

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta Elektrotechnická



## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta Elektrotechnická

## Bakalářská práce



Ludvík Saska

## Snímání profilu terénu autonomním robotem

Katedra mikroelektroniky

Vedoucí projektu: Ing. Tomáš Teplý

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Praha 2016



České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra mikroelektroniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **S A S K A Ludvík**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Snímání profilu terénu autonomním robotem**

### ***Pokyny pro vypracování:***

- 1) Prostudujte literaturu týkající se možnosti snímání profilu terénu.
- 2) Proveďte výběr vhodné platformy a vhodných senzorů pro realizaci samostatně se pohybujícího robota určeného ke snímání profilu terénu.
- 3) Navrhněte obvodové zapojení řídicí elektroniky včetně desky plošných spojů.
- 4) Pro realizaci robota můžete použít hotovou konstrukci podvozku včetně pohonné jednotky.
- 5) Realizovanou konstrukci otestujte a zhodnoťte dosažené výsledky.

### ***Seznam odborné literatury:***

- [1] Barnett, R., H. - Cox, S. - O'Cull, L.: Embedded C Programming and the Atmel AVR 2nd Edition, Cengage learning, Delmar 2007
- [2] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications 4th ed. 2010 Edition, Springer Science+Business Media, 2010
- [3] Závodský, O.: Programujeme AVR v jazyku C, 2012
- [4] Kernighan, B., W. - Ritchie, D., M.: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno 2006

Vedoucí: **Ing. Tomáš Teplý**

Platnost zadání: 9. 9. 2017



prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 19. 2. 2016



## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Teplému za ochotu, cenné rady a připomínky. Dále rodičům, blízkým a kamarádům, kteří mě za celou dobu studia podporovali.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že České vysoké učení technické v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne .....

Podpis autora



Název práce: Snímání profilu terénu autonomním robotem

Autor: Ludvík Saska

Katedra: Katedra mikroelektroniky

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Teplý, Katedra Mikroelektroniky

Abstrakt:Cílem této práce je realizace autonomního robota pro snímání profilu terénu. První část této práce se věnuje popisem senzorů pro měření vzdálenosti a zvlnění terénu. Následuje výběr vhodného a cenově dostupného řešení. Druhá část se zabývá návrhem autonomního robota, který snímá profil terénu za pomoci gyroskopu a akcelerometru. Ve třetí části byl popsán návrh desky plošného spoje s řídicí elektronikou, která řídí elektrický pohon, sleduje stav akumulátoru, zpracovává data ze senzorů polohy, detekuje a autonomně překonává překážky. Následně se ověřila funkčnost realizovaného návrhu a přesnosti senzorů pomocí testování a porovnání kopie těchto senzorů.

Klíčová slova: snímání profilu terénu,mikrokontrolér, robot

Title: Robotic scanning of terrain profile

Author: Ludvík Saska

Department: Department of microelectronics

Supervisor: Ing. Tomáš Teplý, Department of microelectronics

Abstract:The purpose of this project is the realization of an autonomous robot for capturing the profile of terrain. In the first part of this project I examine various sensors to measure distance and terrain curvature. I then choose a fitting, cost-effective solution. In the second part I design an autonomous robot that captures the digital elevation model of terrain using a gyroscope and an accelerometer. In the third part I describe the design of the printed circuit board with the electronics that control the electric motor, watches the state of the battery, processes the data from position sensors and detects and autonomously avoids obstacles. Finally I verify the functionality of the realized design and accuracy of sensors through testing and comparison of copies of these sensors.

Keywords: scanning the terrain profile, microcontroller, robot



# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Úvod</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>1 Způsoby snímání profilu terénu</b>   | <b>5</b>  |
| 1.1 Přímé snímání profilu terénu          | 5         |
| 1.1.1 Kontaktní měření                    | 5         |
| 1.1.2 Bezkontaktní měření                 | 6         |
| <b>2 Konstrukce</b>                       | <b>7</b>  |
| 2.1 Podvozek                              | 7         |
| 2.2 Motory a jejich řízení                | 7         |
| 2.2.1 Stejnoseměrný motor                 | 7         |
| 2.2.2 H-můstek                            | 8         |
| 2.2.3 BLDC motor                          | 8         |
| 2.3 Zdroj energie                         | 8         |
| 2.3.1 Akumulátory                         | 9         |
| 2.3.2 Stabilizátory napětí                | 9         |
| 2.4 Senzory                               | 10        |
| 2.4.1 Senzory pro detekci překážek        | 10        |
| 2.4.2 Senzory polohy robota               | 11        |
| 2.5 Řídící jednotka                       | 13        |
| 2.5.1 Mikrokontrolér                      | 13        |
| 2.5.2 Architektury mikrokontrolérů        | 13        |
| <b>3 Realizace</b>                        | <b>15</b> |
| 3.1 Mechanická konstrukce                 | 15        |
| 3.2 Blokové schéma elektroniky            | 15        |
| 3.3 Mikrokontrolér                        | 16        |
| 3.3.1 Atmega32u4                          | 16        |
| 3.4 Řízení motorů                         | 16        |
| 3.5 Snímání osy Y                         | 16        |
| 3.5.1 MPU-9250                            | 16        |
| 3.5.2 Senzor magnetického pole            | 17        |
| 3.5.3 Komunikace s MPU-9250               | 18        |
| 3.5.4 Odesílání dat                       | 19        |
| 3.6 Senzor překážek                       | 19        |
| 3.6.1 Sharp 0A41SK                        | 20        |
| 3.7 Napájecí akumulátor                   | 20        |
| 3.8 Spínaný zdroj                         | 20        |
| 3.9 Návrh desky plošného spoje (DPS)      | 21        |
| <b>4 Testování</b>                        | <b>23</b> |
| 4.1 Nástroje pro testování                | 23        |
| 4.1.1 Python                              | 23        |
| 4.2 Senzor vzdálenosti                    | 24        |
| 4.3 Gyroskop a akcelerometr čipu MPU-9250 | 25        |
| <b>Závěr</b>                              | <b>27</b> |
| <b>Literatura</b>                         | <b>29</b> |



# Úvod

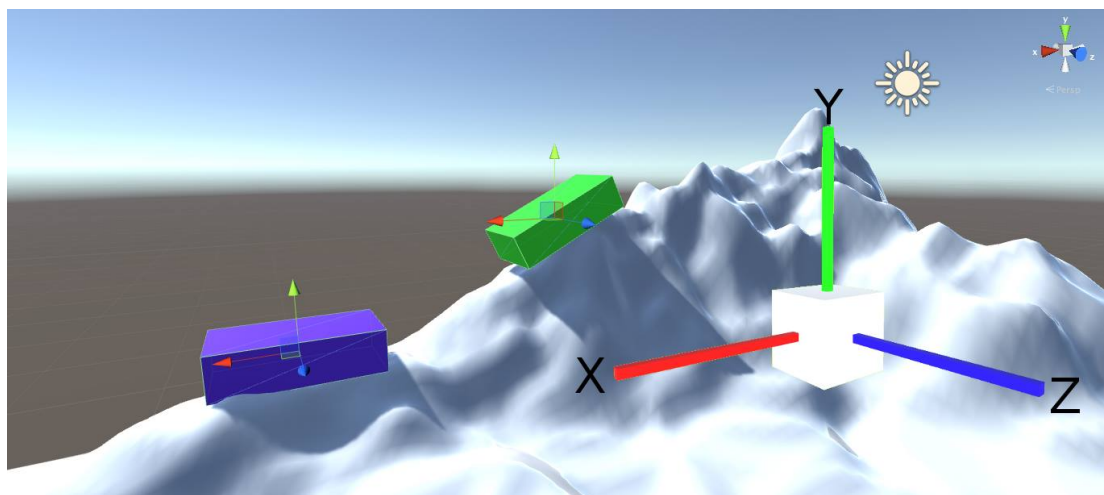
Ve světě techniky je nezbytné zkoumání strukturních vlastností materiálů, často pak jejich povrchů. Od oblasti strojího průmyslu, kde je nutné měřit například drsnost, pro naprosto přesné uložení pístu, až po oblasti stavebnictví, kde se tato měření používají při plánování silnic, železnic a jistě bychom našli mnoho dalších oborů.

Motivací pro bakalářskou práci bylo vytvoření reálného obrazu terénu, navrhnutí co nejjednodušší a nejlevnější varianty snímání, porovnání dnes dostupných a často používaných senzorů, případně jejich levnějších kopií.

Součástí autonomního robota, tedy zařízení, které se pohybuje jen s pomocí programu řídicího motorické schopnosti, musí být zkoumání reliéfu terénu, po kterém se pohybuje.

Cílem je návrh a realizace autonomního robota, který bude za pomoci senzorů snímat zvlnění terénu. Získaná data budou využita pro tvorbu 3D modelu, již projetého terénu.

Obrázek 1 zobrazuje autonomního robota při pohybu směrem vzhůru.



Obrázek 1: Snímání zvlnění terénu – 3D model



# 1. Způsoby snímání profilu terénu

Potřebná data můžeme získat rozdílnými metodami, tyto se dělí na přímé a nepřímé metody. Přímá měření jsou taková, kdy jsou data získávána přímo, tedy měřením daného prostoru, můžeme je rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Nepřímé metody pracují již s existujícími mapami, například z archivů, ze kterých jsou získávána potřebná data pro tvorbu reliéfu (vrstevnice, kóty). Přesnost poté závisí na přesnosti dané mapy [9].

## 1.1 Přímé snímání profilu terénu

### 1.1.1 Kontaktní měření

Do této kategorie patří geodetická měření – nivelace a tachymetrie. Přesnost těchto metod je na úrovni jednotek milimetrů.

- **Nivelace** – Jde o vytyčování vodorovné plochy a měření výškových rozdílů pomocí nivelačního přístroje[9].
- **Tachymetrie** – Je měřena vzdálenosti daného bodu, horizontální a vertikální úhlu pomocí tachymetru (teodolitu)[9].

Na univerzitě Pretoria vyvinuli Can-can machine, jedná se o přístroj na obr. 1.1, který přímo měří profil terénu.

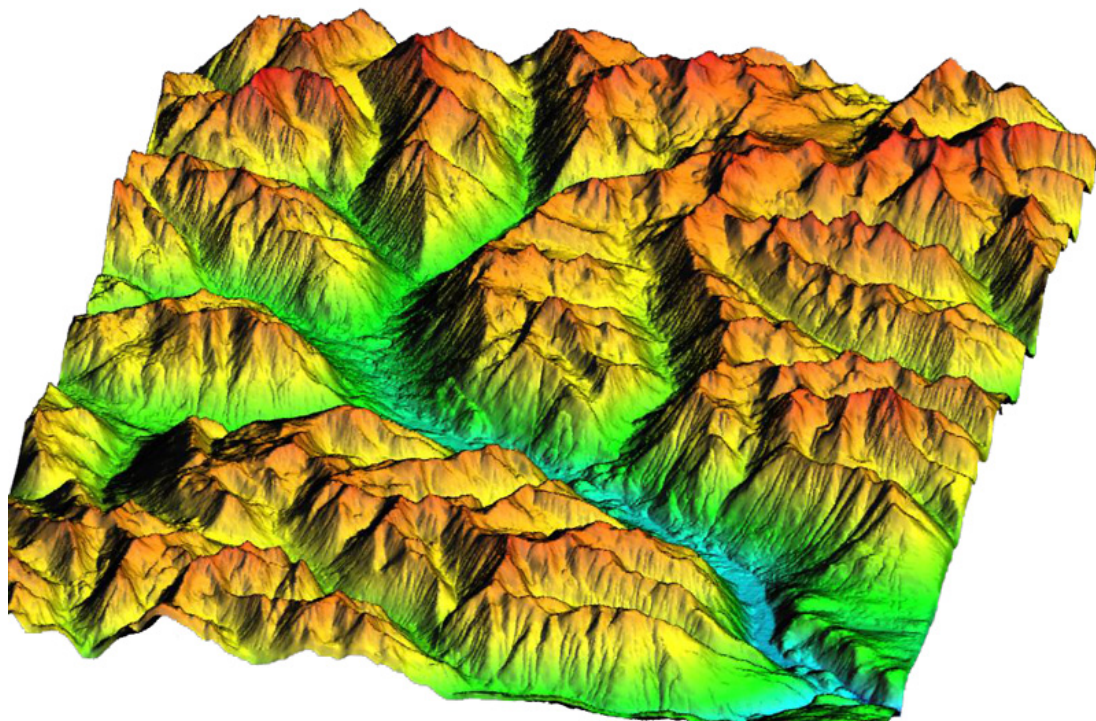


Obrázek 1.1: Can-can machine [11]

### 1.1.2 Bezkontaktní měření

Přesnost bezkontaktního měření je řádově nižší, zpravidla bezkontaktní metody nabízejí rozlišení desítek centimetrů.

- **Fotogrammetrie** – Zpracování dvojic leteckých snímků.
- **GNSS (Global Navigation Satellite System)** – Využívá satelitů některých ze systémů (GPS, Glonass, Galileo, BeiDou). Pomocí signálu měří přesnou vzdálenost. Pro modelování terénu mají dostatečnou přesnost metody diferenciální, tedy GPS/GNSS. Tato metoda funguje na principu oprav GPS měření v terénu, zde je předpoklad, že vliv chyb je na území o poloměru 50 km stejný. DGPS má síť stanic, které jsou rovnoměrně rozmístěny. Provádí měření dvacet čtyři hodin denně. Každá stanice je umístěna v bodě, jehož souřadnice jsou přesně určeny. Referenční stanice z rozdílu změřené polohy a známé polohy počítá korekce, které jsou odeslány přijímači pracujícím v terénu[9].
- **Laserové skenování** – Základem je dálko měrné měření pomocí laseru, přičemž je nutné znát přesnou polohu senzoru, který může být umístěn například na dronu, letadlu, automobilu. Přesnou polohu lze zjistit za pomoci GNSS nebo gyroskopem a akcelerometrem.
- **Radarové snímání** – Toto snímání rozdělujeme na dvě základní a to radargrammetrii, která využívá principu určení paralaxy (úhel mezi dvěma přímkami, které jsou vedeny ze dvou různých míst k pozorovanému objektu)[10], dále pak interferometrii, jež pracuje na principu určování fázového posunu mezi měřeními.



Obrázek 1.2: 3D modelace pomocí laserového skenování [12]



## 2. Konstrukce

Autonomní robot se skládá z podvozku, motoru, zdroje energie a řídicí elektroniky.

### 2.1 Podvozek

Od zvoleného podvozku se odvíjí způsob řízení a také typ terénu ve kterém je robot schopný jízdy.

- **Kolový podvozek** – Možnost řídit pouze jeden motor, vykoupena nutností využít diferenciál nebo využít motory pro jednotlivá kola, kterou využívá například Curiosity Rover.
- **Pásový podvozek** – Nutnost využití dvou motorů. Pásky mají vyšší tření oproti kolovému podvozku, ale vyšší prostupnost terénem.

### 2.2 Motory a jejich řízení

Motor je pohonnou jednotkou celého stroje, mění elektrickou energii na energii mechanickou.

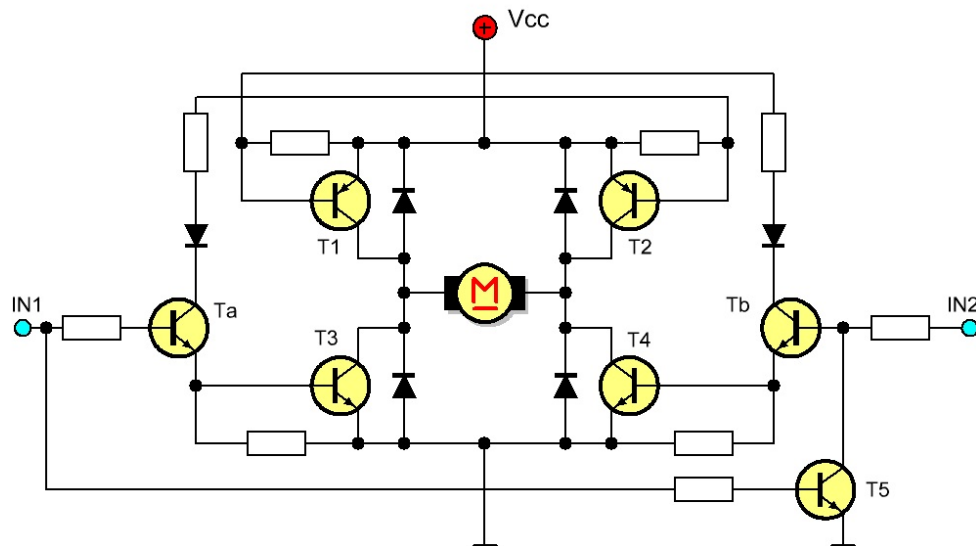
#### 2.2.1 Stejnoseměrný motor

##### Možnosti regulace otáček

- **Lineární** – Pracuje na principu rozdělení napájecího napětí mezi regulační prvek a motor. Regulačním prvkem může být například tranzistor nebo proměnný rezistor.
  - Výhody: Nejjednodušší metoda, nízká cena, slabé elektromagnetické rušení.
  - Nevýhody: Velké ztráty při vysokých proudech.
- **Pulsní** – Stejnoseměrné napájecí napětí je rozděleno do pulsů s konstantní frekvencí, otáčky motoru se mění změnou střídy pulsu, jedná se tedy o PWM (Pulse With Modulation.).
  - Výhody: Nízké ztráty a vysoká účinnost.
  - Nevýhody: Elektromagnetické rušení.
- **Řízení směru otáček** – Směr otáčení se řídí změnou polarit napětí, které se nejčastěji provádí použitím H-můstku.

## 2.2.2 H-můstek

Pomocí tranzistorového H můstku, na bázi spínání jednotlivých tranzistorů, měníme polaritu napětí, díky čemuž se volí směr otáček motoru.



Obrázek 2.1: H-můstek [6]

Z vnitřního zapojení H-můstku na obrázku 2.1 plyne, že přivedením napětí na vstup IN1 a uzemněním vstupu IN2 se tranzistory T2 a T3 otevřou, T1 a T4 zůstávají zavřené. Motor se otáčí jedním směrem v opačném případě, kdy přivedeme napětí na vstup IN2 a uzemníme vstup IN1 se směr otáčení motoru změní. Tranzistor T5 slouží jako ochrana proti současnému přivedení napětí na oba vstupy [6].

Na trhu je velké množství integrovaných obvodů, které jsou určeny pro buzení stejnosměrných motorů.

## 2.2.3 BLDC motor

Bezkartáčový stejnosměrný motor (BrushLess Direct Current motor) vyžaduje k chodu řídicí jednotku, která zajišťuje přepínání polarit cívek.

### Možnosti regulace otáček

- **Six-step komutace** – Tato metoda vychází z postupného spínání jednotlivých fází. Vždy jsou aktivní dvě ze tří fází.

## 2.3 Zdroj energie

Pro pohyb elektrických motorů a elektronické řízení je potřeba vhodný napájecí zdroj.

### 2.3.1 Akumulátory

- **Olověné akumulátory**

- Výhody: Schopnost dodat vysoký špičkový proud. Funkční v širokém rozsahu teplot.
- Nevýhody: Vysoká váha.
- Princip nabíjení: Potřeba jen jednoho stejnosměrného zdroje. Žádné ovládací prvky.

- **NiMH**

- Výhody: Výrazně nižší váha.
- Nevýhody: Nevhodné pro proudově náročné aplikace, paměťový efekt.
- Princip nabíjení: Metoda využívá poklesu napětí na akumulátoru po dosažení plného nabití.

- **Li-Ion**

- Výhody: Malá hmotnost, vysoká kapacita.
- Nevýhody: Rychlé stárnutí, velký vnitřní odpor.
- Princip nabíjení: Rozděleno do dvou fází. V první nabíjíme konstantním proudem do napětí 4.2 V, poté se nabíjí konstantním napětím, při kterém postupně klesá proud až do definované hodnoty. Nutnost hlídat teplotu akumulátoru.

- **LiPol**

- Výhody: Malá hmotnost, vysoká kapacita.
- Nevýhody: Rychlé stárnutí, velký vnitřní odpor.
- Princip nabíjení: Rozděleno do dvou fází. V první nabíjíme konstantním proudem do napětí 4.2 V, poté se nabíjí konstantním napětím, při kterém postupně klesá proud až do definované hodnoty. Nutnost hlídat teplotu akumulátoru.

### 2.3.2 Stabilizátory napětí

Většina dnešních mikrokontrolérů pracuje s napětím 3.3 V, případně 5 V, protože je napětí na akumulátoru vyšší, je potřeba jej snížit. Také díky stabilizátoru získáme větší stabilitu napětí.

#### Základní dělení stabilizátorů napětí

- **Lineární**

- Výhody: Jednoduché řízení stabilizátoru zpětnou vazbou. Nízké elektromagnetické rušení.
- Nevýhody: Nízká účinnost.

- **Spínané**

- Výhody: Vysoká účinnost.
- Nevýhody: Složitější řízení. Elektromagnetická rušení.

## 2.4 Senzory

Senzor je elektronická součástka, která převádí měřenou fyzikální veličinu na elektrický signál, který dále slouží jako informace o okolním prostředí. Robot využívá senzory pro řízení svého pohybu a další interakci s prostředím. Existuje mnoho typů, například senzory teploty, tlaku, náklonu, vzdálenosti a mnohé další.

### 2.4.1 Senzory pro detekci překážek

Pro detekci překážek se používají senzory vzdálenosti, které robota informují o vzdálenosti předmětu, případně o jeho velikosti.

#### Kontaktní

Pomocí taktilních senzorů je možné získat specifické informace o objektu. Umožňují například citlivé uchopení předmětu, chránit robota, přesné měření objektu atp. K těmto senzorům patří mikrosplínače, které indikují dotyk a senzory pro měření síly.

#### Bezkontaktní

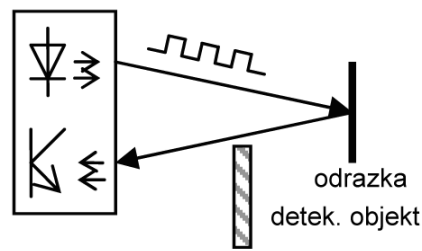
Slouží k vyhodnocení polohy robota, materiálu či kontrole stavu hladiny. Jejich velkou výhodou je možnost pracovat v prašném i vlhkém prostředí.

#### Podle použité technologie můžeme bezkontaktní senzory dělit na

- **Indukční snímače** – Vyhodnocují přítomnost vodivého materiálu na malé vzdálenosti. Využívají principu změny indukčnosti nebo vzájemné indukčnosti.
- **Optické snímače** – Existuje několik principů využívanými optickými snímači[2].
  - **Optická závora** – Vyhodnocuje přerušování paprsku.
  - **Reflexní** – Je vytvořena optická cesta mezi snímačem a speciální reflektorem. Vyhodnocuje se přerušování této cesty.
  - **Difúzní snímače** – Vyhodnocují přítomnost předmětu podle odrazu paprsku, jak znázorňuje obrázek 2.2.

Detekují blízké předměty ze skoro libovolného materiálu. Signál je odražen od předmětu a zachycen přijímačem. Pomocí časového zpoždění lze zjistit přesnou vzdálenost objektu. Tyto senzory můžeme rozdělit podle vlnových délek na ultrazvukové ( $25\mu m.$ ), laserové a infračervené (940nm). Laserové provedení má dosah i přes 1 metr se schopností detekovat předměty o velikosti od 1 mm.
  - **Laserové senzory** – Vyzářením velice úzkého svazku fotonů jsou tyto senzory nejpřesnější. Jsou však také nejdražší.
  - **IR senzory** – Jedná se o nejčastěji využívaný typ senzorů. Nevýhodou tohoto senzoru je možné rušení z okolí (slunce, případně jiné zdroje záření), proto je nutné vysílaný signál modulovat.

## Reflexní světelné závory



Obrázek 2.2: princip reflexního snímače [13]

- **Magnetické snímače** – Reagují na vnější magnetické pole. Například Hallovy sondy, které mohou sloužit jako otáčkoměr.
- **Ultrazvukové snímače** – Jsou založeny na principu měření času šíření zvukové vlny. Tento princip zaručuje spolehlivou detekci nezávislou na barvě nebo typu povrchu. Je možno spolehlivě detekovat i takové materiály jako jsou průhledné objekty, kapaliny a sypké hmoty. Rychlost šíření zvuku je však závislá na teplotě a tlaku, resp. daném materiálu, ve kterém se vlna pohybuje.

Závislost rychlosti zvuku na teplotě vzduchu zobrazuje 2.1, kde  $c$  je rychlost šíření v  $ms^{-1}$  a  $T$  je teplota vzduchu v  $^{\circ}C$ .

$$c = 331.6 + 0.61T \quad (2.1)$$

- **Kapacitní snímače** – Reagují na změnu kapacity, kterou může vyvolat vložený předmět libovolného materiálu.

## 2.4.2 Senzory polohy robota

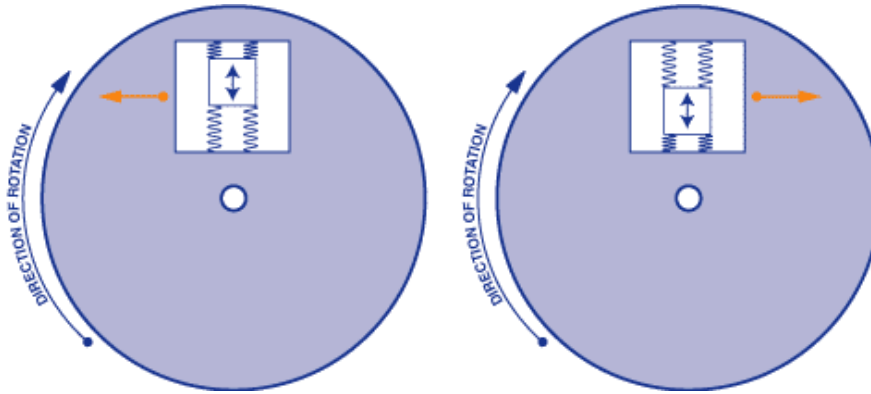
### Gyroskop

Pro určení úhlové rychlosti  $\omega$  využívají gyroskopy předpis pro Coriolisovu sílu, jejíž princip je znázorněn na obrázku 2.3.

$$\mathbf{F}_c = 2m \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}, \quad (2.2)$$

kde  $\mathbf{F}_c$  je vektor síly v Newtonech,  $m$  je hmotnost seismické hmoty v kg,  $\mathbf{v}$  je vektor rychlosti seismické hmoty udávaný v  $ms^{-1}$  a  $\boldsymbol{\omega}$  je vektor úhlové rychlosti  $rad\ s^{-1}$ .

Gyroskop společně s akcelerometrem slouží k určení polohy robota v prostoru skrze měření náklonu a natočení.



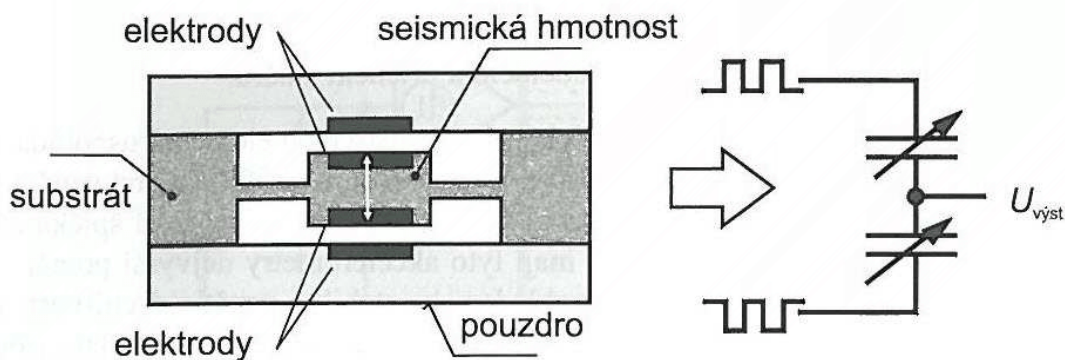
Obrázek 2.3: Princip gyroskopu, při pohybu seismické hmoty směrem ven, která je upevněna na pružinách, na něj působí Coriolisova síla opačným směrem. Velikost síly je úměrná rychlosti a směru otáčení, z čeho lze snadno určit velikost úhlové rychlosti.[14]

### Akcelerometr

Snímá sílu vzniklou změnou rychlosti pohybujícího se tělesa, případně sílu zemské gravitace, tedy dynamické a statické zrychlení. Využívá se pro měření úhlů (náklonu), měření setrvačných sil, měření vibrací[4].

$$\mathbf{a} = \dot{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \quad (2.3)$$

kde  $\mathbf{a}$  je vektor zrychlení v  $\text{ms}^{-2}$ , který je derivací vektoru rychlosti  $\mathbf{v}$  v  $\text{ms}^{-1}$  podle času, která je podílem vektoru síly  $\mathbf{F}$  a hmotnosti  $m$ . Vnitřní provedení MEMS akcelerometru je zobrazeno na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: princip absolutního akcelerometru[15]

## 2.5 Řídící jednotka

Obsahuje řídicí program, zpracovává informace ze senzorů a řídí motory.

### 2.5.1 Mikrokontrolér

Jedná se většinou o monolitický integrovaný obvod, který má vlastní paměť, kde je uložen program a data. Tato paměť je integrovaná v jednom pouzdře společně s dalšími elektronickými obvody. Mikrokontrolérů existuje celá řada s šířkou sběrnice od 8 bitových po 32 bitové, jednotlivé typy se mohou velice lišit v množství periférií, velikosti paměti. Mezi nejznámější výrobce patří firmy Atmel, STMicroelectronics, Texas Instruments, Microchip.

### 2.5.2 Architektury mikrokontrolérů

#### Dělení podle architektury paměti

- **Von Neumannova** –  $\mu C$  se skládá z paměti, řadiče, aritmetické a logické jednotky, vstupních a výstupních obvodů. Má jednotnou paměť programu a dat.
- **Harvardská** –  $\mu C$  se skládá z paměti programu, paměti dat řadiče, aritmetické a logické jednotky, vstupních a výstupních obvodů. Paměť pro program a data je oddělena.
- **Modifikovaná Harvardská** – má stejné uspořádání, jako v Harvardské architektuře, pouze k paměti dat a programu se přistupuje po stejné adresné sběrnici.

#### Dělení podle komplexnosti instrukční sady

- **CISC** – Jedná se o komplexní instrukční sadu, která má většinou přes 200 instrukcí, obsahuje málo registrů, má proměnlivý formát instrukcí, oproti RISC má složitější strukturu. Řídící obvody u této architektury zabírají okolo 60% místa na čipu.
- **RISC** – Jde o redukovanou instrukční sadu, kde instrukce mají pevnou délku a pevný formát, má velký počet registrů, realizuje pouze nejnútnejší operace, oproti architektuře CISC má jednodušší strukturu a řídicí obvody zabírají 6-10% místa na čipu.





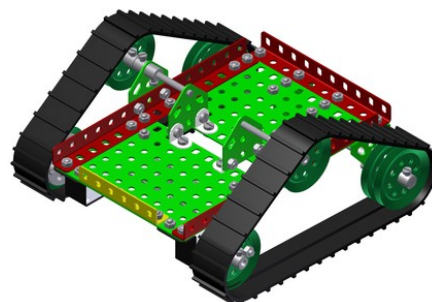
# 3. Realizace

## 3.1 Mechanická konstrukce

Pro robota byl zvolen pásový podvozek z důvodu jednoduchosti řízení s rozměry  $190 \times 160 \times 85$  mm, který je vybaven motory s parametry.

Tabulka 4.1: parametry stejnosměrného motoru

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Doporučené napájení | 3 – 12 V     |
| Odběr bez zátěže    | 70 mA        |
| Odběr při 0 ot/min  | 800 mA       |
| Otáčky bez zátěže   | 11500 ot/min |

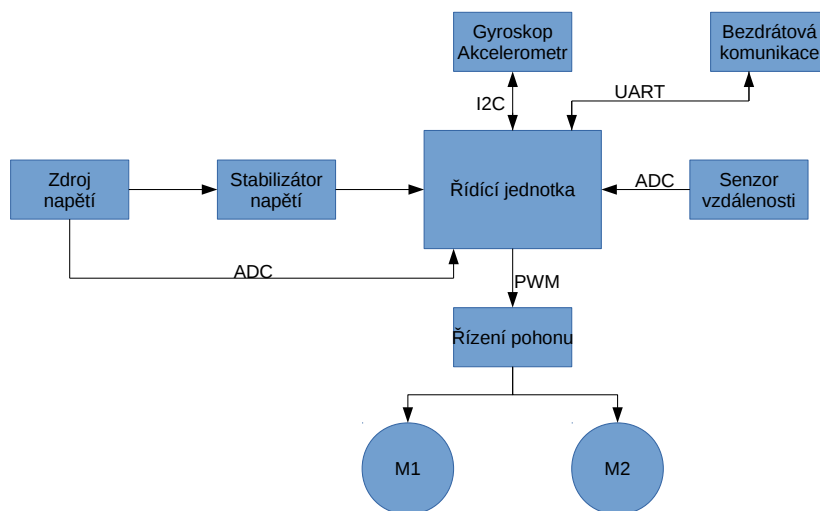


Obrázek 3.1: pásový podvozek [16]

## 3.2 Blokové schéma elektroniky

Ze zvoleného podvozku je patrné, že bude potřeba řídit dva motory.

Na obrázku 3.2 je blokové schéma, znázorňující základní zapojení dílčích elektronických bloků.



Obrázek 3.2: blokové schéma

### 3.3 Mikrokontrolér

Byla zvolena architektura RISC, která je díky redukované instrukční sadě rychlejší, což je pro zpracování dat ze senzorů žádoucí. Vzhledem ke zkušenostem s mikrokontroléry od firmy Atmel byl použit Atmega32u4.

#### 3.3.1 Atmega32u4

Jedná se o 8 bitový mikrokontrolér s redukovanou instrukční sadou na pracovním napětí v rozsahu 2.7 - 5 V, jehož maximální pracovní frekvence je 16 MHz. V pouzdře je 12 kanálový analogově číslicový převodník.

### 3.4 Řízení motorů

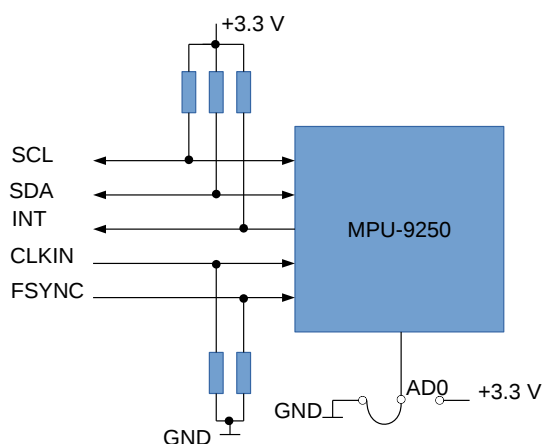
Z důvodu jednoduchosti implementace pulsně šířkové modulace na mikrokontroléru jsem zvolil pulsní řízení s integrovaným obvodem L298, který obsahuje dvojitý H-můstek.

### 3.5 Snímání osy Y

Pro modelování prostředí je nutné snímat osu Y, tedy polohu robota v prostoru, pomocí gyroskopu nebo akcelerometru.

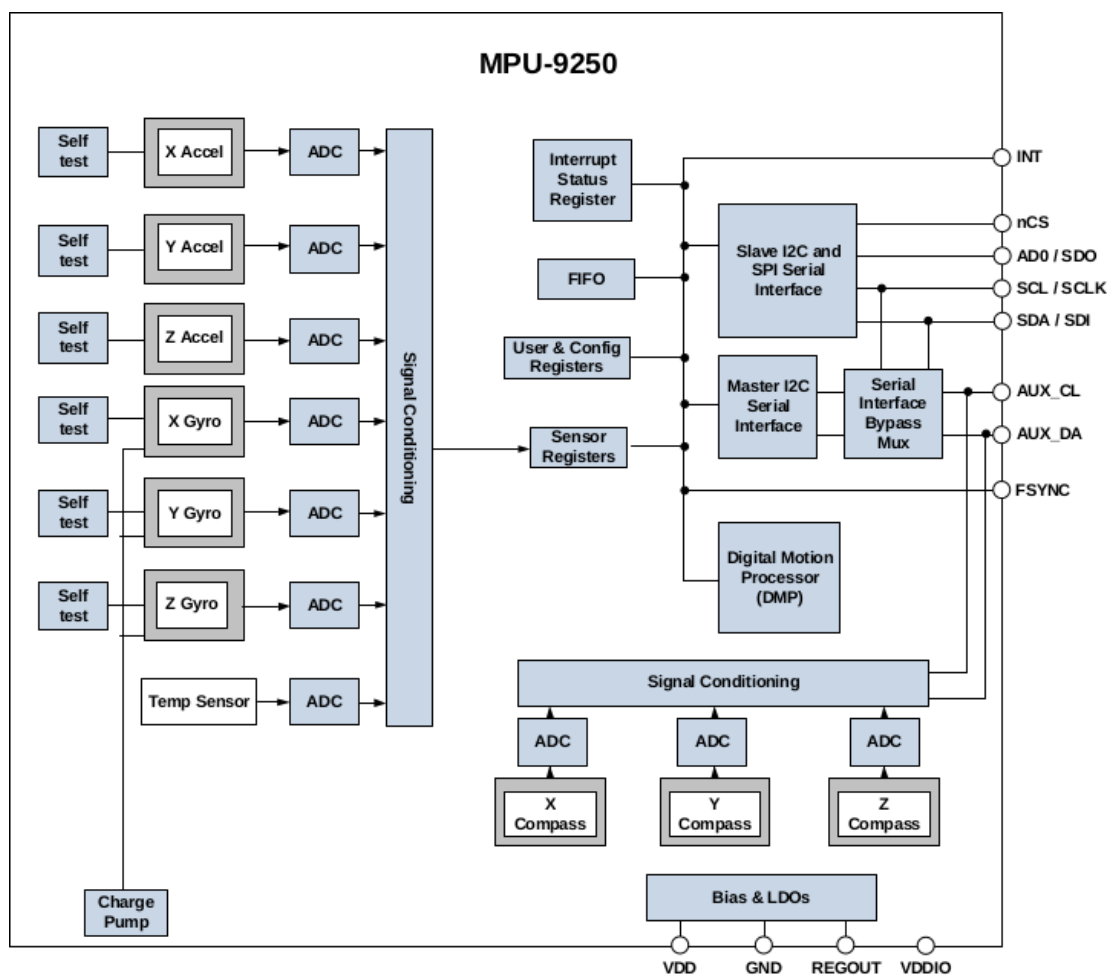
#### 3.5.1 MPU-9250

Integrovaný obvod, který obsahuje tříosý MEMS akcelerometr, MEMS gyroskop a senzor magnetického pole. Používá se ve vývojových deskách arduino a pro řízení mnoha quadcopter. Základní zapojení na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: základní zapojení MPU-9250

### 3.5.2 Senzor magnetického pole



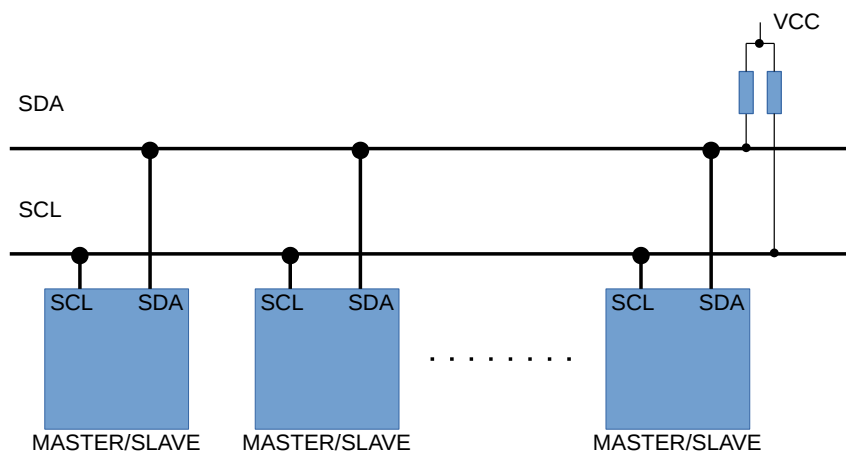
Obrázek 3.4: vnitřní zapojení MPU-9250 [17]

Z vnitřního zapojení na obrázku 3.4 je patrné, že kompas je připojen jako slave na piny AUX.CL a AUX.DA, na které lze připojit další zařízení, která budou zapojena jako slave IO MPU 9250. V samostatném pouzdře se jedná o čip AK8963C.

### 3.5.3 Komunikace s MPU-9250

Komunikace s IO je možná pomocí I<sup>2</sup>C nebo SPI.

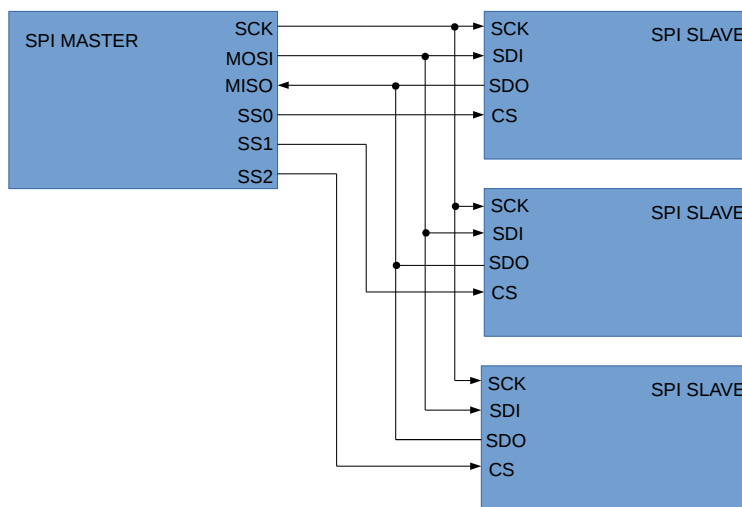
#### I<sup>2</sup>C



Obrázek 3.5: základní zapojení I<sup>2</sup>C

Sběrnice typu multimaster má zabudovaný systém adres řešící arbitraci. IO MPU-9250 má pin AD0, kterým se ovládá adresa. Pokud je tento pin uzemněn, pak je adresa 0x68 v případě připojení na napájecí napětí 0x69. Maximální přípustná frekvence signálu SCL je 400 KHz[1]. Zapojení je znázorněno na obrázku 3.5.

#### SPI



Obrázek 3.6: základní zapojení SPI

Ke komunikaci slouží tři piny. SPI umožňuje plně obousměrnou komunikaci, tzv. full duplex, sběrnice je typu single master, kdy master pomocí pinu ss(slave select) vybírá IO, se kterým naváže komunikaci. Zapojení ukazuje obrázek 3.6. SPI má vyšší frekvenci, než  $I^2C$   $f_{max} = 20MHz$  [1].

Existují dvě možnosti získávání dat z IO, čtení surových dat bez matematického zpracování, které je později nutné provést v mikrokontroléru nebo komunikací s DMP (Digital Motion Processor), který ušetří práci mikrokontroléru.

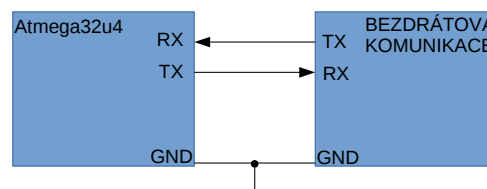
### Výpočet sklonu a náklonu ve stupních z dat akcelerometru

Kde výstupy z os jsou data vyčtená přímo z registru MPU-9250.

$$\theta_x = \arctan \left( \frac{\text{výstup } x. \text{ osy}}{\sqrt{(\text{výstup } y. \text{ osy})^2 + (\text{výstup } z. \text{ osy})^2}} \right) \quad (3.1)$$

$$\theta_y = \arctan \left( \frac{\text{výstup } y. \text{ osy}}{\sqrt{(\text{výstup } x. \text{ osy})^2 + (\text{výstup } z. \text{ osy})^2}} \right) \quad (3.2)$$

#### 3.5.4 Odesílání dat



Obrázek 3.7: základní zapojení UART

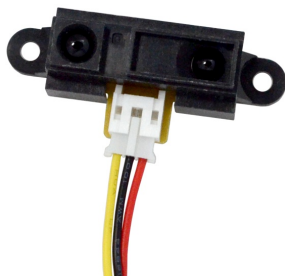
Získaná data jsou upravena a předána pomocí rozhraní UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter). Princip odesílání znázorňuje obrázek 3.7.

### 3.6 Senzor překážek

Byl vybrán IR senzor Sharp 0A41SK, se kterým jsem měl možnost již dříve pracovat, a jeho levná kopie. Pro případ možného selhání bezkontaktních senzorů je na přední straně robota umístěn mikrospínač, který se v případě nárazu do překážky sepne a spustí vykonávání sekvence přerušování.

### 3.6.1 Sharp 0A41SK

Jedná se o difúzní optický IR senzor, který je zobrazen na obrázku 3.8, jehož měřicí rozsah je 3-30cm.



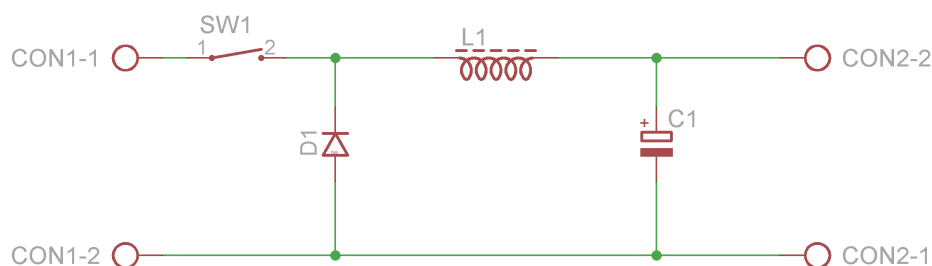
Obrázek 3.8: senzor Sharp [18]

## 3.7 Napájecí akumulátor

Pro svou nízkou váhu a možnost dodávat vysoký proud byl zvolen Li-Pol akumulátor, jehož stav je sledován pomocí ADC převodníku zabudovaného v mikrokontroléru.

## 3.8 Spínaný zdroj

Pro stabilizaci napětí z Li-Pol akumulátoru byl zvolen snižující spínaný zdroj LM2678S-5.0/NOPB, který pracuje na frekvenci 500 KHz s maximálním výstupním proudem 5A.



Obrázek 3.9: základní princip snižujícího spínaného zdroje

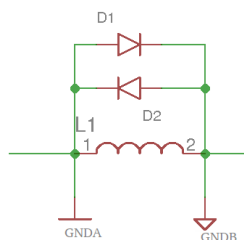
Na schématu 3.9 se při sepnutí SW1 začne kondenzátor C1 dobíjet proudem  $I$ , který protéká cívkou L1. Po rozepnutí spínače se mění energie magnetického pole cívky v dobíjecí proud. Cívka se snaží zachovat stejný směr dobíjecího proudu[3].

### 3.9 Návrh desky plošného spoje (DPS)

Pro návrh DPS byl použit program Eagle. Je nutné dodržovat pravidla návrhu.  
**Základní pravidla návrhu**

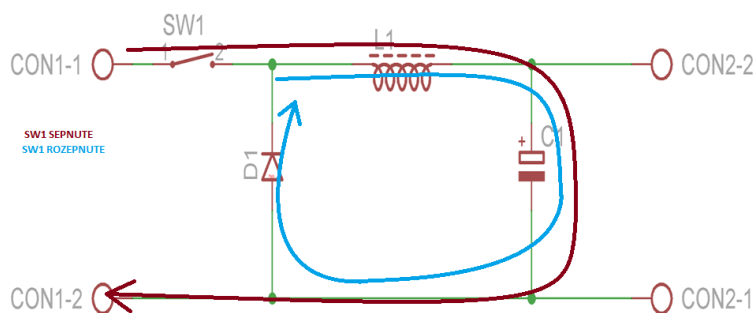
- Minimalizace kmitočtového spektra
- Minimalizace proudových smyček
- Filtrace
- Vhodně zvolené IO

Z důvodu vyššího odběru H-můstku a rušení od spínaného zdroje, jak je patrné z obrázku 3.10, byla vytvořena zem analogová a digitální. Antiparalelní diody zajišťují maximální rozdíl analogové a digitální země 0,7V. Digitální zem, na kterou je připojen MCU a všechny periférie. Zároveň byl využit izolační příkop.



Obrázek 3.10: rozdělení zemí

Při návrhu spínaného zdroje je potřeba minimalizovat plochy proudových smyček, na obrázku 3.11 zobrazeny červenou a modrou barvou. Taktéž je vhodné použít cívku s co nejmenším rozptylem magnetického pole[5].



Obrázek 3.11: základní princip snižujícího spínaného zdroje

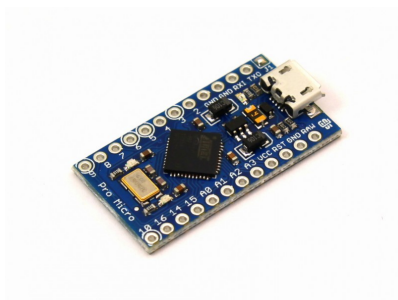




# 4. Testování

## 4.1 Nástroje pro testování

Pro zahájení první komunikace bylo použito modulu Arduino Pro Micro, který vidíme na obrázku 4.1. Za pomoci rozhraní UART a USB této desky byla přeposílána data do PC, která lze zobrazit v Arduino IDE. Ovšem tato metoda vykazovala několik vad. Arduino IDE se v systému Linux často zasekával a jak se posléze ukázalo, deska Arduino Pro Micro není schopna obousměrné komunikace. Proto bylo využito převodníku USB/TTL s převodníkem PL-2303HX, jež je zobrazen na obrázku 4.2. První testování bylo provedeno spojením robota a následným ověřením komunikace v H-Terminálu. Po ověření funkčnosti byl sepsán program v jazyku Python pro zachytávání dat a jejich ukládání do textového souboru, která byla posléze pomocí druhého skriptu zpracována.



Obrázek 4.1: Arduino Pro Micro[19]



Obrázek 4.2: převodník USB/TTL [20]

### 4.1.1 Python

Jde o vysokoúrovňový skriptovací programovací jazyk, který navrhl Guido van Rossum. Poskytuje dynamickou kontrolu datových typů a podporu pro mnohá programovací paradigmatata procedurální, funkcionální, imperativní nebo objektově orientované.

Python je open source projekt, který je nabízený zdarma pro většinu platforem (Unix, Windows, Mac OS)[7].

#### Zachytávání dat

Nejdůležitější částí skriptu je nastavení přenosové cesty, například

```
ser = serial.Serial("/dev/ttyACM1", 9600)
```

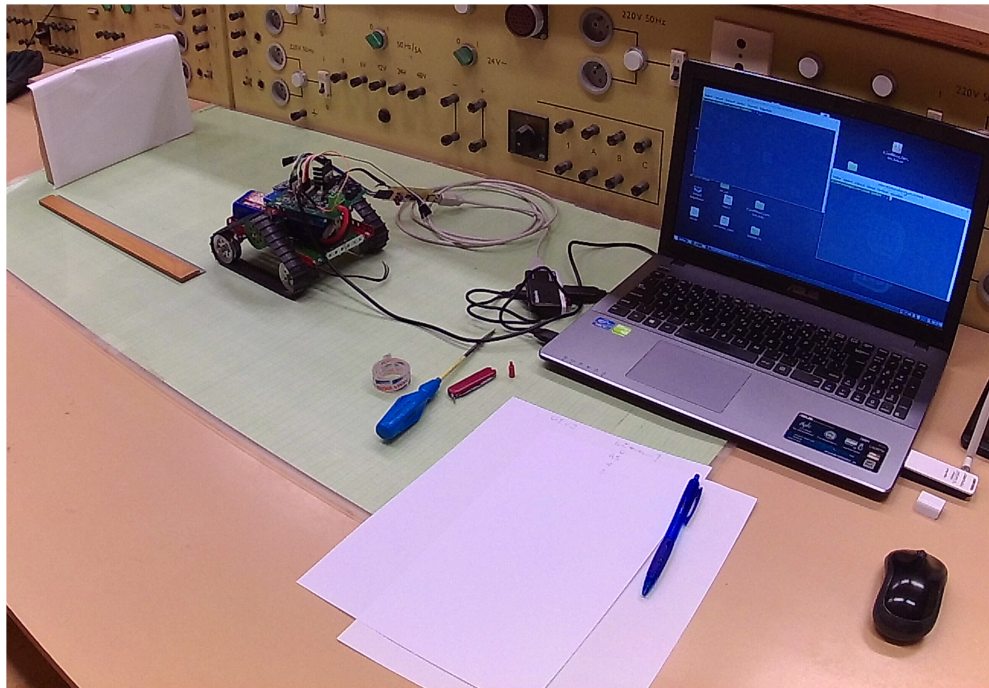
zde je vidět nastavený port `ttyACM1` a baud rate `9600`. Dále se zde předpokládá 8bitová komunikace s jedním stop bitem. Pokud by se jednalo o jiný počet bitů, bylo by třeba zde doplnit další parametry.

Tento skript zapisuje přijatá data do textového souboru. Zápis dat je možné v terminálu sledovat pomocí příkazu.

```
tail -f soubor.txt
```

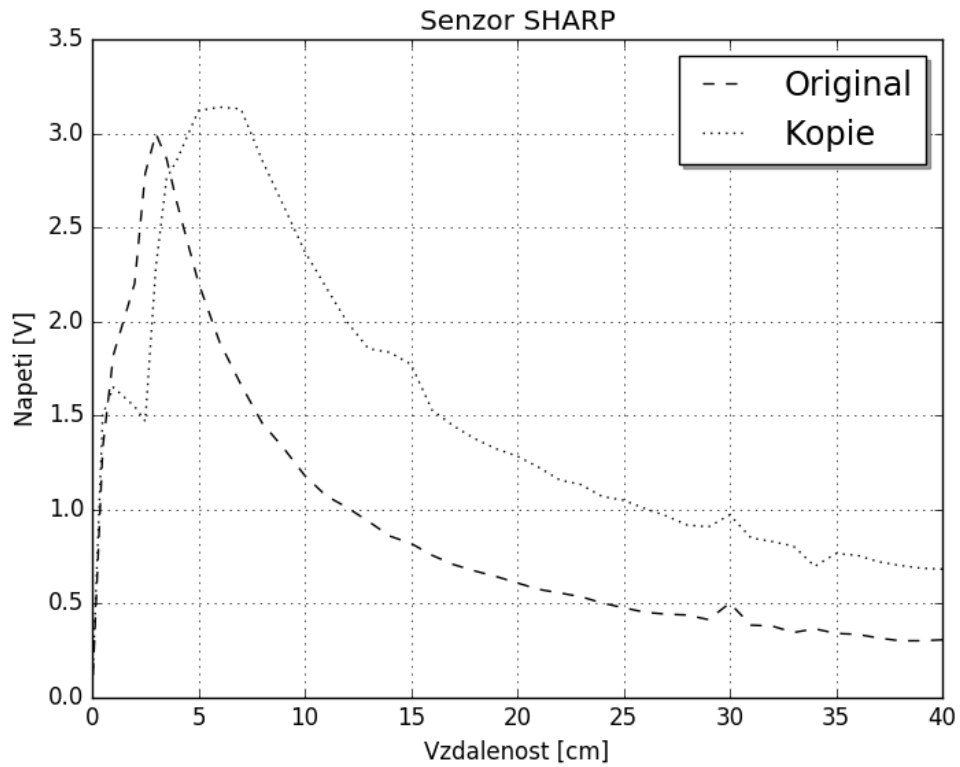
## 4.2 Senzor vzdálenosti

Bylo provedeno měření dvou senzorů Sharp 0A41SK, originálem a kopií toho senzoru, od vzdálenosti 40 cm po 0 cm, za pomoci posunu překážky bílé barvy.



Obrázek 4.3: graf měření senzoru vzdálenosti

Výsledný graf 4.4 zobrazuje závislost výstupního napětí senzoru na vzdálenosti od překážky. Jak je z grafu vidět, kopie naprosto neodpovídá originálnímu senzoru. Také je patrné mírné posunutí grafu originálního senzoru od grafu poskytnutého výrobcem, které bude pravděpodobně způsobeno možnou tolerancí při výrobě.



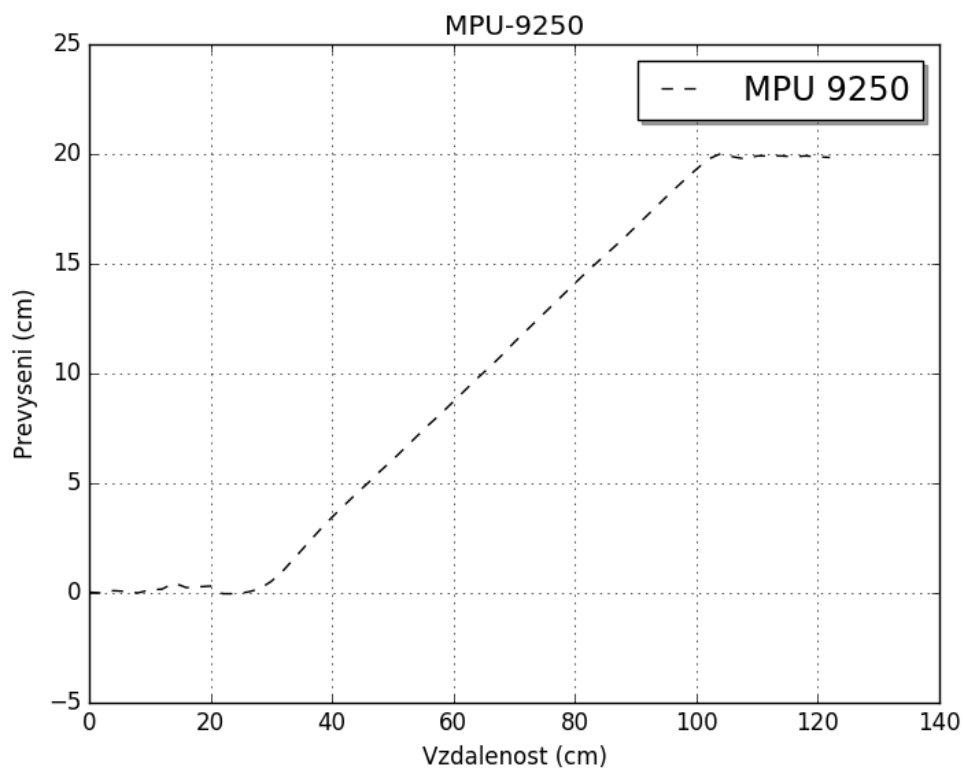
Obrázek 4.4: graf měření senzoru vzdálenosti

### 4.3 Gyroskop a akcelerometr čipu MPU-9250

Bylo provedeno měření profilu terénu pomocí čipu MPU-9250, který obsahuje MEMS gyroskop, akcelerometr a magnetometr. Pro zjištění přesného úhlu bylo využito dat z akcelerometru a gyroskopu, jehož výstupem je úhlová rychlost. Proto bylo třeba ji upravit. Úhlová rychlost je časovou derivací změny úhlu. Přesný úhel lze získat pomocí integrace. Pro mikrokontrolér je nutné integrál aproximovat na sumu, jak ukazuje rovnice 4.1, kde  $\phi(t)$  je náklon v čase  $t$  a  $T_s$  je rychlost vzorkování, které je v mikrokontroléru zajištěno přerušením od čítače[8].

$$\omega = \dot{\phi} = \frac{d\phi}{dt} \quad (4.1)$$

$$\phi(t) = \int_0^t \dot{\phi}(t) dt = \sum_{n=0}^{t_n} \dot{\phi}(t_n) T_s \quad (4.2)$$



Obrázek 4.5: Měření náklonu pomocí senzoru MPU-9250

Výsledný graf 4.5 zobrazuje mírný šum na začátku a na konci grafu, který je pravděpodobně způsoben otřesy vyvolané motorem. Jedná se o velice malé změny, které nejsme schopni odfiltrvat.

# Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout co nejlevnější a nejjednodušší varianty snímání reliéfu terénu. Zakoupením kopií senzorů se podařilo zařízení velice zlevnit. Nejjednodušší variantou by pravděpodobně bylo využití knihovny pro IO MPU-9250 přímo od výrobce, která je však dostupná pouze pro čipy ST. Knihovna má v kódu zabudované funkce pro DMP, který následně dodává upravená data, takže není třeba žádných dalších úprav na straně uživatele. Návrh desky byl proveden v programu Eagle, ve kterém byla vygenerována data pro výrobu. Deska byla následně osazena a oživena. Oživení proběhlo bez větších komplikací. Následným měřením byla ověřena funkčnost snímání reliéfu terénu a porovnány kopie senzoru. Pro danou aplikaci je řešení funkční s dostatečnou přesností. Z testování vyplynulo, že zakoupené levnější kopie mají výrazně horší vlastnosti. Problémem byl také senzor magnetického pole, který pravděpodobně díky rušení od motorů a od plechového podvozku, dodává naprosto špatná data. Otáčení robota o 90° bylo vyřešeno pro naše potřeby spojením údajů ze senzoru Sharp a časovým zpožděním.

V budoucím návrhu, který by umožnil pohyb ve volném terénu, by bylo vhodné využít dva mikrokontroléry. Jeden samostatný zvolit pro měření reliéfu terénu, z důvodu zvýšení přesnosti a rychlosti snímání. Druhý pro ovládání robota, který by byl doplněn zpětnou vazbou od motorů, případně přímo od pásu. Následně robota vybavit větším množstvím senzorů překážek, se kterými v návrhu nebylo počítáno a z časových důvodů nebylo možné realizovat takovéto změny.



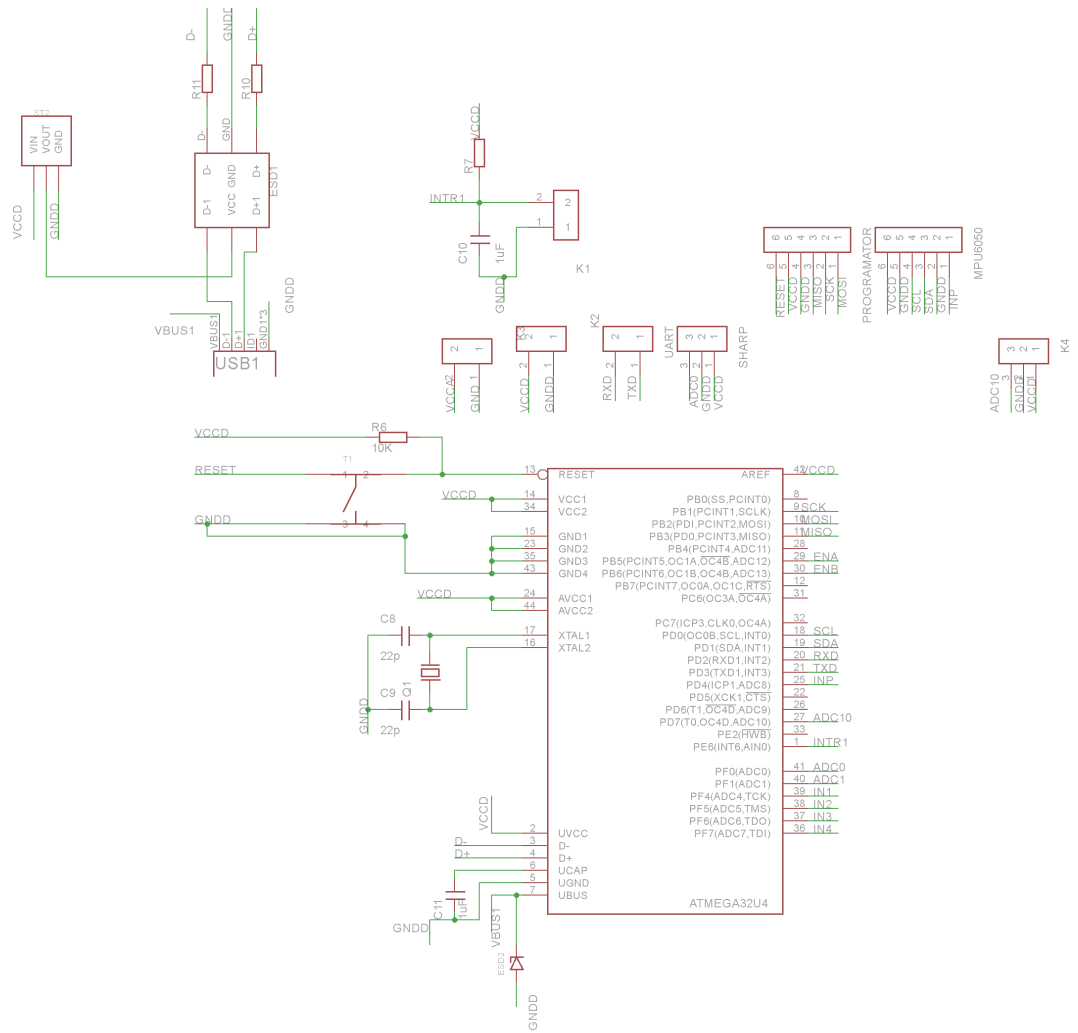
# Literatura

- [1] ZÁVOSKÝ, O.: Programujeme AVR v jazyku C, 2012.
- [2] FRADEN, J.: Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications 4th ed. 2010 Edition, Springer Science+Business Media, 2010. ISBN 978-14-4196-465-6.
- [3] BLAŽEK, Jan, VIK, Vladimír.: Elektronika III, 2014, Jičín.
- [4] HUSÁK, Miroslav. Mikrosenzory a mikroaktuátory. Praha: Academia, 2008. Gerstner. ISBN 978-80-200-1478-8.
- [5] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03351-1.
- [6] Robotem sem-robotem tam II [online]. 2011- [cit. 2016-5-20] Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2011/robotem-sem-robotem-tam-ii-%E2%80%93-93-elektronika-take-neni-k-zahozeni/>
- [7] Python. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. 2001- [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Python>
- [8] P. Jan.: Getting the angular position from gyroscope data [online]. 2012- [cit. 2016-20-10] Dostupné z: <http://www.pieter-jan.com/node/7>
- [9] PACINA, Jan a Marcel BREJCHA. Digitální modely terénu. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN 978-80-7414-815-6.
- [10] Paralaxa. Wikipedia: the free encyclopedia. [online]. 2001- [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Paralaxa>
- [11] Can-can machine [online]. 2015- [cit. 2016-11-30] Dostupné z: <http://archivedpublicwebsite.up.ac.za/sitefiles/image/44/1026/2163/24241/Picture%2015.jpg>
- [12] Lidar [online]. 2014- [cit. 2016-11-30] Dostupné z: [https://landusekn.ca/sites/default/files/blog\\_lidar.jpg](https://landusekn.ca/sites/default/files/blog_lidar.jpg)
- [13] VOJÁČEK, Antonín. Jednocestné optické závory [online]. 2006- [cit. 2016-06-02] Dostupné z: [http://automatizace.hw.cz/images/opto\\_priblizeni/zavora.gif](http://automatizace.hw.cz/images/opto_priblizeni/zavora.gif)
- [14] VOJÁČEK, Antonín. Integrované mems gyroskopy [online]. 2009-[cit. 2016-06-02] Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>
- [15] VOJÁČEK, Antonín. Měření vibrací pro diagnostiku opotřebených strojů [online]. 2015-[cit. 2016-06-04] Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>
- [16] MERKUR Pásový podvozek [online].[cit. 2016-10-10] Dostupné z: <http://www.merkurtoys.cz/vyrobky/pasovy-podvozek-merkur>

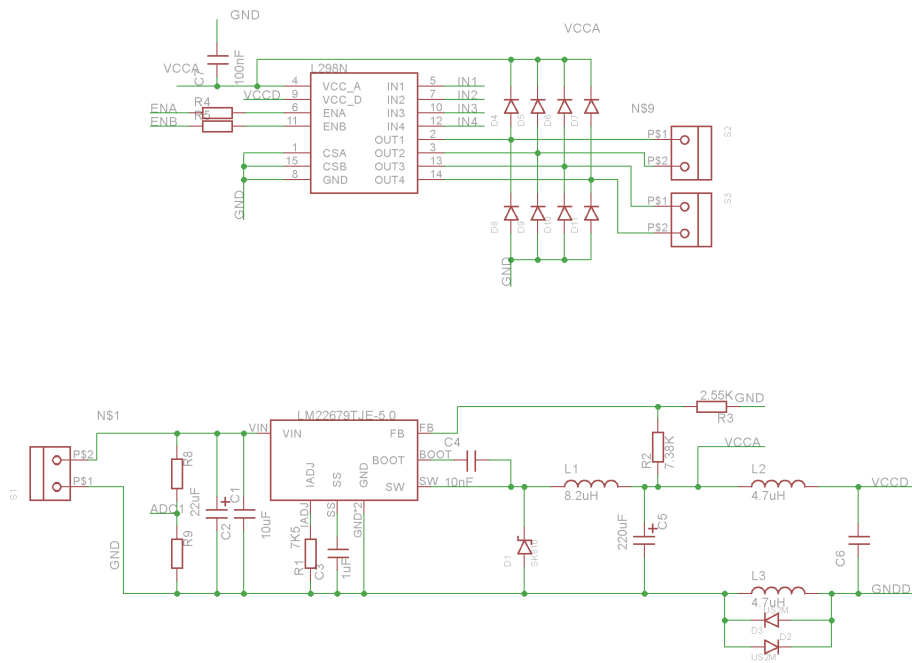
- [17] Datasheet, Revision 1.1 [online]. 2015-[cit. 2016-11-05] Dostupné z: <https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf>(s.21)
- [18] Senzor Sharp [online]. [cit. 2016-10-11] Dostupné z: <https://www.bananarobotics.com/shop/Sharp-GP2Y0A21YK0F-IR-Distance-Sensor?search=sharp>
- [19] Arduino Pro Micro [online]. [cit. 2016-11-12] Dostupné z: <http://artofcircuits.com/product/arduino-pro-micro-5v16mhz>
- [20] USB/RS232-TTL-UART(PL2303HX) [online]. [cit. 2016-10-11] Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/USB-To-RS232-TTL-UART-PL2303HX-Auto-Converter-USB-to-COM-Cable-Adapter-Module-SG087-SZ/32429663295.html?spm=2114.40010708.4.2.EZ2Y4o>



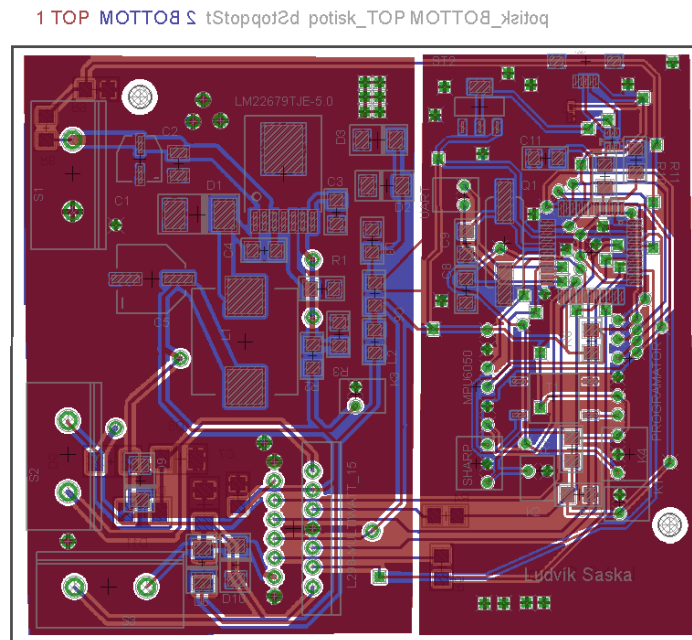
# A. Schema



Obrázek A.1: schema zapojení mikrokontroléru a periférií



Obrázek A.2: schema zapojení spínaného zdroje



+

Obrázek A.3: DPS

# Seznam obrázků

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Snímání zvlnění terénu – 3D model<br>Zdroj: UNITY 3D  | 3  |
| 1.1 | Can-can machine<br>Zdroj: <a href="http://archivedpublicwebsite.up.ac.za/sitefiles/image/44/1026/2163/24241/Picture%2015.jpg">http://archivedpublicwebsite.up.ac.za/sitefiles/image/44/1026/2163/24241/Picture%2015.jpg</a>                         | 5  |
| 1.2 | 3D modelace pomocí laserového skenování<br>Zdroj: <a href="https://landusekn.ca/sites/default/files/blog_lidar.jpg">https://landusekn.ca/sites/default/files/blog_lidar.jpg</a>   | 6  |
| 2.1 | H-můstek<br>Zdroj: <a href="http://robodoupe.cz/wp-content/uploads/2011/10/SemTam_Trantzistory-1024x614.jpg">http://robodoupe.cz/wp-content/uploads/2011/10/SemTam_Trantzistory-1024x614.jpg</a>  | 8  |
| 2.2 | princip reflexního snímače<br>Zdroj: <a href="http://automatizace.hw.cz/images/opto_priblizeni/zavora.gif">http://automatizace.hw.cz/images/opto_priblizeni/zavora.gif</a>  | 11 |
| 2.3 | princip gyroskopu.<br>Zdroj: <a href="http://automatizace.hw.cz/files/images/image/Gyro-05.gif">http://automatizace.hw.cz/files/images/image/Gyro-05.gif</a>  | 12 |
| 2.4 | princip absolutního akcelerometru<br>Zdroj: <a href="http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10877/vibrace_kapacitni.gif">http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10877/vibrace_kapacitni.gif</a> | 12 |
| 3.1 | pásový podvozek<br>Zdroj: <a href="http://www.merkurtoys.cz/editor/image/produkty2_galerie/tn_zoom_obrazek_1357.jpg">http://www.merkurtoys.cz/editor/image/produkty2_galerie/tn_zoom_obrazek_1357.jpg</a>   | 15 |
| 3.2 | blokové schéma<br>Zdroj: vlastní tvorba   | 15 |
| 3.3 | základní zapojení MPU-9250<br>Zdroj: vlastní tvorba   | 16 |
| 3.4 | vnitřní zapojení MPU-9250<br>Zdroj: <a href="https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf(s.21)">https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/PS-MPU-9250A-01-v1.1.pdf(s.21)</a>                         | 17 |
| 3.5 | základní zapojení I <sup>2</sup> C<br>Zdroj: vlastní tvorba   | 18 |
| 3.6 | základní zapojení SPI<br>Zdroj: vlastní tvorba  | 18 |
| 3.7 | základní zapojení UART<br>Zdroj: vlastní tvorba   | 19 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.8  | senzor Sharp   |    |
|      | Zdroj: <a href="https://www.bananarobotics.com/shop/image/cache/data/sku/BR/0/1/0/1/7/BR010173-Sharp-GP2Y0A21YKOF-IR-Distance-Sensor/Sharp-GP2Y0A21YKOF-IR-Distance-Sensor-600x600.jpg">https://www.bananarobotics.com/shop/image/cache/data/sku/BR/0/1/0/1/7/BR010173-Sharp-GP2Y0A21YKOF-IR-Distance-Sensor/Sharp-GP2Y0A21YKOF-IR-Distance-Sensor-600x600.jpg</a> | 20 |
| 3.9  | základní princip snižujícího spínaného zdroje  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 20 |
| 3.10 | rozdělení zemí   |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 21 |
| 3.11 | základní princip snižujícího spínaného zdroje  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 21 |
| 4.1  | Arudino Pro Micro  |    |
|      | Zdroj: <a href="http://artofcircuits.com/wp-content/uploads/2014/04/Arduino-Pro-Micro-1.jpg">http://artofcircuits.com/wp-content/uploads/2014/04/Arduino-Pro-Micro-1.jpg</a>   | 23 |
| 4.2  | převodník USB/TTL  |    |
|      | Zdroj: <a href="https://ae01.alicdn.com/kf/HTB15YxcIXXXa6XVXXq6xXFXXXZ/-font-b-USB-b-font-To-RS232-font-b-TTL-b-font-UART-PL2303HX-Auto.jpg">https://ae01.alicdn.com/kf/HTB15YxcIXXXa6XVXXq6xXFXXXZ/-font-b-USB-b-font-To-RS232-font-b-TTL-b-font-UART-PL2303HX-Auto.jpg</a>   | 23 |
| 4.3  | graf řešení senzoru vzdálenosti  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 24 |
| 4.4  | graf měření senzoru vzdálenosti  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 25 |
| 4.5  | měření náklonu pomocí senzoru MPU-9250   |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 26 |
| A.1  | schéma zapojení mikrokontroléru a periférií  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 31 |
| A.2  | schema zapojení spínaného zdroje   |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 32 |
| A.3  | DPS  |    |
|      | Zdroj: vlastní tvorba  | 32 |