



Středoškolská technika 2014

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

QUADROCOPTÉRA

Daniel Macek

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

Děkuji spolužákovi Vojtěchu Hamáčkovi za obětavou pomoc a podnětné připomínky, které mi během práce poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat Ladislavu Mulačovi za pomoc s návrhem a s výrobou konstrukce quadrocoptéry, a Ing. Františku Vlkovi za možnost výroby DPS ve firmě Gatema s.r.o.

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 quadcoptéry. Cílem bylo vytvořit funkční quadcoptéru ovládanou z jakéhokoliv zařízení, které je vybaveno Wi-Fi rozhraním a webovým prohlížečem – například mobilním telefonem. Pro orientaci v prostoru je vybavena množstvím rozdílných senzorů (IR senzory, akcelerometr, gyroskop, atd.). Důraz byl kladen na možnost postupného rozšiřování dalšími senzory. Quadcoptéra je řízena dvěma deskami plošných spojů, první je osazena napájecími zdroji, senzory a mikro počítačem, který řídí regulátory motorů. Druhá deska plošných spojů je mikro počítač Raspberry Pi s Wi-Fi modulem, pomocí kterého je quadcoptéra řízena.

Klíčová slova: quadcoptéra, Raspberry Pi, robot

ABSTRACT

The work deals with the design, production and programming of the Quadrocopter. Main purpose is create a flying robot controlled via Wi-Fi from laptop or other mobile device. For its orientation in space is equipped with a lot of different sensors (IR sensors, accelerometer, gyroscope, etc.). The focus was on the possibility of a gradual expansion of other sensors. The robot is equipped with two PCB, the first of which is fitted with power supply, sensors and microcomputer, which is used to control regulators. The other PCB is a microcomputer Raspberry Pi with Wi-Fi connection, which is used to control the robot from any device with Wi-Fi connection and a web browser.

Key words: quadrocopter, Raspberry Pi, robot

OBSAH

ABSTRAKT	3
ABSTRACT	3
OBSAH	4
ÚVOD	8
1 KONSTRUKCE A PROVEDENÍ QUADROCOPTÉRY	9
<i>1.1 KONSTRUKČNÍ DÍLY A ROZMĚRY</i>	<i>11</i>
2 REGULÁTORY A POHONY	13
2.1 REGULÁTORY	13
2.1.1 Parametry regulátorů RAY R-40B	13
2.2 MOTORY	14
2.2.1 Parametry motorů RAY CD3536/05	14
2.3 SERVOMOTORY	15
2.3.1 Parametry servomotorů HX-900	15
3 ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA QUADROCOPTÉRY	16
4 LITHIUM POLYMEROVÝ AKUMULÁTOR	17
5 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ Q4	18
5.1 OCHRANNÝ A ZAPÍNACÍ/VYPÍNACÍ OBVOD	23
5.2 NAPÁJECÍ OBVODY - MĚNIČE	23
5.2.1 Měnič 3V3 s nízkou vlastní spotřebou	23
5.2.2 Spínaný měnič 3V3	24
5.2.3 Spínaný měnič 5V	24
5.2.4 Spínaný měnič 6V	25
5.3 MIKROPOČÍTAČ ATXMEGA192A3U	26
5.4 SENZORY	27
5.4.1 3D gyroskop/akcelerometr	27
5.4.2 3D magnetometr – kompas.....	27
5.4.3 Senzor U/I/P	28
5.4.4 Senzor intenzity osvětlení	28
5.4.5 Senzor atmosférického tlaku	29
5.4.6 Senzor vlhkosti vzduchu	29
5.4.7 Hodiny reálného času	30
5.4.8 Senzory teploty	30
5.4.9 Bezkontaktní IR senzor teploty	30
5.4.10 IR senzory.....	31
5.4.11 Další snímače	33

5.5	<i>VÝSTUPNÍ PERIFERIE DPS Q4</i>	34
5.5.1	Regulátory	34
5.5.2	Servomotory	34
5.5.3	Indikační LED	34
5.5.4	Osvětlovací LED	34
6	MIKROPOČÍTAČ RASPBERRY PI	35
6.1	<i>PARAMETRY RASPBERRY PI B, REV.2</i>	35
6.2	<i>RASPBERRY PI KAMERA</i>	36
7	POUŽITÉ SBĚRNICE DPS Q4 A RASPBERRY PI	37
7.1	<i>UART</i>	37
7.2	<i>I2C</i>	37
7.3	<i>SPI</i>	37
8	PROGRAMOVÁNÍ	38
8.1	<i>PROGRAMOVÁNÍ ATXMEGY192A3U – UKÁZKY PROGRAMU</i>	38
8.1.1	Hlavní smyčka programu	38
8.1.2	Práce s proměnnými regulátorů.....	39
8.2	<i>PROGRAMOVÁNÍ RASPBERRY PI</i>	40
8.2.1	Ukázka HTML kódu	40
8.2.2	Ukázka Javascript.....	41
8.2.3	Ukázka PHP kódu	41
ZÁVĚR	42
SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY	43

ÚVOD

Práce na projektu robota Quadrocoptéry byla podnícena spolužákovým zájmem o robotiku. Tento podnět mě přivedl k mému vlastnímu zájmu o tento obor.

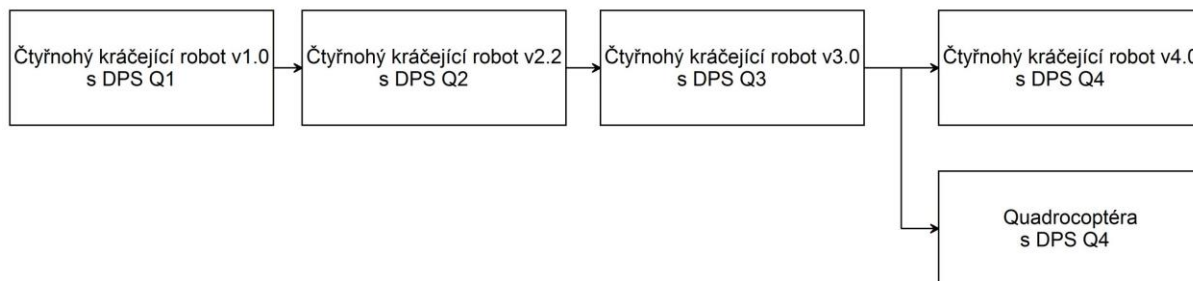
Navrhl a naprogramoval jsem robota řízeného mikropočítačem ATXmega192A3U a Raspberry Pi s možností připojení množství vstupních a výstupních periférií, pomocí kterých se robot řídí a orientuje v prostoru. Quadrocoptéra umožňuje měřit řadu fyzikálních veličin, jako je například teplota, intenzita osvětlení, atmosférický tlak, vlhkost vzduchu a další.

Práce je inspirována předchozí prací spolužáka Vojtěcha Hamáčka, se kterým jsme společně navrhli řídicí desku pro Quadrocoptéru a Čtyřnohého kráčejícího robota v4.0. Při návrhu byl kladen důraz na miniaturizaci součástek z důvodu zajištění nízké váhy. Z toho vyplývá, že deska plošných spojů Q4 byla vyrobena ve specializované firmě stejně jako konstrukce, která je vyrobena z duralu a hliníku.

Quadrocoptéra je přizpůsobena k ovládání z mobilních zařízení, která disponují Wi-Fi připojením a webovým serverem. Tento způsob řízení byl vybrán kvůli velkému datovému toku, který je nutné přenášet. Nárůst datového toku je způsoben přenosem videa do připojeného mobilního zařízení.

Quadrocoptéru lze nejlépe využít jako průzkumné zařízení. Veličiny, které je quadrocoptéra schopná změřit, jsou poskytovány obsluze. Další plánované využití do budoucna bude spočívat v kooperaci Quadrocoptéry a Čtyřnohého kráčejícího robota, případně dalších robotů.

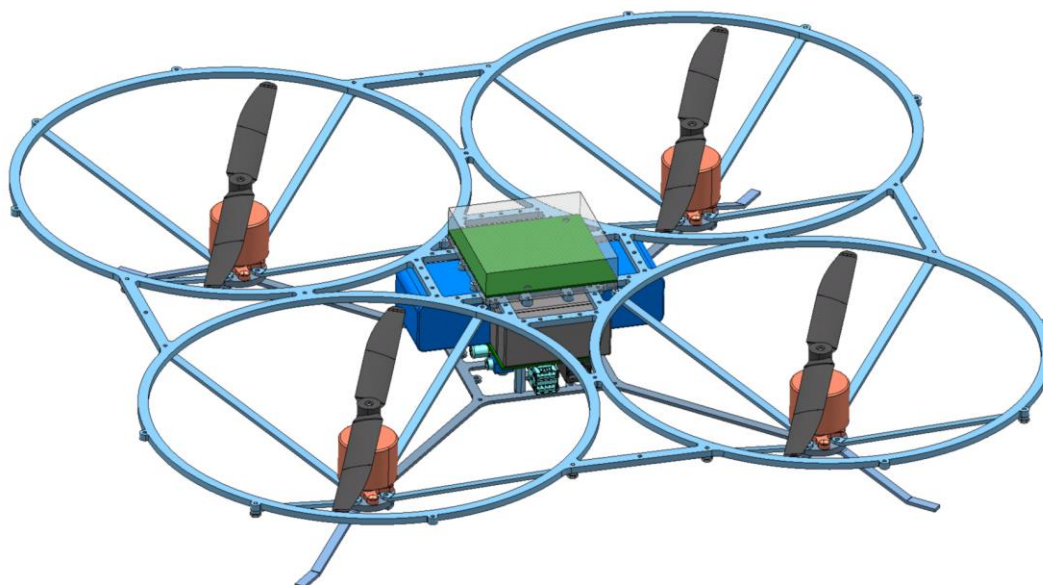
U vývoje této verze robota došlo k rozdělení na dva projekty. Těmi projekty je jednak Čtyřnohý kráčející robot v4.0, jednak Quadrocoptéra. Oba projekty jsou z větší části založeny na stejných komponentech – DPS Q4, Raspberry Pi.



1 KONSTRUKCE A PROVEDENÍ QUADROCOPTÉRY

Quadrocoptéra byla vybrána z toho důvodu, že se jedná o nejlepší kompromis mezi spotřebou a ovladatelností. Menší počet použitých vrtulí vede k menší stabilitě letu, zatímco vyšší počet zase příliš zvyšuje spotřebu energie.

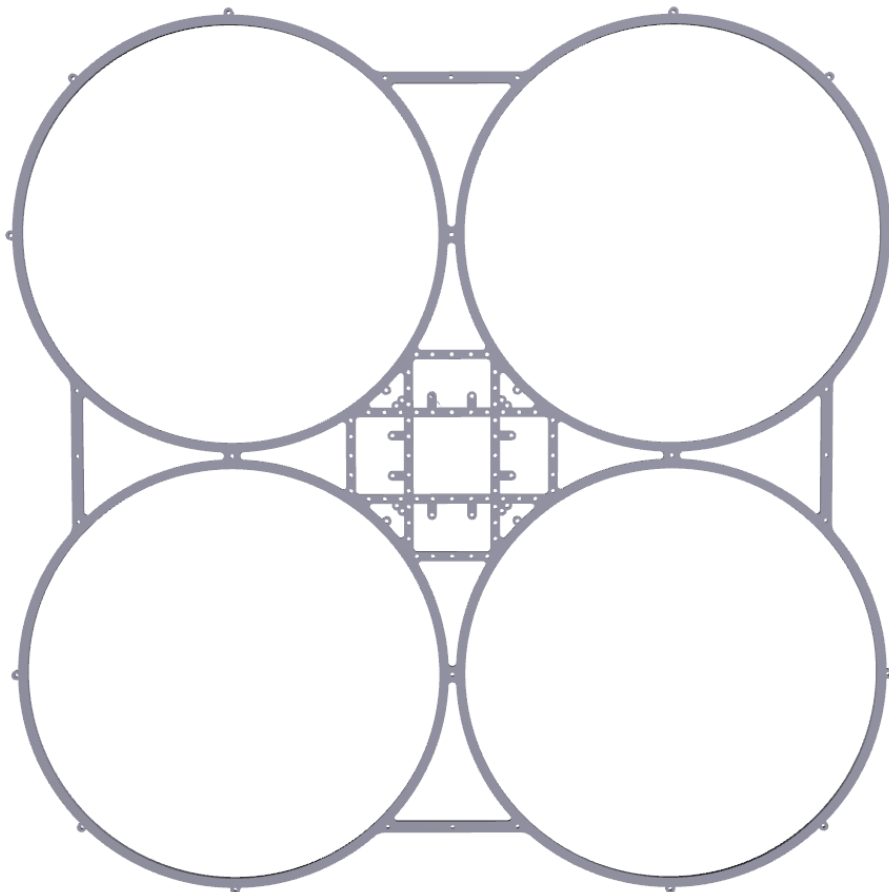
Za účelem nejnižší možné hmotnosti byla zvolena odlehčená konstrukce z duralu a hliníku (Obr. 1.3) a (Obr 1.4). Konstrukce byla vyřezána laserem, díky tomu je dosaženo vysoké přesnosti vyhotovených dílů.



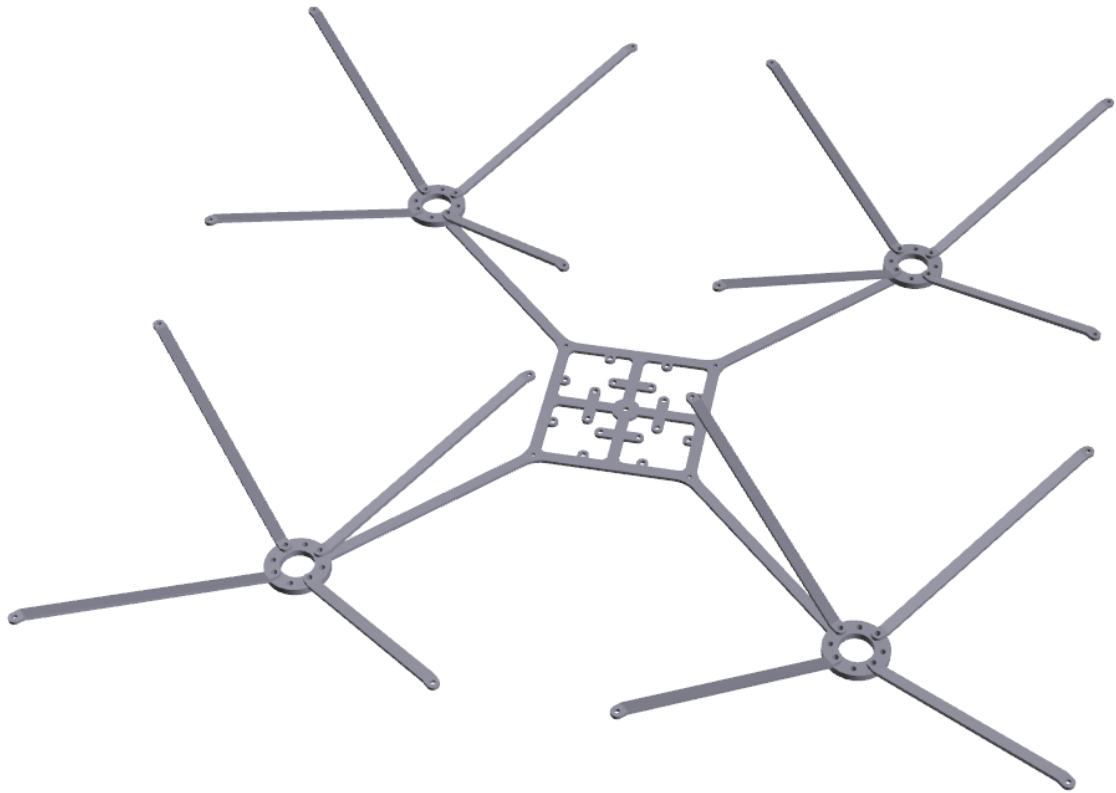
(Obr 1.1) Návrh konstrukce quadrocoptéry



(Obr 1.2) Quadrocoptéra



(Obr 1.3) Duralová část konstrukce quadrocoptéry

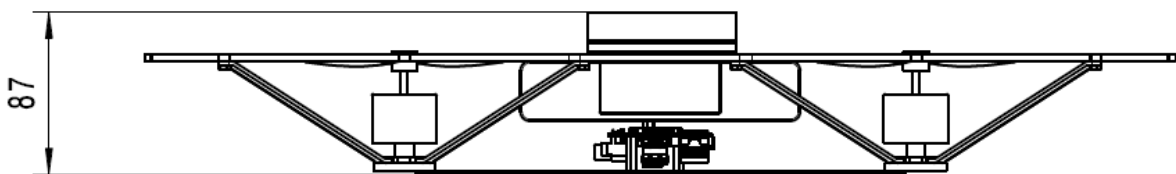


(Obr. 1.4) Hliníková část konstrukce quadcoptéry

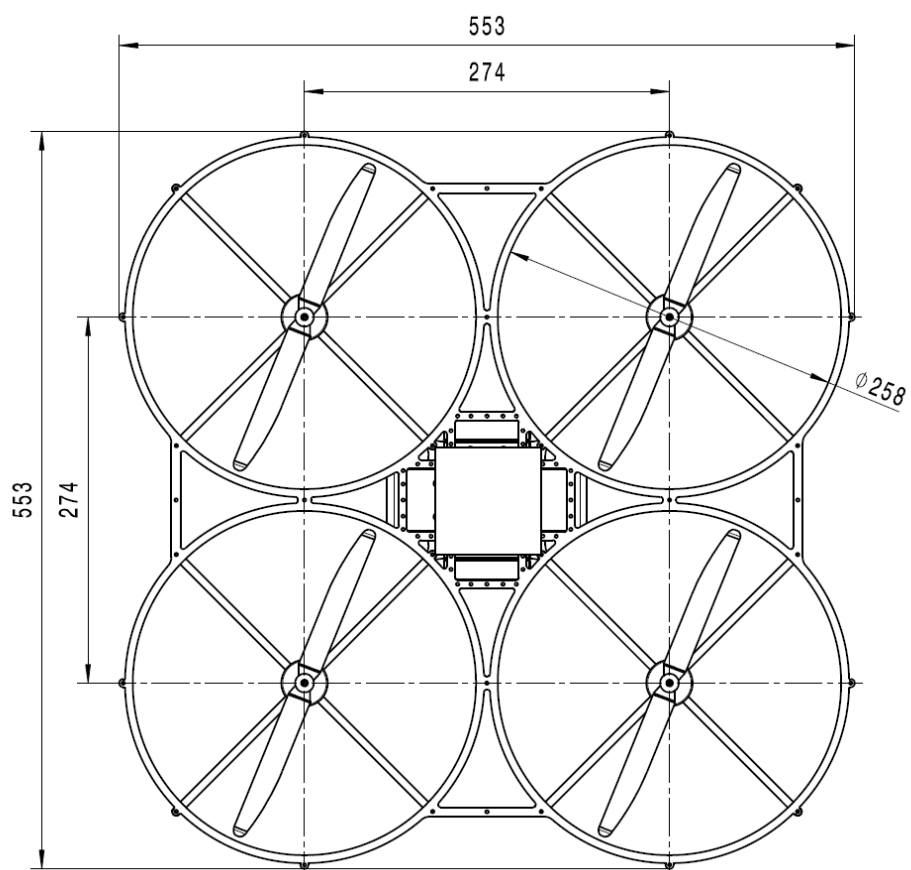
1.1 KONSTRUKČNÍ DÍLY A ROZMĚRY

Duralová část konstrukce je vyrobena z jednolitého celku. Tloušťka je 4mm. Hliníkové části mají tloušťku 2mm. V konstrukci jsou vyvrtány montážní otvory pro uchycení akumulátoru, regulátorů, motorů a desek plošných spojů. Také jsou zde nachystané otvory pro připevnění IR senzorů okolo rámu.

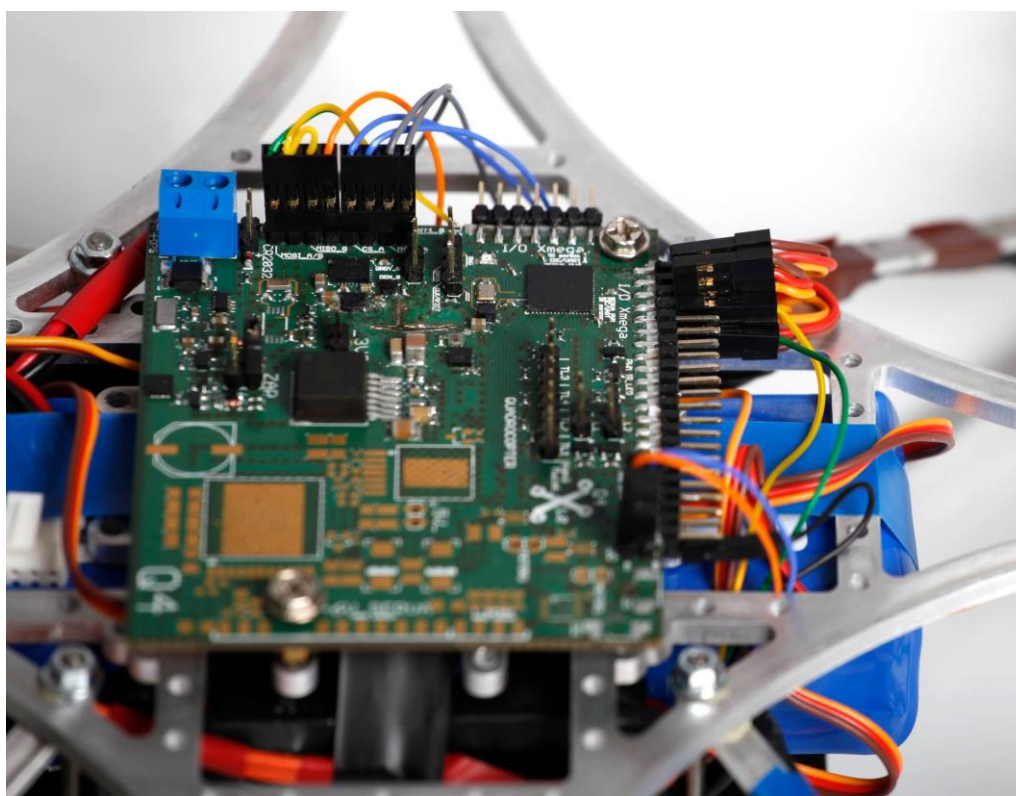
Rozměry na následujících obrázcích jsou uvedeny v mm.



(Obr. 1.5) Výška quadcoptéry



(Obr. 1.6) Rozměry quadrocoptéry



(Obr. 1.7) Detail DPS Q4

2 REGULÁTORY A POHONY

2.1 REGULÁTORY

Regulátory se řídí pomocí PWM signálu z mikropočítače ATXmega192A3U. Jsou vybaveny ochrannými prvky, jako je například odpojení motorů při poklesu vstupního napájení, snížení výkonu při teplotách nad 110°C a automatické snížení výkonu při ztrátě řídicího signálu. Obsahují BEC stabilizátor 5V/3A. Regulátory jsou použity pro řízení střídavých motorů.

2.1.1 Parametry regulátorů RAY R-40B

Výrobce:	RAY
Rozměry:	28x52x8mm
Hmotnost:	27g
Napájení:	počet článků: 5-10NC, 2-3Li-pol
Proud trvalý:	40A
Proud špičkový:	50A
Typ BEC:	BEC
BEC (napětí/proud):	5V/3A



(Obr. 2.1) Regulátor RAY R-40B

2.2 MOTORY

Stator tvoří cívky s pěti závitů. Ve středu cívek se nachází dvě válečková ložiska, první se nachází ve vrchní části a druhé se nalézá v části pro uchycení podstavy k motoru. Oběma ložisky prochází hřídel, která je ve spodní části opatřena závlačkou, aby nedošlo ke stažení pláště.

Rotor je tvořen otočným pláštěm, který má po vnitřním obvodu rozmístěny silné magnety. K tomuto plášti je uchycena hřídel, která je opatřena výřezem proti možnému pootočení pláště či skluzu pláště, za pomoci červíka.

2.2.1 Parametry motorů RAY CD3536/05

Průměr: 34,8mm

Délka: 37mm

Hmotnost: 102g

Průměr hřídele: 4mm

Napájení: 7.4 – 11,1V

Otáčky na Volt: 1450 ot/min/V

Výkon špičkový: 400W

Proud naprázdno: 2,8A

Proud špičkový: 40A

Vnitřní odpor: 32mOhm

Počet závitů: 5



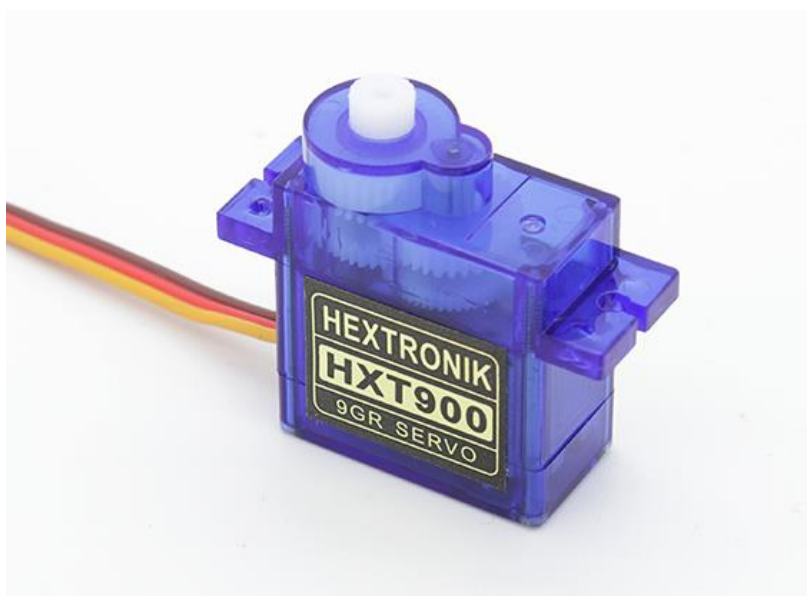
(Obr. 2.2) Motor RAY CD3635/05 s vrtulí

2.3 SERVOMOTORY

Použité servomotory HX-900 jsou využívány ke stabilizaci obrazu z videokamery. Případně je možné je využít pro natočení kamery v horizontálním i vertikálním směru. Zvoleny byly z důvodů malých rozměrů a nízké váhy.

2.3.1 Parametry servomotorů HX-900

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

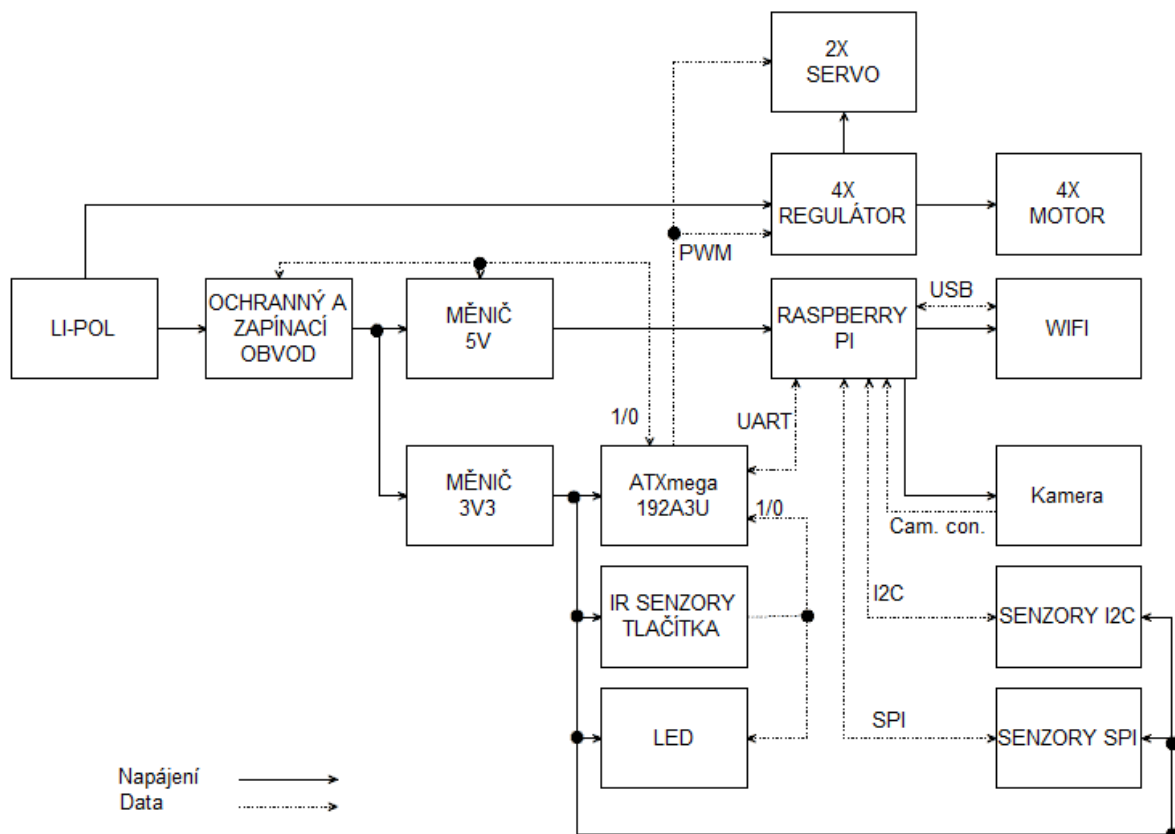


(Obr. 2.3) servomotor HXT900

3 ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA QUADROCOPTÉRY

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

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



(Obr. 3.1) Zjednodušené blokové schéma quadcoptéry

4 LITHIUM POLYMEROVÝ AKUMULÁTOR

Napájecí napětí quadcoptéry se může pohybovat v rozmezí od 9V do 12,6V z důvodu omezení napětí na vstupu regulátoru.

Byl zvolen tříčlánkový lithium-polymerový akumulátor od firmy Hyperion s nominální hodnotou napětí 11,1V. Při plném nabití dosahuje hodnot 12,6V. Jedná se o třetí generaci Li-pol akumulátorů, které mají menší hmotnosti a menší rozměry, také se rychleji nabíjejí a poskytují větší proudové odběry. Kapacita akumulátoru má hodnotu 5000mAh. Maximální vybíjecí proud odpovídá hodnotě 125A.

Odebíraný proud se mění v závislosti na okamžité spotřebě, která se může při vypnutých motorech pohybovat do 250mA, které odebírají regulátory v klidovém režimu, DPS Q4 a Raspberry Pi až do špičkové hodnoty 160A při startovací sekvenci.



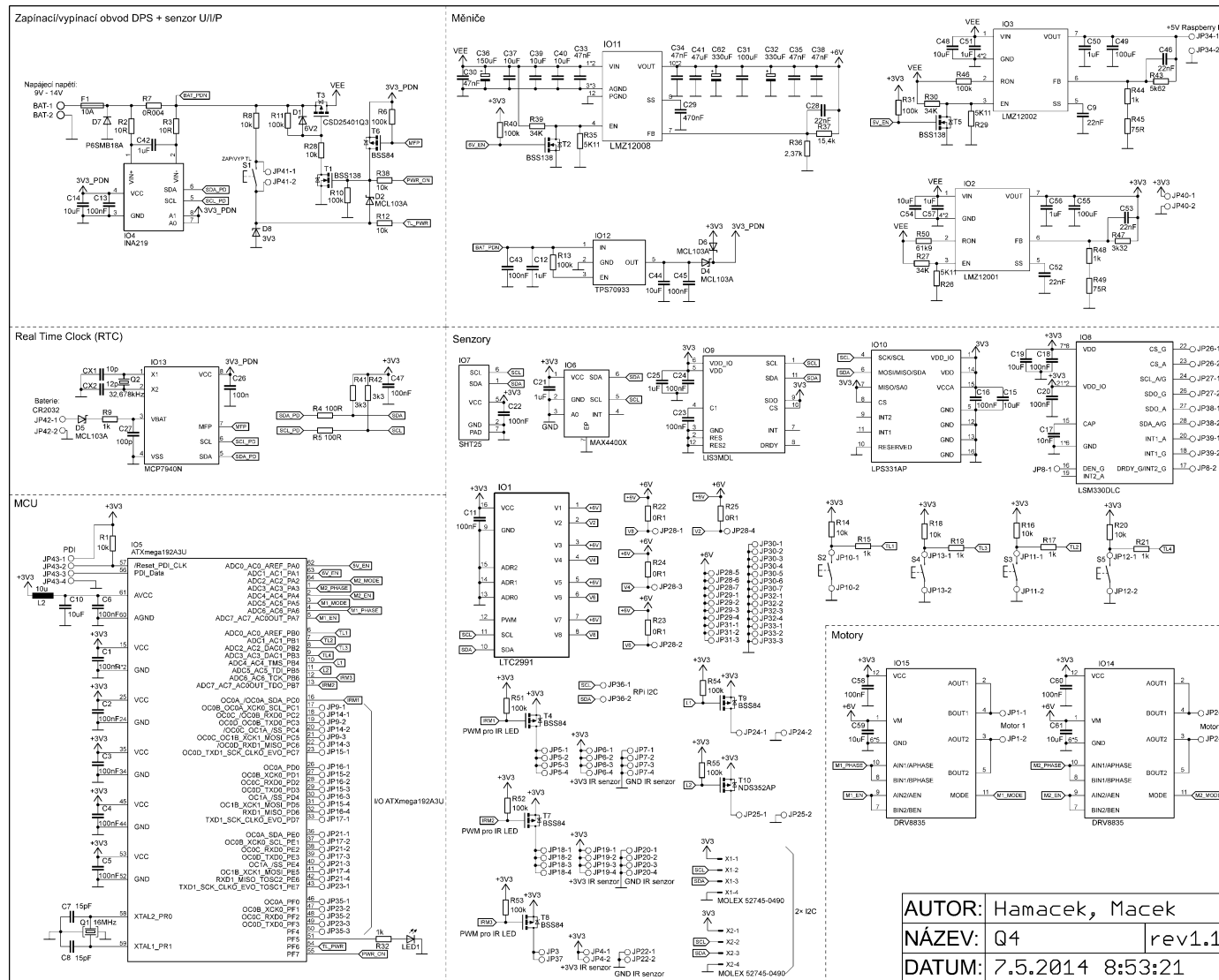
(Obr. 4.1) Lithium-polymerový akumulátor

5 DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ Q4

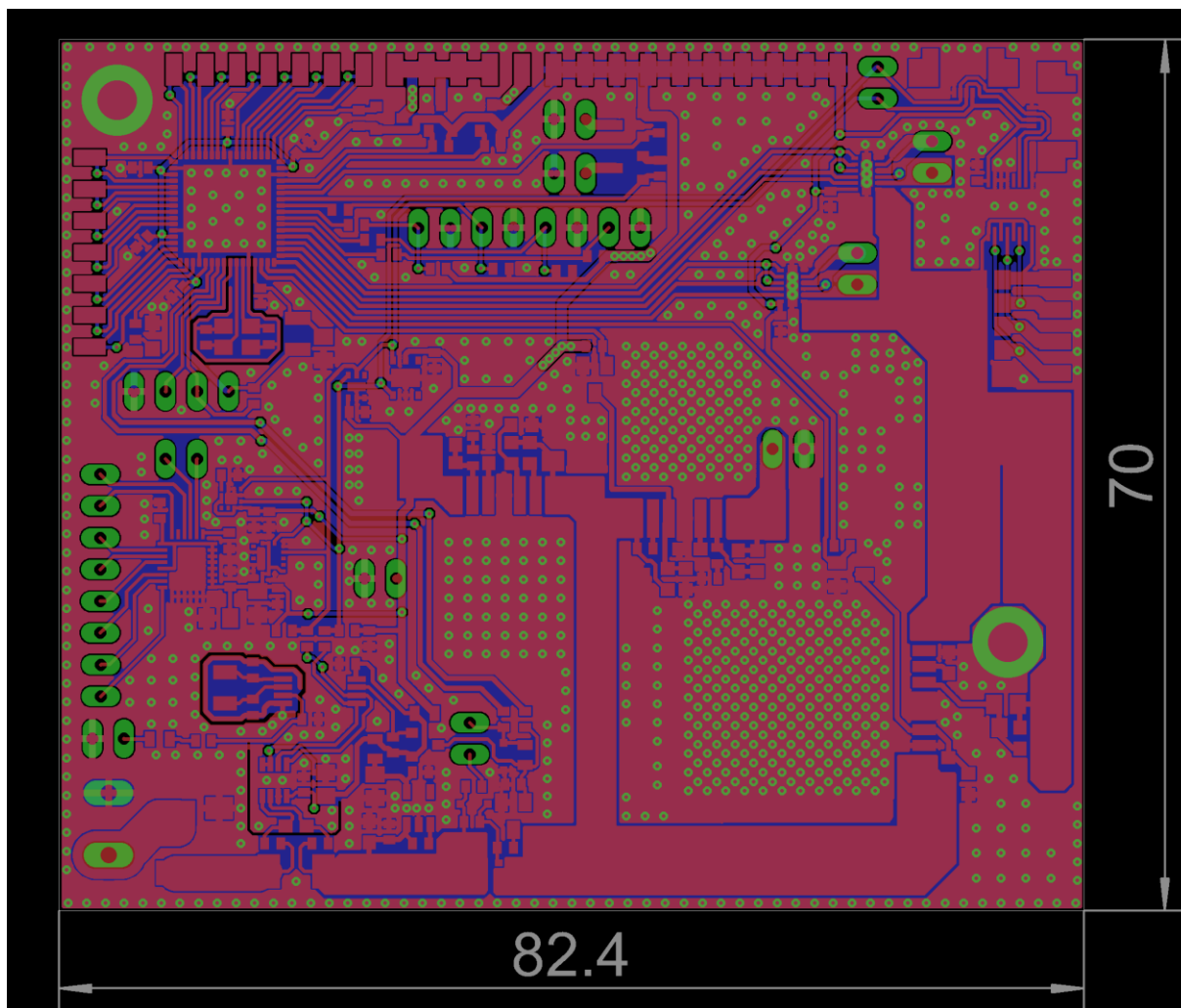
Na DPS Q4 se nachází ochranný a zapínací/vypínací obvod, měnič 6V pro servomotory, měnič 5V pro Raspberry Pi a dva měniče 3V3. První měnič 3V3 má velmi malý vlastní odběr proudu a slouží k napájení části DPS, když je vypnutá a její celkový odběr činí méně jak $15\mu\text{A}$. Druhý měnič 3V3 je určen pro napájení senzorů a MCU v době, kdy je DPS již zapnutá a má větší proudový odběr, než jaký by dokázal pokrýt první měnič. Přímou 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 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 zlacenými spoji. DPS byla navržena s ohledem na EMC a také na to, aby byla schopná odvádět teplo vytvářené měniči. Nejužší cestičky mají $200\mu\text{m}$, odstup polygonu od cestiček činí $150\mu\text{m}$ a nejmenší prokovené otvory mají pouze $300\mu\text{m}$. Z těchto důvodů je nezbytná výroba ve specializované firmě.

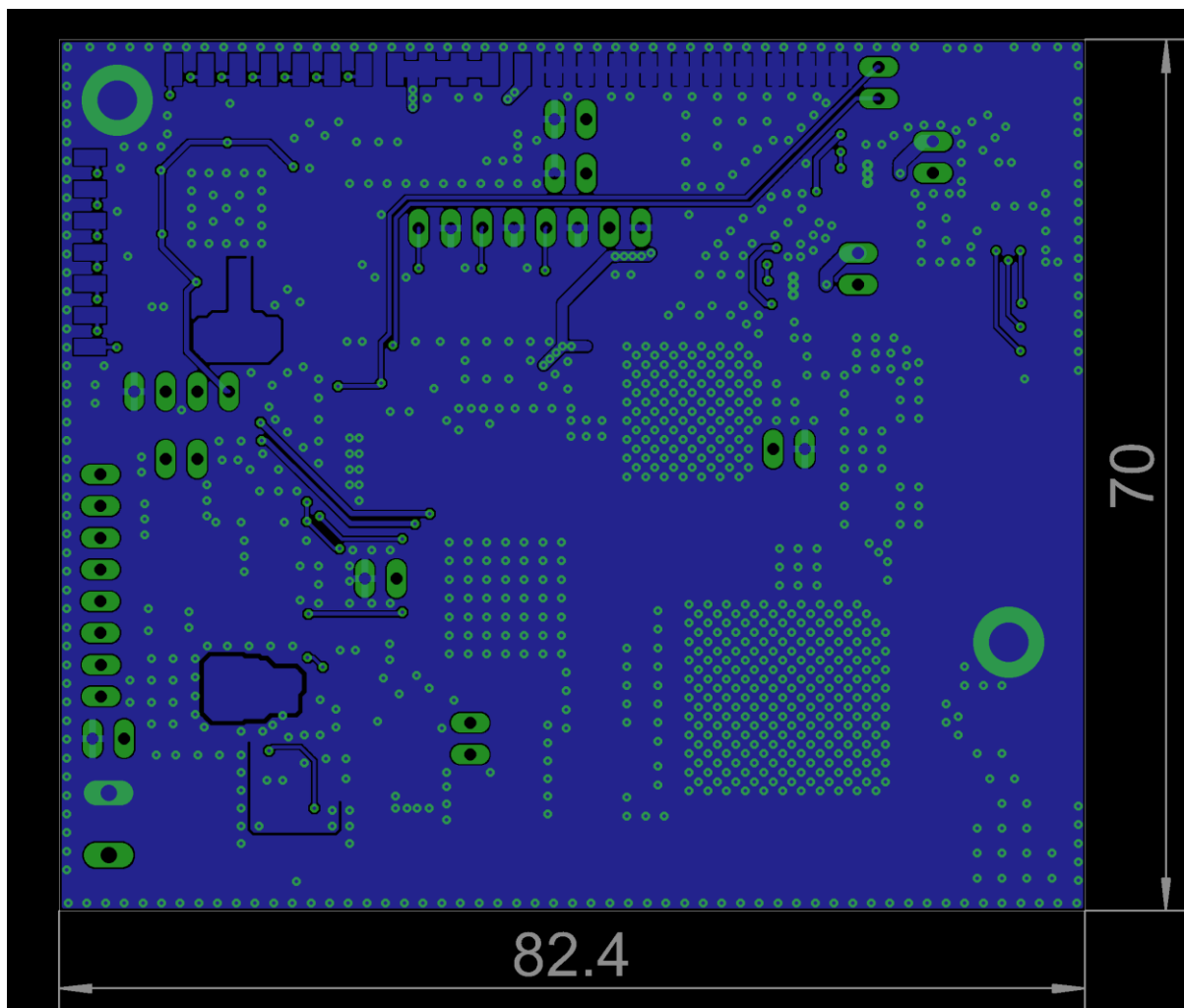
Jak již bylo uvedeno v úvodu, na této DPS jsem spolupracoval s kolegou Vojtěchem Hamáčkem. Návrh jsme neměli přímo rozdělený na jednotlivé části, které bychom navrhovali, ale spolupracovali jsme spolu na návrhu celé desky.



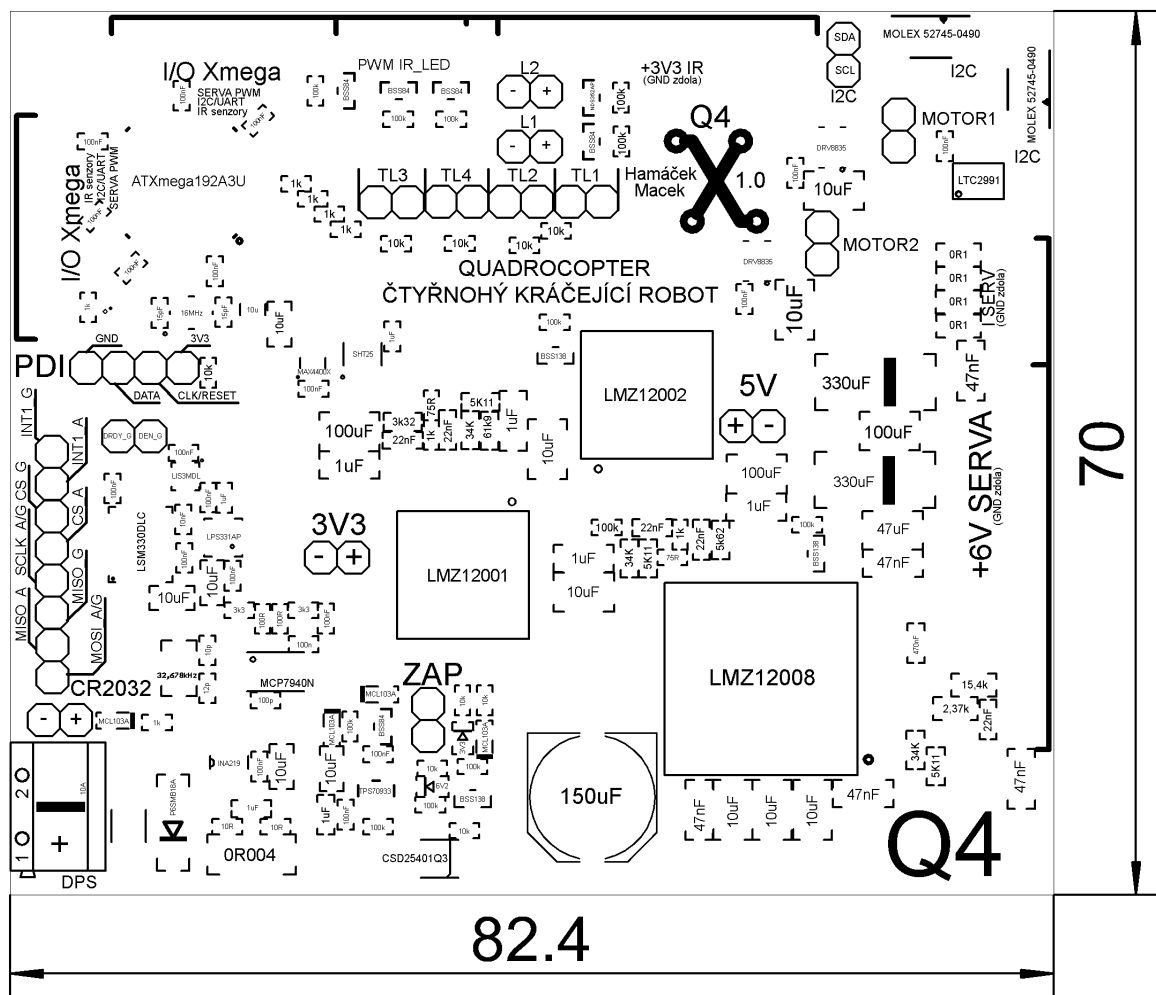
(Obr. 5.1) Celé schéma DPS Q4



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



(Obr. 5.3) Spodní strana spojů DPS Q4

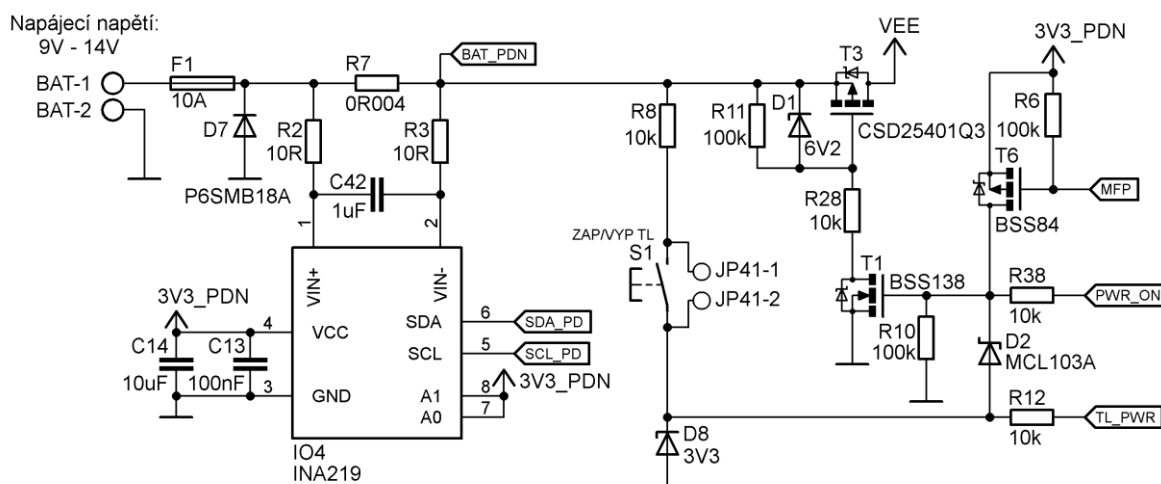


(Obr. 5.4) Osazovací plánec součástek

5.1 OCHRANNÝ A ZAPÍNACÍ/VYPÍNACÍ OBVOD

Úkolem tohoto obvodu je ochránit celého robota před připojením příliš velkého napětí nebo napětí opačné polarity. Tato ochrana je zajištěna pomocí pojistky F1 a transilu D7, který ochraňuje veškerou elektroniku robota před napětím větším jak 18V. Pokud dojde k připojení napětí opačné polarity 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 zenerovy diody 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 toto tlačítko stiskne po dobu definovanou programem ATXmegy. Stejným způsobem může desku zapnout i obvod hodin reálného času přes tranzistor T6.

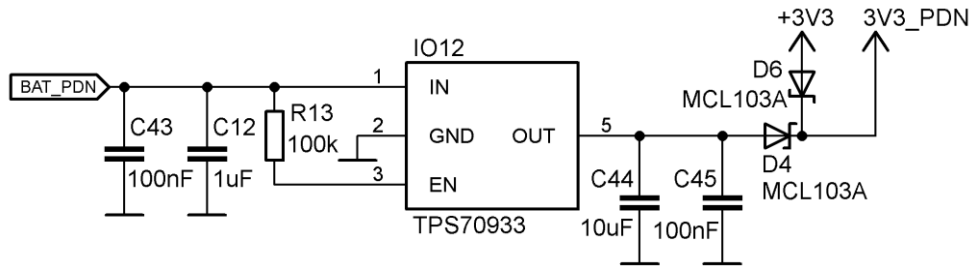


(Obr. 5.5) Ochranný a zapínací/vypínací obvod

5.2 NAPÁJECÍ OBVODY - MĚNIČE

5.2.1 Měnič 3V3 s nízkou vlastní spotřebou

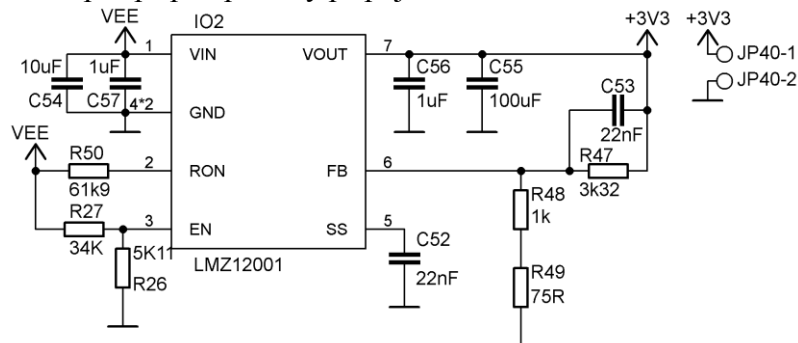
Je určen pro napájení hodin reálného času a obvodu INA219 po dobu, kdy je robot vypnutý a jeho celkový odběr proudu je menší než 15 μ A. Výstupní napětí je stabilizováno na 3V3 a maximální výstupní proud činí 150mA. Jakmile dojde k zapnutí DPS, přebírá hlavní napájecí úlohu měnič 3V3 s IO LMZ12001 (kapitola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



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

5.2.2 Spínaný měnič 3V3

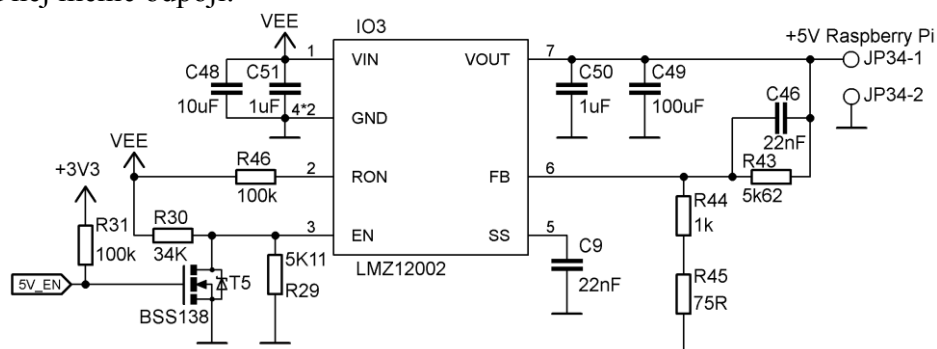
Slouží k napájení veškeré elektroniky robota dimenzované na napětí 3V3. Po zapnutí DPS Q4 začne ihned napájet všechny senzory a MCU ATXmega. Výstupní napětí je stabilizováno na 3V3 a maximální proud, který je schopný dodat, je 1A a v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí dosahuje účinnosti 85% - 91%. R26 a R27 zajišťují automatické odpojení měniče od napájecího napětí při poklesu napětí pod 9V, aby nedocházelo k podvybití 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

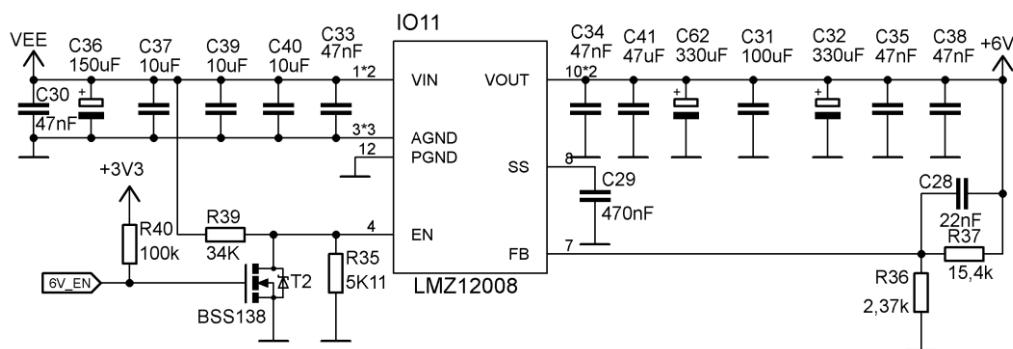
Tento měnič je určený pro napájení Raspberry Pi. Jeho výstupní napětí je 5V a maximální výstupní proud až 2A, což je dostatečné pro napájení Raspberry Pi, WiFi modulu i kamery. Dosahuje účinnosti 90% - 94% v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí. Měnič zapíná ATXmega pomocí signálu 5V_EN,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



(Obr. 5.8) Měnič 5V

5.2.4 Spínaný měnič 6V

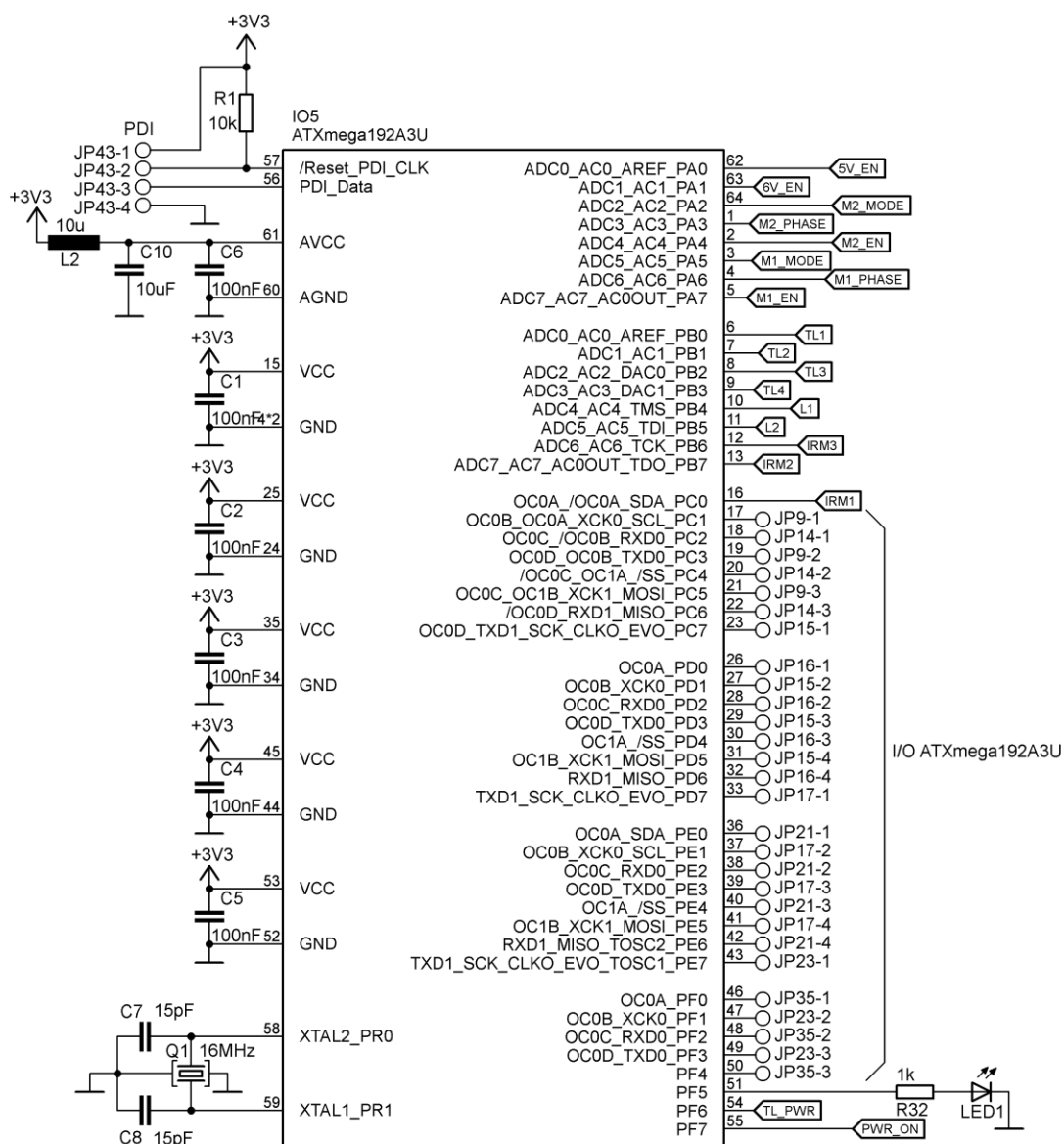
Výstupní napětí je 6V a maximální odebíraný proud může být až 8A. Dosahuje účinnosti 92% - 95% v závislosti na výstupním proudu a napájecím napětí. Na DPS Q4 není osazen, protože na quadcoptéry nejsou žádné periferie vyžadující napájení 6V. Ovšem je zde možnost jej doosadit a funkčně využívat. V případě osazení je měnič zapínán 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 regulátorů pomocí PWM signálu a obsluhu IR senzorů. Zároveň udržuje a ovládá zapínací/vypínací obvod DPS a zapíná či vypíná měnič 5V. 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 disponuje sedmi časovači/čítači, sběrnici UART, SPI a I2C. MCU je prostřednictvím sběrnice UART připojen k Raspberry Pi, od kterého přijímá data, podle nichž se následně řídí a ovládá zbytek připojených periférií, a po které posílá zpět Raspberry Pi data z IR senzorů a ze senzorů tlačítek.



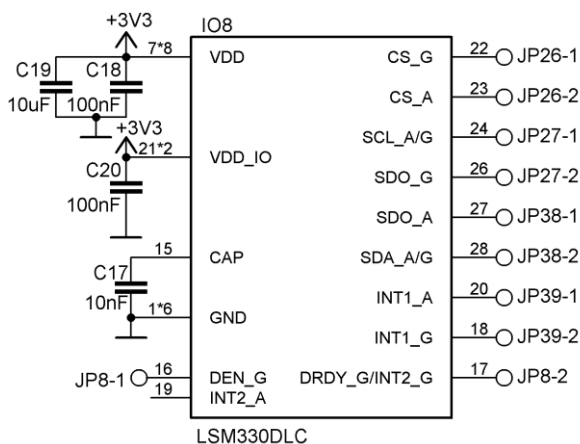
(Obr. 5.10) MCU ATXmega192A3U

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 ATXmega192A3U.

5.4.1 3D gyroskop/akcelerometr

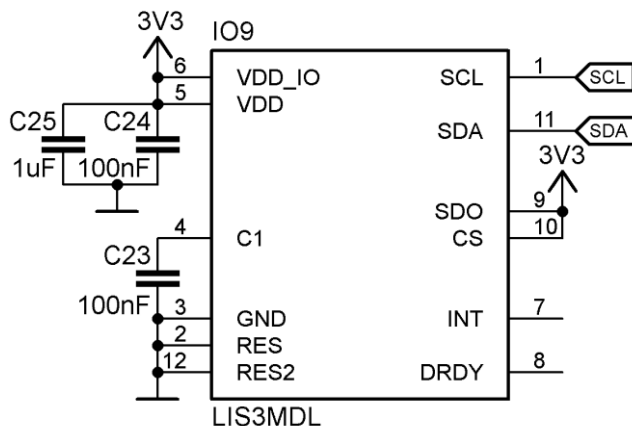
3D gyroskop a 3D akcelerometr je realizován prostřednictvím obvodu LSM330DLC, který je propojen s Raspberry Pi sběrnici SPI, aby se dosáhlo vysoké rychlosti komunikace. Výběr mezi akcelerometrem a gyroskopem se provádí volbou pinu CS_A a CS_G. K Raspberry mohou být také připojeny i konfigurovatelné přerušovací piny INT1_A a INT1_G.



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

5.4.2 3D magnetometr – kompas

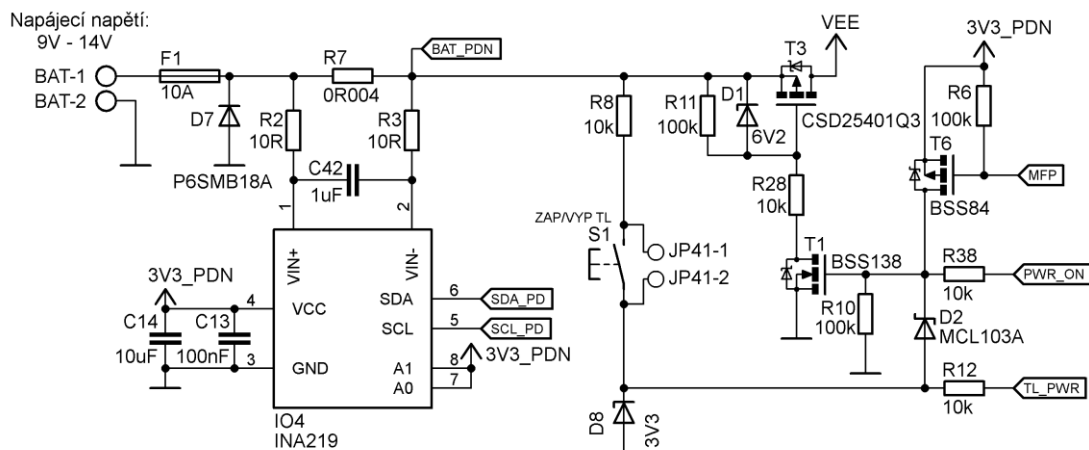
Integrovaný obvod určený k měření zemského magnetického pole. Je připojen na sběrnici I2C s adresou 0011110.



(Obr. 5.12) LIS3MDL – 3D kompas

5.4.3 Senzor U/I/P

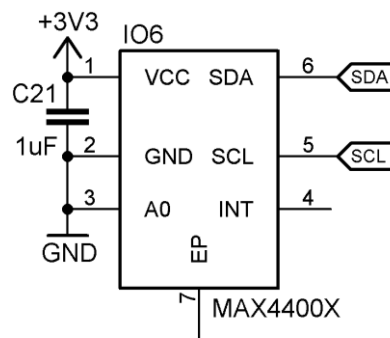
Senzor INA219 je určen pro měření napájecího napětí LI-POL akumulátoru, odběru proudu přes bočník R7 a pro výpočet celkového příkonu robota. Měřené napětí na bočníku R7 se pohybuje v rozmezí 0mV – 40mV, což odpovídá maximálnímu odběru proudu 10A. Senzor je opatřen filtrem proti rušení ze spínaných měničů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



(Obr. 5.13) INA219 – senzor U/I/P

5.4.4 Senzor intenzity osvětlení

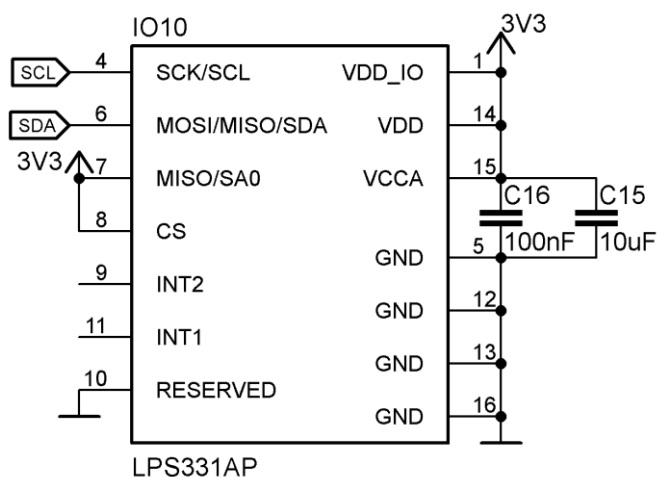
Na DPS Q4 je osazen kalibrovaný senzor intenzity osvětlení MAX44004 s integrovaným 14b ADC, který dosahuje citlivosti 0,03Lux/LSB a je schopný měřit do 65 535Lux. V případě nutnosti je možno osadit DPS senzorem MAX44009 s 16b ADC a citlivostí 0,045Lux/LSB, který je schopný měřit až do 188 000Lux. Senzor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



(Obr. 5.14) MAX4400X – senzor intenzity osvětlení

5.4.5 Senzor atmosférického tlaku

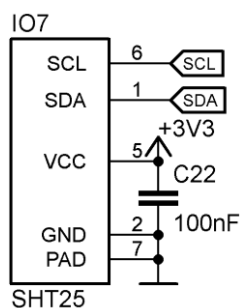
24b senzor atmosférického tlaku měří od 260mbar do 2260mbar s citlivostí 4096 LSB/mbar. Senzor je připojen na I2C sběrnici s adresou 1011101. Senzor slouží k měření atmosférického tlaku a díky jeho vysoké citlivosti je možné měřit například stoupaní nebo pokles výšky.



(Obr. 5.15) LPS331AP – senzor atmosférického tlaku

5.4.6 Senzor vlhkosti vzduchu

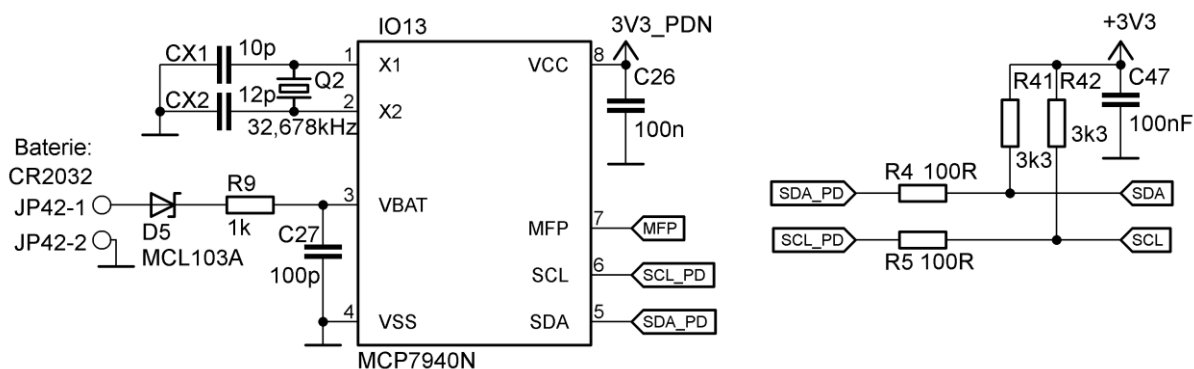
SHT25 je kalibrovaný senzor relativní vzdušné vlhkosti. Jeho I2C adresa je 1000000.



(Obr. 5.16) SHT25 – senzor vlhkosti vzduchu

5.4.7 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.



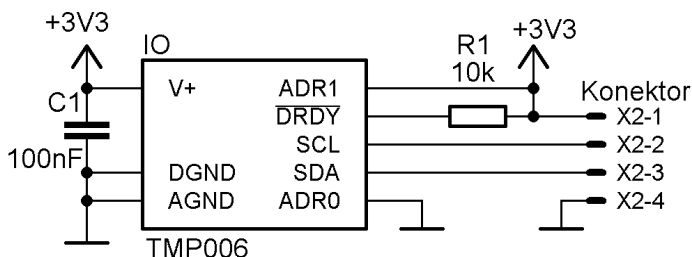
(Obr. 5.17) MCP7940 – hodiny reálného času

5.4.8 Senzory teploty

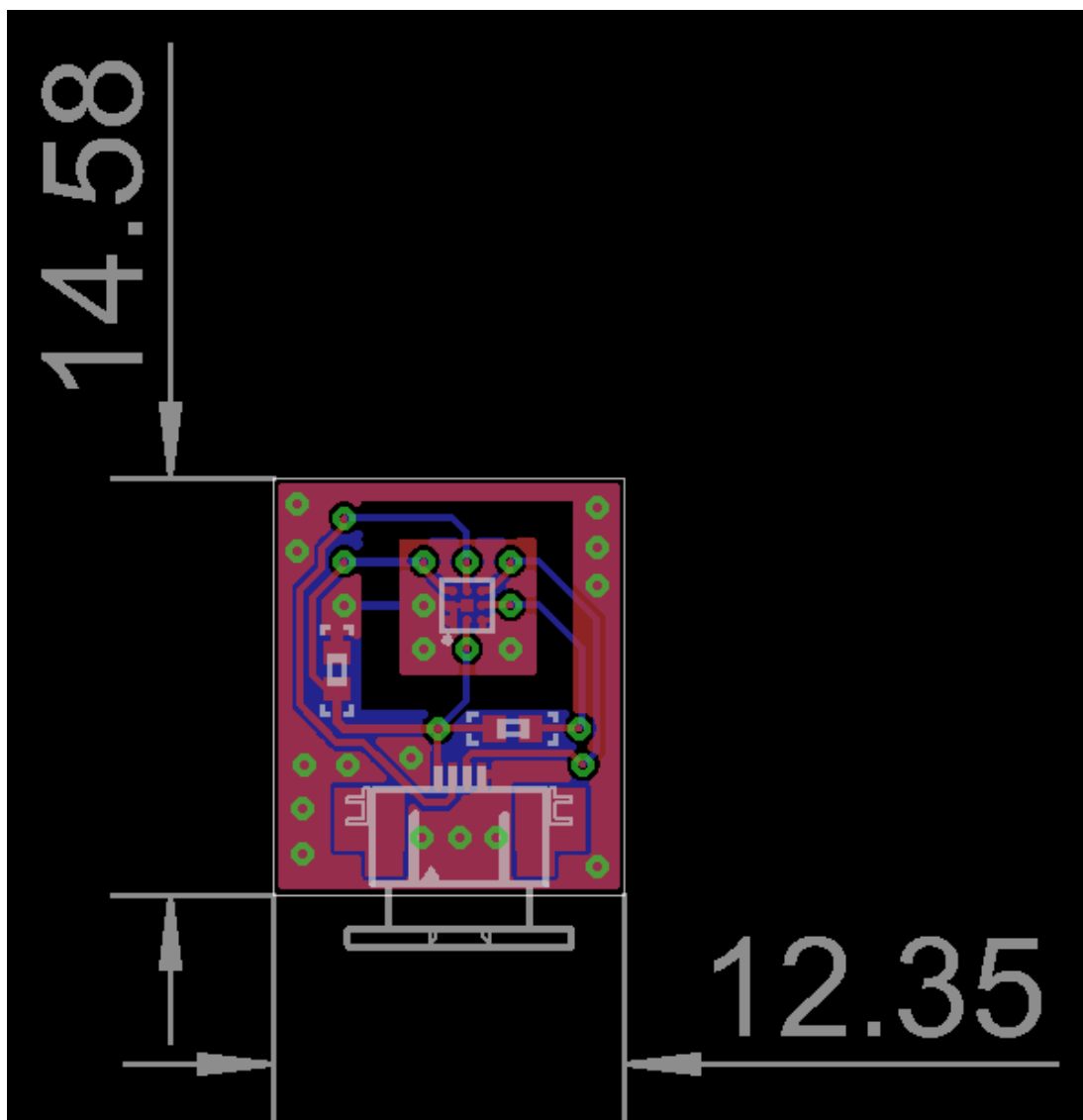
Všechny senzory na DPS Q4 v podobě integrovaných obvodů v sobě mají zabudováno měření teploty. Je možné vybrat si obvod, který měří teplotu s největší přesností, nebo může být použit aritmetický průměr teploty naměřené všemi IO.

5.4.9 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. 5.18) TMP006 – bezkontaktní IR senzor teploty



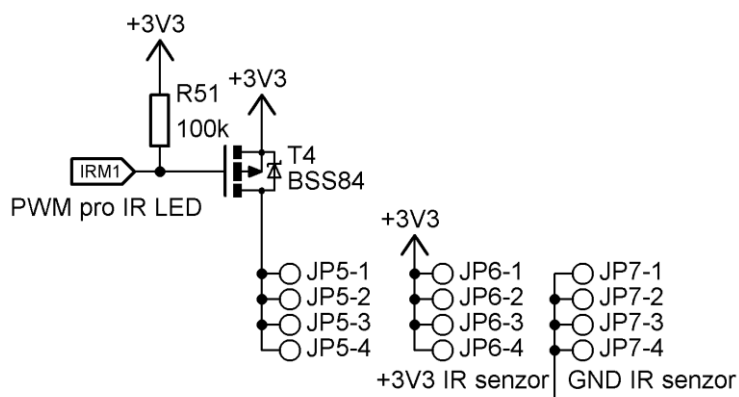
(Obr. 5.19) TMP006 – DPS (rozměry jsou uvedeny v mm)

5.4.10 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 zbývajících 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 vysílače 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. 5.22).

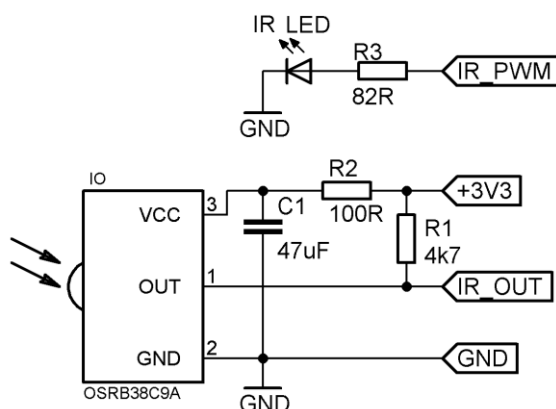


(Obr. 5.20) Obvod pro připojení IR senzorů na DPS Q4

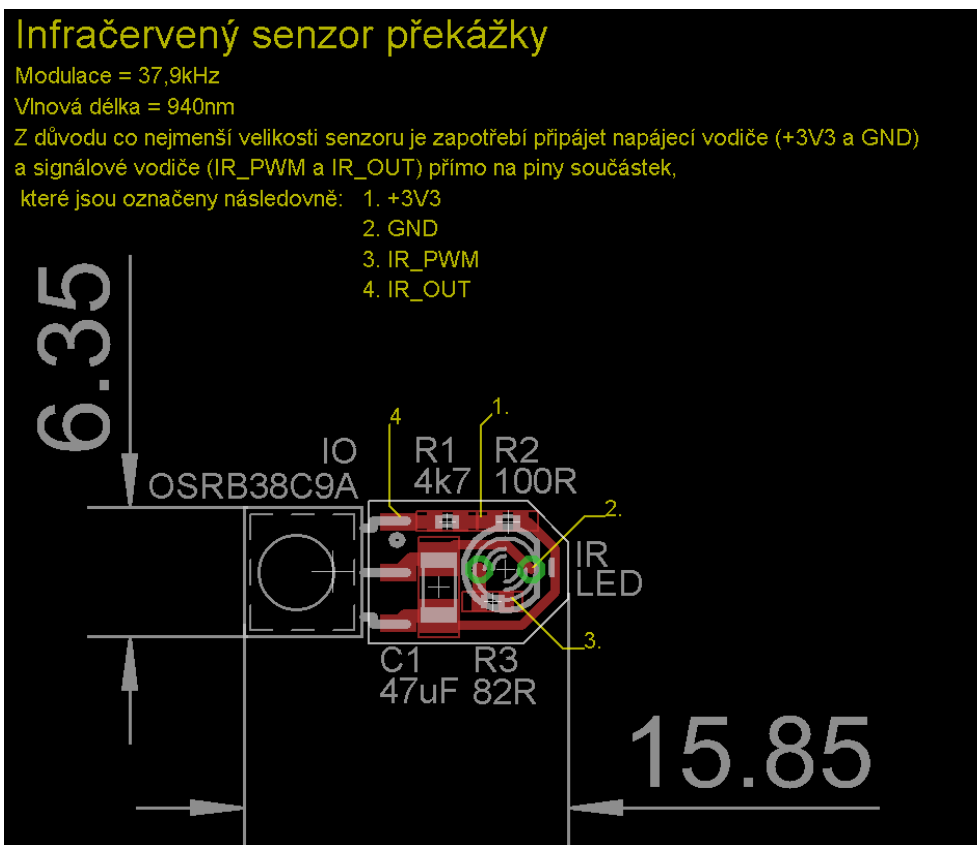
Infračervený senzor překážky

Modulace = 37,9kHz
Vlnová délka = 940nm

Senzor sestává ze dvou částí - z vysílače 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).



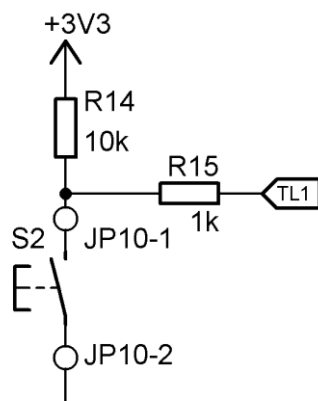
(Obr. 5.21) Schéma IR senzoru se stručným popisem



(Obr. 5.22) DPS IR senzoru se stručným popisem (rozměry jsou uvedeny v mm)

5.4.11 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 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 napájení 3V3.



(Obr. 5.23) Senzor – tlačítko

5.5 VÝSTUPNÍ PERIFERIE DPS Q4

5.5.1 Regulátory

Quadrocoptera disponuje čtyřmi regulátory RAY R-40B, které jsou řízené ATXmegou192A3U, jež slouží pro ovládání chodu motorů RAY CD3536/05.

5.5.2 Servomotory

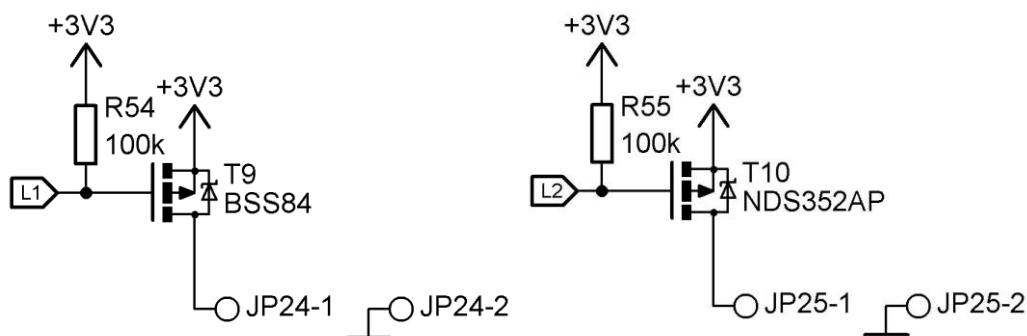
Použité jsou celkem dva servomotory HXT900, které jsou určeny pro horizontální a vertikální natáčení videokamery.

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, zatímco tranzistor NDS352AP dokáže dodat až 900mA



(Obr. 5.24) Tranzistory pro výkonné LED ovládané MCU

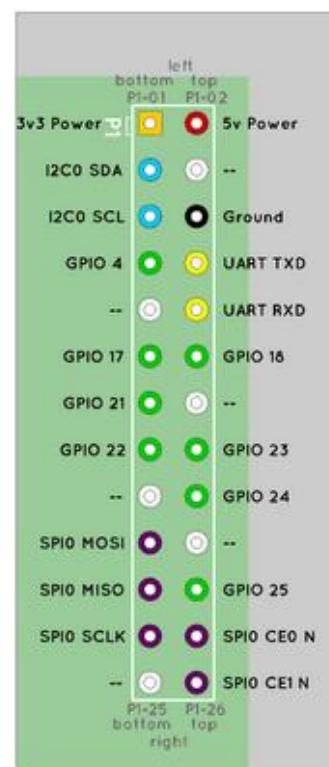
6 MIKROPOČÍTAČ RASPBERRY PI

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



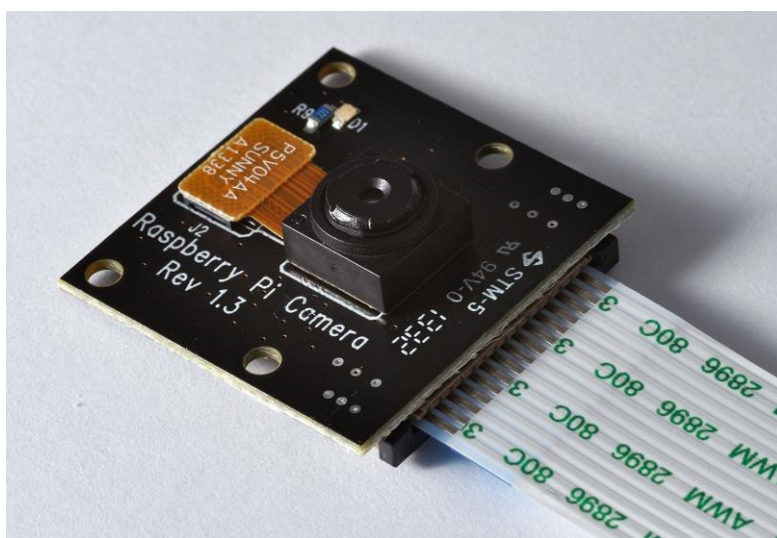
(Obr. 6.2) GPIO piny Raspberry Pi

6.1 PARAMETRY RASPBERRY PI B, REV.2

- 700MHz procesor ARM11 Broadcom BCM2835
- 512MB 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 RASPBERRY PI KAMERA

Kamera má rozlišení 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.



(Obr. 6.3) Raspberry Pi kamera

7 POUŽITÉ SBĚRNICE DPS Q4 A RASPBERRY PI

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, 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. Řídicí 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 Hlavní smyčka programu

```
'*****  
'-----SMYČKA HLAVNÍHO PROGRAMU-----  
  
Pwr_on = 1  
  
Do  
Uart = Inkey(#1)  
Waitms 5  
If Uart = "b" Then Gosub Reg_zap  
If Uart = "z" Then Gosub Reg_vyp  
If Uart = "p" Then Gosub Plus4  
If Uart = "l" Then Gosub Plus2  
If Uart = "n" Then Gosub Plus_all  
If Uart = "s" Then Gosub Minus_all  
If Uart = "v" Then Gosub Plus1  
If Uart = "d" Then Gosub Plus3  
If Uart = "c" Then Gosub Minus1  
If Uart = "e" Then Gosub Minus2  
If Uart = "f" Then Gosub Minus3  
If Uart = "g" Then Gosub Minus4  
If Uart = "h" Then Gosub Vzlet  
If Uart = "i" Then Gosub Sed  
Loop
```

(Obr. 8.1) Hlavní smyčka programu

Zde program ještě před skokem na hlavní smyčku programu nastaví proměnnou Pwr_on do úrovně logické 1, což má za následek zapnutí 3V3 měniče, který napájí MCU a senzory. Smyčka kontroluje každých 5 milisekund podmínky. Při obdržení ASCII znaku od Raspberry Pi se uloží znak do proměnné Uart. Pokud obdržení znak odpovídá znaku v podmínce, dojde k odskoku na příslušný podprogram a následně vykonání podprogramu.

8.1.2 Práce s proměnnými regulátorů

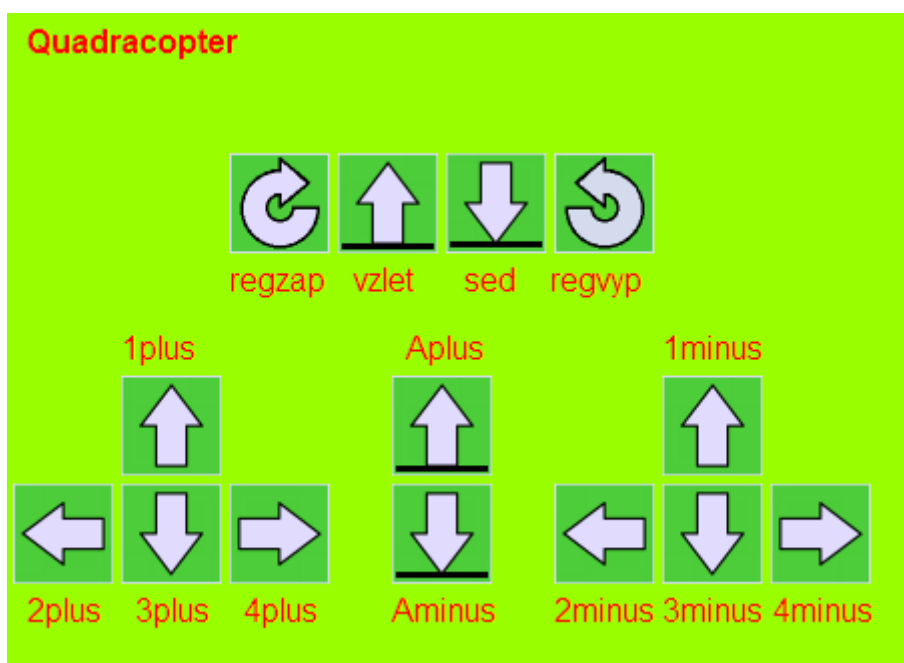
```
Plus1:  
Incr B  
Gosub Obnova  
Return  
  
Plus2:  
Incr C  
Gosub Obnova  
Return  
  
Plus3:  
Incr D  
Gosub Obnova  
Return  
  
Plus4:  
Incr E  
Gosub Obnova  
Return  
  
Minus1:  
Decr B  
Gosub Obnova  
Return  
  
Minus2:  
Decr C  
Gosub Obnova  
Return  
  
Minus3:  
Decr D  
Gosub Obnova  
Return  
  
Minus4:  
Decr E  
Gosub Obnova  
Return
```

(Obr. 8.2) Počty s proměnnými pro regulátory

Podprogramy slouží ke zvýšení nebo zmenšení zvolené proměnné o 1 a odskoku na podprogram Obnova, který slouží k aktualizování proměnných pro regulátory.

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 několik ovládacích tlačítek, která po stisknutí spustí javascript, který zašle požadavek PHP kódu pro obsluhu sběrnice UART. Raspberry Pi tedy přepošle MCU proměnnou podle stisknutého tlačítka na stránce a tato proměnná je následně vyhodnocena podle programu MCU, který vykoná předprogramovanou činnost, případně zašle Raspberry Pi po UARTu odpověď, kterou Raspberry Pi zobrazí na webové stránce.



(Obr. 8.3) Ovládací webové rozhraní

8.2.1 Ukázka HTML kódu

```
79 </head>
80 <body>
81 <span style="position: absolute; top: 10px; left: 10px"><strong>Quadracopter</strong><br>
82 <span id="messageBox"></span></span>
83 <span style="position: absolute; left: 111px; top: 75px">
84 
89 <span style="position: relative; right: 0px">regzap</span>
90 <span style="position: relative; left: 10px">vzlet</span>
91 <span style="position: relative; left: 31px">sed</span>
92 <span style="position: relative; left: 44px">regvyp</span>
93 </span>
94
```

(Obr. 8.4) Část 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

Povedlo se mi sestrotit a do jisté míry naprogramovat funkční model quadcoptéry řízené přes Wi-Fi připojení, která je ovládaná prostřednictvím webového serveru. Během práce se objevilo několik problémů.

Protože motory jsou určeny pro RC modely letadel, bylo nutné vyřešit nový způsob uchycení motoru, které se muselo vyrobit na míru. Výrobce dodávané podstavy nevyhovovaly a při vyšších otáčkách, kolem rezonančního kmitočtu konstrukce začaly motory kmitat. Tím docházelo k postupnému odchylování rotoru z osy a vrtule se dostaly do kontaktu se vzpěrami. To mělo za následek destrukci vrtule a vytržení motoru z podstavy. Nejdůležitějším úkolem bylo zjistit, jak správně vyvážit vrtule, aby při vyšších otáčkách nevyvolávaly chvění, které opět způsobovalo kmitání.

Práce na projektu mi pomohla zdokonalit se v navrhování elektronických obvodů, v programování mikroprocesorové techniky a v řešení neočekávaných problémů. Při budoucím programování ATXmegy192A3U plánuji přechod z programovacího jazyka Bascom na C.

Vzhledem k složitosti projektu je v době psaní této dokumentace projekt stále rozpracovaný.

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>.

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>>.

Regulátor, manuál [online]. Pelikán Daniel [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <http://pelikandaniel.com/dld/RAY_ESC_manual_SBEC_v2013.pdf>.

Motor, specifikace [online]. Pelikán Daniel [3. 3. 2014]. Dostupné z URL <<http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=30542>>