



## **Středoškolská technika 2013**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

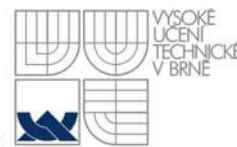
# **ČTYŘNOHÝ KRÁČEJÍCÍ ROBOT v4.0**

**Vojtěch Hamáček**

Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Šumperk  
Gen. Krátkého 1, 787 29, Šumperk

**Děkuji doc. Ing. Jiřímu Šebestovi, Ph.D. za pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytoval v rámci spolupráce s VUT v Brně. Dále bych chtěl poděkovat Ladislavu Mulačovi za pomoc s návrhem a výrobou kostry robota a Ing. Františku Vlčkovi za výrobu DPS ve firmě Gatema s.r.o. Zvláštní poděkování patří spolužáku Danielu Mackovi za spolupráci na projektu.**

*Tento článek vznikl v rámci projektu „Popularizace výsledků VaV VUT v Brně a podpora systematické práce se studenty“, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/35.0004.*



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem, výrobou a naprogramováním čtvrté verze čtyřnohého kráčejičího robota. Cílem je vytvořit kráčejičího robota ovládaného přes WiFi z notebooku nebo z jiného mobilního zařízení, vybaveného webovým prohlížečem. Pro přesnou orientaci v prostoru je vybaven množstvím různých senzorů, jako jsou IR senzory, 3D akcelerometr, 3D gyroskop, 3D senzor magnetického pole. Dále je vybaven množstvím dalších senzorů pro měření fyzikálních podmínek v prostředí, ve kterém se nachází, tj. senzor atmosférického tlaku, senzor vzdušné vlhkosti, senzor teploty a další. Zároveň byl při návrhu kladen důraz na možnost rozšíření robota o další senzory. Robot je vybaven dvěma DPS, první z nich je osazena napájecími zdroji, senzory a řídicím mikropočítačem, který zajišťuje především řízení servomotorů. Druhá DPS je mikropočítač Raspberry Pi vybavený WiFi modulem, který slouží k hlavnímu řízení robota a jeho ovládání prostřednictvím webového serveru.

Klíčová slova: robot; čtyřnohý kráčejičí robot, Raspberry Pi, Raspi; ATXmega192A3U

## ABSTRACT

The work deals with the design, production and programming the fourth version of the four-legged walking robot. The aim is to create a walking robot controlled via WiFi from your laptop or other mobile device equipped with a web browser. For its orientation in space is equipped with a number of different sensors such as IR sensors, 3D accelerometer, 3D gyroscope, 3D magnetic field sensor. Furthermore, it is equipped with a plurality of other sensors for measuring physical conditions in the environment in which it is located, i.e., atmospheric pressure sensor, humidity sensor, temperature sensor and others. At the same time the design of the emphasis on the possibility of further extension of the robot sensors. The robot is equipped with two PCB, the first of which is fitted power supplies, sensors and microcomputer control, which provides primarily servo motors. The other PCB is a microcomputer Raspberry Pi with WiFi module that is used to control the robot and its control through a web server.

Key words: robot; four-legged walking robot; Raspberry Pi, Raspi; ATXmega192A3U

## OBSAH

<b>ABSTRAKT</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>4</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1 KONSTRUKCE A PROVEDENÍ ROBOTA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 KONSTRUKČNÍ DÍLY A ROZMĚRY NOHOU</b> .....	<b>10</b>
<b>2 SERVOMOTORY</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 POHONY NOHOU - SERVOMOTORY</b> .....	<b>12</b>
2.1.1 Parametry použitých analogových servomotorů HS-311 .....	13
2.1.2 Parametry použitých analogových servomotorů HTX900 .....	13
<b>3 ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA ROBOTA</b> .....	<b>14</b>
<b>4 LITHIUM POLYMEROVÝ AKUMULÁTOR</b> .....	<b>15</b>
<b>5 DPS Q4</b> .....	<b>16</b>
<b>5.1 OCHRANNÝ A ZAPÍNACÍ/VYPÍNACÍ OBVOD</b> .....	<b>20</b>
<b>5.2 NAPÁJECÍ OBVODY - MĚNIČE</b> .....	<b>21</b>
5.2.1 Měnič 3V3 s nízkou vlastní spotřebou .....	21
5.2.2 Spínaný měnič 3V3 .....	21
5.2.3 Spínaný měnič 5V .....	22
5.2.4 Spínaný měnič 6V .....	22
<b>5.3 MIKROPOČÍTAČ ATXMEGA192A3U</b> .....	<b>23</b>
<b>5.4 SENZORY</b> .....	<b>24</b>
5.4.1 3D gyroskop/akcelerometr .....	24
5.4.2 Senzor U/I/P robota .....	24
5.4.3 Senzor došlapu nohou .....	25
5.4.4 Senzor intenzity osvětlení .....	25
5.4.5 3D magnetometr (kompas) .....	26
5.4.6 Senzor atmosférického tlaku .....	26
5.4.7 Senzor vlhkosti vzduchu .....	26
5.4.8 Hodiny reálného času .....	27
5.4.9 Senzory teploty .....	27
5.4.10 Bezkontaktní IR senzor teploty .....	27
5.4.11 IR senzory .....	28
5.4.12 Další snímače .....	30
<b>5.5 VÝSTUPNÍ PERIFERIE</b> .....	<b>31</b>
5.5.1 Servomotory .....	31
5.5.2 H-můstky .....	31
5.5.3 Indikační LED .....	32

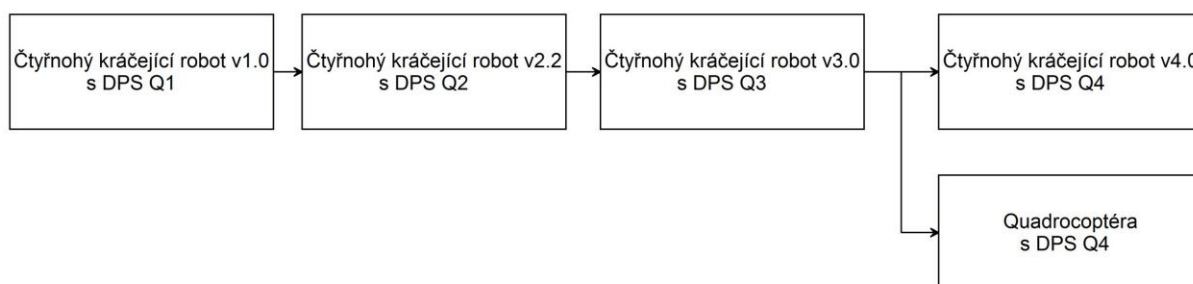
5.5.4	Osvětlovací LED .....	32
<b>6</b>	<b>MIKROPOČÍTAČ RASPBERRY PI.....</b>	<b>33</b>
<b>6.1</b>	<b><i>PARAMETRY RASPBERRY PI B, REV.2</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b><i>KAMERA</i>.....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÉ SBĚRNICE RASPBERRY PI A DPS Q4 .....</b>	<b>35</b>
<b>7.1</b>	<b><i>UART</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>7.2</b>	<b><i>I2C</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>7.3</b>	<b><i>SPI</i> .....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>PROGRAMOVÁNÍ.....</b>	<b>36</b>
<b>8.1</b>	<b><i>PROGRAMOVÁNÍ ATXMEGY192A3U – UKÁZKY PROGRAMU</i> .....</b>	<b>36</b>
8.1.1	Ovládání servomotorů .....	36
8.1.2	Práce s proměnnými servomotorů .....	37
<b>8.2</b>	<b><i>PROGRAMOVÁNÍ RASPBERRY PI</i>.....</b>	<b>37</b>
8.2.1	Ukázka HTML kódu .....	38
8.2.2	Ukázka Javascript.....	39
8.2.3	Ukázka PHP kódu .....	39
<b>ZÁVĚR</b>	<b>.....</b>	<b>40</b>
<b>SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY:</b>	<b>.....</b>	<b>41</b>

## ÚVOD

Tuto práci na téma čtyřnohý kráčejíci robot jsem si vybral z důvodu svého zájmu o mikroprocesorovou techniku, robotiku a automatizaci. Navrhl jsem a naprogramoval do jisté míry autonomního robota řízeného mikroprocesorem ATXmega192A3U a Raspberry Pi s možností připojení různých vstupních a výstupních prvků, které ho předurčují k interakci s okolním prostředím (např. možnost detekce překážek a vyhnutí se jim, měření atmosférického tlaku, vlhkosti, teploty, atd.). Při vývoji desky s měniči, senzory a MCU byl kladen důraz na co nejmenší velikost použitých součástek a na univerzálnost výsledné desky plošných spojů. Tato deska může být později rozšířena o další moduly senzorů díky vyvedení sběrnic I2C na rozšiřující konektor. Návrh robota vychází z původního návrhu kráčejíciho robota verze 2.2 (obr. 1.1) a z pozdější verze 3.0. Nový návrh byl značně vylepšen a rozšířen o další senzory, které se u původní verze nenacházely. Byla také vylepšena samotná hliníková kostra, která tentokrát nebyla vyráběna „na koleně“, ale ve specializované výrobě laserovým řezáním a opracováním. Dále byla nová verze vybavena polohovatelnou kamerou pro snímání obrazu ve viditelném i IR spektru, což robotovi umožňuje snímání obrazu za šera, případně v noci s IR nasvícením pomocí IR LED.

Robota je možné řídit z jakéhokoliv zařízení s webovým prohlížečem a Wi-Fi připojením, nebo může být přepnut do autonomního režimu, kdy sám podle programu vyhodnocuje situaci a podle dat přijatých ze senzorů vykonává předprogramované činnosti. Je určen především pro průzkum různých prostředí a měření podmínek v nich panujících, o nichž přes Wi-Fi odesílá naměřené údaje obsluze robota.

U vývoje této verze robota došlo k rozdělení na dva projekty. Těmi projekty je jednak Čtyřnohý kráčejíci robot v4.0, jednak Quadrocoptéra. Oba projekty jsou z větší části založeny na stejných komponentech – DPS Q4, Raspberry Pi.

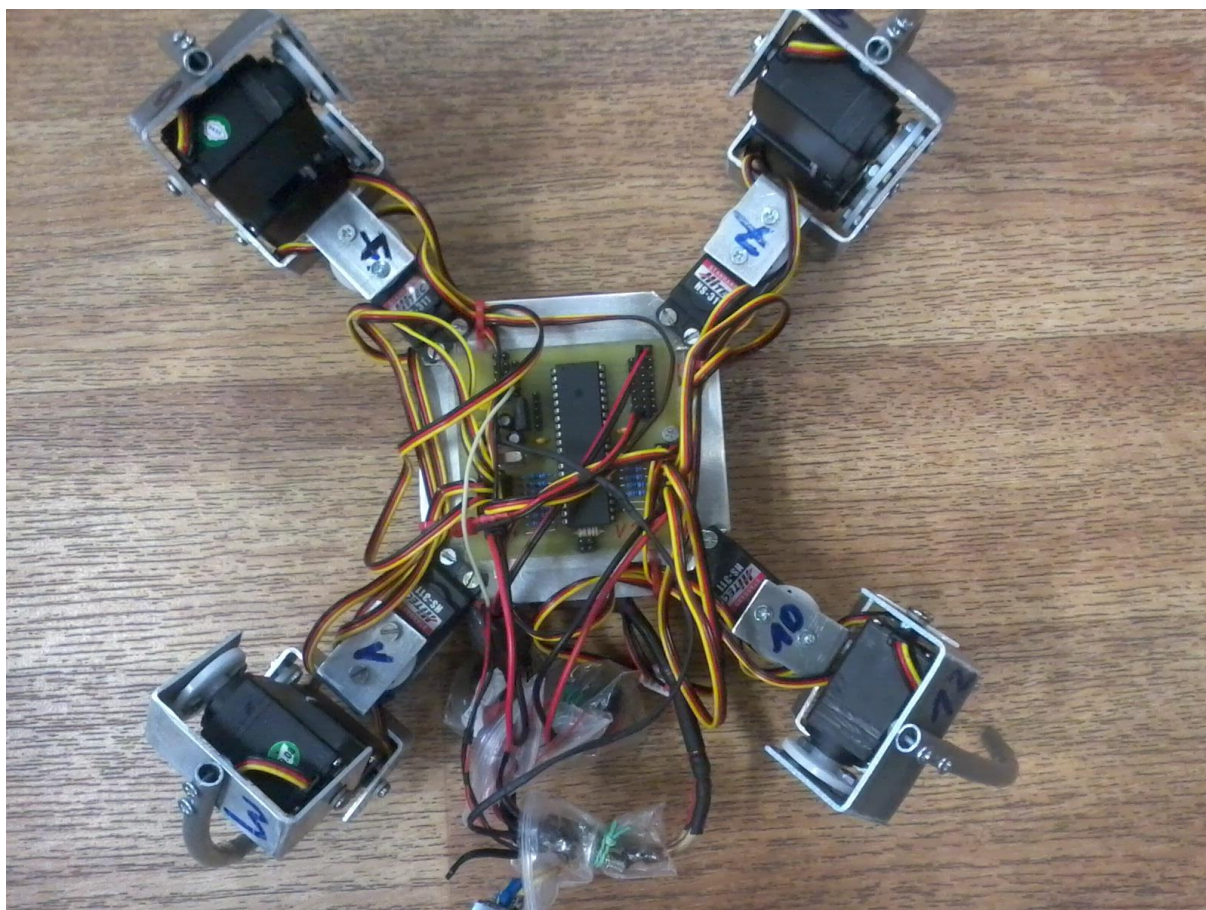


*Znázornění postupného vývoje projektu*

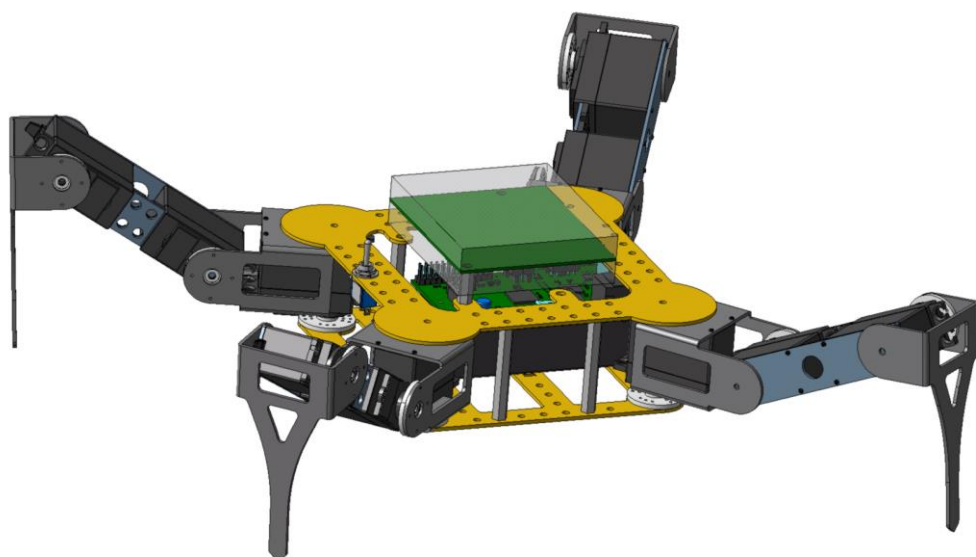
# 1 KONSTRUKCE A PROVEDENÍ ROBOTA

*Vzhledem k tomu, že se tato dokumentace zaměřuje především na elektronickou a softwarovou stránku práce, není zde podrobně popsána samotná mechanická konstrukce robota.*

Jak již bylo zmíněno v úvodu, práce se zabývá vytvořením funkční verze čtyřnohého kráčejičího robota polohovaného dvanácti servomotory. Návrh čtvrté verze robota vychází z původního návrhu konstrukce robota verze 2.2 (obr. 1.1) a verze 3.0, která se lišila v použité DPS s napájecími měniči, senzory a MCU. Čtvrtá verze robota je osazena nejnovější DPS, která nese označení Q4. Hliníková konstrukce robota byla vyřezána laserem, díky čemuž při chůzi dosahuje větší stability než verze 2.2.



*(Obr. 1.1) Robot v2.2 - pohled shora*



*(Obr. 1.2) Návrh konstrukce robota v4.0*



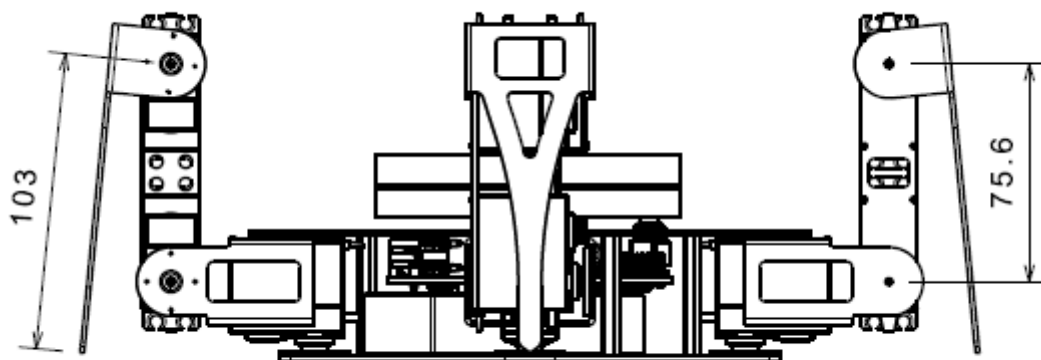
*(Obr. 1.3) Robot v4.0*



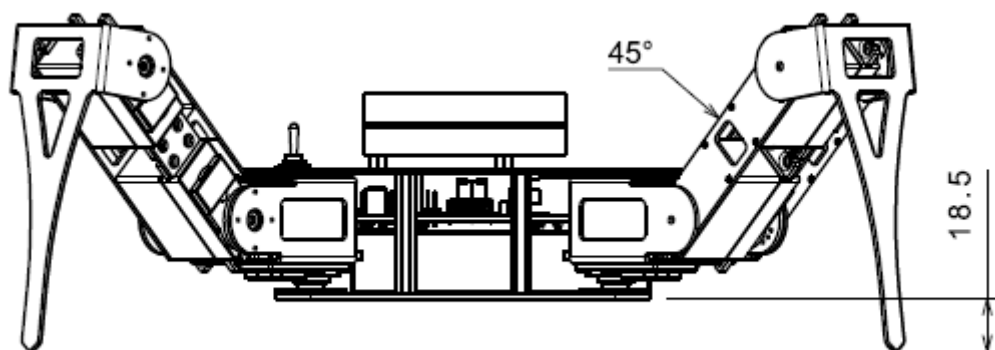
## 1.1 KONSTRUKČNÍ DÍLY A ROZMĚRY NOHOU

Kostra robota je vyrobena z hliníkových pásů o tloušťce 1,5 mm. Na obrázku níže (obr. 1.4) je náčrtek celé kostry s uvedenými rozměry nohou. Rozměry samotného těla ve tvaru čtverce jsou 130×130 mm. Konce nohou jsou opatřeny gumovými ploškami proti podkluzování při chůzi (obr. 1.7).

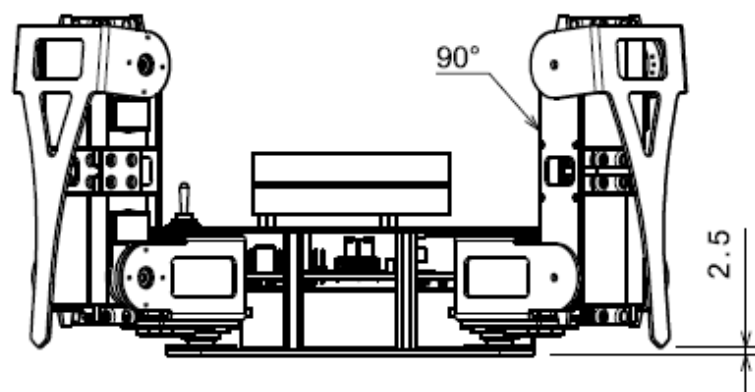
Rozměry na následujících obrázcích jsou uvedeny v mm.



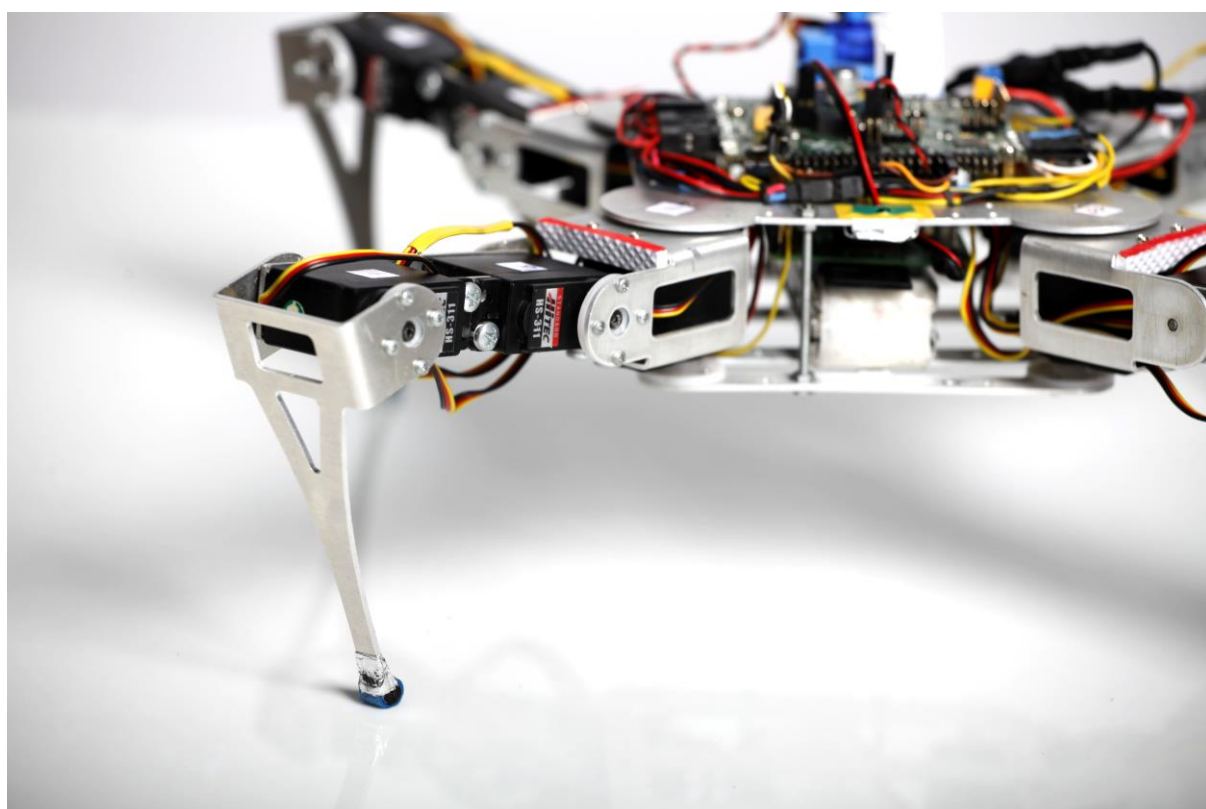
(Obr. 1.4) Náčrtek robota s rozměry nohou



(Obr. 1.5) Robot v poloze stání



*(Obr. 1.6) Robot v poloze sedu*

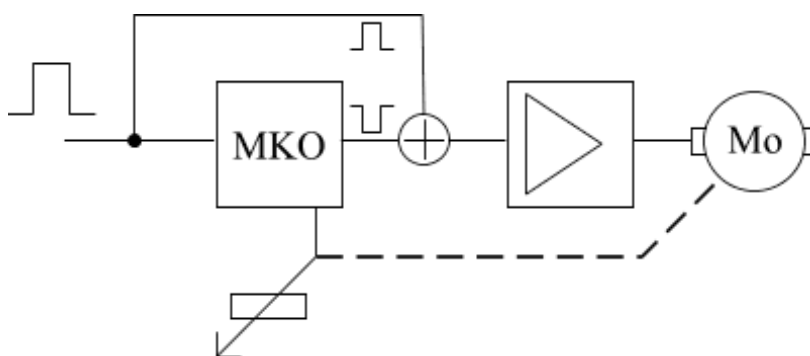


*(Obr. 1.7) Detail nohy robota v4.0*

## 2 SERVOMOTORY

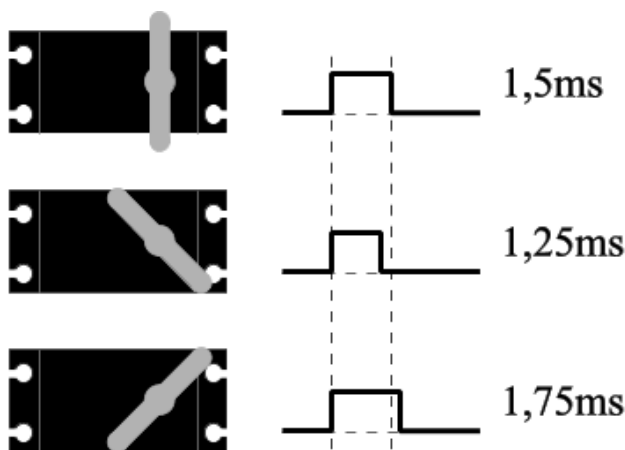
### 2.1 POHONY NOHOU - SERVOMOTORY

Dnešní modelářské servomotory obsahují elektromotor s převodovkou a řídicí elektroniku (obr. 2.1). Na vstupní pin se přivádí řídicí impuls, který spustí monostabilní klopný obvod. Ten vygeneruje impuls o délce odpovídající momentální poloze servomotoru a opačné polarity, než je vstupní řídicí impuls. Tyto dva impulsy se porovnají a výsledkem je rozdílový impuls, který po zesílení přes můstkový spínač způsobí roztočení elektromotoru jedním nebo druhým směrem. Elektromotor přes převodovku otáčí výstupní hřídeli a současně i potenciometrem, který působí jako zpětná vazba do monostabilního klopného obvodu. Směr otáčení je takový, že impuls generovaný monostabilním klopným obvodem se svojí délkou přibližuje délce vstupního řídicího impulsu a až jsou oba impulsy stejně dlouhé, elektromotor se zastaví, protože servomotor dosáhl polohy, která odpovídá momentálně přijímanému řídicímu impulsu.



(Obr. 2.1) Blokové schéma zapojení vnitřní elektroniky servomotorů

Dnes používané servomotory pracují s kladnými řídicími impulsy o délce 1-2ms. Délce impulsu 1,5ms odpovídá střední poloha servomotoru, 1ms je jedna a 2ms druhá krajní poloha (obr. 2.2). Většina servomotorů reaguje v širším rozsahu od 0,5ms do 2,5ms. Tento signál musí být na servomotory přiváděn neustále o opakovací frekvenci 50 Hz. Z mechanického hlediska bývá rozsah krajních poloh okolo 180 stupňů. Většina servomotorů má na koncích rozsahu pohybu mechanické blokování, na což je potřeba dávat pozor, aby nedošlo k jeho poškození.



(Obr. 2.2) Polohy natočení servomotoru (od shora: střed, 1. krajní poloha, 2. krajní poloha)

### 2.1.1 Parametry použitých analogových servomotorů HS-311

- Použity k polohování nohou.

Rozměry:	40×20×36,5 mm
Provozní napětí:	4,8 – 6,0V
Proud (4,8V):	7,4mA/idle, 160mA bez zátěže
Proud (6,0V):	7,7mA/idle, 180mA bez zátěže
Rychlost výchylky:	0.19s/60° při 4.8V 0.15s/60° při 6.0V
Točivý moment:	42 oz/s (3 kg/cm) při 4.8V 51 oz/s (3,7 kg/cm) při 6.0V
Operační úhel:	180°
Typ převodovky:	Nylon
Hmotnost:	43g
Způsob řízení:	PWM signálem
Perioda pro PWM:	15-25ms
Doba pulzu:	0,5-2,5ms
Výrobce:	Hitec



(Obr. 2.3) servomotor HS-311

### 2.1.2 Parametry použitých analogových servomotorů HTX900

- Použity k polohování kamery.

Rozměry:	21×12×22 mm
Provozní napětí:	3,0 – 6,0V
Rychlost výchylky:	0.12s/60° při 4.8V
Operační úhel:	180°
Typ převodovky:	Nylon
Hmotnost:	9,1g
Způsob řízení:	PWM signálem
Perioda pro PWM:	20ms
Doba pulzu:	0,45-2,45ms
Výrobce:	Hextronik

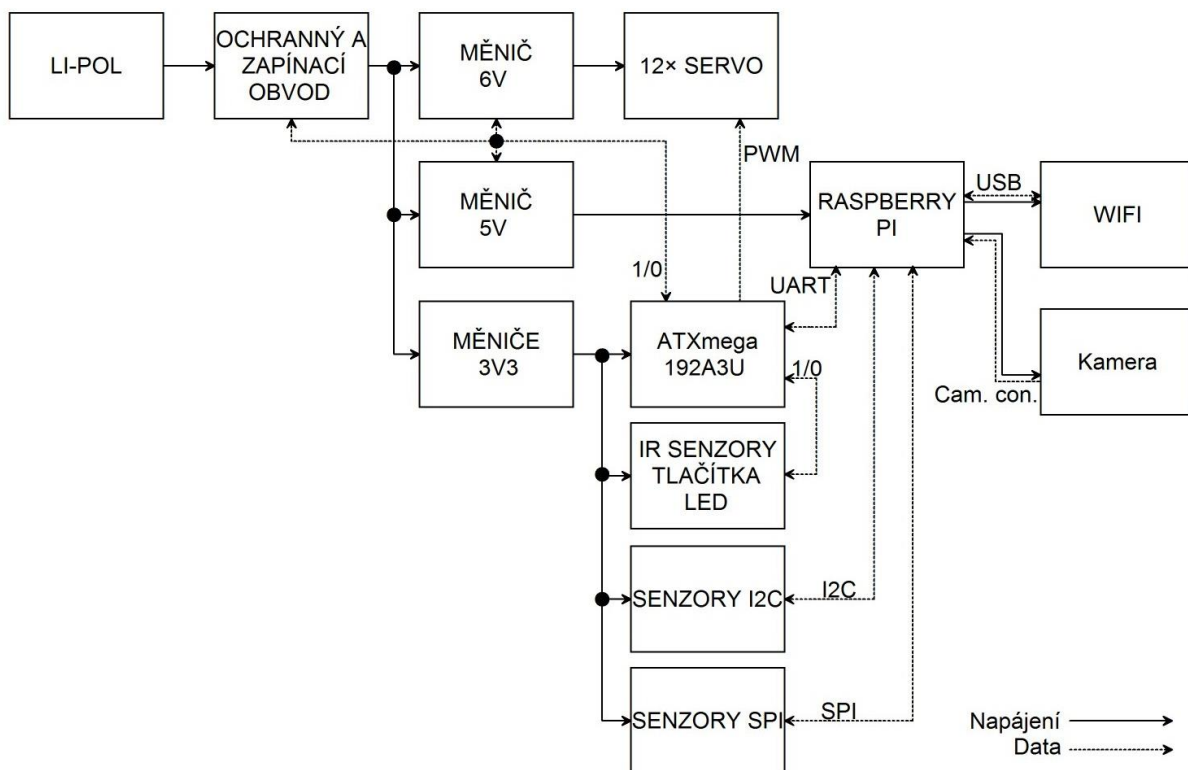


(Obr. 2.4) servomotor HTX900

### 3 ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA ROBOTA

Blokové schéma (obr. 3.1) je kvůli své složitosti velmi zjednodušené. Jednotlivé funkční bloky, ze kterých se skládá robot verze 4.0, jsou podrobněji rozepsány v následujících kapitolách.

- LI-POL akumulátor
- DPS Q4
  - Ochranný a zapínací/vypínací obvod robota
  - Měnič 6V
  - Měnič 5V
  - Měniče 3V3
  - ATXmega192A3U
  - IR senzory, senzory – tlačítka, LED
  - Senzory I2C
  - Senzory SPI
- Servomotory
- Raspberry Pi
  - WiFi
  - Kamera



(Obr. 3.1) Zjednodušené blokové schéma robota v4.0

## 4 LITHIUM POLYMEROVÝ AKUMULÁTOR

Robota je možné napájet jakýmkoli elektrickým zdrojem se stejnosměrným výstupním napětím v rozmezí od 9V do 14V, který dokáže dodat proud nejméně 8A.

Jako napájecí zdroj robota byl použit tříčlánkový lithium-polymerový akumulátor se jmenovitým napětím 11,1V, s maximálním vybíjecím proudem 57A a s kapacitou 2200mAh. Robotem odebíraný elektrický proud se značně mění v závislosti na zatížení robota, členitosti terénu a na množství připojených senzorů a výstupních prvků. Odběr proudu se běžně pohybuje mezi 1A až 3A v činnosti a ve vyplutém stavu nepřesahuje 15 $\mu$ A.



*(Obr. 4.1) Lithium polymerový akumulátor*

## 5 DPS Q4

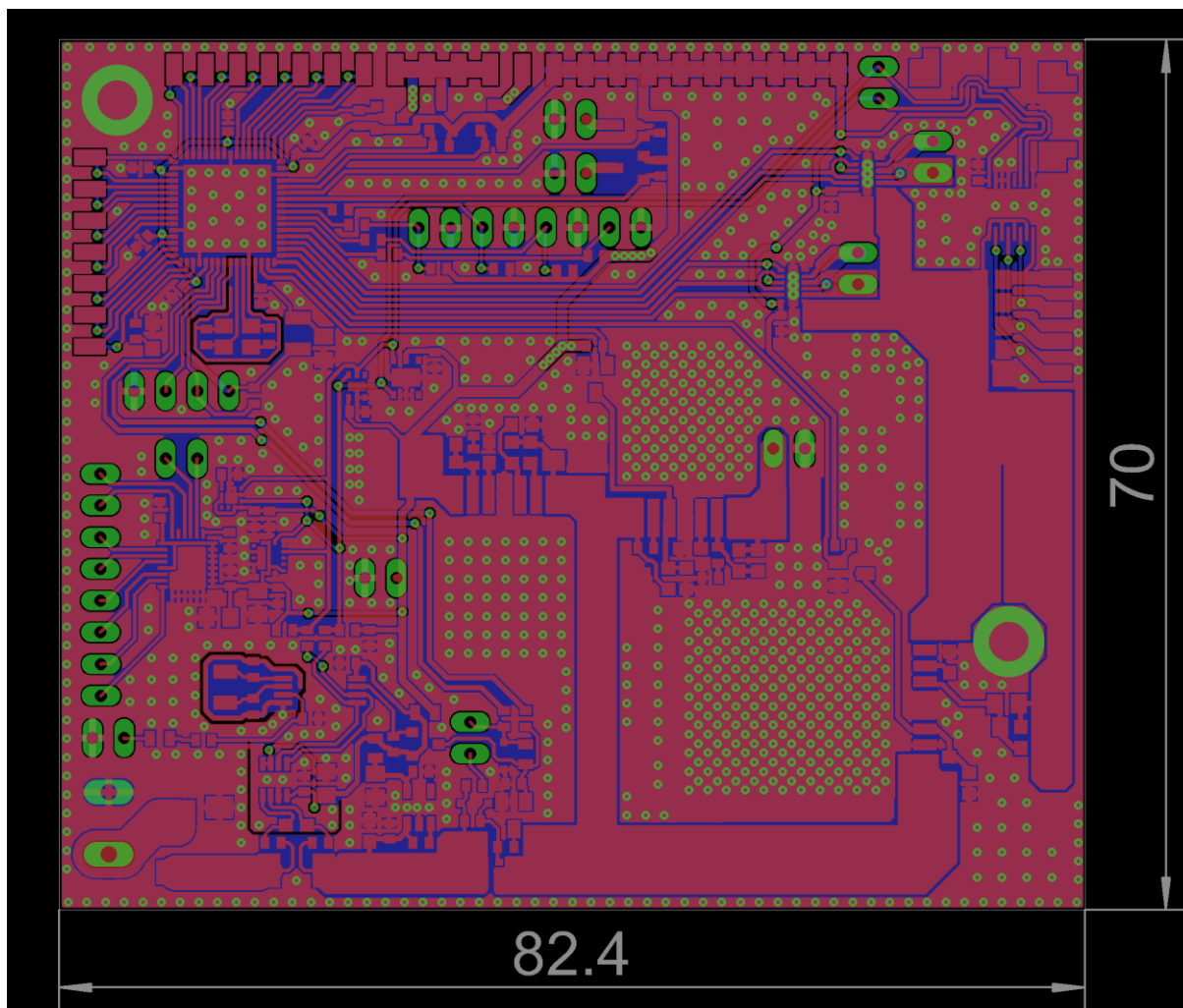
Na DPS Q4 se nachází ochranný a zapínací/vypínací obvod, měnič 6V pro servomotory, měnič 5V pro Raspberry Pi a dva měniče 3V3. První měnič 3V3 má velmi malý vlastní odběr proudu a slouží k napájení části DPS, když je vypnutá a její celkový odběr činí méně jak 15uA. Druhý měnič 3V3 je určen pro napájení senzorů a MCU v době, kdy je DPS již zapnutá a má větší proudový odběr, než jaký by dokázal pokrýt první měnič. Přímo na desce se nachází řada senzorů – 3D akcelerometr, 3D gyroskop, 3D kompas, senzor intenzity osvětlení, senzor atmosférického tlaku, senzor vlhkosti vzduchu, senzor U/I/P robota, senzor došlapu noh. Celá DPS Q4 je řízena mikropočítačem ATXmega192A3U od firmy Atmel Corp., který komunikuje s Raspberry Pi pomocí sběrnice UART. Sensory jsou připojeny přímo na Raspberry Pi přes sběrnice I2C a SPI.

Na obr. 5.1 je zobrazeno schéma zapojení DPS Q4, ale vzhledem k jeho složitosti bude podrobněji popsáno v následujících podkapitolách. Obr. 3.2 ukazuje celkové rozložení cestiček spojů na DPS Q4, včetně rozměrů desky v mm. Horní strana spojů je zobrazena červeně a spodní modře (detailněji na obr. 5.3). Z důvodu jednodušší výroby byly všechny součástky umístěny na vrchní stranu DPS (obr. 5.4). Při návrhu bylo nutné vejít se do přijatelných rozměrů desky, proto byly při návrhu voleny co nejmenší a nejmodernější součástky dostupné na trhu. Bylo využito oboustranné DPS s prokovením a se zlacenými spoji. DPS byla navržena s ohledem na EMC a také proto, aby bylo schopné odvádět teplo vytvářené měniči. Nejužší cestičky mají 200 $\mu$ m, odstup polygonu od cestiček činí 150 $\mu$ m a nejmenší prokovené otvory mají pouze 300 $\mu$ m. Z těchto důvodů je nezbytná výroba ve specializované firmě.

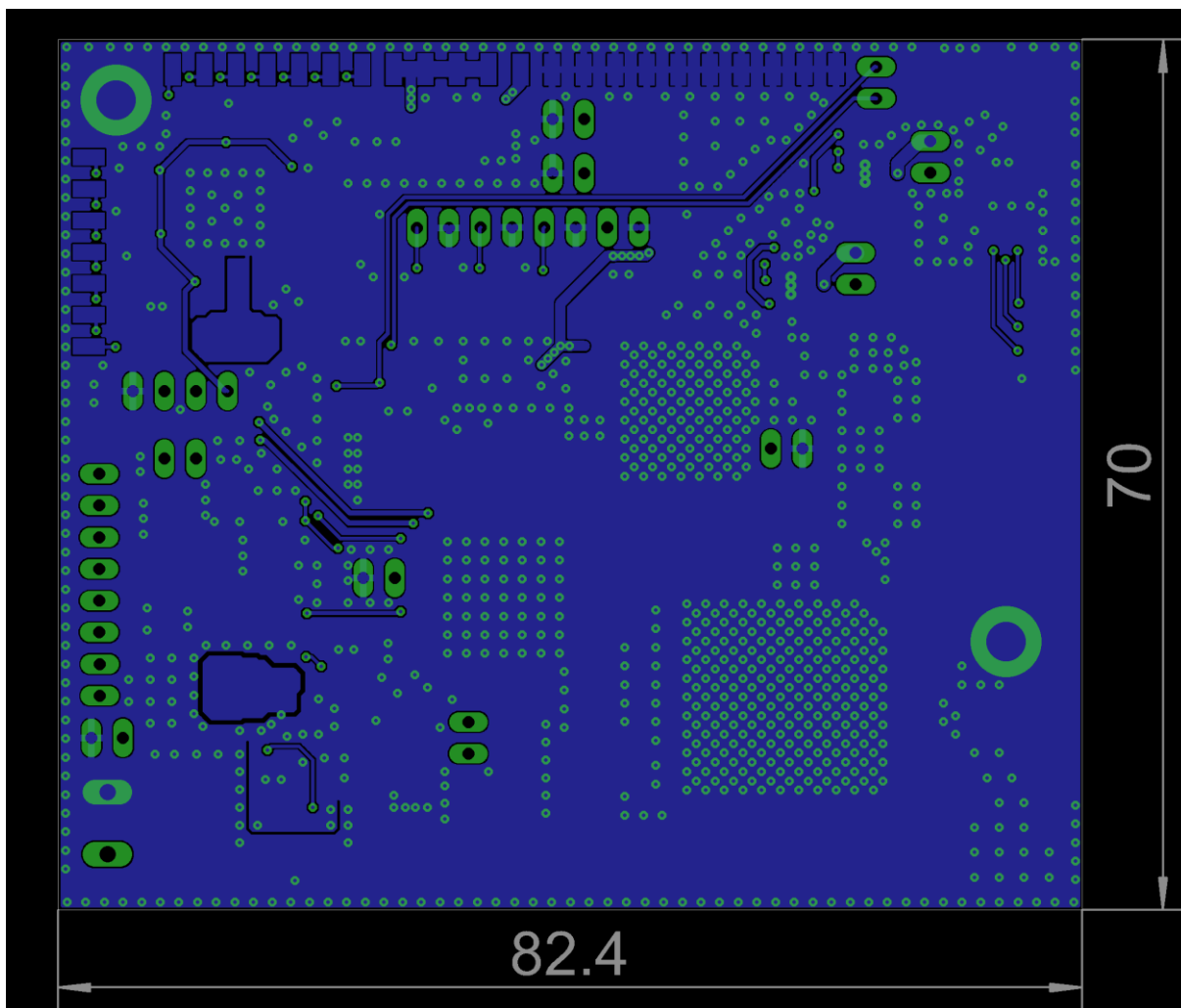
Jak již bylo uvedeno v úvodu, na této DPS jsem spolupracoval s kolegou Danielem Mackem. Návrh jsme neměli přímo rozdělený na jednotlivé části, které bychom navrhovali, ale spolupracovali jsme spolu na návrhu celé desky.



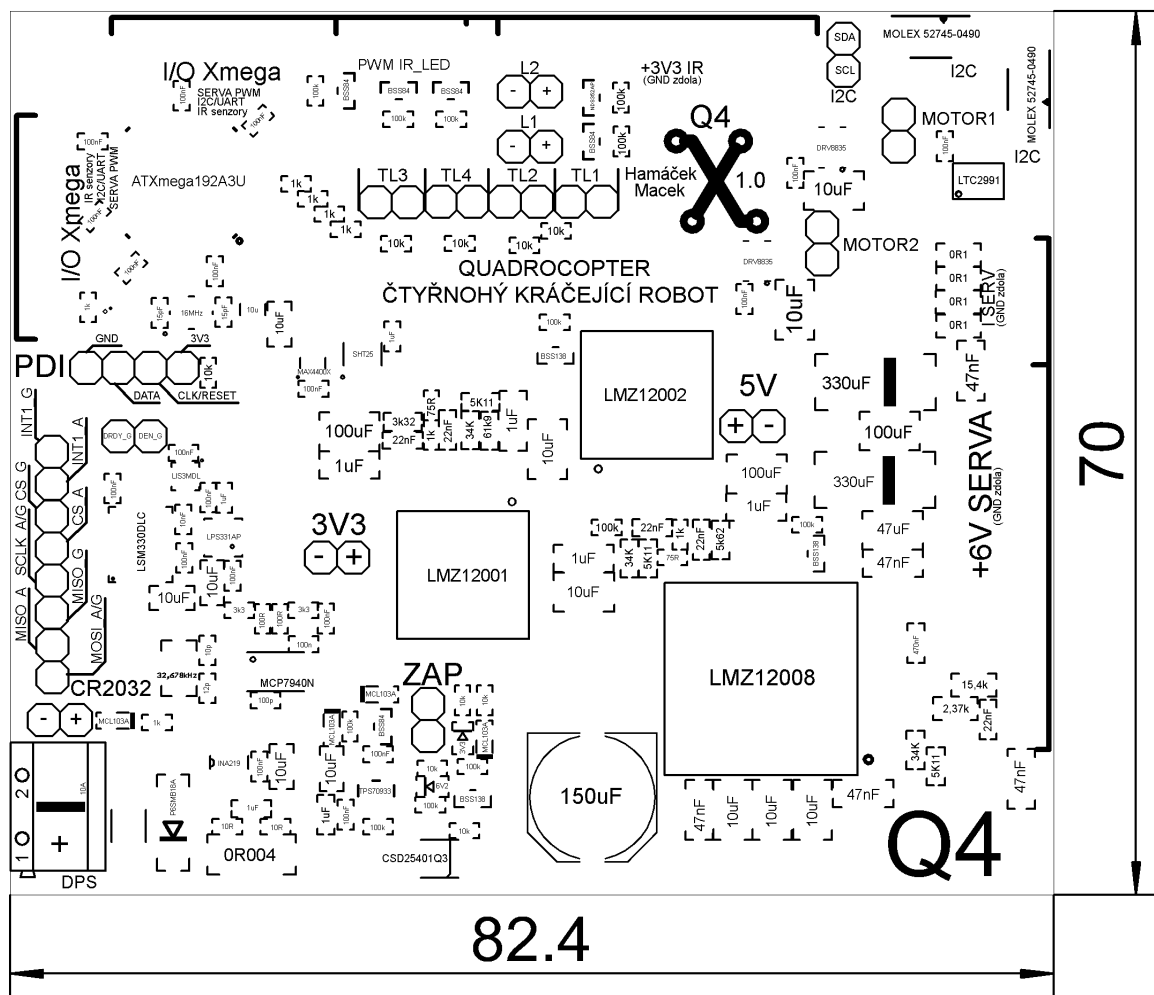




(Obr. 5.2) Horní i dolní strana spojů DPS Q4



(Obr. 5.3) Spodní strana spojů DPS Q4

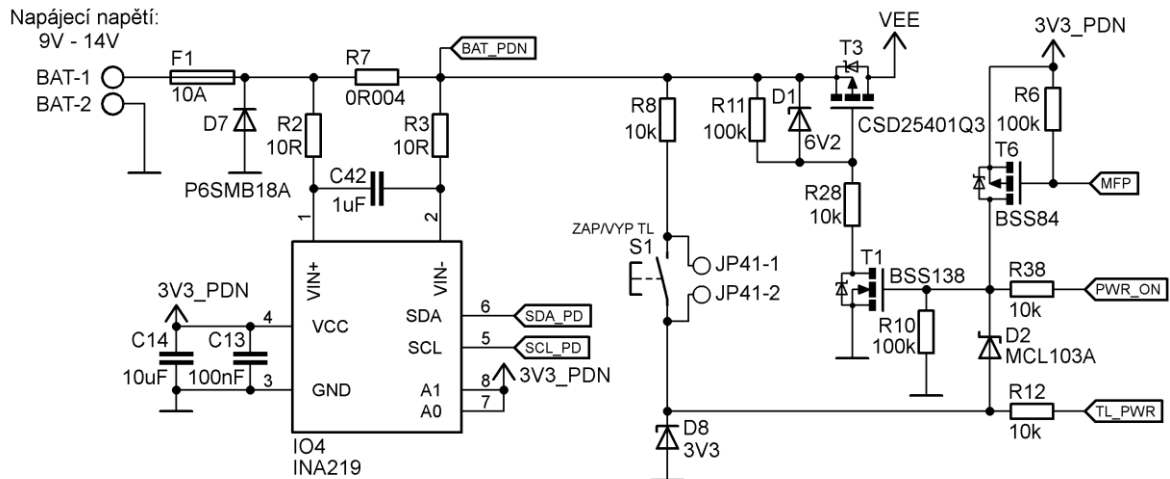


(Obr. 5.4) Osazovací plánec součástek

## 5.1 OCHRANNÝ A ZAPÍNACÍ/VYPÍNACÍ OBVOD

Úkolem tohoto obvodu je ochránit celého robota před připojením příliš velkého napětí, napětí opačné polaroty nebo před odběrem příliš velkého proudu (zkrat v obvodech robota). Této ochrany je zajištěno pomocí pojistky F1 a transilu D7, který ochraňuje veškerou elektroniku robota před napětím větším než 18V (pouze v případě napěťových špiček). Pokud dojde k připojení napětí opačné polaroty na napájecí svorky DPS, bude transil D7 připojen v propustném směru, což způsobí zkrat napájecího napětí a přetavením pojistky F1 dojde k odpojení DPS Q4 od napájení.

DPS se zapíná pomocí tlačítka S1, které spíná tranzistor T1 stabilizovaným napětím 3V3 na zenerově diodě D8. T1 následně sepne tranzistor T3 proti zemi, čímž přejde do vodivého stavu s velmi malým odporem D-S. Během doby, kdy je DPS zapnuta tímto způsobem, je třeba, aby se zapnula ATXmega192A3U, která si podle programu udrží DPS zapnutou i po rozpojení tlačítka S1. ATXmega má také možnost sledovat opětovné stisknutí tlačítka, což umožňuje využít ho například k nouzovému vypnutí robota tím, že se tlačítko stiskne po dobu definovanou programem ATXmegy. Stejným způsobem může desku zapnout i obvod hodin reálného času přes tranzistor T6.

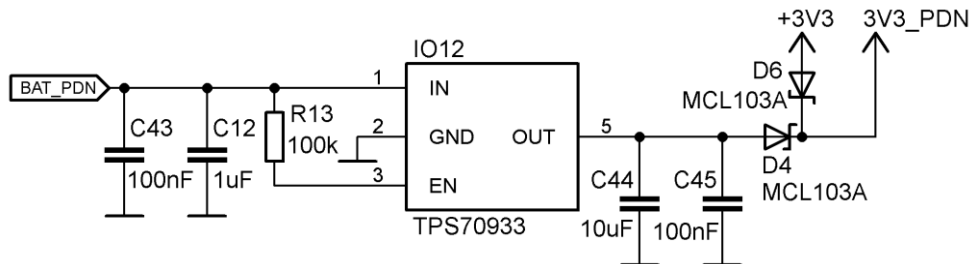


(Obr. 5.5) Ochranný a zapínací/vypínací obvod

## 5.2 NAPÁJECÍ OBVODY - MĚNIČE

### 5.2.1 Měnič 3V3 s nízkou vlastní spotřebou

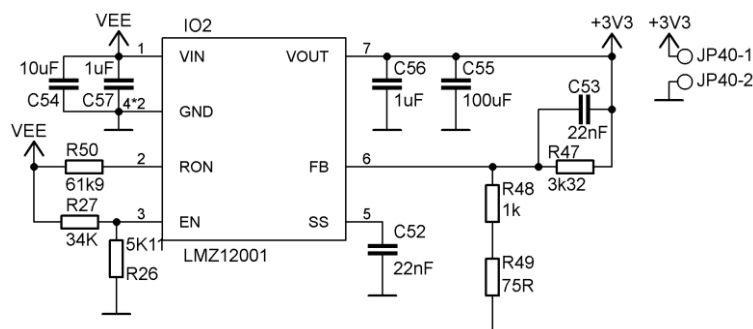
Je určen pro napájení hodin reálného času a obvodu INA219 po dobu, kdy je robot vypnutý a jeho celkový odběr proudu je menší než  $15\mu\text{A}$ . Výstupní napětí je stabilizováno na 3V3 a maximální výstupní proud činí 150mA. Jakmile dojde k zapnutí DPS, přebírá hlavní napájecí úlohu měnič 3V3 s IO LMZ12001 (kapitola 5.2.2).



(Obr. 5.6) Měnič 3V3 s nízkou vlastní spotřebou

### 5.2.2 Spínaný měnič 3V3

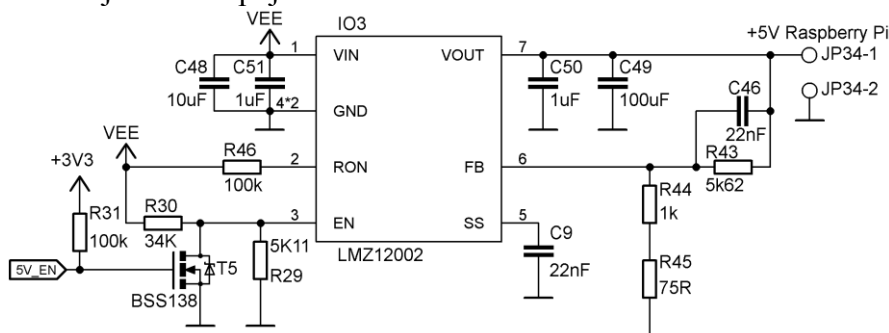
Slouží k napájení veškeré elektroniky robota dimenzované na napětí 3V3. Po zapnutí DPS Q4 začne ihned napájet všechny senzory a MCU ATXmega. Výstupní napětí je stabilizováno na 3V3 a maximální proud, který je schopný dodat, je 1A a v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí dosahuje účinnosti 85% - 91%. R26 a R27 zajišťují automatické odpojení měniče od napájecího napětí při poklesu napětí pod 9V, aby nedocházelo k podvybíjení LI-POL akumulátoru. Měnič má na desce vyveden jeden napájecí konektor 3V3 a GND pro případ potřeby připojení dalších zařízení.



(Obr. 5.7) Měnič 3V3

### 5.2.3 Spínaný měnič 5V

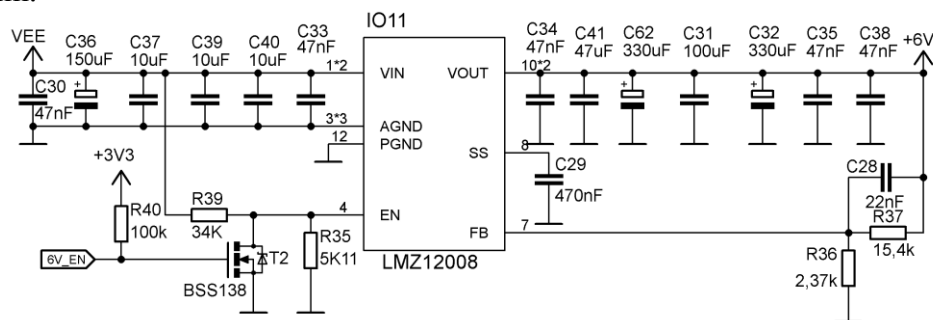
Tento měnič je určený pro napájení Raspberry Pi. Jeho výstupní napětí je 5V a maximální výstupní proud až 2A, což je dostatečné pro napájení Raspberry Pi, Wi-Fi modulu i kamery. Dosahuje účinnosti 90% - 94% v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí. Měnič zapíná ATXmega pomocí signálu 5V\_EN, na který musí pro zapnutí přivést log. 0. R29 a R30 slouží jako ochrana proti podvybití LI-POL, tím, že při poklesu napájecího napětí pod 9V od něj měnič odpojí.



(Obr. 5.8) Měnič 5V

### 5.2.4 Spínaný měnič 6V

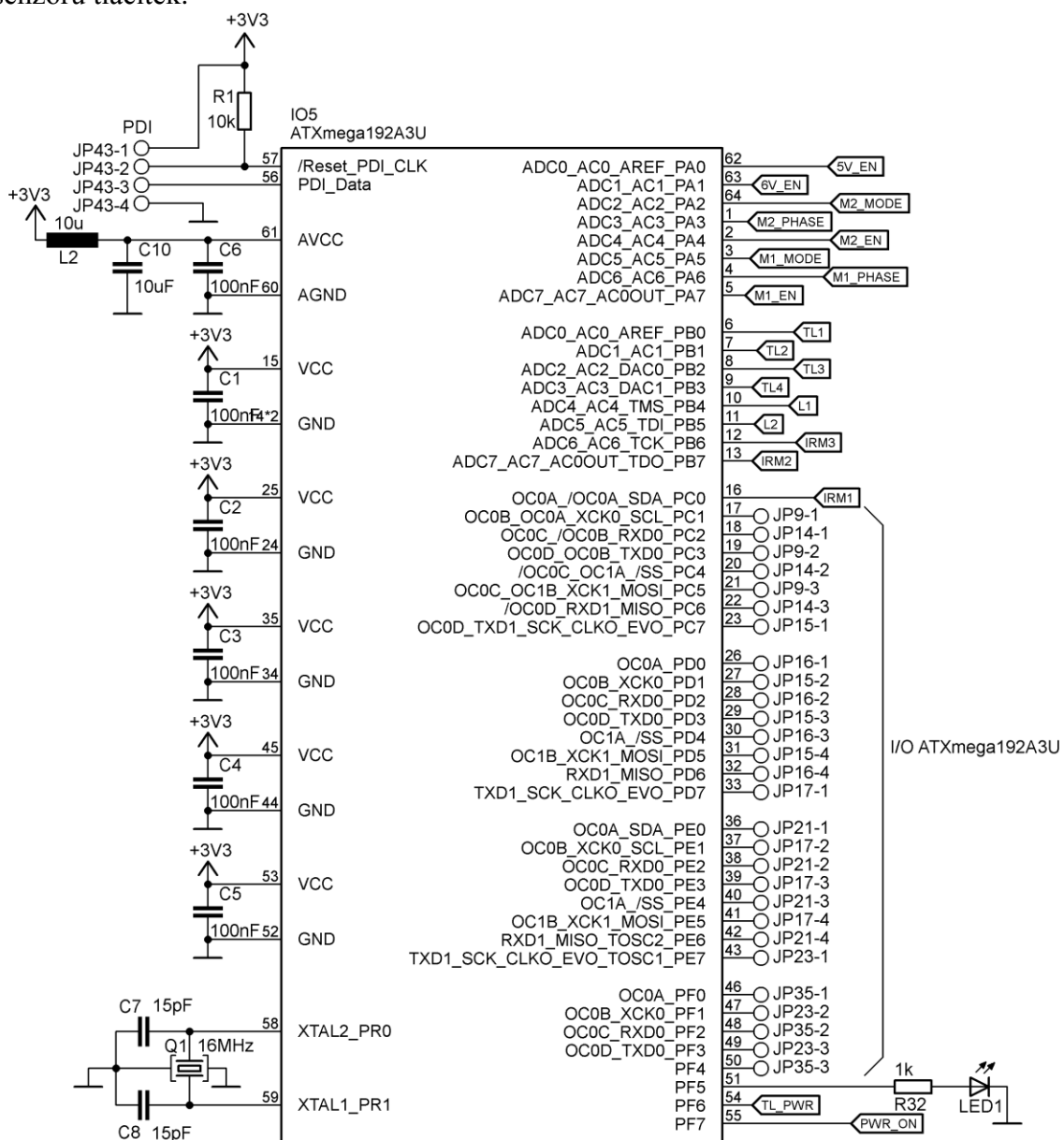
Napájí servomotory robota, výstupní napětí je 6V a maximální odebíraný proud může být až 8A. Dosahuje účinnosti 92% - 95% v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí. Takto výkonný měnič byl zvolen proto, aby byly vykryty proudové špičky servomotorů při chůzi. Měnič je zapínám ATXmegou pomocí signálu 6V\_EN, na který musí být pro zapnutí měniče přivedena log. 0. R35 a R39 zajišťují automatické odpojení měniče od napájení při poklesu napětí LI-POL pod 9V, čímž ochraňují akumulátor před podvybitím a poškozením.



(Obr. 5.9) Měnič 6V

### 5.3 MIKROPOČÍTAČ ATXMEGA192A3U

ATXmega192A3U obstarává především řízení servomotorů pomocí PWM signálu a obsluhu IR senzorů. Zároveň udržuje a ovládá zapínací/vypínací obvod DPS a zapíná či vypíná měniče 5V a 6V. Dále ovládá piny pro připojení LED diod, indikační LED DPS Q4, má vyvedeny piny pro připojení senzorů tlačítek a množství dalších programovatelných I/O pinů. Programování MCU se provádí pomocí pinů PDI. ATXmega je taktována přesným krystalem Q1 na kmitočet 16MHz. MCU disponuje programovatelnou FLASH pamětí 192+8kB, EEPROM 2kB a SDRAM o velikosti 16kB. ATXmega192A3U obsahuje sedm časovačů/čítačů a sběrnice UART, SPI a I2C. MCU je prostřednictvím sběrnice UART připojen k Raspberry Pi, od kterého přijímá data, podle kterých se následně řídí a ovládá zbytek připojených periferií, a po které posílá zpět Raspberry Pi data z IR senzorů a ze senzorů tlačítek.



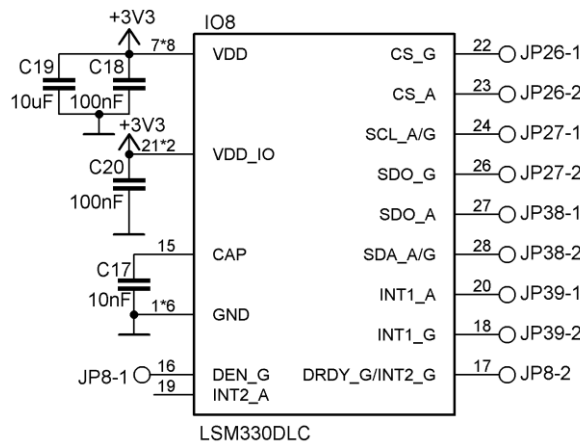
(Obr. 5.10) MCU ATXmega192A3U

## 5.4 SENZORY

Senzory na DPS Q4 lze rozdělit celkem do tří skupin. První skupinu tvoří senzory připojené k Raspberry Pi pomocí sběrnice SPI, druhou skupinou jsou senzory připojené k Raspberry Pi prostřednictvím sběrnice I2C a poslední jsou senzory, které jsou připojeny přímo na MCU ATXmega.

### 5.4.1 3D gyroskop/akcelerometr

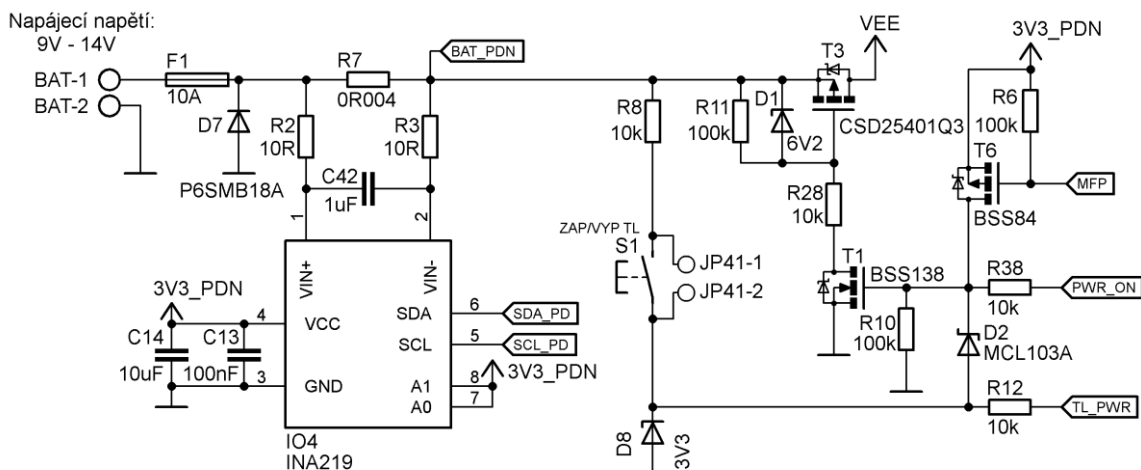
3D gyroskop a 3D akcelerometr je realizován prostřednictvím obvodu LSM330DLC, který je propojen s Raspberry Pi sběrnici SPI, aby se dosáhlo vysoké rychlosti komunikace. Výběr mezi akcelerometrem a gyroskopem se provádí volbou pinu CS\_A, nebo CS\_G. K Raspberry mohou být také připojeny i konfigurovatelné přerušovací piny INT1\_A a INT1\_G.



(Obr. 5.11) LSM330DLC – 3D gyroskop/akcelerometr

### 5.4.2 Senzor U/I/P robota

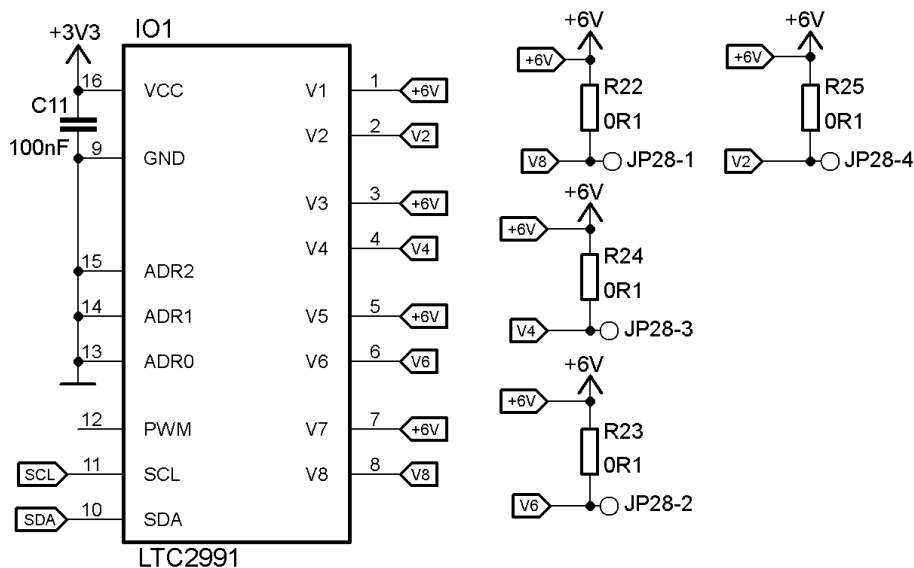
Senzor INA219 je určen pro měření napájecího napětí LI-POL akumulátoru, odběru proudu přes bočník R7 a pro výpočet celkového příkonu robota. Měřené napětí na bočníku R7 se pohybuje v rozmezí 0mV – 40mV, což odpovídá maximálnímu odběru proudu 10A. Senzor je opatřen filtrem proti rušení ze spínaných měničů a je propojen s Raspberry Pi prostřednictvím sběrnice I2C na adrese 1000101.



(Obr. 5.12) INA219 – senzor U/I/P

### 5.4.3 Senzor došlapu nohou

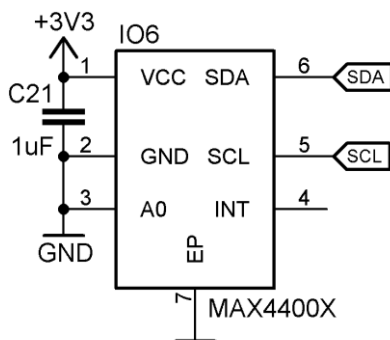
Je založen na principu měření odebíraného proudu prostředními servomotory nohou. Každý servomotor je napájen přes vlastní bočník 0R1, na kterém v závislosti na zatížení servomotoru a jeho odběru proudu vzniká úbytek napětí 0mV – 60mV. V době došlapu nohy na zem prudce vzroste odběr proudu a úbytek na bočníku. Tento úbytek je zaznamenán obvodem LTC2991, který je připojen na sběrnici I2C s adresou 10010000. Obvod dosahuje rozlišení 19,075uV/LSB a je schopný měřit napětí  $\pm 312,5\text{mV}$ . Z toho plyne, že obvod je v tomto případě teoreticky schopný měřit proud 0mA – 600mA s rozlišením až 190,075uA. I přes chybu měření, kterou zde zanáší tolerance použitých rezistorů, je přesnost mnohonásobně vyšší, než je zapotřebí a není proto nutné používat velmi přesné rezistory.



(Obr. 5.13) LTC2991 – senzor došlapu nohou

### 5.4.4 Senzor intenzity osvětlení

Na DPS Q4 je osazen kalibrovaný senzor intenzity osvětlení MAX44004 s integrovaným 14b ADC, který dosahuje citlivosti 0,03Lux/LSB a je schopný měřit do 65 535Lux. V případě nutnosti je možno osadit DPS senzorem MAX44009 s 16b ADC a citlivostí 0,045Lux/LSB, který je schopný měřit až do 188 000Lux. Senzor je připojen na sběrnici I2C s adresou 1001010.

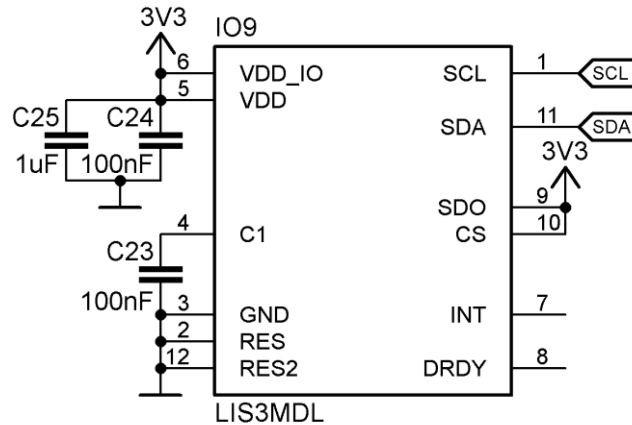


(Obr. 5.14) MAX4400X – senzor intenzity osvětlení



### 5.4.5 3D magnetometr (kompas)

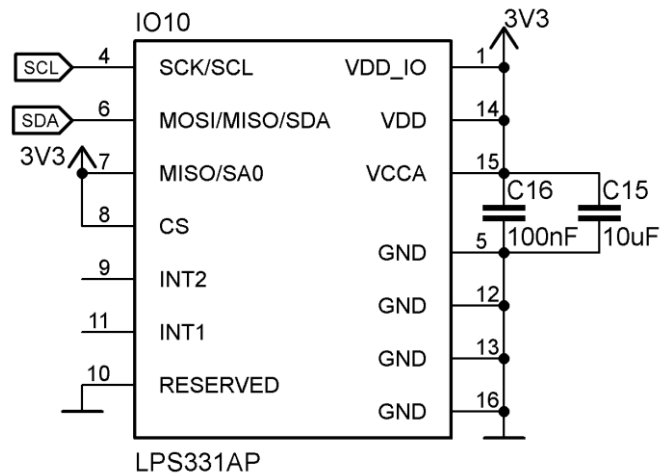
Integrovaný obvod je určený k měření zemského magnetického pole. Je připojen na sběrnici I2C s adresou 0011110.



(Obr. 5.15) LIS3MDL – 3D kompas

### 5.4.6 Senzor atmosférického tlaku

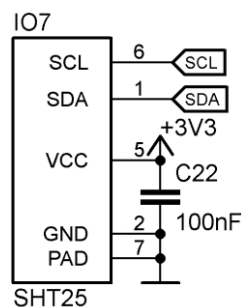
24b senzor atmosférického tlaku měří od 260mbar do 2260mbar s citlivostí 4096 LSB/mbar. Senzor je připojen na I2C sběrnici s adresou 1011101. Senzor slouží k měření atmosférického tlaku a díky jeho vysoké citlivosti je možné měřit například i stoupání po schodech.



(Obr. 5.16) LPS331AP – senzor atmosférického tlaku

### 5.4.7 Senzor vlhkosti vzduchu

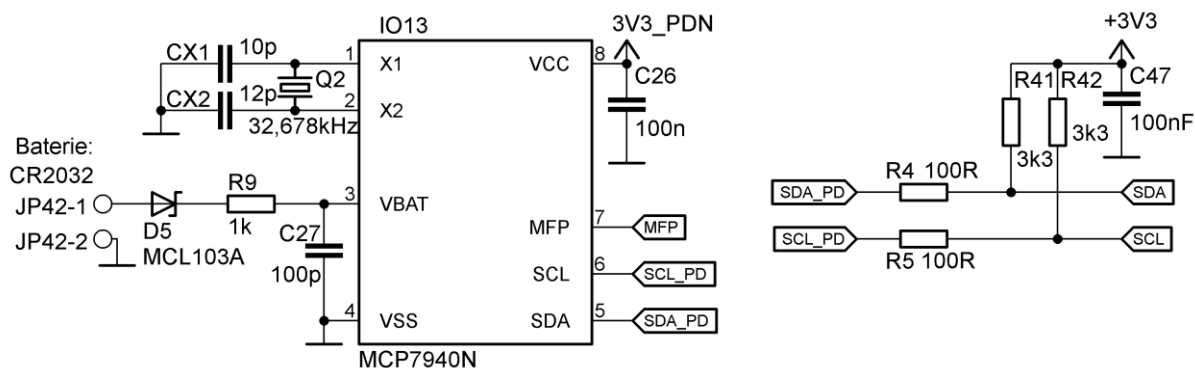
SHT25 je kalibrovaný senzor relativní vzdušné vlhkosti. Jeho I2C adresa je 1000000.



(Obr. 5.17) SHT25 – senzor vlhkosti vzduchu

### 5.4.8 Hodiny reálného času

Jako hodiny reálného času byl použit integrovaný obvod MCP7940N, který je v případě výpadku napájení LI-POL akumulátorem napájen vlastní baterií CR2032. Pin MFP je připojen na zapínací/vypínací obvod DPS Q4 a má tak možnost zapnout DPS podle konfigurace, kterou předtím provede Raspberry Pi přes I2C sběrnici, než dojde k vypnutí DPS. Zároveň může Raspberry z RTC vyčítat datum a čas, protože nedisponuje vlastními RTC. Jeho I2C adresa je 1101111.



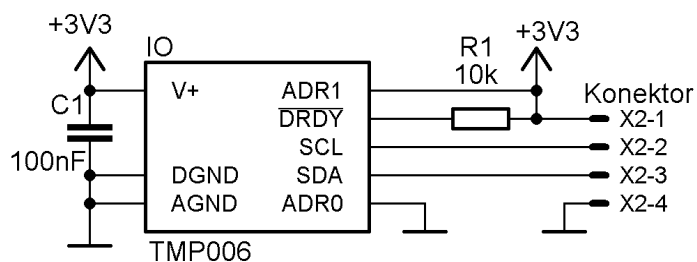
(Obr. 5.18) MCP7940 – hodiny reálného času

### 5.4.9 Senzory teploty

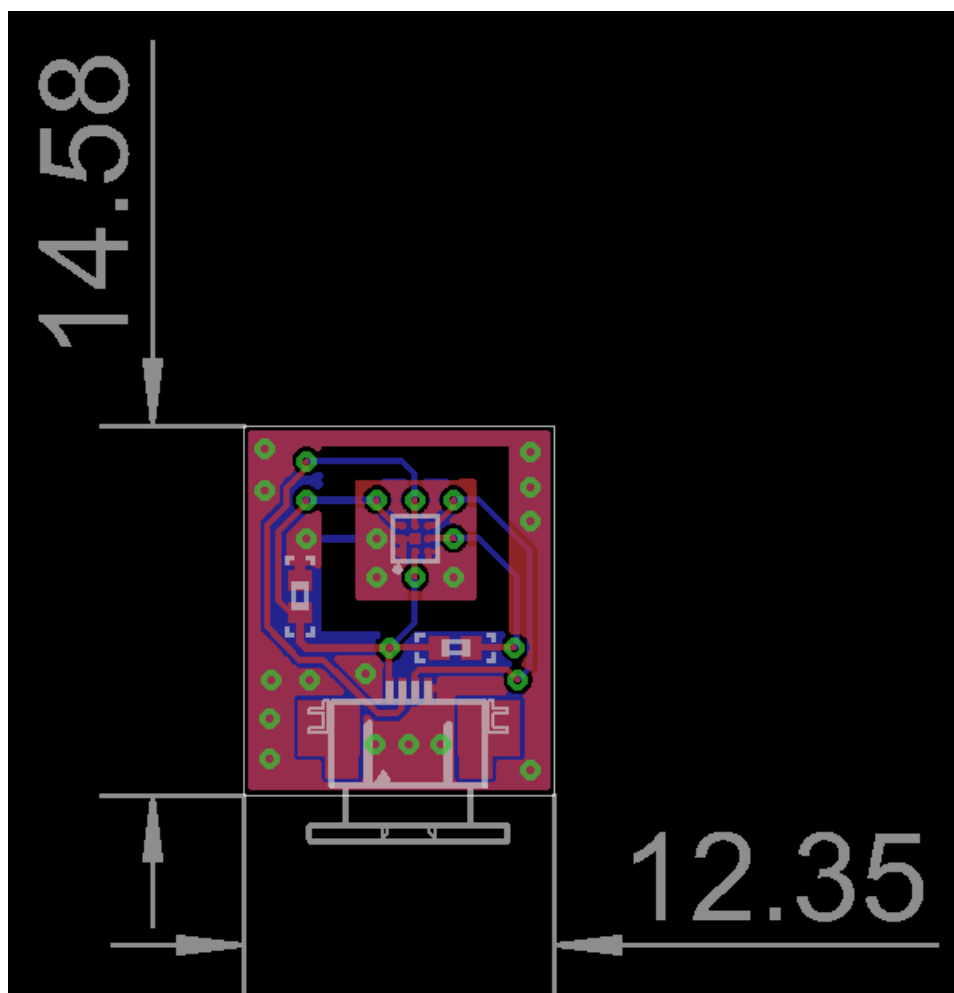
Všechny senzory na DPS Q4 v podobě integrovaných obvodů v sobě mají zabudováno měření teploty. Je možné vybrat si obvod, který měří teplotu s největší přesností, nebo může být použit aritmetický průměr teploty naměřené všemi IO.

### 5.4.10 Bezkontaktní IR senzor teploty

Pro bezkontaktní měření teploty byl vybrán obvod TMP006, který funguje na principu detekce vyzařovaného tepelného IR signálu. Tento senzor není umístěn přímo na DPS Q4, ale je na vlastní DPS (obr. 5.20). Tato DPS i s TMP 006 je umístěna přímo na pohyblivé hlavě robota s kamerou tak, aby byl schopný měřit teplotu předmětů, na které je právě natočena kamera. Senzor je připojen na I2C sběrnici s adresou 1000100.



(Obr. 5.19) TMP006 – bezkontaktní IR senzor teploty



(Obr. 5.20) TMP006 – DPS (rozměry jsou uvedeny v mm)

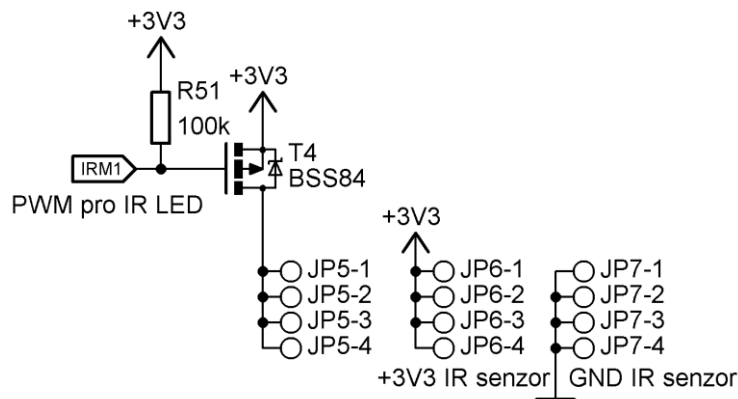
#### 5.4.11 IR senzory

Po obvodu těla robota je rovnoměrně umístěno celkem 8 IR senzorů k detekci překážek. Vždy jsou modulovány 4 IR vysílače jedním PWM signálem o frekvenci 37,9kHz. Tím dojde k vyslání IR signálu, který je následně odražen od překážky a detekován IR přijímači. Pokud dojde k detekci odraženého signálu (detekována překážka), výstupní pin IR přijímače se stáhne do log. 0. Pokud není zaznamenán odraz (překážka není detekována), zůstává na výstupním pinu log. 1. MCU následně přijme logické úrovně ze všech čtyř IR přijímačů a přepne generování PWM pro zbývající 4 IR vysílače a opět detekuje překážky stejným způsobem. Díky tomuto přepínání jednotlivých senzorů je eliminováno vzájemné

ozařování a falešná detekce překážek. Nastavením střídy generovaného PWM signálu je možné měnit dosah senzorů překážky od 5cm do 100cm

Na DPS Q4 se nachází pouze obvody pro spínání IR vysílačů o kmitočtu generovaném MCU (obr. 5.21) a napájecí obvod. Samotné senzory se na DPS připojují pomocí 4 pinů → PWM, 3V3, GND, OUT. Pin PWM slouží pro připojení vysílací IR LED modulované na 37,9kHz, 3V3 a GND jsou napájecí piny a pin OUT je výstupní pin IR přijímače, který je připojen na pin MCU ATXmega192A3U.

IR senzory se skládají z IR vysílačů a IR přijímačů, které jsou umístěny na samostatných DPS (obr. 5.23).



(Obr. 5.21) Obvod pro připojení IR senzorů na DPS Q4

### Infračervený senzor překážky

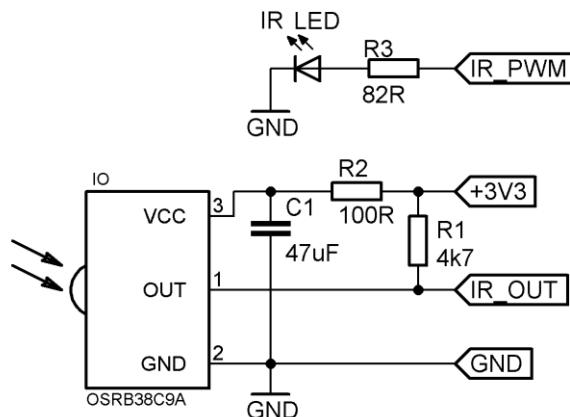
Modulace = 37,9kHz

Vlnová délka = 940nm

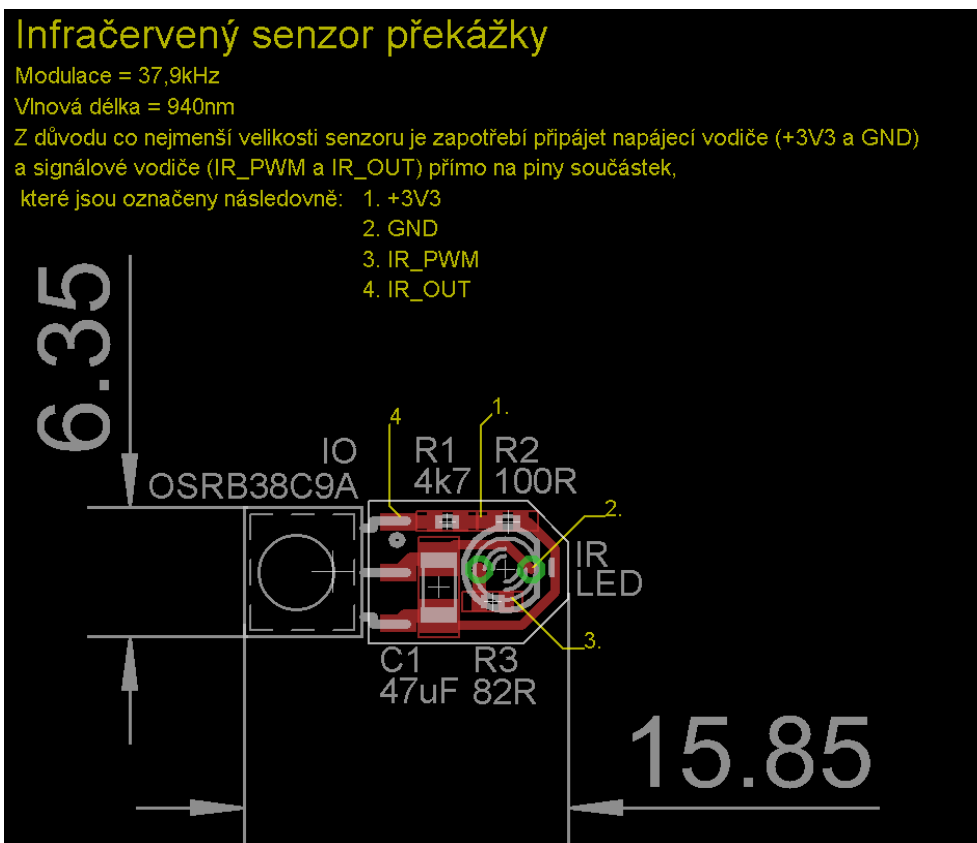
Senzor sestává ze dvou částí - z vysílací IR LED a z IR přijímače, který zachycuje IR záření odražené od překážky.

Piny +3V3 a GND slouží jako napájecí piny, IR\_PWM - slouží jako vstupní pin pro 3,3V signál modulovaný na 37,9kHz.

Pin IR\_OUT je výstup z IR přijímače (0/1 -> detekce překážky ANO/NE).



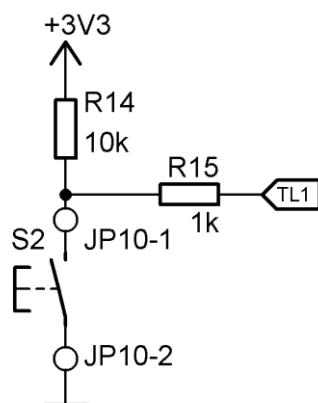
(Obr. 5.22) Schéma IR senzoru se stručným popisem



(Obr. 5.23) DPS IR senzoru se stručným popisem (rozměry jsou uvedeny v mm)

#### 5.4.12 Další snímače

DPS Q4 je vybavena celkem čtyřmi obvody pro připojení tlačítka jako senzoru. V klidovém stavu je tlačítko rozpojeno a na pinu MCU je 3V3 (log. 1). Jakmile dojde ke stisknutí tlačítka, svede se napětí k zemi a na pinu MCU bude 0V (log. 0). Rezistor R15 slouží jako ochranný odpor proti chybnému nastavení pinu MCU jako výstupního pinu s úrovní log. 1. Pokud by v tomto případě došlo ke stisknutí tlačítka a uzemnění pinu bez ochranného rezistoru, MCU by shořel, protože by přes jeho pin došlo ke zkratu napájecího napětí 3V3.



(Obr. 5.24) Senzor - tlačítko

## 5.5 VÝSTUPNÍ PERIFERIE

### 5.5.1 Servomotory

Robot disponuje celkově 14 servomotory řízenými ATXmegou192A3U. 12 standartních servomotorů HS-311 slouží pro polohování nohou robota a 2 slabší servomotory HXT900 jsou určeny pro horizontální a vertikální natáčení hlavy robota s kamerou.

### 5.5.2 H-můstky

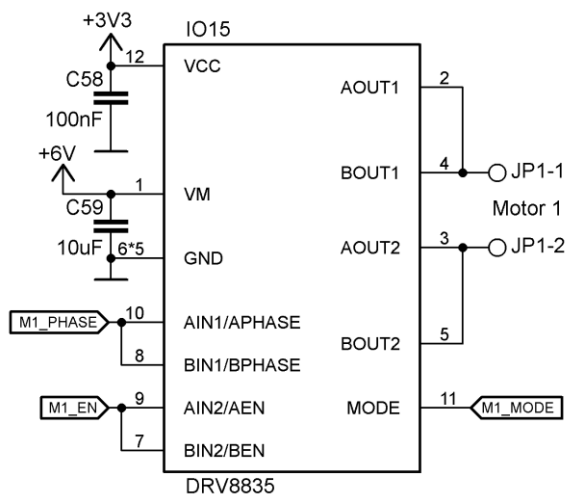
Na DPS Q4 se nachází dva H-můstky DRV8835, určené pro řízení dvou stejnosměrných motorů. Výstupní napájecí napětí pro motory je 6V a výstupní proud až 3A na jeden H-můstek. Pinem MODE se nastavuje režim činnosti můstku - log. 0 = IN/IN mód, log. 1. = PH/EN mód. Význam těchto módů je znázorněn v tabulce 1 a 2:

**Table 1. IN/IN MODE**

MODE	xIN1	xIN2	xOUT1	xOUT2	FUNCTION (DC MOTOR)
0	0	0	Z	Z	Coast
0	0	1	L	H	Reverse
0	1	0	H	L	Forward
0	1	1	L	L	Brake

**Table 2. PHASE/ENABLE MODE**

MODE	xENABLE	xPHASE	xOUT1	xOUT2	FUNCTION (DC MOTOR)
1	0	X	L	L	Brake
1	1	1	L	H	Reverse
1	1	0	H	L	Forward



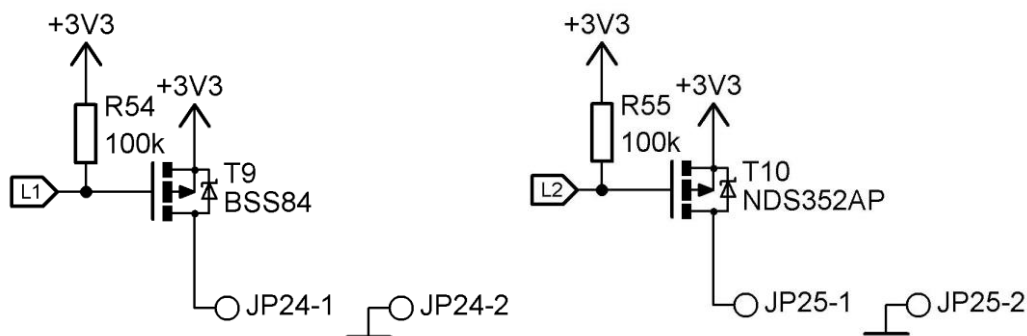
(Obr. 5.25) DRV8835 – H-můstek

### 5.5.3 Indikační LED

Zelená indikační LED dioda DPS Q4 je přes předřadný odpor připojena přímo na PORT.F5 ATXmegy a slouží především jako dioda indikující činnost DPS a tím celého robota. Režim její indikace je plně programovatelný.

### 5.5.4 Osvětlovací LED

Na MCU ATXmega192A3U jsou připojeny dva tranzistory určené pro řízení výkonných LED na napětí do 3V3. První tranzistor BSS84 dokáže dodávat maximální proud 130mA, zatímco tranzistor NDS352AP dokáže dodat až 900mA.



(Obr. 5.26) Tranzistory pro výkonné LED ovládané MCU

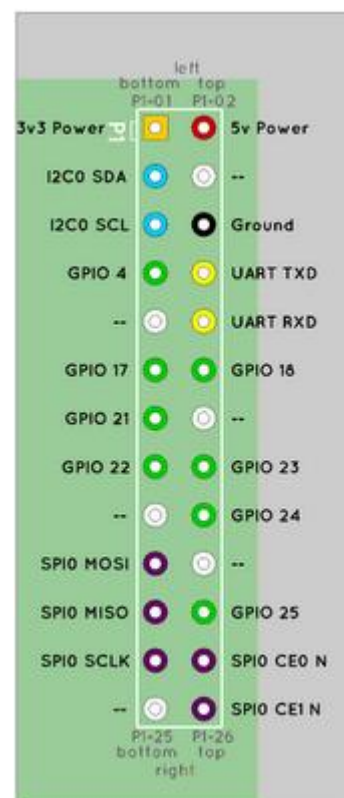
## 6 MIKROPOČÍTAČ RASPBERRY PI

Řízení celého robota zajišťuje jednočipový mikropočítač Raspberry Pi vyvíjený neziskovou organizací Raspberry Pi Foundation. DPS je napájena přes micro USB konektor a jeho spotřeba je maximálně 3,5W. Jeho operační systém Raspbian je nahraný na micro SD kartě.

Komunikace s PC uživatele je zajištěno přes WiFi rozhraní, realizované WiFi USB modulem. Raspberry Pi dále disponuje množstvím programovatelných GPIO pinů, mezi nimiž se nachází sběrnice I2C, UART a SPI, které jsou popsány v následující kapitole.



(Obr. 6.1) Raspberry Pi



(Obr. 6.2) GPIO piny Raspberry Pi

### 6.1 PARAMETRY RASPBERRY PI B, REV.2

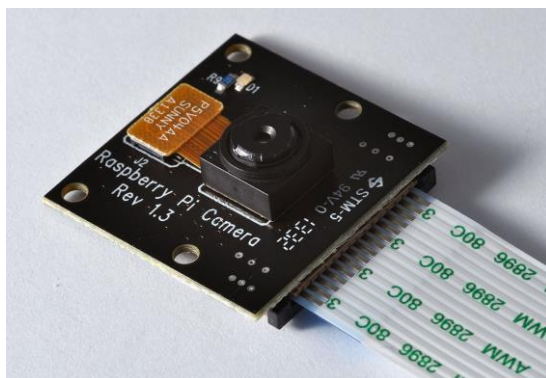
- 700MHz procesor ARM11 Broadcom BCM2835
- 512 MB SDRAM
- kompozitní a HDMI video výstup
- zvuková karta s 3,5mm konektorem JACK
- 2 x USB 2.0
- slot pro karty SD/MMC/SDIO
- 10/100Mb Ethernet
- napájecí konektor Raspberry Pi - Micro USB typ. B



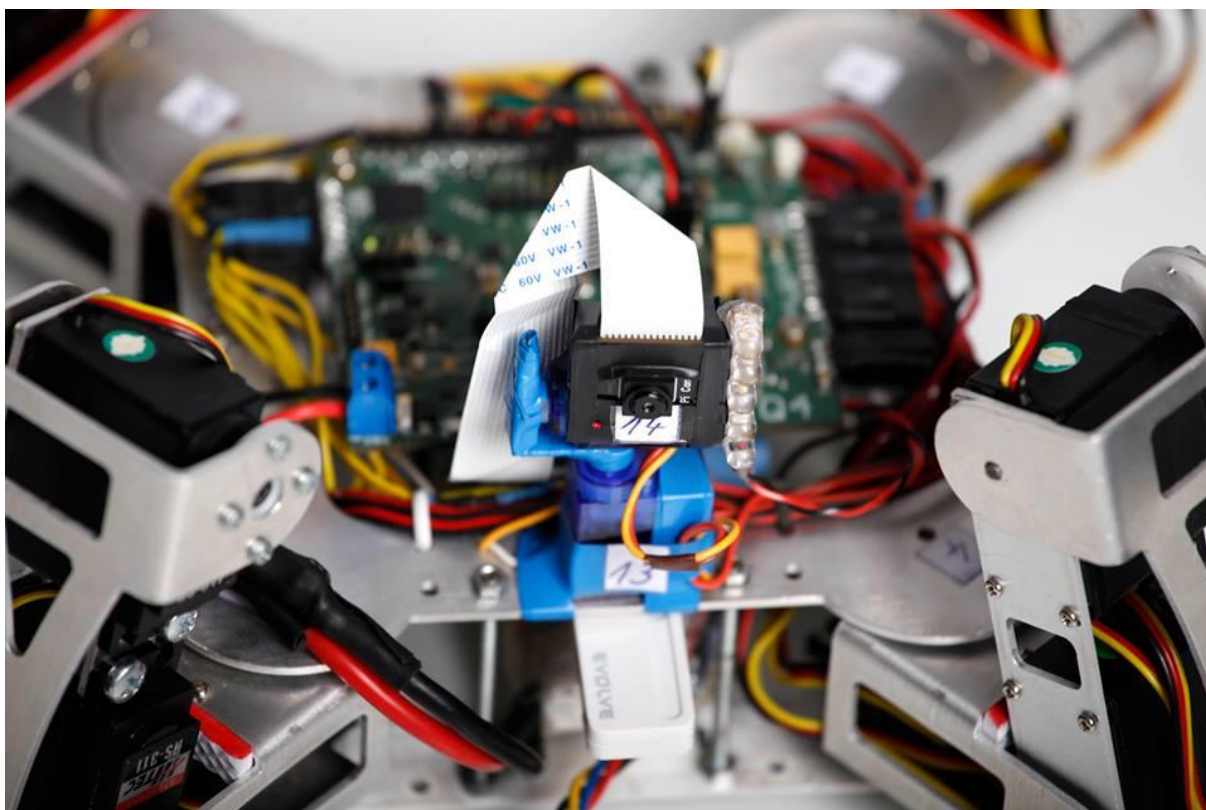
## 6.2 KAMERA

Kamera má rozlišením 5Mpx a její připojení k Raspberry Pi je řešeno pomocí 15 žilového CSI (Camera Serial Interface) kabelu, připojuje se do konektoru S5 na Raspberry Pi. Kamera je schopná pořizovat snímky v rozlišení 2592 x 1944 a natáčet video v maximálním režimu 1080p, což je rozlišení 1920×1080 pixelů. Pro lepší snímání za šera a za tmy byl kameře odstraněn IR filtr. Díky tomu je robot schopný natáčet video i v noci za pomoci osvětlení okolí IR LED diodami z IR senzorů.

Kamera je umístěna na otočné hlavě robota tvořené dvěma servomotory, které zajišťují horizontální a vertikální natáčení hlavy s kamerou a pěti osvětlovacími LED (obr. 6.4), připojenými na tranzistor pro LED osvětlovací LED BSS84 .



(Obr. 6.3) Raspberry Pi kamera



(Obr. 6.4) Raspberry Pi kamera připevněná na polohovatelné hlavě robota

## **7 POUŽITÉ SBĚRNICE RASPBERRY PI A DPS Q4**

### **7.1 *UART***

Slouží k obousměrné komunikaci ATXmega192A3U a Raspberry Pi. ATXmega192A3U přes tuto sběrnici Raspberry Pi odesílá naměřené hodnoty z IR senzorů, senzorů – tlačítek, případně další data, zatímco Raspberry Pi posílá MCU data o natočení servomotorů, zapnutí/vypnutí měničů a případně další data.

### **7.2 *I2C***

Sběrnice I2C je použita pro senzory nenáročné na rychlost komunikace s Raspberry Pi. Jedná se o senzor atmosférického tlaku, vlhkosti vzduchu, intenzity osvětlení, teploty, magnetického pole, došlapu nohou, RTC a další.

### **7.3 *SPI***

Sběrnice SPI je použita pro senzor, u kterého je potřeba rychlá komunikace. Jedná se o senzor 3D akcelerometru a 3D gyroskopu. Tím, že je celá tato sběrnice vyhrazena pouze pro tyto dva senzory, nedochází k přílišnému vytěžování sběrnice a nedochází ke stavům, kdy je sběrnice právě zablokována komunikací s jiným senzorem. Díky paralelnímu použití s I2C sběrnici je možné komunikovat až se dvěma senzory v jednu chvíli.

## 8 PROGRAMOVÁNÍ

Robot je programován pomocí několika programovacích a skriptovacích jazyků. Řídící MCU ATXmega192A3U je programován v jazyce BASCOM. Webový server Raspberry Pi je programován v HTML, PHP a JS. Konfigurace Raspberry a programování komunikace se senzory SPI a I2C je prováděno v jazyce C++.

### 8.1 PROGRAMOVÁNÍ ATXMEGY192A3U – UKÁZKY PROGRAMU

#### 8.1.1 Ovládání servomotorů

```
322 '-----postavení se-----
323
324
325 Postavit:
326   Pom_s = 0
327   Zpomaleni = 1800
328   If Pom2 = 1 Then
329     If A < 130 Then Gosub A_plus
330     If A = 130 Then Pom2 = 0
331   End If
332   If Pom1 = 0 AND Pom2 = 0 Then
333     If A < 130 Then Gosub A_plus
334     If B < 79 Then Gosub B_plus
335     If C < 58 Then Gosub C_plus
336     If B = 79 AND C = 58 Then Pom1 = 1
337   End If
338   If Pom1 = 1 AND Pom2 = 0 Then
339     If A < 130 Then Gosub A_plus
340     If B < 165 Then Gosub B_plus
341     If C < 120 Then Gosub C_plus
342     If B < 165 Then Gosub B_plus
343     If C < 120 Then Gosub C_plus
344     If B < 165 Then Gosub B_plus
345   End If
346   Gosub Serva_prom
347   If A = 130 AND B = 165 AND C = 120 Then
348     Pom1 = 0
349     Poloha = 2
350     Return
351   End If
352 Goto Postavit
```

'určuje použité prom  
'nastavení zpomalení  
'1. část postavení :  
'2. část postavení :  
'--|  
'dvakrát tak rychle  
'přiřazení proměnnýc  
'vynulování pom1  
'nastavení ukazatele  
'návrat  
'zacyklení

(Obr. 8.1) Podprogram pro postavení robota na nohy

Program zde prochází jednotlivé části podprogramu a kontroluje podmínky, zda se proměnné servomotorů rovnají hodnotám, které odpovídají poloze stání. Pokud tato podmínka není splněna, tak zvětší nebo zmenší proměnnou a opět ji porovná s hodnotami, kterých je třeba dosáhnout. To se opakuje tak dlouho, dokud se proměnné nevyrovnají, potom dojde k ukončení podprogramu postavení a robot je připraven přejít na další činnost.

## 8.1.2 Práce s proměnnými servomotorů

```
465 '-----počty s prodlevou proměnných pro serva-----
466
467
468 A_plus:
469     Incr A
470     Waitus Zpomaleni
471 Return
472
473
474 A_minus:
475     Decr A
476     Waitus Zpomaleni
477 Return
478
479
480 B_plus:
481     Incr B
482     Waitus Zpomaleni
483 Return
484
485
486 B_minus:
487     Decr B
488     Waitus Zpomaleni
489 Return
490
491
492 C_plus:
493     Incr C
494     Waitus Zpomaleni
495 Return
496
497
498 C_minus:
499     Decr C
500     Waitus Zpomaleni
501 Return
502
503 D_plus:
504     Incr D
505     Waitus Zpomaleni
506 Return
```

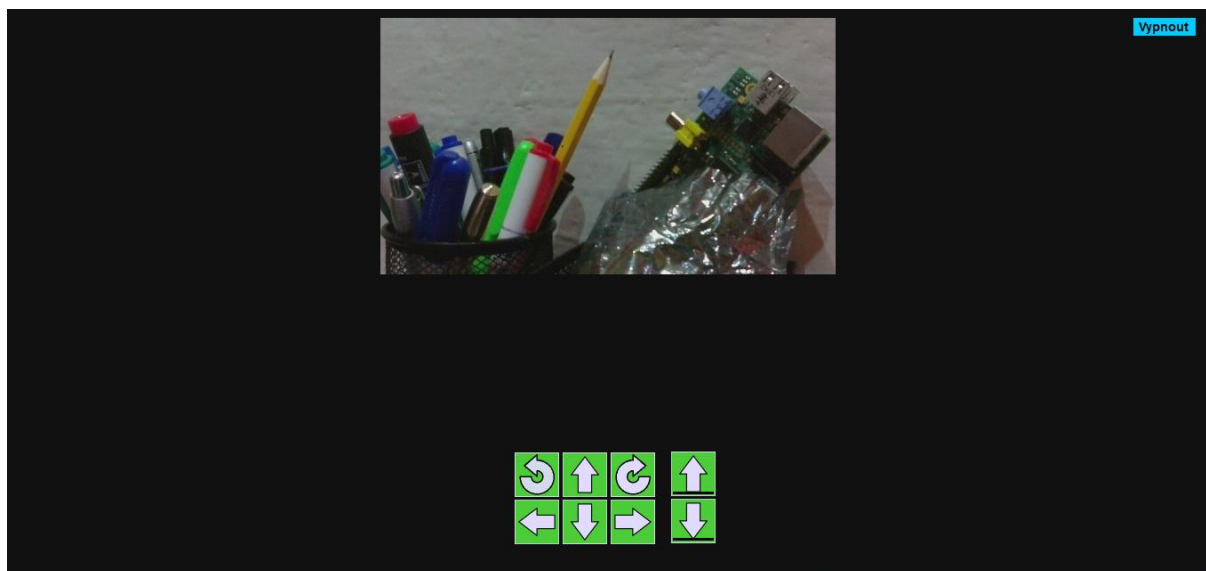
	'A + 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'A - 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'B + 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'B - 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'C + 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'C - 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat
	'D + 1
	'zpomaleni chodu serva
	'navrat

(Obr. 8.2) Počty s proměnnými pro servomotory

Podprogramy zajišťují zvětšení nebo zmenšení dané proměnné o 1 a vyčkání několik ms (zajišťuje proměnná Doba – obvykle 3ms, pokud není nastaveno jinak). Tímto se dosáhne efektu zpomalení běhu servomotorů a předejde se tím pádům a zakopávání nohou v důsledku vysoké rychlosti chůze robota a problémům se setrvačností.

## 8.2 PROGRAMOVÁNÍ RASPBERRY PI

Webové stránky Raspberry Pi (obr. 8.3) byly programovány za použití HTML, PHP a JS. V podkapitolách níže jsou uvedeny příklady programu. Na stránce je vidět přenos obrazu z kamery. Pod videem je několik ovládacích tlačítek, která po stisknutí spustí javascript, jenž zašle požadavek PHP kódu pro obsluhu sběrnice UART. Raspberry tedy přepoše MCU proměnnou podle stisknutého tlačítka na stránce a tato proměnná je následně vyhodnocena podle programu MCU, který vykoná předprogramovanou činnost, příp. zašle Raspberry po UARTu odpověď, kterou Raspberry zobrazí na webové stránce.



(Obr. 8.3) Ovládací webové rozhraní robota

## 8.2.1 Ukázka HTML kódu

```

<body onload="setTimeout('init();', 10);">
  <div><img id="mjpeg_dest"></div>
<strong>Stiskněte jakoukoli šipku</strong><br>
<span id="messageBox"></span>
<table width=165>
<tr>
<td>
<td>
<td>
</tr>
<tr>
<td>
<td>
<td>
</tr>
<tr><td align="center" colspan="3">


</td></tr></table>
</body>
80 </body>

```

(Obr. 8.4) Část programu webové stránky robota v HTML kódu

## 8.2.2 Ukázka Javascript

```
1 <script>
2
3 obr2 = new Image();
4 obr2.src = "tlacitko2.png";
5
6     function sendAjaxRequest(smer) {
7
8         var request = new XMLHttpRequest();
9
10        document.getElementById("messageBox").innerHTML = "smer " + smer;
11
12        request.onreadystatechange = function()
13        {
14            if (request.readyState == 4 && request.status == 200)
15            {
16                document.getElementById("messageBox").innerHTML = request.responseText;
17            }
18        };
19
20        request.open("GET", "uart.php?smer=" + smer, true);
21
22        request.send();
23
24        return false;
25    }
26 </script>
```

(Obr. 8.5) Část javascriptu pro zaslání požadavku z webové stránky zpět Raspberry

## 8.2.3 Ukázka PHP kódu

```
<?php
error_reporting(E_ALL);
ini_set('display_errors', '1');
include "php_serial.class.php";

$smer = $_GET['smer'];

$serial = new phpSerial;
$serial->deviceSet("/dev/ttyAMA0");
$serial->confBaudRate(115200);
$serial->confParity("odd");
$serial->confCharacterLength(8);
$serial->confStopBits(1);
$serial->deviceOpen();
$serial->sendMessage($smer);
//$serial->readPort($cont = 30);
//$read = $serial->readPort(30);
$serial->deviceClose();

echo "UART: \n\r";
echo $smer;
//echo $read;

?>
```

(Obr. 8.6) PHP kód pro obsluhu sběrnice UART

## ZÁVĚR

Úspěšně jsem navrhl a realizoval Čtyřnohého kráčejíciho robota v4.0 ovládaného přes webové rozhraní prostřednictvím Wi-Fi připojení. Rád bych postupně přešel z programování MCU ATXmega v Bascomu na jazyk C z důvodu rychlejšího vykonávání kódu. Stále je ještě co zlepšovat ohledně chůze robota a propojení chůze s daty z akcelerometru a gyroskopu tak, aby se robot mohl sám vyvažovat bez ohledu na to, po jakém povrchu kráčí. Další možností zlepšení jeho chůze a případné samostatnosti při plnění úkolů by bylo naprogramování strojového vidění a analýza obrazu z kamery.

Práce pro mě byla velmi naučná jak z pohledu návrhu schémat a desek plošných spojů, tak i programování, což mi pomohlo proniknout hlouběji do samotné problematiky mikroprocesorové techniky a rozhodně se tímto tématem hodlám zabývat i v budoucnu.

## SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY:

ATXmega192A3U, datasheet [online]. Atmel Corp., 2013 [3.3.2014]. Dostupné z URL <[http://www.atmel.com/Images/Atmel-8386-8-and-16-bit-AVR-Microcontroller-ATxmega64A3U-128A3U-192A3U-256A3U\\_datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-8386-8-and-16-bit-AVR-Microcontroller-ATxmega64A3U-128A3U-192A3U-256A3U_datasheet.pdf)>.

LMZ12001, datasheet [online]. Texas Instruments, 2013 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmz12001.pdf>>.

LMZ12002, datasheet [online]. Texas Instruments, 2013 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmz12002.pdf>>.

LMZ12008, datasheet [online]. Texas Instruments, 2013 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmz12008.pdf>>.

TPS70933, datasheet [online]. Texas Instruments, 2013 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps70915.pdf>>.

INA219, datasheet [online]. Texas Instruments, 2011 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina219.pdf>>.

LSM330DLC, datasheet [online]. STMicroelectronics, 2012 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/-DM00037200.pdf>>.

MAX44004, datasheet [online]. MAXIM, 2012 [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX44004.pdf>>.

Raspberry Pi, quick start guide [online]. Raspberry Pi Foundation [3.3.2014]. Dostupné z URL <<http://www.raspberrypi.org/quick-start-guide>>.

Řízení servomotorů, manuál [online]. Zbyněk Winkler [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <<http://robotika.cz/guide/servo/cs>>.

Servomotor, specifikace [online]. Servocity [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <[http://www.servocity.com/html/hs-311\\_standard.html#UyS2k84SCnw](http://www.servocity.com/html/hs-311_standard.html#UyS2k84SCnw)>.

Příkazy BASCOM [online]. Jaroslav Kutěj [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <[http://www.mp222.wz.cz/Bascom/Soubory/bascom\\_instr.htm](http://www.mp222.wz.cz/Bascom/Soubory/bascom_instr.htm)>.

Raspberry  $\pi$  I. - Úvod [online]. Petr Horáček [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <[http://www.linuxsoft.cz/article.php?id\\_article=1937](http://www.linuxsoft.cz/article.php?id_article=1937)>.

Příkazy BASCOM [online]. Jaroslav Kutěj [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <[http://www.mp222.wz.cz/Bascom/Soubory/bascom\\_instr.htm](http://www.mp222.wz.cz/Bascom/Soubory/bascom_instr.htm)>.