

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Dálkový ovladač s inerciálními senzory

Lukáš Pazdera

Bakalářská práce

2013

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Pazdera**
Osobní číslo: **I10304**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Dálkový ovladač s inerciálními senzory**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Díky pádu cen integrovaných inerciálních senzorů jako jsou akcelerometry a gyroskopy vyráběné především technologií MEMS došlo k jejich velkému rozmachu a masovému nasazení i v dříve nemyslitelných aplikacích jako například mobilní telefony, fotoaparáty, tablety, herní konzole a podobné, kde slouží od jednoduchých aplikací jako je detekce natočení přístroje až po složitější jako je ovládání přístroje pohybovými gesty. Obzvláště u bez tlačítkových telefonů a tabletů se setkáváme s aplikacemi ovládanými pohybem přístroje.

Bakalářská práce bude obsahovat přehled nových trendů a přístupů k ovladačům a způsobů ovládání, dále bude obsahovat výběr vhodných snímačů. V praktické části bude realizace dálkového ovládání pohyblivého modelu pomocí přirozených gest.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

ĎAĎO S.; KREIDL M. Senzory a měřicí obvody; Praha : Vydavatelství ČVUT, 1999 ISBN 80-01-02057-6

www.freescale.com

www.st.com

http://www.analog.com/en/index.html

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsival

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

21. prosince 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013

prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. března 2013

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 1. 5. 2013

Lukáš Pazdera

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu práce Ing. Pavlu Rozsivalovi za ochotu, vstřícnost, cenné poznatky, rady a informace, které mi během psaní práce i po celou dobu studia poskytoval.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá tématem inerciálních senzorů používaných k ovládání některých elektronických zařízení, jako jsou mobilní telefony, PDA, tablety, navigace a herní konzole. Dále obsahuje přehled některých senzorů a součástek vhodných pro realizaci dálkového ovladače. Praktická část se zabývá návrhem a realizací samotného dálkového ovladače a jeho testováním s modelem autíčka.

Klíčová slova

Dálkový ovladač, inerciální senzor, akcelerometr, MEMS

Title

Remote control with inertial sensors

Annotation

This thesis deals with using inertial sensors in electronic devices such as mobile phones, PDAs, tablets, navigation and gaming consoles. It also contains an overview of some sensors and devices suitable for the implementation in the remote control. The practical part deals with the design and implementation of the remote control and testing with car model.

Keywords

Remote control, inertial sensor, accelerometer, MEMS

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Použití inerciálních senzorů v praxi	12
1.1 Technologie MEMS	12
1.2 Použití akcelerometrů	12
1.2.1 Použití v automobilovém průmyslu.....	12
1.2.2 Použití ve spotřební elektronice	12
1.2.3 Použití v herních zařízeních	13
1.2.4 Detekce pádů	13
1.2.5 Použití v průmyslu.....	13
2 Akcelerometry	14
2.1 Rozdělení akcelerometrů	14
2.2 Princip kapacitního akcelerometru	14
2.3 Digitální akcelerometr	15
2.3.1 Popis jednotlivých částí digitálního akcelerometru.....	15
2.3.2 Popis funkce digitálního akcelerometru	16
2.4 Analogový akcelerometr	16
2.4.1 Popis jednotlivých částí analogového akcelerometru.....	17
2.4.2 Popis funkce analogového akcelerometru	17
2.4.3 Digitální akcelerometr Freescale MMA7455L	17
2.4.4 Digitální akcelerometr ST AIS328DQ	19
2.4.5 Digitální akcelerometr Analog Devices ADIS16210	20
2.4.6 Analogový akcelerometr Freescale MMA7360LC	21
2.4.7 Porovnání vybraných akcelerometrů	23
2.5 Možnosti řešení dálkového ovladače.....	23
2.6 Zvolený akcelerometr Freescale MMA7455L	23
2.6.1 Registry a nastavení.....	23
2.6.2 SPI	26
2.6.3 Zpracování měřených dat	27

3	Mikroprocesor ATmega 48.....	30
3.1	Základní vlastnosti.....	30
3.2	Sériová linka USART	31
3.3	Rozhraní SPI.....	35
3.4	Funkce a nastavení A/D převodníku	38
3.4.1	Výstup z A/D převodníku.....	41
3.5	Externí přerušení	41
3.6	ISP	42
4	Realizace dálkového ovladače	43
4.1	Schéma zapojení.....	43
4.2	Deska plošného spoje	44
4.3	Program pro mikroprocesor.....	45
4.4	Příklad použití dálkového ovladače.....	47
4.4.1	Vysílací souprava	47
4.4.2	Ovládaný model.....	49
	Závěr	52
	Citovaná literatura	53
	Přílohy na DVD.....	54

Seznam zkratek

PDA	Personal Digital Assistant
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
IO	Integrovaný obvod
I2C	Inter Integrated Circuit
USART	Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver and Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
MCU	Micro Controller Unit
VCC	Napájecí napětí
GND	Ground
DPS	Deska plošného spoje
LED	Light Emitting Diode
PWM	Pulse Width Modulation

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Princip kapacitního akcelerometru	14
Obrázek 2 – Blokové schéma digitálního akcelerometru Freescale MMA7455L	15
Obrázek 3 – Blokové schéma analogového akcelerometru Freescale MMA7360LC.....	16
Obrázek 4 – Pouzdro LGA 14 a rozložení pinů akcelerometru Freescale MMA7455L.....	18
Obrázek 5 – Pouzdro QFN24 a rozložení pinů akcelerometru ST AIS328DQ.....	19
Obrázek 6 – Pouzdro a rozložení pinů akcelerometru Analog Devices ADIS16210.....	21
Obrázek 7 – Pouzdro LGA14 a rozložení pinu akcelerometru Freescale MMA7360LC ...	22
Obrázek 8 – Komunikace akcelerometru po SPI	26
Obrázek 9 – Hodnoty výstupů v závislosti na poloze akcelerometru (osy X a Y).....	27
Obrázek 10 – Hodnoty výstupů v závislosti na poloze akcelerometru (osa Z).....	28
Obrázek 11 – Výpočet náklonu vůči směru tíhového zrychlení.....	29
Obrázek 12 - Mikroprocesor ATmega48 v pouzdře TQFP32.....	30
Obrázek 13 – Schéma zapojení USART	31
Obrázek 14 – Rozhraní SPI	36
Obrázek 15 – Zapojení A/D převodníku	38
Obrázek 16 – Návrh dálkového ovladače.....	43
Obrázek 17 – Deska plošného spoje.....	44
Obrázek 18 – Blokové schéma programu	45
Obrázek 19 – Osazená DPS dálkového ovladače.....	46
Obrázek 20 – Schéma stabilizátoru a propojky vysílače.....	47
Obrázek 21 – DPS stabilizátoru a vysílače.....	48
Obrázek 22 – osazená DPS stabilizátoru a vysílače	48
Obrázek 23 – Schéma ovládaného modelu	49
Obrázek 24 – DPS ovládaného modelu.....	49
Obrázek 25 – DPS v modelu	51
Obrázek 26 – Funkční zkompletovaný model s ovladačem.....	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Popis pinů akcelerometru Freescale MMA7455L.....	18
Tabulka 2 – popis pinů akcelerometru ST AIS328DQ.....	19
Tabulka 3 – Popis pinů akcelerometru Analog Devices ADIS16210	21
Tabulka 4 – Popis pinů akcelerometru Freescale MMA7360LC	22
Tabulka 5 – Registry akcelerometru MMA7455L	24
Tabulka 6 – Registr STATUS	25
Tabulka 7 – Registr MCTL	25
Tabulka 8 – Nastavení rozsahu akcelerometru.....	25
Tabulka 9 – Režimy měření	26
Tabulka 10 – Hodnoty výstupů v závislosti na velikosti zrychlení.....	28
Tabulka 11 – Registr UCSRnA	32
Tabulka 12 – Registr UCSRnB	33
Tabulka 13 – Registr UCSRnC	34
Tabulka 14 – Režimy USART	34
Tabulka 15 – Nastavení parity.....	34
Tabulka 16 – Nastavení datových rámců	35
Tabulka 17 – Registr SPCR.....	36
Tabulka 18 – Registr SPCR.....	37
Tabulka 19 – Nastavení děličky taktovacího signálu pro SPI.....	37
Tabulka 20 – Registr ADMUX	39
Tabulka 21 - Nastavení bitů MUX0-3.....	39
Tabulka 22 – Nastavení bitů REFS0-1	40
Tabulka 23 – Registr ADCSRA	40
Tabulka 24 – nastavení bitů ADPS0-2	40

Úvod

V dnešní uspěchané a moderní době už téměř není nikdo, kdo by se v životě nesetkal s inerciálními senzory v elektronice. Ať už o tom věděl, či nikoliv a zda vůbec věděl, co to inerciální senzor je.

Nejprve je potřeba říci, co znamená pojem inerciální. Inerciální vztažná soustava je pojem z fyziky. Označuje soustavu, ve které platí 1. Newtonův pohybový zákon, tedy ve srozumitelné podobě platí, že „Těleso setrvává v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, není-li nuceno vnějšími silami tento stav změnit.“ Z tohoto zákona vyplývá, že inerciální soustava je taková soustava, jejíž části se vůči sobě nepohybují. Celá soustava se pohybovat může, avšak s nulovým zrychlením, kdy na ní nepůsobí žádné vnější síly.

A nyní k pojmu inerciální senzor. Inerciální senzor je také vztažná soustava, která se používá k měření vnějších sil ovlivňujících pohyb celé této soustavy. Je tedy schopná měřit velikosti těchto nekompenzovaných sil, které představují zrychlení – akceleraci, proto se těmto systémům říká akcelerometry. Z principu tento senzor nenaměří nic, pokud je v klidu, nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu a nepůsobí na něj žádné síly, například v kosmu. (Wikipedie, 2013)

Tyto senzory se vyrábějí s různou citlivostí pro různá nasazení od akcelerometrů měřících vysoká zrychlení a přetížení až po akcelerometry, které jsou schopné s vysokou přesností měřit změny velikosti gravitačního zrychlení. Lze je tedy použít i pro detekci naklonění systému vůči směru působení gravitačního zrychlení. Tyto akcelerometry se v poslední době dostávají do spotřební elektroniky, právě díky miniaturizaci a výrobě technologií MEMS.

Ve své práci se zabývám přehledem použití akcelerometrů v elektronice, se kterou se setkáváme každý den. Dále zde uvádím základní principy a rozdělení akcelerometrů podle způsobů vyhodnocování naměřených dat, popisem několika akcelerometrů od různých výrobců a jejich srovnáním.

Samotná práce také popisuje návrh dálkového ovladače s vybraným inerciálním senzorem, detailně popisuje všechny použité součástky, jejich periferie, funkce a nastavení, která jsou důležitá pro oživení a správnou funkci desky dálkového ovladače v praxi.

Na konci práce je uveden i příklad použití navrženého dálkového ovladače v praxi.

1 Použití inerciálních senzorů v praxi

1.1 Technologie MEMS

Pojem MEMS obecně znamená Mikro-Elektronicko-Mechanický systém, tedy systém, který kombinuje elektronickou a mechanickou část na jednom integrovaném obvodu. IO se skládá z mechanického senzoru, který převádí vstupní veličinu na elektrickou a dále obsahuje elektroniku ke zpracování, zesílení, filtraci a úpravě pro další zpracování. Odpadá tedy nutnost zapojovat kromě senzoru ještě vyhodnocovací, zesilovací a filtrační obvody, což značně snižuje cenu a nároky na prostor pro celé řešení. Senzorem snímané veličiny mohou být například tlak, zvuk, světlo, ale i magnetické pole nebo teplota. Příkladem těchto systémů jsou akcelerometry nebo gyroskopy, používané ke snímání náklonů, zrychlení nebo vibrací. (Wikipedie, 2013), (Husák, 2008)

1.2 Použití akcelerometrů

Jak již bylo řečeno, akcelerometry jsou součástky, které se používají ke snímání náklonů, zrychlení nebo vibrací. Princip a rozdělení funkce akcelerometrů jsou popsány v kapitole 2. V praxi se používají v celé řadě odvětví, jako například v automobilovém průmyslu, v mobilních telefonech, navigacích, herních zařízeních, tabletech či ve zdravotnictví.

1.2.1 Použití v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu se akcelerometry používají hlavně v bezpečnostních systémech pro měření nárazů v elektronických řídicích jednotkách pro vystřelování airbagů. Taková jednotka zpravidla obsahuje jeden nebo dva akcelerometry, kde první měří zrychlení v přímém směru pro detekci čelního nárazu a druhý měří zrychlení v příčném směru pro detekci bočního nárazu. Na základě dat získaných z akcelerometrů jsou vystřelovány airbasy buď přední, nebo boční, případně oboje.

Jako další příklad použití v automobilovém průmyslu lze uvést komfortní bezpečnostní systém nouzového brzdění, kdy při určité intenzitě zpomalení vozidla dochází k automatickému zapnutí výstražných světel.

1.2.2 Použití ve spotřební elektronice

V dnešní době se s akcelerometry setkáváme téměř v každé „chytré“ elektronice. Příkladem je použití v mobilních telefonech, kde se většinou používá 3D akcelerometr (měří všechny tři osy X, Y, Z). Tímto senzorem se řídí automatické naklápění displeje v závislosti na natočení vůči zemi. Akcelerometr tedy musí být velmi citlivý, aby dokázal změřit tíhové zrychlení země. V mobilních telefonech dokáží akcelerometr využívat i aplikace. Dobrým příkladem mohou být hry, kdy se nakláněním přístroje ovládá kulička na šikmé ploše, nebo rolování v seznamu podle naklonění přístroje. V nejnovějších přístrojích se akcelerometry používají i k detekci poklepu na displej, kdy se například charakteristickým poklepáním telefon odemkne. Podobně se akcelerometry používají i PDA, tabletech a jiných kapesních zařízeních.

Akcelerometry se také používají ve fotoaparátech pro stabilizaci obrazu a videa, v krokoměrech k měření pohybu a vzdálenosti, ke stabilizaci robotů, atd.

1.2.3 Použití v herních zařízeních

Příkladem použití může být herní konzole Wii a její dálkový ovladač Wii remote. Tento ovladač obsahuje 3D akcelerometr, který přesně snímá pohyb ruky hráče a v kombinaci s kamerou dokáže přesně určit polohu hráče před obrazovkou. K Wii remote lze připojit zařízení Nunchuck, které také obsahuje akcelerometr pro měření směru a rychlosti pohybu. Pomocí těchto zařízení lze pohodlně ovládat hry a simulovat tak spoustu činností, jako například natahování luku, ovládání volantu, boxování, hraní golfu, ale i šlapání na kole, nebo míření zbraní. Jako další příslušenství se dodává tzv. Wii Balance Board, což je podložka, která obsahuje množství tlakových senzorů a pomocí měření pozice hráče na podložce snímá náklony těla, přenášení váhy a pohyby nohou. Konzoli lze tedy využít s vhodnou aplikací i ke cvičení. (Wikipedie, 2013)

1.2.4 Detekce pádů

Další příklad použití je v noteboocích v řídicí elektronice pevného disku, kdy při prudším pohybu, nebo pádu, dochází k odklonění raménka s hlavičkou z plotny disku, aby nedošlo k nárazu hlavičky na plotnu roztočeného pevného disku a k jeho následnému poškození. V tomto případě musí být elektronika velmi rychlá a musí zareagovat ještě před případným nárazem zařízení do překážky.

1.2.5 Použití v průmyslu

V těžkém průmyslu se akcelerometry využívají především k měření vibrací strojů, nebo jejich částí. U velkých pohyblivých strojů je měření velmi důležité, neboť při poruše některých těžkých částí stroje může dojít k totální havárii a zranění osob. Případné včasné upozornění na závady je proto nezbytné.

2 Akcelerometry

2.1 Rozdělení akcelerometrů

Z hlediska principu se akcelerometry rozdělují na piezoelektrické, piezoresistivní, tepelné a kapacitní. Z hlediska měření je můžeme rozdělit na jednoosé a víceosé (dvou až tří). Z hlediska výstupu a zpracování dat je dělíme na digitální a analogové. V další části jsou popsány pouze akcelerometry kapacitní. (Schimitzek, 2011), (Lachnit, 2007)

2.2 Princip kapacitního akcelerometru

Princip akcelerometru popisuje obrázek 1, který reprezentuje snímač jedné osy. Při pohybu ve směrech šipek dochází ke změnám kapacit dvou kondenzátorů. Boční elektrody jsou pevné, zatímco prostřední elektroda se pohybuje v závislosti na velikosti akcelerace. Snímač vychází ze známé rovnice pro výpočet kapacity:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{l} \quad (2.1)$$

Kde C – je počítaná kapacita

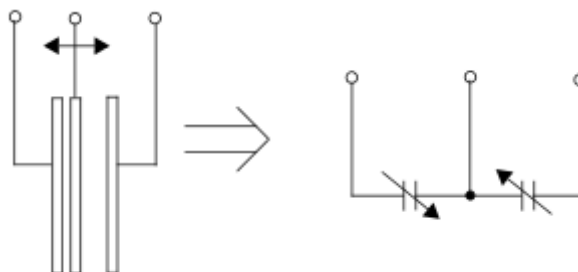
ε_0 – je permitivita vakua $8,854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$

ε_r – je relativní permitivita

S – je plocha desek

l – je vzdálenost desek

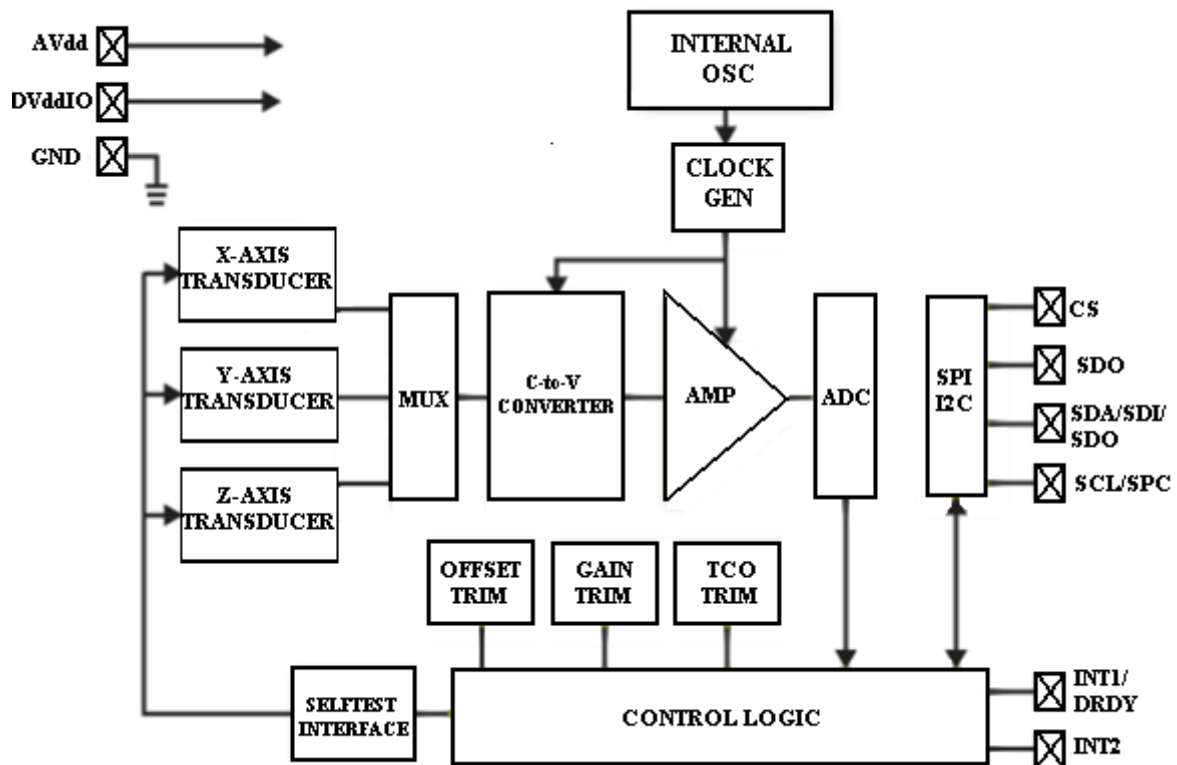
Velikost kapacity je převedena na elektrickou veličinu (napětí) a dále vyhodnocena a případně upravena řídicí logikou senzoru. Tříosý akcelerometr se skládá ze třech takovýchto akcelerometrů umístěným konstrukčně tak, aby každý snímal jiný směr.



Obrázek 1 – Princip kapacitního akcelerometru

2.3 Digitální akcelerometr

Je akcelerometr s digitálním výstupem. Počet výstupních pinů nezávisí na počtu snímaných os akcelerometrem. Snímač se připojuje přes digitální rozhraní (například SPI) a data se z něj získávají z registrů pomocí příkazů. Princip akcelerometru popisuje blokové schéma na obrázku 2. Všechny informace o digitálním akcelerometru jsou čerpány z (Freescale, 2009).



Obrázek 2 – Blokové schéma digitálního akcelerometru Freescale MMA7455L

2.3.1 Popis jednotlivých částí digitálního akcelerometru

Popis bloků akcelerometru MMA7455L z obrázku 2. Jednotlivé výstupní piny akcelerometru jsou popsány v kapitole 2.5.1, viz obsah.

- X – axis Transducer – Blok pro měření osy X
- Y – axis Transducer – Blok pro měření osy Y
- Z – axis Transducer – Blok pro měření osy Z
- MUX – multiplexor
- C-to-V CONVERTER – Převodník kapacita – napětí
- AMP – zesilovač signálu
- ADC – Analog/Digitál převodník
- CLOCK GEN – generátor hodinových pulzů

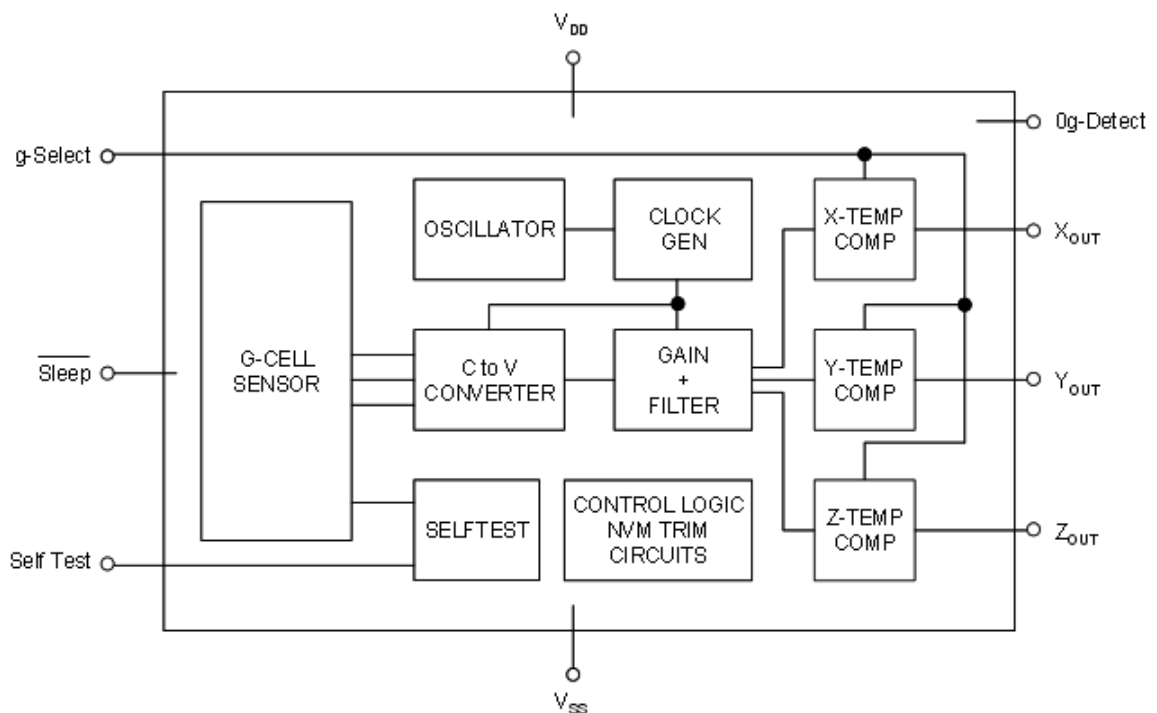
- INTERNAL OSC – integrovaný oscilátor
- CONTROL LOGIC – obvody pro zpracování dat a řízení snímače
- OFFSET TRIM – obvody pro nastavení offsetu
- GAIN TRIM – obvody pro zesílení
- TCO TRIM – obvody pro teplotní kompenzaci
- SELFTEST INTERFACE – obvody pro vlastní testování funkčnosti
- SPI/I2C – výstupní obvody (registry)

2.3.2 Popis funkce digitálního akcelerometru

Z blokového schématu (obrázek 2) je zřejmá funkce akcelerometru. Pro každou osu akcelerometru je zde kapacitní snímač. Jeho výstup směřuje do multiplexoru, který přepíná jednotlivé osy střídavě do převodníku kapacita/napětí. Toto napětí je dále zesíleno a přivedeno do Analog/Digital převodníku, kde je převedeno na posloupnost čísel. Tato data nadále zpracovává kontrolní logika, která data upravuje a kompenzuje tak teplotní zkreslení, upravuje data podle nastavené citlivosti, zesiluje a uvažuje offset. Tato data lze pak vyčíst po digitální lince SPI nebo I2C. Celý obvod je řízen vlastním oscilátorem.

2.4 Analogový akcelerometr

Je akcelerometr s jednoduchým analogovým výstupem, kde každá osa, (např. X, Y, Z), má samostatný výstupní pin, na kterém jsou data z jednotlivých měřicích členů neustále dostupná. Princip akcelerometru popisuje schéma na obrázku 3. Všechny informace o analogovém akcelerometru jsou čerpány z (Freescale, 2007).



Obrázek 3 – Blokové schéma analogového akcelerometru Freescale MMA7360LC

2.4.1 Popis jednotlivých částí analogového akcelerometru

Popis částí akcelerometru z obrázku 3. Jednotlivé výstupní piny akcelerometru jsou popsány v kapitole 2.5.4, viz obsah.

- G-CELL SENSOR – senzory pro osy X,Y a Z
- OSCILLATOR – integrovaný oscilátor
- CLOCK GEN – generátor hodinových pulzů
- C to V CONVERTER – převodník kapacita/napětí
- GAIN + FILTER – filtrační a kompenzační obvody
- SELFTTEST – obvody pro testování funkčnosti
- CONTROL LOGIC/NVM TRIM CIRCUITS – řídicí obvody
- X-TEMP COMP – obvod pro teplotní kompenzaci X osy
- Y-TEMP COMP – obvod pro teplotní kompenzaci Y osy
- Z-TEMP COMP – obvod pro teplotní kompenzaci Z osy

2.4.2 Popis funkce analogového akcelerometru

V senzoru jsou pro každou osu kapacitní snímače, jejichž výstup je přiváděn do převodníku kapacita/napětí. Tento signál je dále filtrován a zesílen. Dále už je pro každou osu zvlášť kompenzační obvod, který zajišťuje teplotní kompenzaci a upravuje výstupní data podle zvoleného měřicího rozsahu senzoru. Řídicí obvody jsou zde hlavně kvůli nastavování Sleep módu, iniciaci testování funkčnosti a nastavení příznaku pádu „0g-Detect“. Obvod je řízen vlastním oscilátorem a generátorem hodinových pulzů.

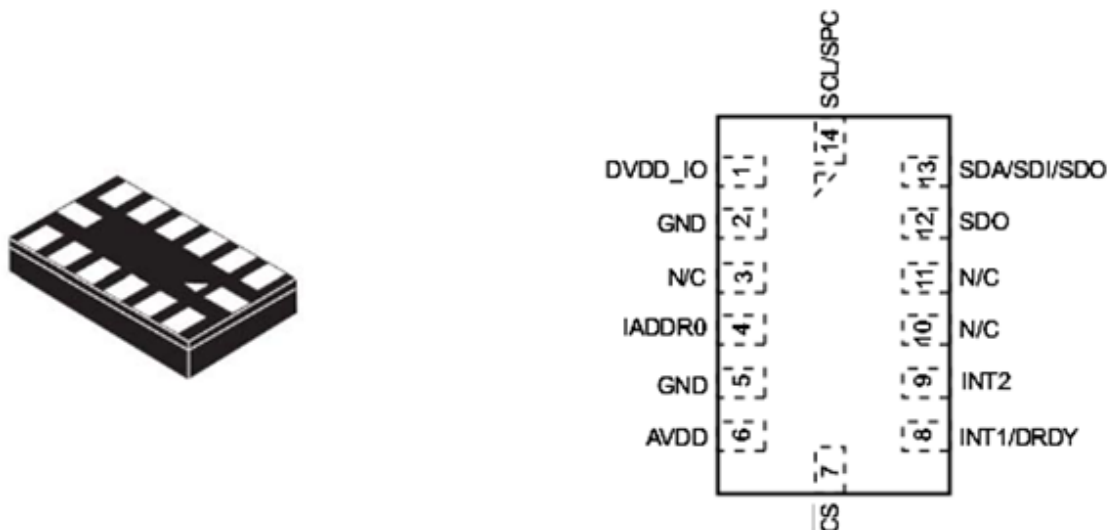
2.4.3 Digitální akcelerometr Freescale MMA7455L

Tento akcelerometr se vyznačuje malými rozměry a nízkou cenou. Jeho typické nasazení je v mobilních telefonech, navigacích, PDA, noteboocích, Pevných discích, atd. Informace o tomto akcelerometru jsou čerpány z (Freescale, 2009).

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí 2,4-3,6V
- Pracovní rozsah teplot -40 až +85°C
- Teplotní kompenzace
- Vlastní testování
- 3 osy
- StandBy mód pro úsporu energie
- Pouzdro LGA 14 (3 mm x 5 mm x 1mm)
- Digitální výstup SPI nebo I2C
- Citlivost $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ v 8bitovém režimu
- Registry pro kalibraci offsetu (z výroby přednastaveno)
- Programovatelné přerušení INT1 a INT2
- Odolnost až 5000g

Popis jednotlivých pinů



Obrázek 4 – Pouzdro LGA 14 a rozložení pinů akcelerometru Freescale MMA7455L

Popis jednotlivých pinů vyjadřuje následující tabulka.

Tabulka 1 – Popis pinů akcelerometru Freescale MMA7455L

PIN	Název PINu	Funkce
1	DVDD_IO	Digitální napájení
2	GND	Zem
3	N/C	Nezapojeno
4	IADDR0	I2C adresní bit 0
5	GND	Zem
6	AVDD	Analogové napájení
7	CS	SPI (0)/ I2C (1)
8	INT1/DRDY	Přerušeni 1/ Data Ready
9	INT2	Přerušeni 2
10	N/C	Nezapojeno
11	N/C	Nezapojeno
12	SDO	SPI výstup
13	SDA/SDI/SDO	I2C data(SDA)/SPI vstup(SDI)/ 3-vodičová linka(SDO)
14	SCL/SPC	I2C hodiny(SCL)/SPI hodiny(SPC)

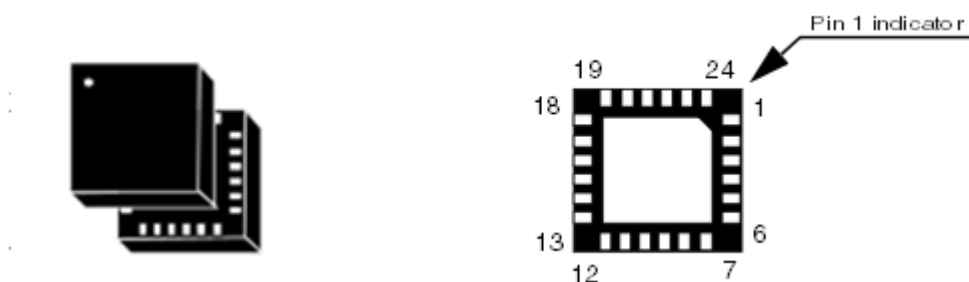
2.4.4 Digitální akcelerometr ST AIS328DQ

Tento akcelerometr se vyznačuje velice nízkou spotřebou, velkou odolností, a přesností měření. Používá se v černých skříňkách, zabezpečovacích zařízeních, pro měření náklonů, vibrací atd. Informace o tomto akcelerometru jsou čerpány z (ST, 2012).

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí 2,4-3,6V
- Pracovní rozsah teplot -40 až +105°C
- Vlastní testování
- 3 osy
- Ultra low power mód pro úsporu energie (méně než 10 μ A)
- Pouzdro QFN 24 (4 mm x 4 mm x 1,8 mm)
- Digitální výstup SPI nebo I2C
- Citlivost $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ v 16bitovém režimu
- Programovatelné přerušení INT1 a INT2
- Vysoká odolnost až 10000g

Popis jednotlivých pinů



Obrázek 5 – Pouzdro QFN24 a rozložení pinů akcelerometru ST AIS328DQ

Popis jednotlivých pinů vyjadřuje následující tabulka.

Tabulka 2 – popis pinů akcelerometru ST AIS328DQ

PIN	Název PINu	Funkce
1	NC	Nezapojeno
2	NC	Nezapojeno
3	INT_2	Přerušení 2
4	Reserved	Zem
5	VDD	Napájení
6	GND	Zem
7	INT_1	Přerušení 1
8	GND	Zem

9	GND	Zem
10	GND	Zem
11	SPC/SPL	SPI hodiny(SPC)/I2C hodiny(SCL)
12	CS	SPI zapnuto(0)/I2C zapnuto(1)
13	Reserved	Napájení
14	VDD_IO	Difitální napájení
15	SDO/SA0	SPI výstup(SDO)/I2C adresní bit(SA0)
16	SDI/SDO/SDA	SPI vstup(SDI)/I2C data(SDA) 3-vodičová linka (SDO)
17	NC	Nezapojeno
18	NC	Nezapojeno
19	NC	Nezapojeno
20	NC	Nezapojeno
21	NC	Nezapojeno
22	NC	Nezapojeno
23	NC	Nezapojeno
24	NC	Nezapojeno

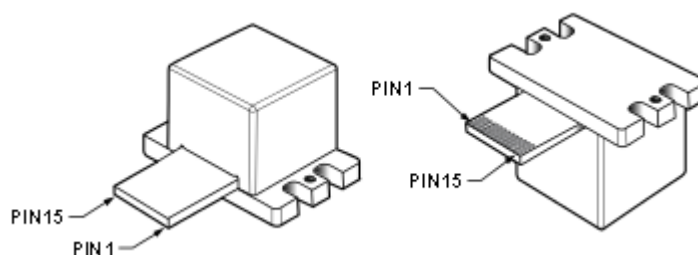
2.4.5 Digitální akcelerometr Analog Devices ADIS16210

Tento akcelerometr se vyznačuje poměrně velkým pouzdem s konektorem – odpadá tedy nutnost pájení. Dále se vyznačuje vyšší pracovní teplotou až +125°C. Používá se k měření náklonů, ve zdravotní a bezpečnostní technice, atd. Informace o tomto akcelerometru jsou čerpány z (Analog Devices, 2011).

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí 3-3,6V
- Pracovní rozsah teplot -40 až +125°C
- Vlastní testování
- 3 osy
- Funkce pro úsporu energie
- Teplotní kompenzace
- Pouzdro s konektorem (15 mm x 24 mm x 15 mm)
- Digitální výstup SPI
- Citlivost ±1,7g
- odolnost až 3500g

Popis jednotlivých pinů



Obrázek 6 – Pouzdro a rozložení pinů akcelerometru Analog Devices ADIS16210

Popis jednotlivých pinů vyjadřuje následující tabulka.

Tabulka 3 – Popis pinů akcelerometru Analog Devices ADIS16210

PIN	Název PINu	Funkce
1	VDD	Napájení
2	VDD	Napájení
3	GND	Zem
4	GND	Zem
5	GND	Zem
6	DNC	Nezapojeno
7	DIO 2	Digitální vstup/výstup linka 2
8	GND	Zem
9	DNC	Nezapojeno
10	RST	Reset
11	DIN	SPI vstup
12	DOUT	SPI výstup
13	SCLK	SPI hodiny
14	CS	Chip select
15	DIO 1	Digitální vstup/výstup linka 1

2.4.6 Analogový akcelerometr Freescale MMA7360LC

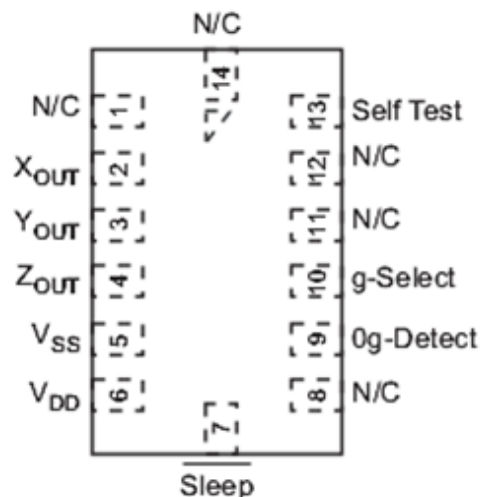
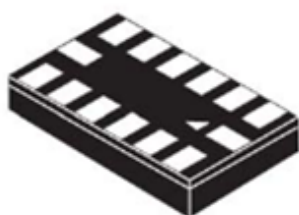
Tento akcelerometr se vyznačuje svými rozměry a nízkou cenou. Používá se v pevných discích a laptotech pro detekci pádu, v mobilních telefonech, navigacích pro přetočení displeje atd. Informace o tomto akcelerometru jsou čerpány z (Freescale, 2007).

Základní vlastnosti:

- Napájecí napětí 2,2-3,6V
- Pracovní rozsah teplot -40 až +85°C
- Teplotní kompenzace

- Vlastní testování pro detekci pádu
- 3 osy
- Spotřeba pouze 400 μ A, Sleep mód
- Pouzdro LGA 14 (3 mm x 5 mm x 1mm)
- Analogový výstup
- Citlivost $\pm 1,5g/\pm 6g$
- Odolnost až 5000g

Popis jednotlivých pinů



Obrázek 7 – Pouzdro LGA14 a rozložení pinů akcelerometru Freescale MMA7360LC

Popis jednotlivých pinů vyjadřuje následující tabulka.

Tabulka 4 – Popis pinů akcelerometru Freescale MMA7360LC

PIN	Název PINu	Funkce
1	N/C	Nezapojeno
2	X _{OUT}	Výstupní napětí osy X
3	Y _{OUT}	Výstupní napětí osy Y
4	Z _{OUT}	Výstupní napětí osy Z
5	V _{SS}	GND
6	V _{DD}	Napájení
7	Sleep	Logický vstup pro zapnutí SLEEP módu
8	N/C	Nezapojeno
9	0g Detect	Výstup pro detekce volného pádu
10	g-Select	Logický vstup pro výběr citlivosti
11	N/C	Nezapojeno
12	N/C	Nezapojeno
13	Self Test	Vstup pro zapnutí testu akcelerometru
14	N/C	Nezapojeno

2.4.7 Porovnání vybraných akcelerometrů

Každý z akcelerometrů má svoje výhody a nevýhody. Největší výhodou akcelerometru od Analog Devices je, že se nemusí pájet a je připojen konektorem. To má výhodu v případě poruchy, kdy ho stačí pouze vyměnit kus za kus. Další výhodou je zvýšená teplotní odolnost, což však pro nasazení v dálkovém ovladači nemá smysl. Jinak ale u tohoto akcelerometru nelze nastavit citlivost, nemá výstupy pro přerušení, je poměrně veliký a má za všech akcelerometrů nejnižší odolnost.

Akcelerometr od ST se vyznačuje hlavně vysokou odolností a velkou přesností díky 16bitovému výstupu. Zároveň má velmi malou spotřebu. Lze ho nastavit na tři úrovně citlivosti. Jeho jedinou nevýhodou je vyšší cena a také nemá teplotní kompenzaci. Z hlediska porovnání uvedených akcelerometrů je nejlepší, ale pro použití v dálkovém ovladači je zbytečně výkonný.

Akcelerometr od Freescale je rozumným kompromisem mezi porovnávaným akcelerometry. Lze ho také nastavit na tři úrovně citlivosti, jeho přesnost je dostatečná a jeho největší výhodou je nízká cena.

Analogový akcelerometr má podobné vlastnosti jako digitální akcelerometr Freescale. Lze ho nastavit pouze na dva rozsahy, nemá výstupy přerušení a jeho výstup je analogový.

2.5 Možnosti řešení dálkového ovladače

Dálkový ovladač lze řešit dvěma způsoby. První způsob je použití digitálního akcelerometru a jeho připojení k mikroprocesoru pomocí rozhraní I2C, nebo SPI. Toto řešení je jednodušší na konstrukci a program pro mikroprocesor. Druhý způsob je použití analogového akcelerometru a jeho připojení k procesoru pomocí tří A/D převodníků pro každou osu zvlášť. Toto řešení je náročnější na programování mikroprocesoru a vyžaduje použití převodníků. V dnešní době jsou analogové i digitální akcelerometry cenově na stejné úrovni a vzhledem k rozšířeným možnostem nastavení digitálního akcelerometru a jednoduchosti programování padá volba na digitální akcelerometr Freescale MMA7455L.

2.6 Zvolený akcelerometr Freescale MMA7455L

2.6.1 Registry a nastavení

Základní vlastnosti tohoto akcelerometru jsou popsány v kapitole 2.5.1, viz obsah. Tento akcelerometr obsahuje celou řadu datových, stavových a nastavovacích registrů, kterých je v akcelerometru celkem 32, viz tabulka 5. Dále jsou popsány nejdůležitější registry pro nastavení akcelerometru k použití v dálkovém ovladači. Informace o tomto akcelerometru jsou čerpány z (Freescale, 2009).

Tabulka 5 – Registry akcelerometru MMA7455L

Adresa (Dekadicky)	Název	Popis funkce
0	XOUTL	10bitová naměřená hodnota osy X
1	XOUTH	
2	YOUTL	10bitová naměřená hodnota osy Y
3	YOUTH	
4	ZOUTL	10bitová naměřená hodnota osy Z
5	ZOUTH	
6	XOUT8	8bitová naměřená hodnota osy X
7	YOUT8	8bitová naměřená hodnota osy Y
8	ZOUT8	8bitová naměřená hodnota osy Z
9	STATUS	Stavový registr
10	DETSRC	Detekce úrovní
11	TOUT	Registr pro měření teploty
12	-	Nevyužito
13	I2CAD	Adresa na rozhraní I2C
14	USRINF	Informace o uživateli
15	WHOIAM	Tzv. „Kdo jsem“ registr
16	XOFFL	11bitová hodnota pro korekci offsetu osy X
17	XOFFH	
18	YOFFL	11bitová hodnota pro korekci offsetu osy Y
19	YOFFH	
20	ZOFFL	11bitová hodnota pro korekci offsetu osy Z
21	ZOFFH	
22	MCTL	Nastavení režimu měření
23	INTRST	Reset přerušení
24	CTL1	Kontrolní registr 1
25	CTL2	Kontrolní registr 2
26	LDTH	Limitní hodnota pro detekci úrovně
27	PDTH	Limitní hodnota pro detekci pulsu
28	PW	Doba trvání pulsu
29	LT	Latence
30	TW	Doba trvání druhého pulsu
31	-	Nevyužito

Akcelerometr lze využít pro měření jednotlivých os s přesností 10, nebo 8 bitů. Lze také zvolit, které osy budou měřeny, jak bude akcelerometr komunikovat s okolními zařízeními, zda bude nastavovat příznaky přerušení, nebo v jakém režimu bude měřit. Lze nastavit 3 režimy měření (Měřicí, detekce definované úrovně, detekce definovaného pulsu). Pro

dosažení vysoké přesnosti měření lze také nastavit 11bitové offsetové registry, pro korekci konstrukčních chyb. Některé nejdůležitější registry jsou popsány dále.

Registr STATUS

Tabulka 6 – Registr STATUS

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	-	-	-	-	-	PERR	DOVR	DRDY

- Bit PERR slouží k signalizaci paritní chyby v datech. Pokud je zapnutá funkce self-test a dojde k chybě výpočtu parity, bit se nastaví do log. 1.
- Bit DOVR se nastaví do log. 1, pokud došlo k přepsání dat ve výstupních registrech.
- Bit DRDY slouží k signalizaci dat připravených k vyčtení. Pokud je bit v log. 1, data jsou připravena k vyčtení.

Registr MCTL

Tabulka 7 – Registr MCTL

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	-	DRPD	SPI3W	STON	GLVL[1]	GLVL[0]	MODE [1]	MODE [0]

- Bit DRPD slouží k nastavení signalizace připravených dat na výstup INT1. V případě log. 0 je po dokončení zápisu dat do výstupních registrů na pinu INT1/DRDY log. 1.
- Bit SPI3W slouží k nastavení režimu SPI komunikace. Log. 0 nastavuje SPI 4vodičové, zatímco log. 0 3vodičové.
- Bit STON zapíná funkci self-test. Pokud je bit v log. 1, self-test je aktivní.
- Bity GLVL nastavují rozsah měření akcelerometru podle následující tabulky.

Tabulka 8 – Nastavení rozsahu akcelerometru

GLVL1.0	Rozsah	Citlivost pro 8 bitů
00	8g	16 úrovní/g
01	2g	64 úrovní/g
10	4g	32 úrovní/g

- Bity MODE nastavují režim měření podle následující tabulky.

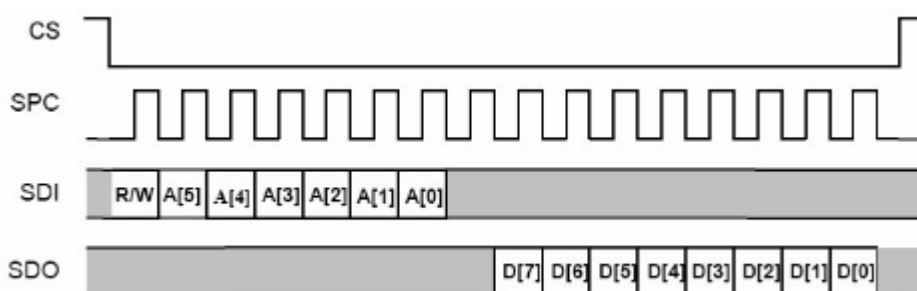
Tabulka 9 – Režimy měření

MODE1..0	Režim
00	Standby
01	Měřicí režim
10	Detekce úrovně
11	Detekce pulzu

V dálkovém ovladači je akcelerometr nastaven v měřicím režimu. Popis dalších registrů nastavujících režimy pro detekce úrovně, nebo detekce pulzů už tedy není nutný.

2.6.2 SPI

Rozhraní SPI akcelerometru umí pracovat ve 4vodičovém, nebo 3vodičovém režimu. Komunikace se zahajuje změnou logické úrovně na vstupu CS z log. 1 do log. 0 s rychlostí podle taktovacího signálu na vstupu SPC. Akcelerometr tedy pracuje v režimu SLAVE. Datový rámec je 8bitový. Bit MSB určuje, zda se jedná o čtení (log. 0), nebo zápis (log. 1) do registru. Poté následuje 6bitová adresa registru a bit LSB je log. 0. Průběh komunikace ve 4vodičovém režimu zobrazuje obrázek 8.



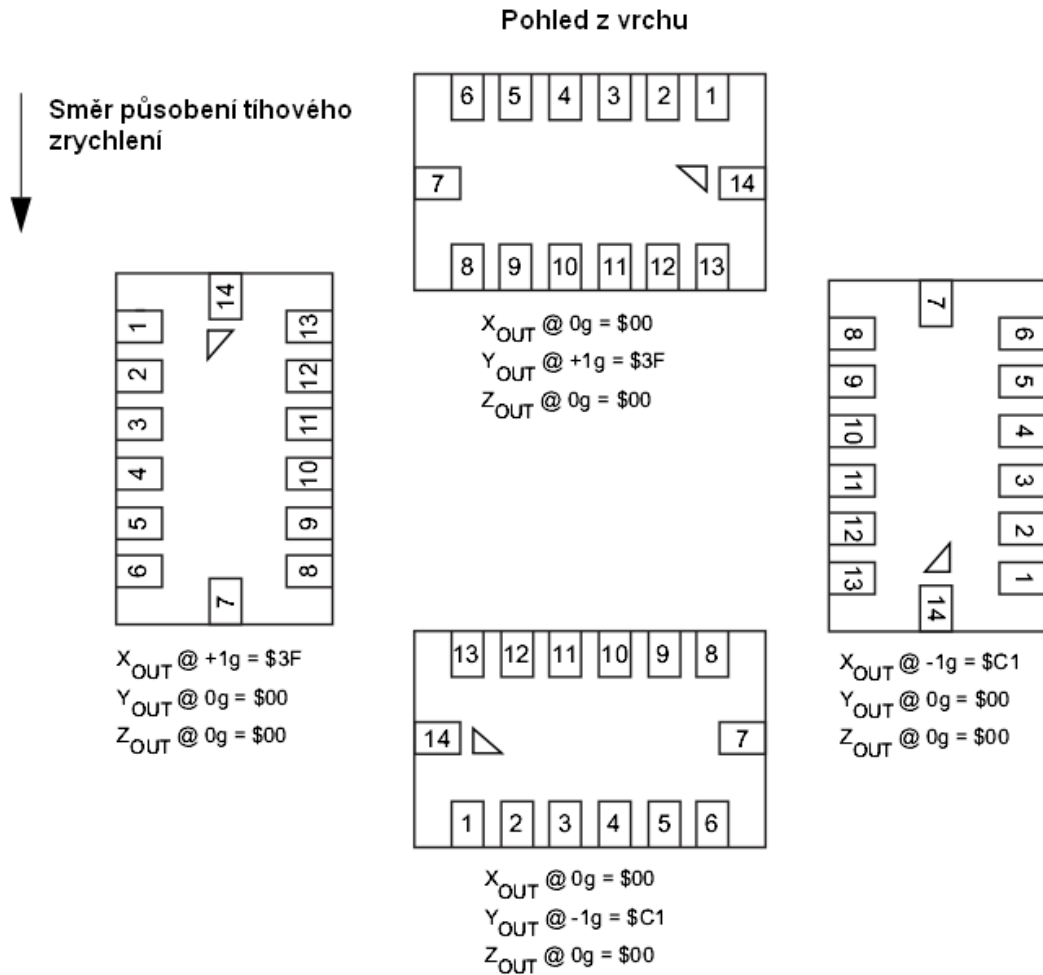
Obrázek 8 – Komunikace akcelerometru po SPI

Z diagramu je vidět, že akcelerometr reaguje na sestupnou hranu taktovacího signálu a klidová úroveň na vodiči SPC je log. 0. Podle těchto skutečností je tedy nutné správně nastavit rozhraní SPI na mikroprocesoru. Dále je vidět, že v případě vyčítání registru je nutné odeslat 16 taktů, tedy na rámec s adresou registru akcelerometr odpoví až při odesílání dalšího rámce z procesoru. Je tedy nutné odeslat prázdný rámec, nebo samé log. 1, což je vhodnější, protože registr s adresou 0b111111 akcelerometr neobsahuje.

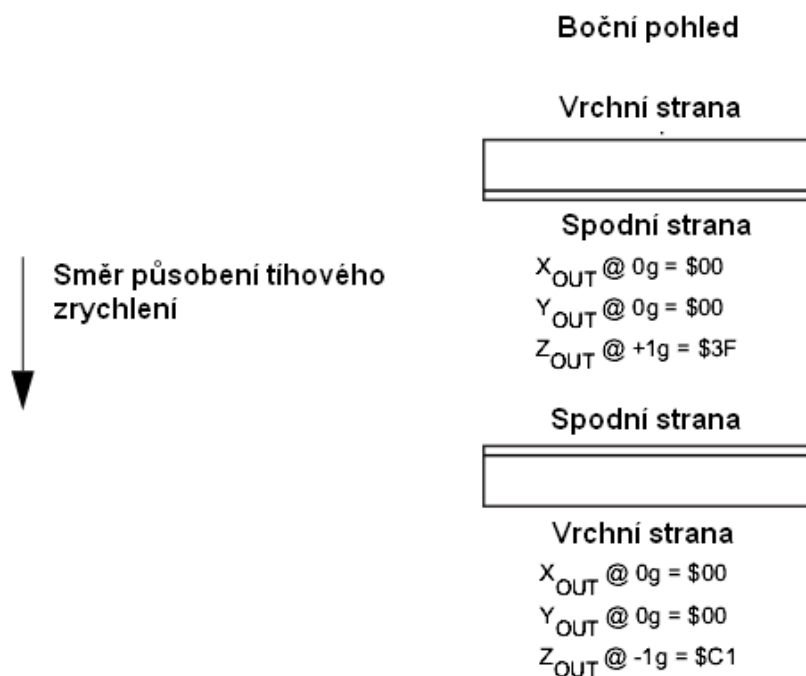
Při nastavování některého registru v akcelerometru lze poslat rovnou dva rámce za sebou. První rámec obsahuje bit MSB čtení/zápis, dále adresu a bit LSB log. 0. Po tomto rámci akcelerometr očekává data, která budou zapsána do příslušného registru. Druhý rámec tedy obsahuje 8 bitů dat. Vzhledem k tomu, že SPI zároveň vysílá i přijímá, odesílá akcelerometr do mikroprocesoru log. 0.

2.6.3 Zpracování měřených dat

Akcelerometr je nastaven na rozsah $\pm 2g$. Pro získávání dat jsou použity 8bitové registry. Pro každou osu je tedy k dispozici 256 hodnot, což je dostačující přesnost pro použití v dálkovém ovladači. Výstupní hodnoty registrů jednotlivých snímaných os demonstrují následující obrázky.



Obrázek 9 – Hodnoty výstupů v závislosti na poloze akcelerometru (osy X a Y)



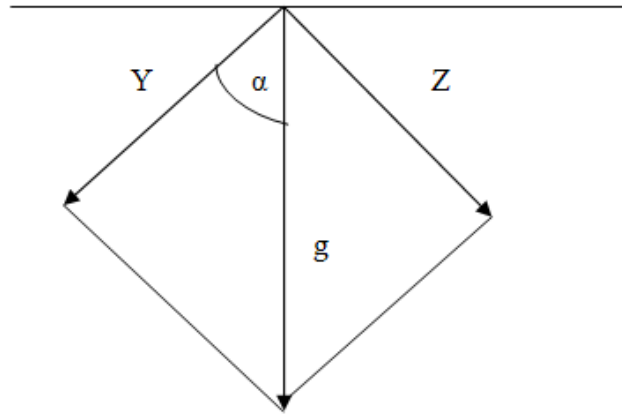
Obrázek 10 – Hodnoty výstupů v závislosti na poloze akcelerometru (osa Z)

Pro úplnost výstupní hodnoty 8bitových registrů popisuje ještě následující tabulka.

Tabulka 10 – Hodnoty výstupů v závislosti na velikosti zrychlení

Zrychlení	Výstup (Hexadecimálně)	Výstup (Dekadicky)
+0g	0x00	0
1g	0x3f	63
2g	0x7f	127
-2g	0x80	128
-1g	0xc1	193
-0g	0xff	255

Z tabulky je zřejmé, že ke snímání náklonu (rozsah 0-1g) je k dispozici 128 využitelných hodnot pro každou osu. Protože jsou však všechny osy použity v obou směrech, je k dispozici 64 hodnot pro každý směr. Rozsah 0-63 tedy reprezentuje velikost zrychlení 0-1g, resp. 0-(-1)g. Ze dvou naměřených hodnot (osy XZ a YZ) se vypočítá úhel naklonění vůči směru tíhového zrychlení. Úvahu pro výpočet úhlu popisuje obrázek 11.



Obrázek 11 – Výpočet náklonu vůči směru tíhového zrychlení

Protože mezi osami Y a Z platí, že úhel, který mezi sebou svírají, bude vždy 90° , pak platí:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{Z}{Y}\right) \quad (2.2)$$

Z této rovnice pak lze vypočítat úhly náklonu os Y a X vůči směru tíhového zrychlení g.

3 Mikroprocesor ATmega 48

Pro realizaci samotného ovladače jsou nutné pouze dvě klíčové součástky a to mikroprocesor a akcelerometr. Použitý akcelerometr je od firmy Freescale, konkrétně MMA7455L viz kapitola 2.4.3 a kapitola 2.6. Pro získávání a zpracování dat měřených akcelerometrem tak už zbývá pouze vybrat vhodný mikroprocesor. Informace o všech perifériích a registrech jsou čerpány z (Atmel, 2011).

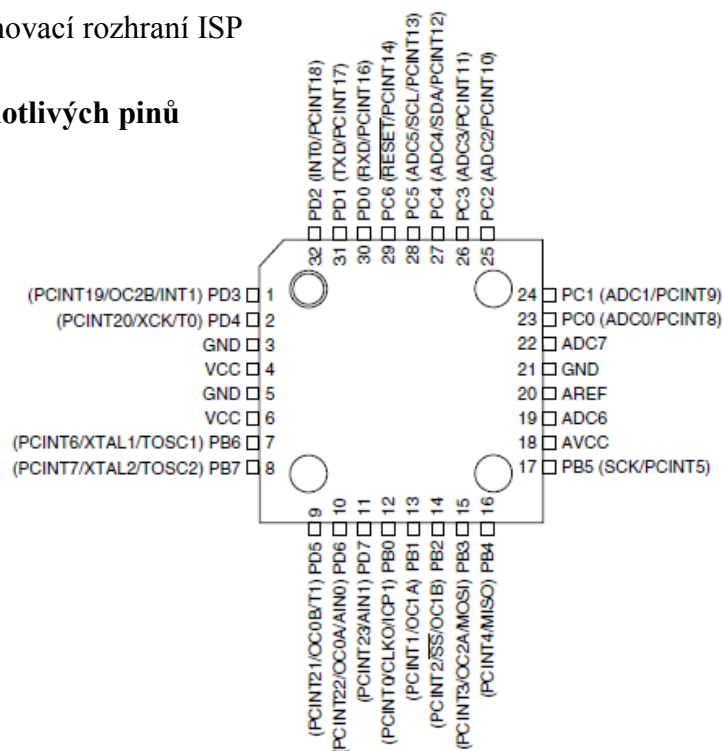
3.1 Základní vlastnosti

Pro návrh obvodu dálkového ovladače byl zvolen mikroprocesor od firmy Atmel založený na architektuře RISC s 32 nezávislými registry, konkrétně ATmega48.

Základní vlastnosti:

- 4kB FLASH paměť pro program
- 512B RAM
- 256B EEPROM
- 2 x 8bit a 1x 16bit čítač/časovač
- 6 x PWM
- 8 x 10bit A/D převodník
- Sériová linka USART
- SPI, TWI (I2C)
- Integrovaný kalibrovatelný RC oscilátor
- 23 I/O portů
- Pouzdro TQFP32
- Programovací rozhraní ISP

Rozložení jednotlivých pinů



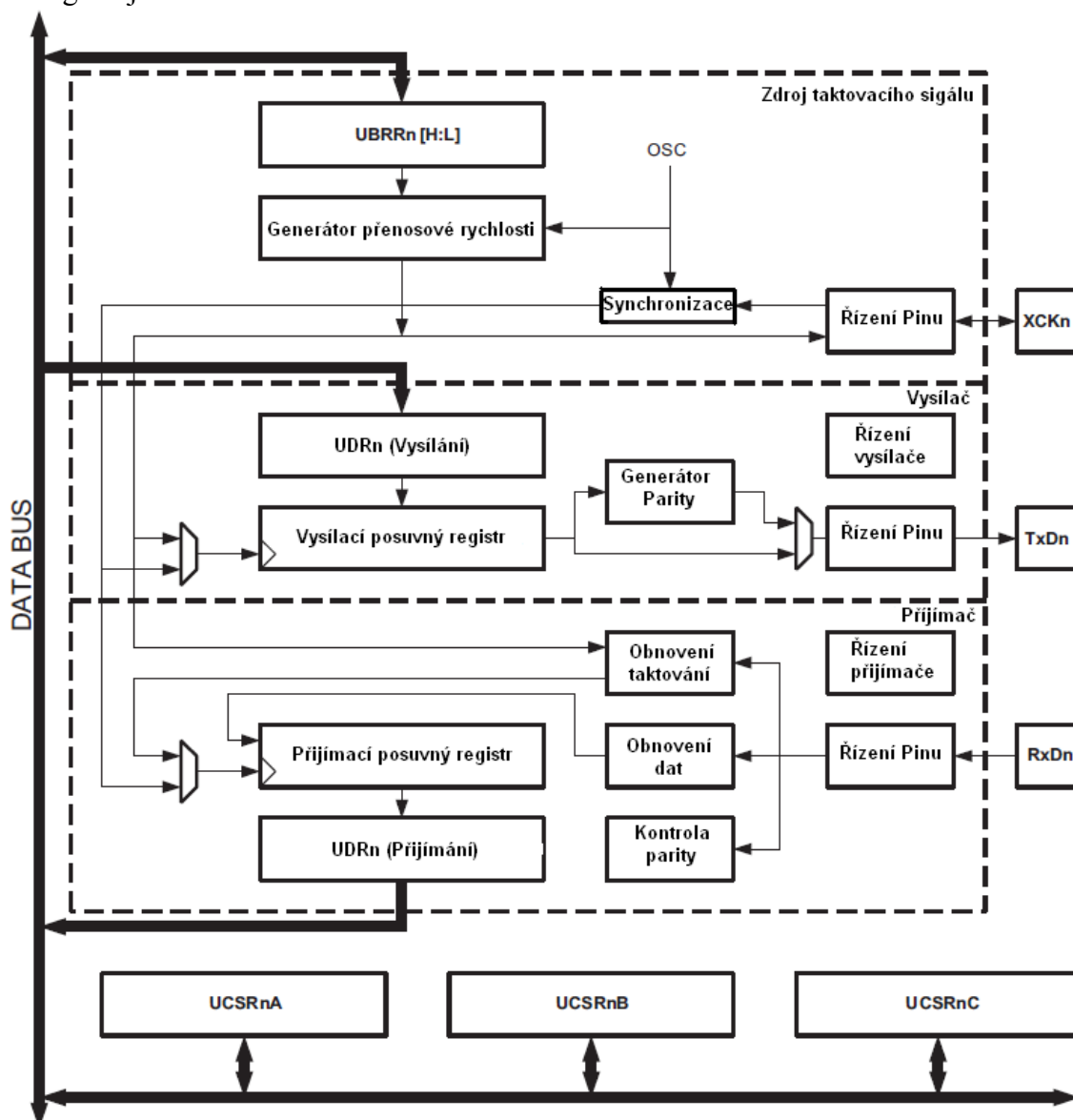
Obrázek 12 - Mikroprocesor ATmega48 v pouzdře TQFP32

Procesor má pro paměť programu pouze 4kB. Tato paměť by měla být pro dálkový ovladač dostačující, avšak v případě potřeby lze použít procesor ATmega88 (respektive ATmega168), který je shodný a pinově kompatibilní s procesorem ATmega48, ale velikost paměti programu je 8kB (respektive 16kB).

V obvodu dálkového ovladače jsou použita některá rozhraní procesoru, konkrétně A/D převodník, komunikační rozhraní SPI a sériová linka USART. Dále je zapojeno programovací rozhraní ISP a externí přerušení. Všechny jednotlivé funkce procesoru jsou popsány dále.

3.2 Sériová linka USART

USART je plně duplexní komunikační rozhraní pro přenos a příjem dat mezi procesorem a dalším zařízením (například vysílačem). Principiální schéma zapojení v procesoru ATmega48 je na obrázku 13.



Obrázek 13 – Schéma zapojení USART

Sériové komunikační rozhraní lze používat ve dvou režimech:

- Synchronní přenos – polo-duplexní (například SPI)
- Asynchronní přenos – plně-duplexní (například RS232)

Pro použití v dálkovém ovladači je použita komunikace v asynchronním režimu.

Pro zapnutí a nastavení sériové linky slouží registry UCSRnA, UCSRnB a UCSRnC, kde n představuje pořadí sériového rozhraní. V případě tohoto procesoru je $n = 0$. Pro správné zpracování přijímaných i odesílaných dat je nutné stanovit u obou komunikujících zařízení shodnou rychlost přenosu. U asynchronního přenosu se výpočet příslušné hodnoty děličky zapisované do nastavovacích registrů UBRRnH a UBRRnL provádí podle rovnice:

$$UBRRn = \frac{f_{osc}}{16 \times BAUD} \quad (3.1)$$

Kde $UBRRn$ – je 16bitové číslo zapisované do registrů $UBRRnH$ a $UBRRnL$

f_{osc} – je taktovací frekvence procesoru

$BAUD$ – je přenosová rychlost [$b \cdot s^{-1}$]

Sériová linka umí posílat rámce dat o velikostech 5,6,7,8 a 9 datových bitů a 1, nebo 2 stop bity. Nastavení se provádí zápisem příslušných bitů do registru UCSRnC. Tento registr slouží i pro nastavení režimu použití. Registr UCSRnA slouží k rozpoznání dokončení příjmu, nebo přenosu dat a k rozpoznání chyb. Registr UCSRnB slouží k zapínání rozhraní a přerušení vyvolávaných rozhraním. Podrobnější popis registrů je uveden dále.

Odesílání dat se provádí zapsáním příslušných dat do registru UDRn. Data se následně přesunou do posuvného registru, odkud jsou v závislosti na nastavení vysílána sérově příslušnou nakonfigurovanou rychlostí. Po odeslání je nastaven příznak ukončení přenosu, případně je vyvoláno přerušení.

Příjem dat je obdobný. Data jsou přijata do posuvného registru a po dokončení přenosu jsou uložena do registru UDRn. V závislosti na nastavení probíhá kontrola parity a správnosti dat. Po dokončení příjmu je opět nastaven příznak dokončení přenosu, případně je vyvoláno přerušení.

Vstup XCKn slouží pro příjem, případně vysílání taktovací signálu v případě nastavení synchronního režimu. V případě vstupujícího signálu musí být frekvence tohoto signálu menší než čtyřnásobek taktovací frekvence procesoru.

Registr UCSRnA

Tabulka 11 – Registr UCSRnA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	RXCn	TXCn	UDREn	FEn	DORn	UPEn	U2Xn	MPCMn

- Bit RXCn slouží k signalizaci nepřečtených dat v přijímacím registru UDRn. Při přijetí dat se nastaví do log. 1 a po přečtení dat se automaticky nastaví do log. 0. Lze ho využít, jako příznak přerušení od sériové linky.
- Bit TXCn slouží k signalizaci prázdného posuvného registru pro odesílání dat. Po odeslání dat je nastaven do log. 1. Lze ho využít pro vyvolání přerušení od sériové linky, po jehož vykonání se automaticky nastaví zpět do log. 0.
- Bit UDREn slouží, jako signál, že sériová linka je připravena pro příjem dat. Lze ho rovněž využít pro vyvolání přerušení.
- Bit FEn slouží k signalizaci chybně přijatého rámce dat, například pokud přijímaný stop bit není log. 1, ale log. 0.
- Bit DORn signalizuje plný přijímací zásobník dat. Je nastaven do log. 1, pokud jsou nepřečtená data v registru UDRn i v posuvném přijímacím registru a je detekován další příchozí bit.
- Bit UPEn signalizuje chybnou paritu u přijatých dat. Funguje pouze tehdy, pokud je parita zapnutá. Zapnutí se provádí zápisem příslušných bitů UPMn0-1 v registru UCSRnC.
- Bit U2Xn se používá ke zdvojnásobení přenosové rychlosti při odesílání dat. Jeho nastavení do log. 1 změní hodnotu 16 v rovnici 3.1 na hodnotu 8.
- Bit MPCMn se používá pro nastavení sériové linky v případě, že na rozhraní je připojeno více zařízení najednou. Sériová linka pak pouze přijímá data, která nesou adresu konkrétního procesoru.

Registr UCSRnB

Tabulka 12 – Registr UCSRnB

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	RXCIEn	TXCIEn	UDRIEn	RXENn	TXENn	UCSZn2	RXB8n	TXB8n

- Bit RXCIEn slouží k zapnutí vyvolávání přerušení v případě, že je nastaven bit RXCn. Přerušení musí být povoleno i v kontrolním registru procesoru.
- Bit TXCIEn slouží k zapnutí vyvolávání přerušení v případě, že je nastaven bit TXCn. Přerušení musí být povoleno i v kontrolním registru procesoru.
- Bit UDRIEn slouží k zapnutí vyvolávání přerušení v případě, že je nastaven bit UDREn. Přerušení musí být povoleno i v kontrolním registru procesoru.

- Bit RXENn slouží k zapnutí sériové linky pro příjem dat.
- Bit TXENn slouží k zapnutí sériové linky pro vysílání dat.
- Bit UCSZn2 nastavuje v kombinaci s bity UCSZN1-0 režim odesílaných a přijímaných datových rámců, včetně stop bitů.
- Bit RXB8n je devátý datový bit pro příjem dat v případě, že je nastaven 9bitový datový režim. Tento bit musí být vyčten dříve, než dojde k vyčtení datového registru UDRn.
- Bit TXB8n je devátý datový bit pro odesílání dat v případě, že je nastaven 9bitový datový režim. Tento bit musí být zapsán dříve, než dojde k zápisu dat do datového registru UDRn.

Registr UCSRnC

Tabulka 13 – Registr UCSRnC

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	UMSELn1	UMSELn0	UPMn1	UPMn0	USBSn	UCSZn1	UCSZn0	UCPOLn

- Bity UMSELn0-1 nastavují režim sériové linky podle následující tabulky.

Tabulka 14 – Režimy USART

UMSELn1..0	Režim	UMSELn1..0	Režim
00	Asynchronní	10	Nepoužito
01	Synchronní	11	Master SPI

- Bity UPMn0-1 nastavují režim generování a kontroly parity. Pokud je parita nastavena, vysílač automaticky generuje paritní data a přijímač automaticky vypočítává paritu a kontroluje přijatá data. V případě chyby je nastaven bit UPEn v registru UCSRnA. Nastavení bitů popisuje následující tabulka.

Tabulka 15 – Nastavení parity

UPMn1..0	Režim	UPMn1..0	Režim
00	Vypnuto	10	Sudá parita
01	Nepoužito	11	Lichá parita

- Bit USBSn nastavuje počet Stop bitů vysílaných vysílačem. Pro přijímač nastavení nemá vliv. Pokud je bit v log. 0, vysílá se 1 stop bit, pokud je v log. 1, vysílají se 2 stop bity.

- Bity UCSZn0-1 v kombinaci s bitem UCSZn2 v registru UCSRnB nastavují režim datových rámců. Nastavení má vliv na přijímač i vysílač a popisuje ho následující tabulka.

Tabulka 16 – Nastavení datových rámců

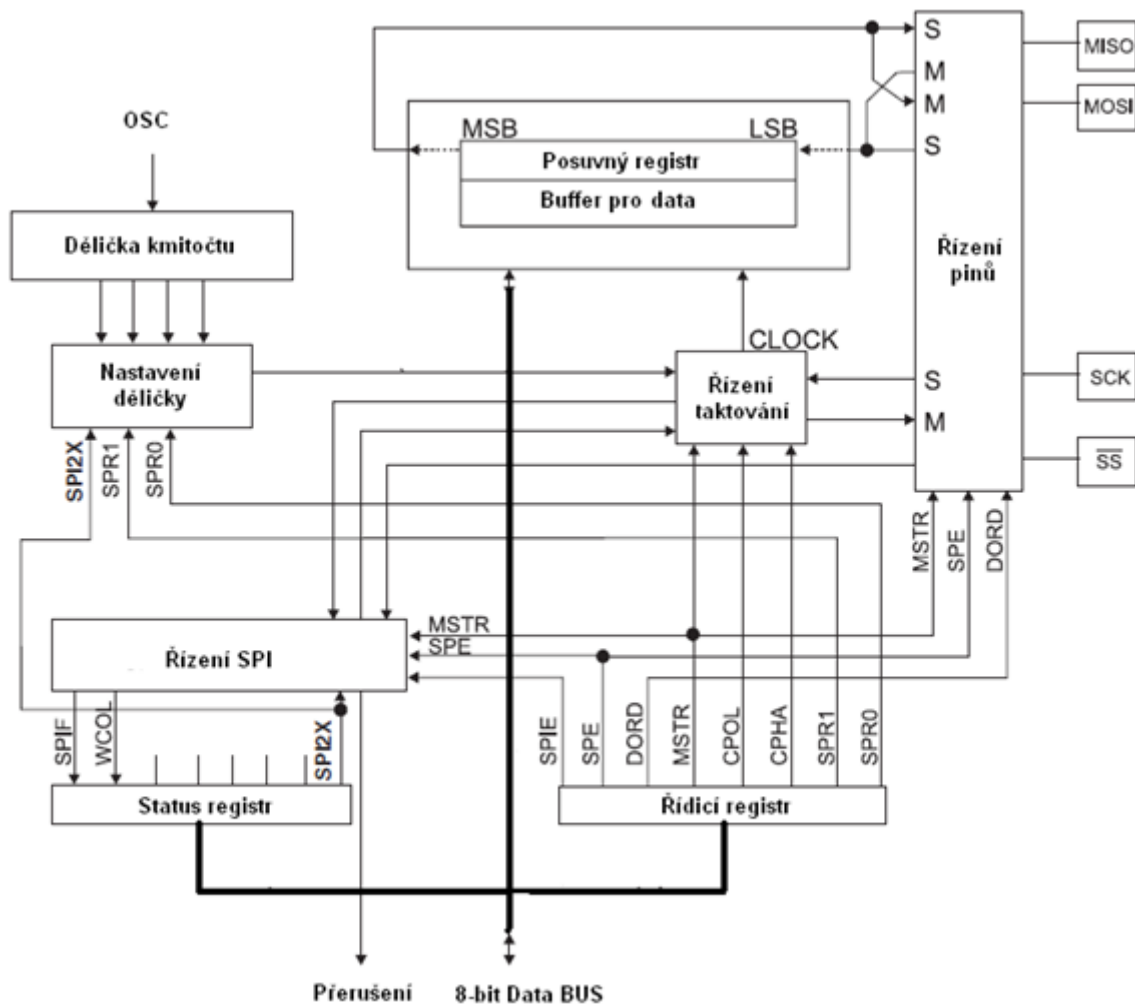
UCSZn2..0	Rámec	UCSZn2..0	Rámec
000	5 bitů	100	Nepoužito
001	6 bitů	101	Nepoužito
010	7 bitů	110	Nepoužito
011	8 bitů	111	9 bitů

- Bit UCPOln se používá k nastavení polarity taktovacího signálu v synchronním režimu. Dálkový ovladač pracuje se sériovou linkou v asynchronním režimu, tento bit je tedy vždy nastaven do log. 0.

3.3 Rozhraní SPI

SPI je plně duplexní sériové synchronní komunikační rozhraní pro připojení dalších zařízení k mikroprocesoru. Na SPI sběrnici se může nacházet několik zařízení najednou. Jedno zařízení je označováno jako MASTER a ostatní jsou SLAVE. MASTER si pak může zvolit, se kterým zařízením SLAVE chce komunikovat a pomocí pinu Chip Select nastaví na vstupním pinu tohoto zařízení příslušnou logickou úroveň. Komunikaci pak zahajuje spuštěním taktovacího signálu na sběrnici po vodiči SCK a zároveň začne vysílat data. Současně s vysíláním probíhá i příjem dat, která jsou zapisována do stejného registru, ze kterého jsou data vysílána. Jedná se o posuvný registr, který „vysunuje“ odeslané bity z jedné strany na sběrnici a z druhé strany „doplňuje“ bity přijaté. Schéma zapojení rozhraní SPI v procesoru ATmega48 je na obrázku 14.

Pokud SPI pracuje v režimu MASTER, pin SS musí být nastaven jako výstupní, nebo musí být v log. 1, jinak by se rozhraní mikroprocesoru automaticky přepnulo do režimu SLAVE bez ohledu na nastavení režimu v příslušném registru.



Obrázek 14 – Rozhraní SPI

Status registr SPSR

Status registr slouží k zjištění příznaku přerušení, zjištění kolize a nastavení taktovací frekvence.

Tabulka 17 – Registr SPCR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	SPIF	WCOL	-	-	-	-	-	SPI2X

- Bit SPIF slouží k signalizaci dokončení přenosu dat. Lze ho využít pro vyvolání přerušení, pokud je nastaven bit SPIE v registru SPCR a přerušení je povoleno v kontrolním registru procesoru.
- Bit WCOL slouží k detekci datové kolize. Nastavuje se do log. 1, pokud dojde k zápisu dat do registru SPDR při probíhající výsílání/přijímání dat.

- Bit SPI2X slouží ke zrychlení datového přenosu (zrychlení taktovacího signálu), pokud je SPI v režimu MASTER. Ovlivnění děličky popisuje tabulka 19.

Řídicí registr SPCR

Řídicí registr slouží k zapnutí rozhraní, zapnutí příznaku přerušení, nastavení zařízení jako MASTER nebo SLAVE a k nastavení děličky frekvence, tedy nastavení taktovací frekvence vysílané na sběrnici.

Tabulka 18 – Registr SPCR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0

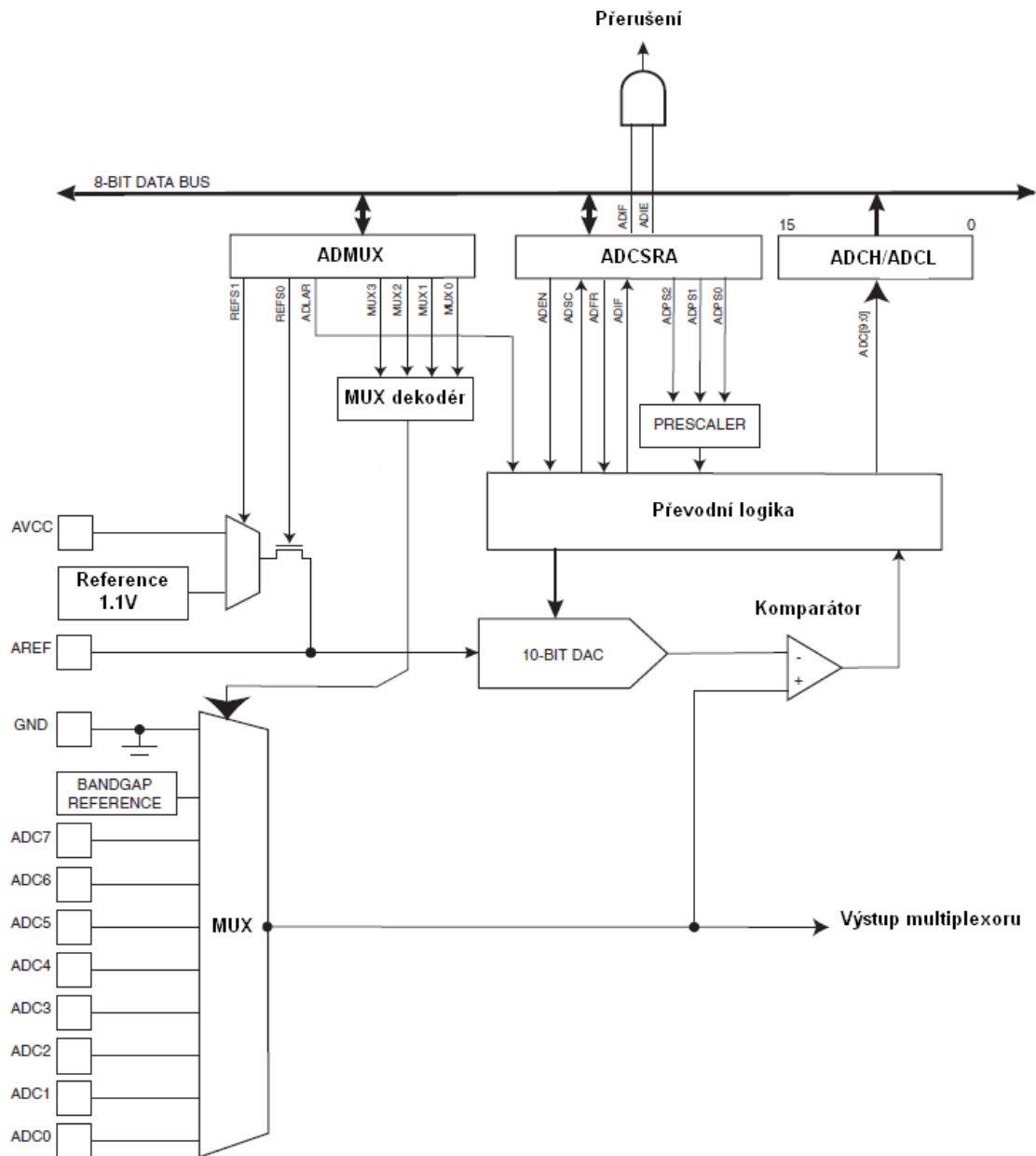
- Bit SPIE slouží k zapnutí přerušení od rozhraní SPI. Přerušení je vyvoláno, pokud je nastaven bit SPIF v registru SPSR.
- Bit SPE slouží k zapnutí rozhraní.
- Bit DORD slouží k nastavení odesílání. Pokud je nastaven v log. 1, jako první datový bit se posílá bit LSB. Pokud je nastaven do log. 0, první se posílá datový bit MSB.
- Bit MSTR slouží k nastavení rozhraní do režimu Master.
- Bit CPOL nastavuje klidovou polaritu signálu na vodiči SCK. Pokud je zapsána log. 1, na vodiči SCK je v klidu udržováno napájecí napětí. Pokud je zapsána log. 0, na vodiči SCK je v klidu připojena zem.
- Bit CPHA slouží k nastavení fáze taktovacího signálu. Pokud je nastavena log. 0, dochází ke čtení/zápisu dat s první změnou taktovacího signálu (opačnou, než je klidová). Pokud je nastavena log. 1, dochází ke čtení/zápisu dat až se změnou úrovně taktovacího signálu na klidovou.
- Bity SPR0-1 v kombinaci s bitem SPI2X z registru SPSR slouží k nastavení děličky taktovacího signálu procesoru pro taktovací signál SPI. Nastavení se provádí podle následující tabulky.

Tabulka 19 – Nastavení děličky taktovacího signálu pro SPI

SPI2X, SPR1..0	Dělička	SPI2X, SPR1..0	Dělička
000	4	100	2
001	16	101	8
010	64	110	32
011	128	111	64

3.4 Funkce a nastavení A/D převodníku

Tento procesor obsahuje celkem osm 10bitových A/D převodníků na pinech PC0-5 a ADC6-7. V obvodu dálkového ovladače jsou využity převodníky na pinech PC0-4. Principiální schéma převodníku je na obrázku 15.



Obrázek 15 – Zapojení A/D převodníku

Obvod obsahuje vstupní multiplexor, který vybere jeden vstupní pin podle dat zapsaných v registru ADMUX a připojí ho na vstup komparátoru. Převodník je typu s postupnou aproximací. Na začátku převodu se v bloku „Převodní logika“ nejprve nastaví bit MSB na hodnotu log.1 a všechny ostatní bity na hodnotu log. 0. Tato kombinace se pak v bloku „10-bit DAC“ převede zpět na analogovou hodnotu, čemuž odpovídá napětí $A_{REF}/2$. Toto napětí je poté přivedeno opět na vstup komparátoru a porovnává se se vstupním napětím na příslušném pinu A/D převodníku. Pokud je toto napětí větší, než napětí na vstupu A/D

převodníku, bit MSB se nastaví zpět do log. 0. Pokud je napětí menší, bit MSB zůstane v log.1. V dalším kroku se nastaví nižší bit (MSB - 1) do log. 1 a všechny nižší bity zůstanou v log. 0. Bit MSB zůstane v log. 1 (respektive v log. 0, pokud napětí $A_{REF}/2$ je menší než napětí na vstupu A/D převodníku) a tato kombinace je opět přivedena do D/A převodníku. Po převedení na analogovou hodnotu se napětí opět porovnává se vstupním a podle výsledku zůstane bit v log. 1, nebo se nastaví do log. 0. Takto se kroky opakují až do bitu LSB, kdy je převod ukončen a data se uloží do registrů ADCH a ADCL. Po ukončení převodu se nastaví příznak přerušování a data je možno z registrů vyčíst. Převod analogové hodnoty na posloupnost čísel trvá převodníku 13 hodinových cyklů.

Blok „Prescaler“ slouží, jako zdroj taktovacího signálu.

Registr ADMUX

Registr ADMUX slouží pro nastavení multiplexoru, prezentace výsledných dat a volbě referenčního napětí.

Tabulka 20 – Registr ADMUX

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	REFS1	REFS0	ADLAR	-	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0

- Bity MUX0-3 slouží pro ovládání multiplexoru na vstupu převodníku. Podle následující tabulky se pak vybere příslušný pin, který se připojí na vstup komparátoru.

Tabulka 21 - Nastavení bitů MUX0-3

MUX3..0	Vybraný vstup	MUX3..0	Vybraný vstup
0000	ADC0	0101	ADC5
0001	ADC1	0110	ADC6
0010	ADC2	0111	ADC7
0011	ADC3	1110	Bandgap Reference
0100	ADC4	1111	GND

- Bit ADLAR slouží k nastavení ukládání dat do registrů ADCH a ADCL. Pokud je log. 0, prvních 8 bitů je uloženo do registru ADCL, kde bit 0 je na pozici LSB a bit 7 na pozici MSB a zbylé 2 bity jsou uloženy do registru ADCH, kde bit 8 je na pozici LSB.

Pokud je ADLAR nastaven do log. 1, pak jsou první 2 bity výsledku uloženy do registru ADCL, kde bit 1 je na pozici MSB a zbylých 8 bitů je uloženo do registru ADCH, kde bit 2 je na pozici LSB a bit 9 na pozici MSB.

- Bity REFS0 a REFS1 slouží k volbě referenčního napětí podle následující tabulky.

Tabulka 22 – Nastavení bitů REFS0-1

REFS0..1	Nastavení	REFS0..1	Nastavení
00	AREF	10	Nepoužito
01	Napájecí napětí, kondenzátor na AREF	11	Interní 1,1V, kondenzátor na AREF

Registr ADCSRA

Registr ADCSRA slouží nastavení a zjišťování stavu sériového rozhraní.

Tabulka 23 – Registr ADCSRA

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Název bitu	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0

- Bit ADEN slouží k zapnutí AD převodníku zapsáním log. 1.
- Bit ADSC slouží ke spuštění převodu zapsáním log. 1. Po dokončení převodu je bit nastaven zpět do log. 0 a pro další převod je nutné jej znovu nastavit na log. 1. První převod trvá 25 hodinových cyklů. Další převody trvají 13 hodinových cyklů.
- Bit ADATE slouží k zapnutí automatického spouštění převodníku externím zdrojem, například čítačem/časovačem. Zdroj zapnutí převodu se nastavuje v registru ADCSRB. Tato funkce není v dálkovém ovladači využita a převodník je využíván pouze v módu „single conversions“.
- Bit ADIF detekuje dokončení převodu a signalizuje, že data je možno vyčíst s registrů ADCL a ADCH.
- Bit ADIE slouží k zapnutí přerušení od A/D převodníku. Pokud je přerušení v procesoru povoleno, po dokončení převodu a nastavení bitu ADIF je vyvoláno přerušení.
- Bity ADPS0-2 slouží k nastavení děličky taktovací frekvence procesoru. Taktovací frekvence převodníku je taktovací frekvence procesoru dělená příslušnou děličkou. Nastavení se provádí podle následující tabulky.

Tabulka 24 – nastavení bitů ADPS0-2

ADPS2..0	Dělička	ADPS2..0	Dělička
000	2	100	16
001	2	101	32

010	4	110	64
011	8	111	128

3.4.1 Výstup z A/D převodníku

Jak již bylo řečeno, výstupní data jsou 10bitová a jsou zapisována do registrů ADCL a ADCH. Převodník tedy dokáže rozlišit referenční napětí na 1024 hodnot, kde 0 představuje zem (tedy GND) a hodnota 1023 představuje napětí referenční ponížené o napětí, které představuje nejnižší bit, tedy:

$$ADC_{MAX} = V_{REF} - \frac{V_{REF}}{1024} \quad (3.2)$$

Kde ADC_{MAX} – je digitální hodnota napětí odpovídající referenčnímu napětí

V_{REF} – je referenční napětí

Jakoukoliv libovolnou hodnotu napětí V_{IN} vstupujícího do A/D převodníku pak lze přepočítat na digitální vyjádření pomocí následující rovnice.

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 1024}{V_{REF}} \quad (3.3)$$

Kde ADC – je digitální hodnota napětí odpovídající vstupnímu napětí

V_{REF} – je referenční napětí

V_{IN} – je vstupní napětí

3.5 Externí přerušení

Přerušení v procesoru jsou interní a externí. Interní přerušení vyvolávají vnitřní rozhraní procesoru, například sériová linka, SPI rozhraní, nebo čítač/časovač. Externí přerušení mohou vyvolávat periferie, tlačítka, nebo spínací prvky. Pokud je přerušení zapnuté (jsou nastavené příslušné bity v registrech), procesor při příznaku přerušení přeruší veškerou činnost a přesune se na pevně dané místo v paměti programu, kde vykoná příslušné naprogramované instrukce a poté se opět vrátí k původní činnosti. Jako příznak přerušení mohou sloužit čtyři typy změn na příslušných pinech přerušení – reakce na sestupnou hranu, reakce na vzestupnou hranu, nulová logická úroveň, nebo jakákoliv změna logické úrovně.

Procesor ATmega48 obsahuje piny INT0 a INT1 sloužící k vyvolání přerušení. Lze však naprogramovat i piny PCINT0-23.

3.6 ISP

ISP je funkce procesoru umožňující programování přímo na DPS, tzv. „In System Programming“, což výrazně usnadňuje pozdější změny softwaru v procesoru.

Základem pro dálkový ovladač je akcelerometr Freescale MMA7455L připojený k mikroprocesoru ATmega48 pomocí sériového rozhraní SPI ve 4vodičovém zapojení. Komunikace ovladače s dalším zařízením je realizována pomocí sériové linky USART, jejichž piny RX a TX jsou přivedeny na pinovou lištu „Serial_Link“ společně s napájecími vodiči VCC a GND.

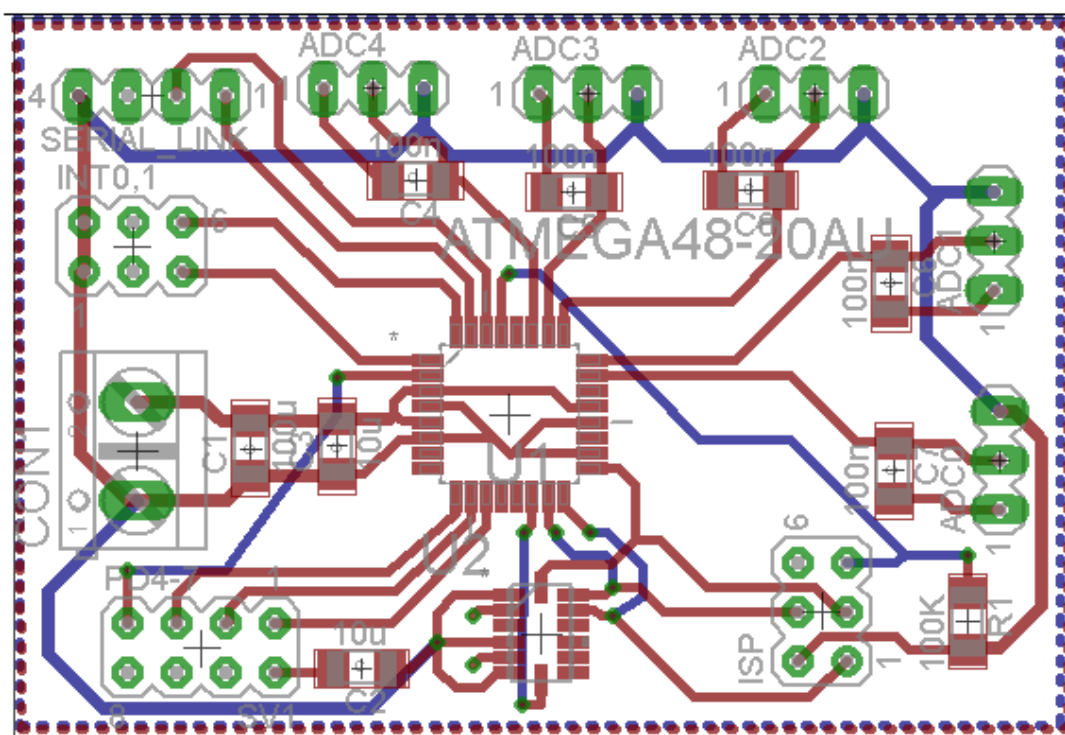
Pro snazší programování a pozdější změny software v mikroprocesoru jsou vyvedeny příslušné vodiče ISP na standardní 6pinový konektor „ISP“.

Pro možnost budoucího rozšíření a případných úprav jsou vyvedeny pinové lišty „INT0,1“, na nichž jsou vyvedeny piny procesoru sloužící k vyvolání externích přerušení INT0 a INT1 společně s napájecími vodiči VCC a GND, dále jsou vyvedeny porty PD4, PD5, PD6 a PD7 na společné pinové liště „PD4-7“ v párech s vodičem GND. Na porty je tedy možno připojit například tlačítka, nebo spínače. Dále jsou vyvedeny piny A/D převodníku ADC0, ADC1, ADC2, ADC3 a ADC4 pro připojení například pákového ovladače. Každý výstup A/D převodníku je přiveden na samostatnou pinovou lištu společně s napájecími vodiči VCC a GND. Signálový vodič je doplněn blokovacím kondenzátorem proti vodiči GND.

Napájení obvodu je realizováno pomocí svorkovnice CON1. Akcelerometr je konstruován na napájecí napětí maximálně 3,6V. K napájení obvodu tedy postačí dvě tužkové baterie.

4.2 Deska plošného spoje

Návrh DPS je na obrázku 17.

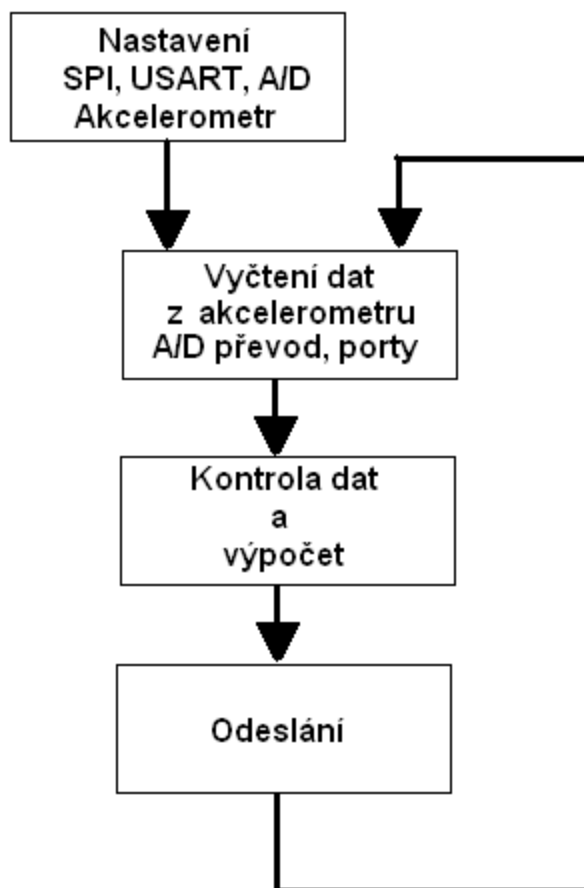


Obrázek 17 – Deska plošného spoje

Napájecí vodič VCC je silnější, než signálové vodiče. Vodič GND je realizován pomocí polygonu na obou stranách desky, který je pro přehlednost pouze vyznačen přerušovaným ohraničením desky. Vzhledem k množství vodičů nebylo možné desku nakreslit jednostrannou a návrh obsahuje množství prokůvů především u akcelerometru.

4.3 Program pro mikroprocesor

Blokové schéma programu je uvedeno na obrázku 18.



Obrázek 18 – Blokové schéma programu

Po připojení napájení a zapnutí procesoru dojde nejprve k nastavení portů, nastavení SPI do režimu Master, nastavení A/D převodníku, sériové linky a nakonec i k nastavení registrů v akcelerometru. Poté se už procesor přesune do nekonečné smyčky, ve které volá jednotlivé metody, jako jsou vyčtení jednotlivých os akcelerometru, A/D převod ze všech pěti vyvedených vstupů a vyčtení vyvedených portů. Data z A/D převodníku jsou získávána pouze z jednoho registru a proto je referenční napětí rozlišeno pouze na 255 úrovní, tedy 8 bitů. Inicializace akcelerometru je popsána v níže uvedené části kódu.

```

void MMA7455_Setup(void)
{
    PORTB &=~ (1<<PB2); // shozeni pinu ss do nuly
    _delay_us(5);
    SPDR = 0b10101100; // odeslani adresy registru, prvni pin pro zapis,
posledni dont care, adresa 22, registr MCTL
    while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // cekani na odeslani
    _delay_us(5);
    SPDR = 0b00000101; // odeslani registru pro zapis, měřicí mod, rozsah 2g
    while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // cekani na doruceni
    PORTB = (1<<PB2); // nahozeni pinu do 1
}

```

Procesor odesílá rámec do akcelerometru ve složení čtení/zápis + 6ti bitová adresa + don't care bit. V dalším kroku už procesor posílá data pro zápis do registru. Nastavuje se registr MCTL, viz kapitola 2.7.1. V dalším kroku procesor provede výpočet dvou úhlů ze získaných dat z akcelerometru a poté provede odeslání datového rámce po sériové lince ve formátu znak+číslo. Tyto kroky jsou popsány v následující části kódu.

```

    uhel1=atan(xd/yd); // výpočet úhlů
    uhel2=atan(zd/yd);
    smerH = (char)(uhel1/3.14*128); // přepočítání pro odeslání
    smerV = (char)(uhel2/3.14*128);
    tlacitka=PIND&~((1<<PD0)|(1<<PD1)); //vymaskování 6 funkčních tlačítek
(PD2-PD7), piny PD0 a PD1 jsou sériový port

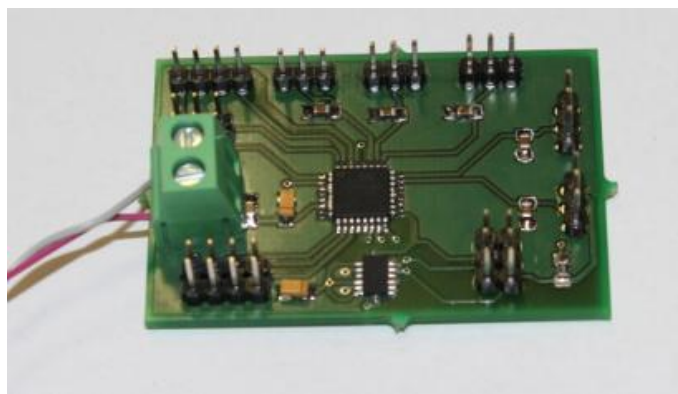
    sprintf(poslat,"V%d H%d AA%D AB%d AC%d AD%d AF%d
T%d;", smerV, smerH, a1, a2, a3, a4, a5, tlacitka); //naskládat do řetězce

    USART_PosliString(poslat); //odeslat
}

```

Z kódu je zřejmý odesílaný rámec, kde V+číslo znamená vertikální směr, H+číslo je horizontální směr, AA+číslo je první A/D převodník a T+číslo jsou vymaskovaná tlačítka. Na straně přijímače je tedy nutné tato data zpracovat v tomto pořadí a rozlišovat je podle prvního znaku. Středník znamená konec rámce. Data pro výpočet jsou přepočítána pro zachování poměrů.

Kompletní program pro mikroprocesor je uveden v příloze na DVD.

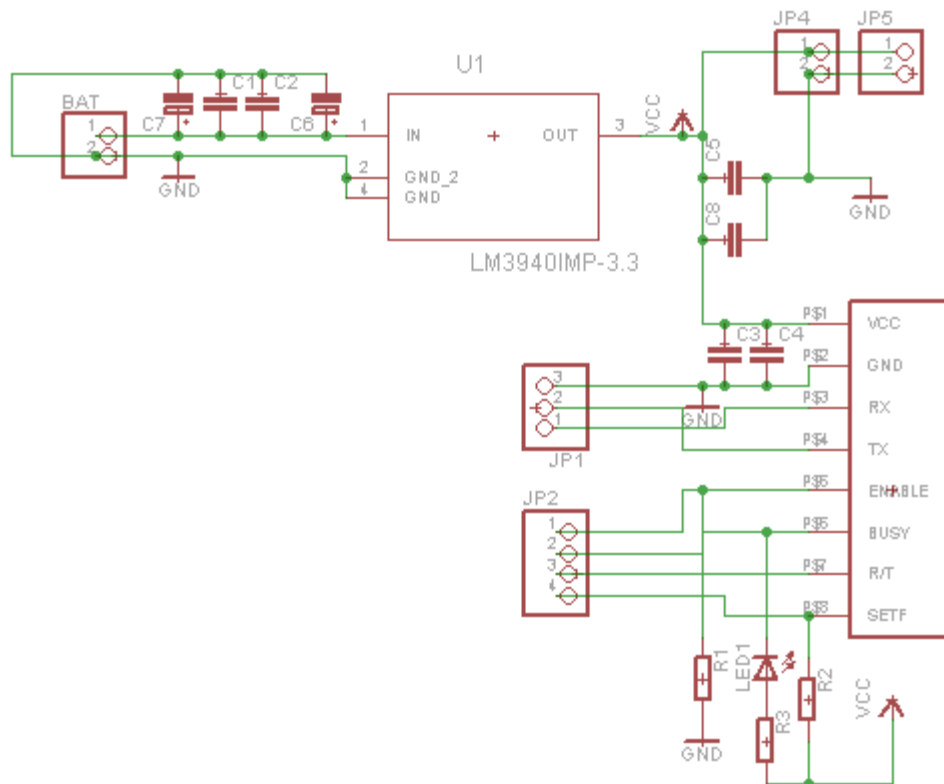


Obrázek 19 – Osazená DPS dálkového ovladače

4.4 Příklad použití dálkového ovladače

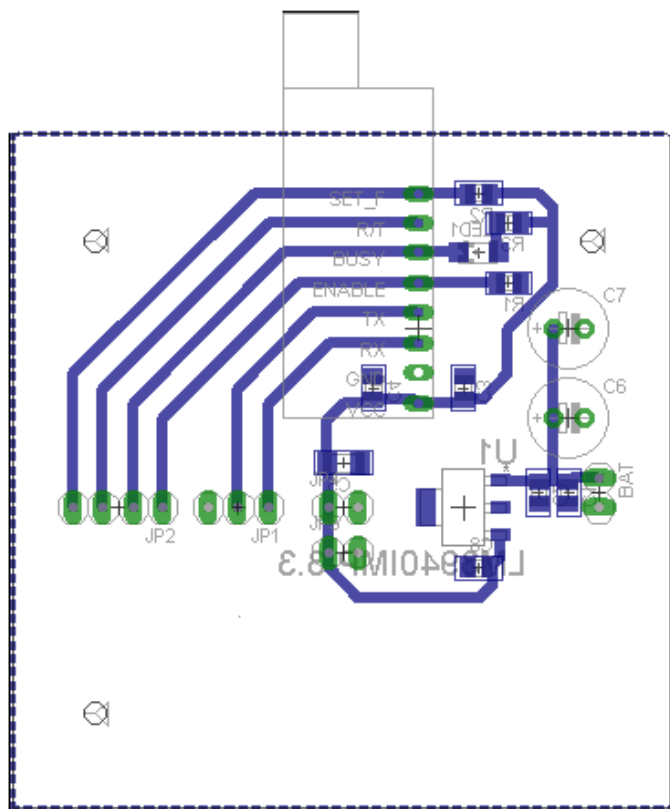
4.4.1 Vysílací souprava

Pro použití v praxi je deska dálkového ovladače osazena do staré soupravy od modelu vrtulníku opatřené pákovými ovladači a tlačítky. Tato souprava obsahuje jeden jednosměrný pákový ovladač, jeden křížový pákový ovladač, jeden potenciometr a několik tlačítek. Napájení zajišťují tužkové baterie. Napájecí napětí 3,3V je stabilizováno stabilizátorem LM3940IMP-3.3 osazeném na DPS, jejíž schéma je uvedeno na následujícím obrázku. Na této DPS je rovněž osazen samostatný vysílací modul GP-GC010 433MHz, který má vyvedené výstupy na sériovou linku a lze ho tak přímo propojit s deskou dálkového ovladače. Více informací o tomto modulu lze nalézt v (Sure Electronics, 2008).



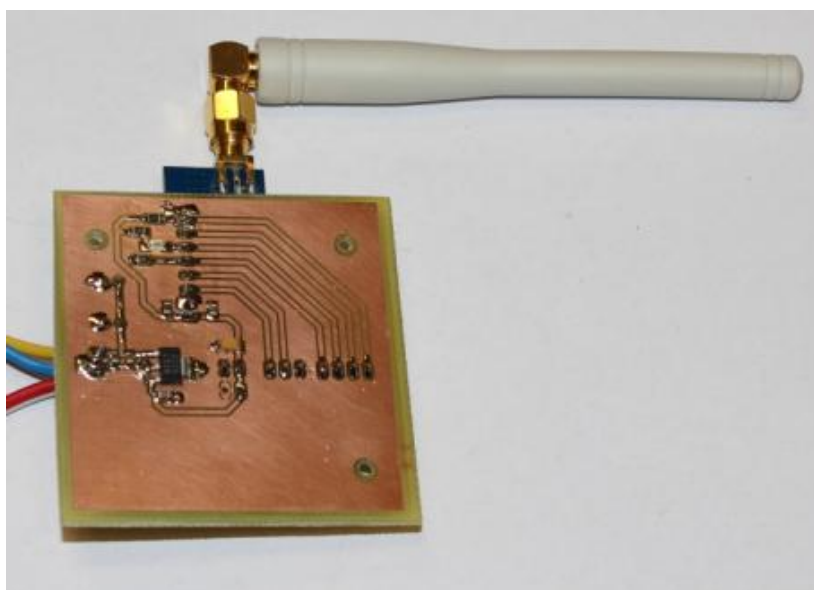
Obrázek 20 – Schéma stabilizátoru a propojky vysílače

Na desce se dále nacházejí pinové lišty JP1 sloužící k připojení desky dálkového ovladače, na pinech JP4 a JP5 je stabilizované napětí 3,3V a na piny JP2 jsou vyvedeny logické signály od vysílacího modulu. Návrh DPS je uveden na obrázku 21. Rozměry desky jsou rozměřené tak, aby se deska přesně vešla do původní soupravy.



Obrázek 21 – DPS stabilizátoru a vysílače

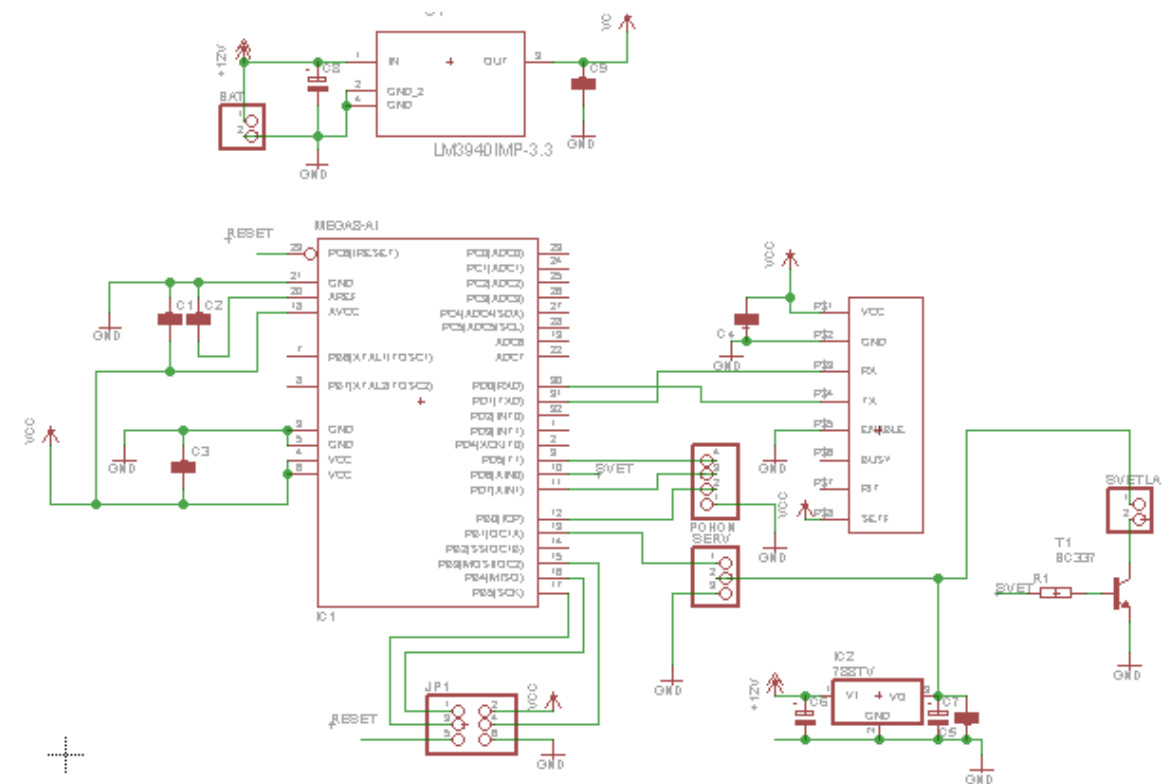
Vodič GND je opět realizován pomocí rozlitého polygonu mědi, který je pro přehlednost pouze vyznačen přerušovaným ohraničením desky. Osazená deska je na obrázku 22, kde je rozlitého polygonu mědi dobře viditelný.



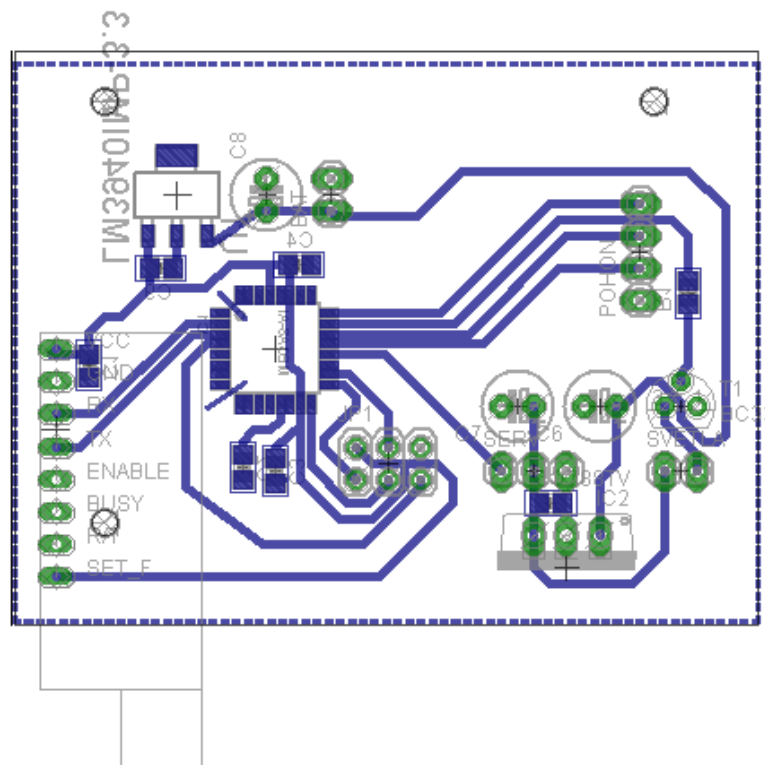
Obrázek 22 – osazená DPS stabilizátoru a vysílače

4.4.2 Ovládaný model

Pro ovládání dálkovým ovladačem byl zvolen levný model autíčka. Schéma zapojení a návrh DPS v modelu jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 23 – Schéma ovládaného modelu



Obrázek 24 – DPS ovládaného modelu

Vodič GND je zde také realizován pomocí rozlitého polygonu mědi, který je pro přehlednost pouze vyznačen přerušovaným ohraničením desky a je dobře viditelný na obrázku 25.

Motor pro pohon modelu je zachován původní a pro ovládání zatáčení je osazeno modelářské servo. Karoserie autíčka má osazené LED diody pro osvětlení modelu, které jsou rovněž využity.

DPS v modelu je osazena mikroprocesorem ATmega48. Na této desce je rovněž stabilizátor napětí LM3940IMP-3.3, přijímací modul GP-GC010 433MHz a stabilizátor 7805 pro napájení servomotoru a světel. DPS dále obsahuje konektor ISP pro programování procesoru a konektory pro připojení světel a motorů. Protože pro napájení motoru pro pohon je potřeba také napájecí napětí 5V, je model osazen ještě DPS se stabilizátorem 7805 pro napětí 5V se spínacím H můstkem navrženým Radkem Dymákem pro jeho práci. Jedná se o katalogové zapojení můstku L6201 pro napájení motoru. Motor pro pohon je tedy řízen PWM signálem.

Mikroprocesor ATmega48 je naprogramován pro příjem datového rámce z ovladače. Pro signalizaci příchodu rámce je využito přerušování od sériové linky. Příjem dat je popsán v následující části kódu.

```
ISR(USART_RX_vect)
{
    prijatadata[kolikaty]=UDR0;
    if (prijatadata[kolikaty]==';')
    {
        prijatadata[kolikaty]='\0';
        kolikaty=0;
        mamedata=1;
    }
    kolikaty++;
}
```

Data jsou přijímána znak po znaku do datového pole. Pokud je nalezen znak středníku, dojde k ukončení rámce a vynulování pořadí v datovém poli. Další znaky už jsou tedy opět zapisovány do datového pole od indexu nula. Po dokončení příjmu je nutné z rámce získat potřebná data a provést nastavení. Tyto kroky jsou popsány v další části kódu.

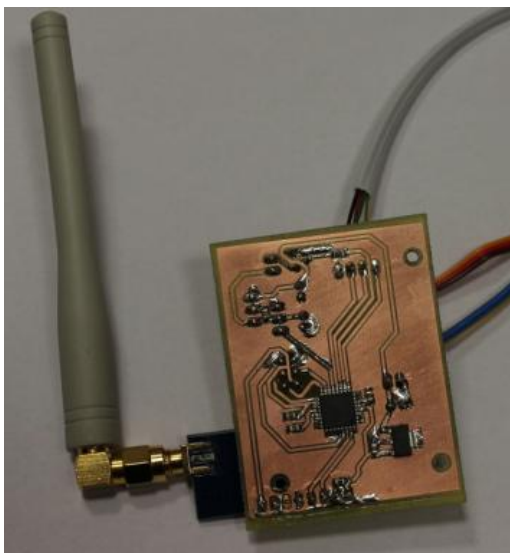
```
while(1)
{
    if(mamedata)
    {
        sscanf(prijatadata, "%d H%d AA%D AB%d AC%d AD%d AF%d
T%d", &a, &b, &c, &d, &e, &f, &g, &h, &i);
    }
    volant = (char)b;
    plyn = (char)c;
    svetla = (char)d;
    NastavKola();
    NastavPlyn();
    OCR0A=svetla;
}
```

Data jsou rozlišena opět pomocí spojení znak+číslo. Každé číslo se tedy zapíše do proměnných „a“ až „i“.

V tomto modelu je plyn ovládán pákovým ovladačem (A/D převodník, hodnota AA). Samozřejmě lze plyn modelu ovládat i akcelerometrem, ale poté je velmi těžké model zastavit, protože je téměř nemožné najít polohu, ve které by akcelerometr měřil nulovou polohu a model by zastavil. Z tohoto důvodu byl výstup ošetřen tlačítkem, kdy dálkový ovladač vysílal skutečnou vypočítanou hodnotu pouze v případě, že tlačítko bylo stisknuto, jinak se vysílaly nulové hodnoty a model zůstal stát.

Kompletní program pro mikroprocesor je uveden v příloze na DVD.

Kompletní model autíčka s vysílací soupravou jsou uvedeny na následujících obrázcích.



Obrázek 25 – DPS v modelu



Obrázek 26 – Funkční zkompletovaný model s ovladačem

Závěr

Oživení desky dálkového ovladače se neobešlo bez problémů. Největší a nejdéle hledaný problém byl v samotném programování mikroprocesoru po ISP, neboť programátor neustále hlásil zkrat na cíli. Avšak po kompletním proměření desky, přepájení a očištění všech kontaktů nebyl tento problém vyřešen. Nakonec byl zdrojem problémů akcelerometr, který je rovněž připojen na příslušné ISP vodiče. Vzhledem k tomu, že po zapnutí byl výstup procesoru chip select (vstup akcelerometru) v log. 0, akcelerometr očekával spuštění taktovacího signálu a příjem dat, což se samozřejmě skutečně dělo, avšak data byla určena pro naprogramování procesoru a akcelerometr na pinu SDO odesílal data a tím znemožňoval programování mikroprocesoru. Tento problém byl vyřešen přivedením napájení na vstup chip select po dobu programování drátovou propojkou, která byla poté odstraněna. Pro vylepšení desky je tedy vhodné přidat na vstup chip select pull-up odpor, který bude zajišťovat log. 1 po dobu programování.

Samotné programování mikroprocesoru nebylo nijak složité a program byl naladěn během dvou hodin do bezchybné podoby. Rozhraní SPI, USART a A/D převodník se programují lehce a funkční části kódu jsou uvedeny v datasheetu mikroprocesoru. Stačilo je tedy pouze upravit do požadované podoby a zkompletovat. Program pro mikroprocesor zabírá v paměti cca 95%. Pro případné budoucí úpravy a vylepšení by bylo vhodnější použít mikroprocesor ATmega88 s dvojnásobnou pamětí.

Vybraný akcelerometr Freescale MMA7455L funguje velmi dobře a šum v podobě kolísání hodnot na výstupu se vyskytuje minimálně. Pokud je akcelerometr v klidu, měřené výsledky se liší maximálně o 2 úrovně z 255. Přesnost pro ovládání modelu je tedy více než dostačující.

Použité A/D převodníky v mikroprocesoru trpí také určitým šumem a to i přes vyčítání pouze 255 úrovní. Tento převodník tedy není vhodný pro použití při nutnosti přesných měření, avšak pro použití v dálkovém ovladači je přesnost dostatečná.

Ovládání modelu autíčka funguje dobře a model má plynulou regulaci rychlosti. Zatačení modelu je řešeno pomocí modelářského serva které není příliš citlivé a má malou výchylku, díky čemuž zatačení modelu není moc plynulé a dochází k cukání koleček. Tato chyba je však způsobena konstrukcí modelu.

V praxi se dá dálkový ovladač použít i k ovládání složitějšího modelu například vrtulníku. Přes sériovou linku lze ovladač připojit k počítači a s vhodnou aplikací ho lze použít i pro ovládání her.

Citovaná literatura

- Analog Devices. 2011.** Datasheet - ADIS16210. [Online] 2011. [Citace: 11. 4 2013.] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16210.pdf.
- Atmel. 2011.** Datasheet - ATmega48. [Online] 5 2011. [Citace: 11. 4 2013.] <http://www.atmel.com/images/doc2545.pdf>.
- Freescale. 2007.** Datasheet - MMA7360L. [Online] 8 2007. [Citace: 11. 4 2013.] http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7360L.pdf.
- , **2009.** Datasheet - MMA7455L. [Online] 12 2009. [Citace: 11. 4 2013.] http://cache.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf.
- Husák, Miroslav. 2008.** Mems a mikrosystémové technologie. [Online] 2008. [Citace: 11. 4 2013.] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=38122.
- Lachnit, Zdeněk. 2007.** Bakalářská práce - Inerciální snímače pro zlepšování orometrie mobilních robotů. [Online] 12. 6 2007. [Citace: 11. 4 2013.] http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2007/BP_Lachnit.pdf.
- Schimitzek, Aleš. 2011.** Bakalářská práce - Integrované MEMS akcelerometry. [Online] 24. 11 2011. [Citace: 11. 4 2013.] http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2011/BP_Schimitzek.pdf.
- ST. 2012.** Datasheet - AIS328DQ. [Online] 2012. [Citace: 11. 4 2013.] <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00289364.pdf>.
- Sure Electronics. 2008.** Datasheet - GP-GC010. [Online] 2008. [Citace: 11. 4 2013.] <http://www.sure-electronics.net/rf,audio/GP-GC010.pdf>.
- Wikipedie. 2013.** Inerciální vztažná soustava. [Online] 7. 3 2013. [Citace: 11. 4 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Inerci%C3%A1ln%C3%AD_vzta%C5%BE%C3%A1_sousta%20va.
- , **2013.** MEMS. [Online] 11. 3 2013. [Citace: 11. 4 2013.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/MEMS>.
- , **2013.** Wii Remote. [Online] 10. 3 2013. [Citace: 11. 4 2013.] http://cs.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote.

Přílohy na DVD

- Datasheety ATmega48, MMA7455L, ADIS16210, AIS328DQ, MMA7360L, GP-GC010
- Schéma a návrh desky dálkového ovladače v programu Eagle
- Schéma a návrh desky modelu v programu Eagle
- Schéma a návrh desky stabilizátoru s vysílačem v programu Eagle
- Program pro mikroprocesor dálkového ovladače
- Program pro mikroprocesor modelu
- Kompletní fotogalerie
- Video s ukázkou funkce
- Bakalářská práce v pdf