální synchronní asynchronní přijímač, vysílač
USB	<i>Universal Serial Bus</i> – univerzální sériová sběrnice

# 8 Seznam příloh

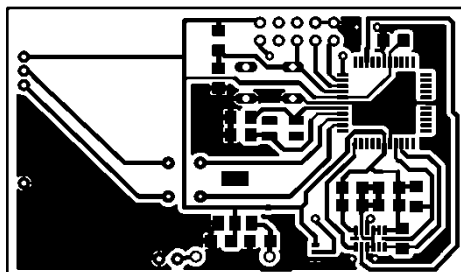
<b>A.</b>	<b>Schéma zapojení .....</b>	<b>42</b>
A.1.	Vysílací část .....	42
A.2.	Přijímací část.....	43
<b>B.</b>	<b>DPS (Desky plošných spojů).....</b>	<b>44</b>
B.1.	DPS - Vysílací část – bottom (strana spojů).....	44
B.2.	DPS - Vysílací část – top (strana součástek) .....	Chyba! Záložka není definována.
B.3.	DPS – Vysílací část – Osazovací výkres (bottom) .....	44
B.4.	DPS – Přijímací část – top (strana součástek).....	44
B.5.	DPS – Přijímací část – Osazovací výkres (bottom) .....	45
<b>C.</b>	<b>Seznam součástek .....</b>	<b>46</b>
C.1.	Vysílací část .....	46
C.2.	Přijímací část.....	47





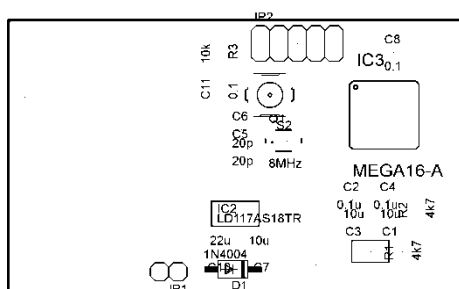
## B. DPS (Desky plošných spojů)

### B.1. DPS - Vysílací část – top (strana součástek)



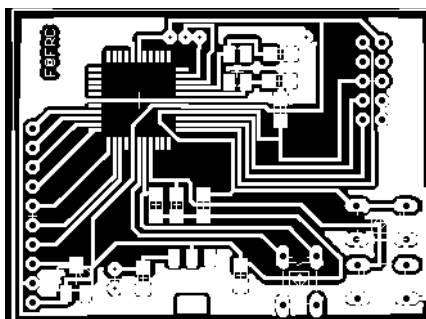
Rozměr desky 37,92 x 61,34 [mm], měřítko M 1:1

### B.2. DPS – Vysílací část – Osazovací výkres (top)



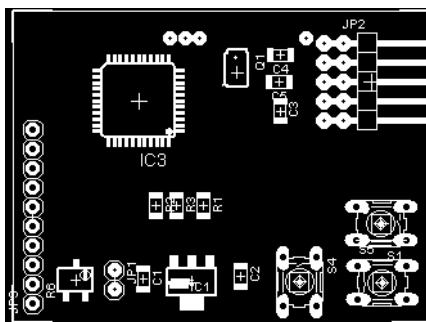
Rozměr desky 37,92 x 61,34 [mm], měřítko M 1:1

### B.3. DPS – Přijímací část – top (strana součástek)



Rozměr desky 41,13 x 55,63 [mm], měřítko M 1:1

#### B.4. DPS – Přijímací část – Osazovací výkres



Rozměr desky 41,13 x 55,63 [mm], měřítko M 1:1

## C. Seznam součástek

### C.1. Vysílací část

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis součástky
C1	0,1u	C1206	Keramický kondenzátor
C2	10u	C1206	Keramický kondenzátor
C3	0,1u	C1206	Keramický kondenzátor
C4	10u	C1206	Keramický kondenzátor
C5	20p	C1206	Keramický kondenzátor
C6	20p	C1206	Keramický kondenzátor
C7	0,1	C1206	Tantalový kondenzátor
C8	100n	C1206	Tantalový kondenzátor
C9	100n	C1206	Tantalový kondenzátor
C10	100n	C1206	Tantalový kondenzátor
C11	0,1	C1206	Keramický kondenzátor
D1	1N4004	DO 4110	Dioda
IC2	LD117AS18TR	SOT223	Stabilizátor napětí
IC3	MEGA16L	TQFP44	Mikrokontrolér
JP1		1X02	Konektor na baterii
JP2		2X05	Konektor
Q1	8M	CTS406	krystal
R1	4,7k	R1206	SMD rezistor
R2	4,7k	R1206	SMD rezistor
R3	10k	R1206	SMD rezistor
S2		B3F-10XX	Tlačítko
ACC		LGA	Akcelerometr
XBEE	XBEEPRO		Konektor

## C.2. Přijímací část

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis součástky
C1	10u	C1206	Tantalový kondenzátor
C2	22u	C1206	Tantalový kondenzátor
C3	0,1	C1206	Keramický kondenzátor
C4	20p	C1206	Keramický kondenzátor
C5	20p	C1206	Keramický kondenzátor
IC1	LD117AS18TR	SOT223	Stabilizátor napětí
IC3	MEGA16L	TQFP44	Mikrokontrolér
JP1	Napájení	1X02	Konektor
JP2	Programátor	2X05/90	Konektor
JP3	LCD displej	1X10	Konektor
XBEE	XBEE	1X10	Konektor
Q1	8M	CTS 406	SMD rezistor
R1	10k	R1206	SMD rezistor
R2	10k	R1206	SMD rezistor
R3	10k	R1206	SMD rezistor
R5	10k	R1206	SMD rezistor
R6		R-TRIM	Trimr
S1		B3F-10XX	Tlačítko
S4		B3F-10XX	Tlačítko
S5		B3F-10XX	Tlačítko

## **D. CD-ROM**

### **D.1. Obsah CD-ROM:**

- Elektronická verze práce v adresáři /PDF
- Vyvořené zdrojové soubory v adresáři /Source
- Vytvořené desky plošných spojů v adresáři /DXP
- Vykonané měření v grafech v adresáři /Excel
- Vybrané katalogové listy v adresáři /Datasheets