

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta elektrotechnická

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Diplomová práce

Řídící jednotka pro robota určeného pro „robotický fotbal“

Vedoucí práce: Ing. Kamil Kosturik, Ph.D.

Autor: Bc. Jiří Žahour

Rok: 2012

** originál zadání

Poslední změna 6.5.2012 23:12:57

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá návrhem elektroniky do robota určeného pro hru „robotický fotbal“. Úkolem elektroniky je především řízení motorů robota a komunikace s nadřazeným systémem. Řídící jednotka má dále sledovat stav baterie a teplotu motorů. Práce se rovněž zabývá návrhem a realizací bezdrátové komunikace robota a nadřazeného systému. Výstupem práce má být funkční prototyp.

Klíčová slova

mikrokontrolér Freescale, regulátor, BLDC motor, UART, SPI

Abstract

This diploma thesis will discuss an electronic controlling unit design, to be deployed in robots used in a "robosoccer" game. The designed system primarily controls actuators and communication, with a higher-level system. Additionally it guards battery state and measures used motor temperatures. The outcome of this diploma thesis should be a working prototype.

Key words

microcontroller Freescale, motor controller, BLDC motor, UART, SPI

Prohlášení

Tímto předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické, Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni, dne 6.5.2012

Bc. Jiří Žahour

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi nějakým způsobem pomohli při vytváření této práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu práce, panu Ing. Kamilu Kosturikovi, Ph.D., za cenné rady, připomínky a konzultace, panu Ing. Miroslavu Horákovi, Ph.D. za realizaci robota po mechanické stránce a kolegovi Bc. Matěji Kubičkovi za koordinaci lidí pracujících na tomto projektu.

Také děkuji rodičům za podporu ve studiu, protože bez nich by tato práce vůbec nevznikla.

Bc. Jiří Žahour

Seznam symbolů a zkratk

FIRA	Federation of International Robot-soccer Association
SPI	Serial Peripheral Interface
MOSI	Signál SPI - master out, slave in
MISO	Signál SPI - master in, slave out
SCK	Hodinový signál
SEN	Výběrový signál „chip select“ u regulátoru motoru FCM 8201
MSB	Bit s nejvyšší hodnotou
LSB	Bit s nejnižší hodnotou
CRC	Cyklický redundantní kód
UART	Univerzální asynchronní přijímač a vysílač
RX	Přijímač, přijímací signál
TX	Vysílač, vysílací signál
FIFO	Typ paměti – první dovnitř a první ven

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Robotický fotbal.....	11
2.1 Požadavky na robota MiroSot (dle pravidel).....	11
2.2 Hra.....	11
2.3 Princip hry.....	12
3 Použitý hardware.....	13
3.1 BLDC motor.....	13
3.1.1 Pohon robota.....	13
3.1.2 Základní parametry použitých motorů v robotu.....	13
3.2 Bezdrátový modul nRF24L01.....	14
3.2.1 Základní informace.....	14
3.2.2 Hlavní parametry čipu nRF24L01.....	14
3.2.3 Popis funkce.....	14
3.3 Freescale MC9S08DZ60MLF.....	16
3.3.1 Přehled základních vlastností.....	16
3.3.2 Dostupné periférie.....	16
3.4 Regulátor FCM 8201.....	17
3.4.1 Zpětné vazby a ochrany.....	17
3.4.2 Způsoby řízení motoru.....	17
3.5 Teplotní čidlo.....	19
3.6 Li-pol baterie.....	19
3.6.1 Základní vlastnosti Li-Pol akumulátorů.....	19
3.6.2 Akumulátor pro první prototyp.....	19
3.6.3 Vybíjení Li-Pol akumulátorů.....	20
3.6.4 Nabíjení Li-Pol akumulátorů.....	21
4 Robot.....	22
4.1 Blokové schéma.....	22
4.2 Popis zapojení hardwaru robota.....	23
4.3 Napájení.....	24
4.4 Software robota.....	26
4.4.1 Vývojový diagram.....	27
4.4.2 Přijetí dat.....	28
5 Bezdrátový vysílač a komunikace s nadřazeným systémem.....	28
5.1 Parametry komunikace.....	28
5.2 Hardware vysílače.....	29
5.3 Komunikační protokol.....	29
5.4 Software vysílače.....	31
5.4.1 Vývojový diagram.....	31
5.4.2 Přijetí dat ze sériového kanálu.....	32
5.4.3 Přerušování vyvolané bezdrátovým modulem.....	32
6 Dosažené výsledky a parametry.....	33
6.1 Řízení můstku.....	33

6.2 Zpoždění přenosu příkazu.....	34
6.3 Odezva na požadavek regulace.....	35
7 Závěr.....	37
Příloha A - Seznamy součástí.....	39
A.1. Vysílač.....	39
A.2. Robot.....	40
Příloha B - Schémata.....	42
B.1. Schéma vysílače.....	42
B.2. Schéma robota.....	43
Příloha C - Tištěné spoje.....	44
C.1. Tištěný spoj vysílače.....	44
C.2. Tištěný spoj robota.....	45

1 Úvod

V roce 2011 vznikl na Západočeské univerzitě v Plzni společný projekt fakulty elektrotechnické a fakulty aplikovaných věd, jehož cílem je vytvoření autonomních robotů určených pro robotický fotbal. Roboti budou tvořit „robofotbalový“ tým Západočeské univerzity v Plzni, se kterým se budou studenti účastnit soutěží FIRA (Federation of International Robot-soccer Association). Přínosem má být výzkum a vývoj umělé inteligence na softwarové úrovni a miniaturizace a efektivnost elektroniky na hardwarové úrovni.

Cílem této práce bylo navrhnout elektroniku pro robota určeného pro robotický fotbal. Požadavky na elektroniku byly voleny tak, aby samozřejmě splňovali pravidla FIRA a zároveň roboti byli schopni soutěže vyhrávat. Respektive aby hardware byl schopen plnit i náročné požadavky vývojářů umělé inteligence a nijak je neomezoval. Požadavky je myšleno nároky na prudké změny rychlosti a směru pohybu robota, dostatečně rychlá odezva na příkazy řídicího systému apod.

Dále se práce zabývá návrhem bezdrátové komunikace mezi roboty a řídicím systémem. Zde je hlavní požadavek na rychlost komunikace a vytvoření bezdrátové sítě mezi řídicím systémem a jedenácti roboty. Přesně takový je počet robotů jednoho týmu v nejvyšší lize FIRA.

Práce se nezabývá vývojem umělé inteligence a autonomních algoritmů, které budou řídit tým robotů.

2 Robotický fotbal

Robotický fotbal je hra podobná klasickému fotbalu. Základní rozdíl je v tom, že hru místo lidí hrají roboti. Hra je členěna do kategorií dle velikosti a složitosti robota. Dále pak na jednotlivé ligy, které se odlišují dle velikosti hřiště a počtu robotů. Tým kolem robotického fotbalu ZČU v Plzni zvolil kategorii „Micro Robot World Cup Soccer Tournament – MiroSot“.

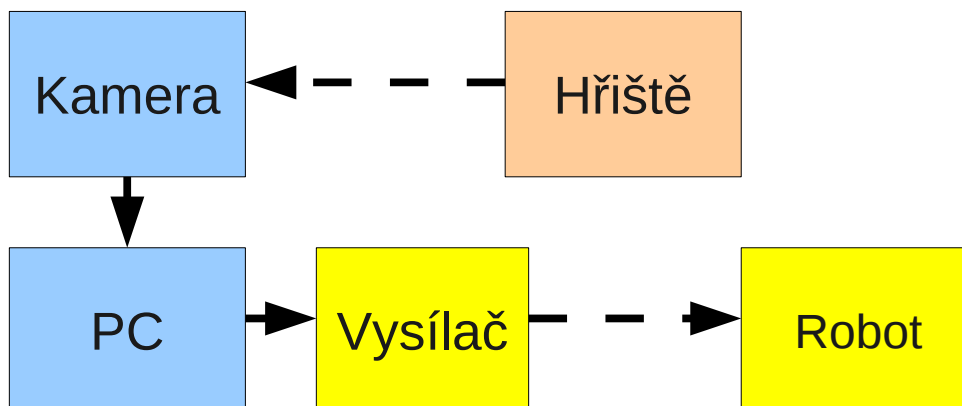
2.1 Požadavky na robota MiroSot (dle pravidel)

- 1) Velikost každého robota je limitována rozměrem 7,5 cm x 7,5 cm x 7,5 cm. Anténa pro bezdrátovou komunikaci může přesahovat.
- 2) Maximální povolená hmotnost robota je 650 g.
- 3) Robot by měl mít světlou barvu, s výjimkou funkčních částí (senzory, kola, ...).
- 4) Robot by měl mít kryt, který může robota zvětšit na 8 cm x 8 cm x 8 cm. Tento kryt nemůže mít jinou funkci než je mechanická ochrana robota a jeho odlišení od ostatních. Robot musí být bez krytu plně funkční a musí jít snadno odebrat.
- 5) Každý robot musí být plně nezávislý, tedy musí mít vlastní pohonný systém a napájení. U robota je povolena pouze bezdrátová komunikace s řídicím počítačem.
- 6) Žádný z robotů, s výjimkou brankáře, nemůže zachytit nebo držet míč tak, že při pohledu na robota shora nebo z boku bude schováno více jak 30 % míče. [1]

2.2 Hra

Hra trvá 10 minut, je rozdělena na 2 poločasy po 5ti minutách. Mezi poločasy je pauza 10 minut, kde je možno s roboty manipulovat (např. výměna baterie). [1]

2.3 Princip hry



Ilustrace 1: Blokové schéma robotického fotbalu

Na obrázku 1 je znázorněn princip řízení robotického fotbalového týmu. Roboti se pohybují po hřišti. Nad hřištěm je umístěna kamera, která je připojena k hlavnímu řídicímu počítači. Jedná se o „běžný“ stolní počítač. Každý tým má svou kameru a svůj počítač. Každý robot má ze shora unikátní barevnou mapu, sloužící pro odlišení jednotlivých robotů a zjištění jejich orientace. Počítač zpracovává obraz z kamery a na dálku řídí jednotlivé roboty. Tato práce se zabývá bloky vybarvenými žlutou barvou.



Ilustrace 2: Ukázka ze zápasu v robotickém fotbalu [2]

Na obrázku 2 je k vidění hřiště robotického fotbalu při zápase. V prostorách za brankami lze spatřit řídicí počítače, nad hřištěm jsou umístěny kamery.

3 Použitý hardware

Tato kapitola se zabývá přehledem všech významných modulů a součástí obsažených v robotu.

3.1 BLDC motor

Zkratka BLDC vychází z anglického „Brushless DC motor“. BLDC motor je znám také pod názvem elektronicky komutovaný motor. Nejčastěji je používána konstrukce motorové části jako u 3-fázového synchronního motoru s permanentním magnetem. Tento typ konstrukce je rovněž použit k pohonu robota. Dále mohou existovat motory na principu reluktančního, či asynchronního motoru.

Na rozdíl od klasického stejnosměrnému motoru s mechanickým komutátorem, jsou u BLDC motorů potřeba přídavné senzory snímající polohu rotoru. Na základě signálů ze sensorů, tedy v závislosti na poloze rotoru, pak řídicí systém spíná proud jednotlivými cívkami statoru. Řízení tímto způsobem je složitější, ale přináší velké výhody. U BLDC motoru s permanentním magnetem odpadá potřeba přenášet elektrický proud mezi stacionární a rotační částí motoru. Tedy motor má vyšší spolehlivost než klasický stejnosměrný motor, u kterého je nejporuchovější součást právě kluzný kontakt komutátoru. Absence kluzného kontaktu má také pozitivní vliv na elektromagnetické vyzařování, protože nedochází k jiskření. Výkon motoru limituje maximální oteplení permanentního magnetu a maximální proud vinutím. [3]

3.1.1 Pohon robota

Robota pohání dva BLDC motory firmy Novak. Obchodní označení těchto motorů je „Three-80 Crawler Brushless Motor 18,5T“. Cena jednoho motoru je asi 1600 Kč. Každý motor pohání přes řemenovou převodovku dvě kolečka. Jsou zde použity ozubené řemeničky, které zabraňují prokluzu. Převod je volen tak, aby robot byl schopen dosáhnout rychlosti 2 m/s.

3.1.2 Základní parametry použitých motorů v robotu

- maximální otáčky povolené výrobcem 19200 ot./min.
- 18,5 závitů vinutí na každém pólu motoru
- maximální výkon 82 W
- 4400 ot./V
- hmotnost 72 g



Ilustrace 3: BLDC motor pohánějící robota

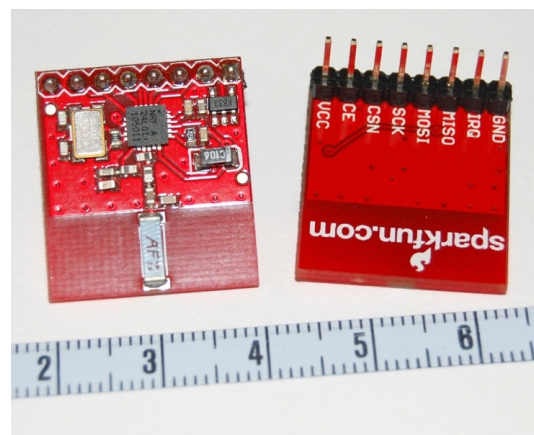
3.2 Bezdrátový modul nRF24L01

3.2.1 Základní informace

Bezdrátový modul s čipem nRF24L01 je produkt firmy SparkFun electronics. Vlastní čip vyrábí firma Nordic semiconductor. Jedná se o 2,4GHz vysílač s přijímačem navržený pro bezdrátové aplikace s velmi nízkou spotřebou. Je navržen pro frekvenční pásmo 2,4 – 2,4835 GHz. Modul je ovládán přes SPI.

Komunikační protokol je založen na paketové komunikaci a podporuje různé módy od manuálních operací po pokročilé autonomní operace.

Rádiový přenos využívá GFSK modulaci. Uživatel může nastavovat parametry jako je frekvenční kanál, výstupní výkon a rychlost přenosu dat. [4]



Ilustrace 4: Bezdrátový modul Nordic

3.2.2 Hlavní parametry čipu nRF24L01

- spotřeba v režimu vysílače 11,3 mA
- spotřeba v režimu přijímače 12,3 mA při 2 Mb/s
- přenosová rychlost až 2 Mb/s
- až 32 datových bytů v jednom paketu
- přijímač může být nastaven do režimu, kdy přijímá až na 6ti datových kanálech najednou (vhodné pro síť typu „hvězda“)
- maximální frekvence hodin SPI až 8 MHz
- přijímací a vysílací paměti FIFO, v každé místo pro 3 pakety

3.2.3 Popis funkce

Modul nRF24L01 má čtyři hlavní pracovní módy - vypnuto, stand-by, režim přijímače (RX mód) a režim vysílače (TX mód).

Po zapnutí napájení se modul dostane za 10,3 ms do stavu vypnuto. Ve stavu vypnuto je spotřeba proudu minimální. Aktivní je pouze SPI, přes které lze číst a zapisovat do registrů. Zapsáním logické 1 do bitu PWR_UP v registru CONFIG se modul přepne do stand-by módu. Přejchod do stand-by módu trvá 1,5 ms.

Stand-by mód se od režimu vypnuto liší tím, že má aktivní krystalový oscilátor. Tedy v tomto režimu má modul proudovou spotřebu již nepatrně vyšší. Ovšem výhodou je, že do aktivního režimu TX nebo RX se dostane během velmi krátkého času, na rozdíl od přechodu z režimu vypnuto. Nastavením bitu PRIM_RX se volí režim, zda má modul primárně pracovat jako přijímač nebo vysílač. Logickým signálem CE se řídí přechod mezi stand-by módem a aktivním módem. Z režimu stand-by se modul dostane do aktivního stavu za 130 μ s.

V režimu přijímače modul soustavně demoduluje signál z rádiového kanálu. Pokud modul detekuje data, tak se v nich začnou hledat platné pakety. To znamená, že musí souhlasit adresa přijímače a vyjít CRC. Pokud je tento paket přijat, pak jsou data uložena do přijímací paměti FIFO. Tato paměť má tři pozice. Pokud se tyto pozice zaplní, nově příchozí data jsou zahazována.

V režimu vysílače modul odesílá data z vysílací paměti FIFO. Po zapsání dat do FIFO se pulzem CE = 1 začne vysílat. Pulz musí být minimálně 10 μ s široký. Modul zůstává v režimu TX, dokud neodešle aktuální paket. Pokud po odeslání je CE = 0, pak se vrací do stand-by módu. Pokud ne, tak je-li ve vysílacím FIFO další paket, začne ho vysílat. Po odvysílání všech paketů z fronty, přechází do stand-by módu. Je důležité, aby modul nebyl nikdy v režimu TX více jak 4 ms.

Modul umožňuje funkce jako potvrzení přijetí paketu. Pokud jsou moduly takto nastaveny, vysílací modul dostane od přijímacího modulu potvrzení správného přijetí paketu. Pokud potvrzení nedostane, HW umožňuje automatické opakované odeslání paketu. Počet opakování i časová prodleva je nastavitelná. Rovněž je možné k potvrzovacímu paketu připojit data, tedy dosáhnout obousměrného přenosu dat.

Každý paket má cílovou adresu, nastavitelně 3 až 5 bytů dlouhou. Přijímač umožňuje najednou přijímat pakety se šesti různými adresami, v různých datových kanálech. To usnadňuje rozlišovat, od které stanice paket přišel. Jak ukazuje obrázek 5, paket se skládá z pěti částí.

Preambule 1 byt	Cílová adresa 3-5 bytů	Řídící pole 9 bitů	Data 0-32 bytů	CRC 1-2 byty
--------------------	---------------------------	-----------------------	-------------------	-----------------

Ilustrace 5: Rozšířený datový paket modulu nRF24L01

3.3 Freescale MC9S08DZ60MLF

Pro robota i bezdrátový vysílač jsem zvolil mikrokontrolér firmy Freescale MC9S08DZ60MLF. Typ mikrokontroléru byl zvolen hlavně z důvodu dostupnosti. Maloobchodní cena mikrokontroléru se pohybuje kolem 160 Kč za kus. Tento typ má pouzdro LQFP48. [5]

3.3.1 Přehled základních vlastností

Jedná se o 8 bitový mikrokontrolér s maximální frekvencí sběrnice 20 MHz. Velikost flash paměti je u tohoto typu 60 kB, paměti EEPROM 2 kB a paměť RAM má 4 kB. Jako zdroj hodinového signálu může používat krystalový či keramický oscilátor v rozsahu 31,25 kHz až 38,4 kHz, nebo 1 MHz až 16 MHz. Jinou možností je použití multiúčelového hodinového generátoru (MCG) s režimy frekvenčního či fázového závěsu. [5]

3.3.2 Dostupné periférie

- ADC – 12bitový analogově číslicový převodník, 24 kanálů
- ACPM – 2 analogové komparátory
- MSCAN – CAN 2.0 A, B řadič
- SCI – 2 sériové kanály s podporou LIN 2.0
- SPI – 1 SPI plně duplexní nebo poloduplexní v jednovodičové verzi
- IIC – 1 IIC s maximální přenosovou rychlostí až 100 kb/s
- TMP – jeden 6kanálový a jeden 2kanálový časovač
- RTC – obvod reálného času [5]

3.4 Regulátor FCM 8201

Regulátor FCM 8201 je produkt firmy Fairchild semiconductor. Jedná se o regulátor BLDC motorů. Je navržen pro přímé napojení výstupů na spínací tranzistory 3-fázového můstku. Jeho hlavní vstupní hodnotou se řídí střída pulzně šířkové modulace, nikoliv otáčky. Obvod může pracovat ve dvou režimech. První možností je samostatné řízení, kdy se požadovaná střída řídí napětím na odpovídajícím vstupu. Pomocnými signály se pak řídí aktivace můstku a směr otáčení. Druhý režim slouží pro sofistikovanější řízení pomocí SPI. [6] [7]

3.4.1 Zpětné vazby a ochrany

Aby bylo možné motor řídit, je nutné připojení zpětných vazeb. Základní zpětnou vazbou od motoru je signál z hallovo sond, které dávají informaci o poloze rotoru. Signály z hallovo sond musí odpovídat 5V logice. Bez informace o poloze rotoru není možné motor řídit, proto při nesmyslné hodnotě (000 nebo 111) na vstupech pro hallovy sondy regulátor hlásí chybu.

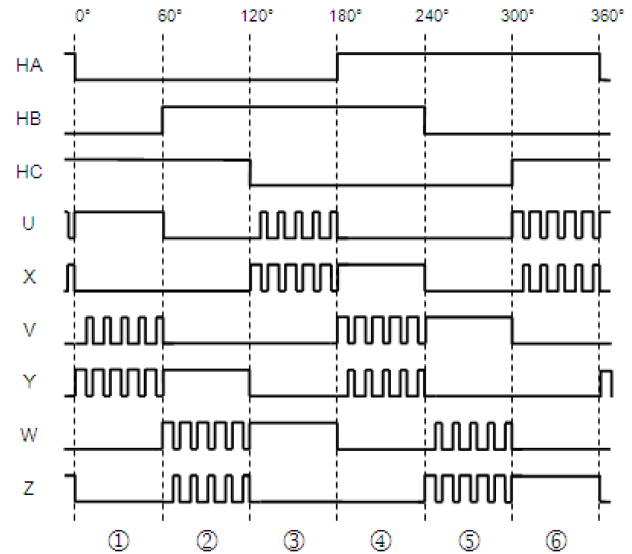
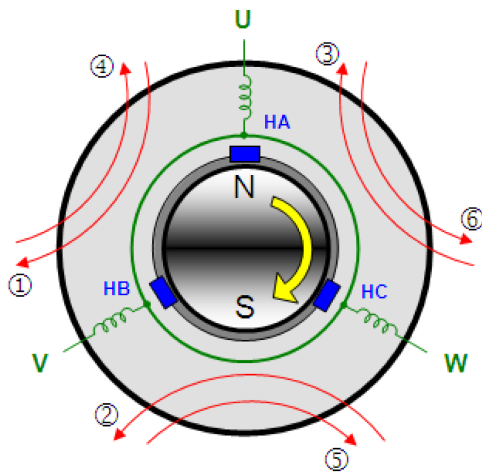
Obvod je dále vybaven vstupem pro snímání celkového proudu motorem. Toho využívá například nadproudová ochrana, která v případě, že proud motorem překročí maximální povolenou hodnotu, odepne můstek. Dále signál lze použít pro omezení maximálního kroučícího momentu, či pro korekci úhlu posunutí mezi proudem a napětím ve fázi.

Motor může vygenerovat přepětí, které může poškodit ostatní obvody, proto je regulátor vybaven vstupem pro snímání napájecího napětí můstku. Při překročení nastaveného napětí pak sepne tranzistor, který přes zatěžovací odpor připojí napájecí větev na zem.

Regulátor má i vstup pro termistor, a to kvůli teplotní ochraně motoru.

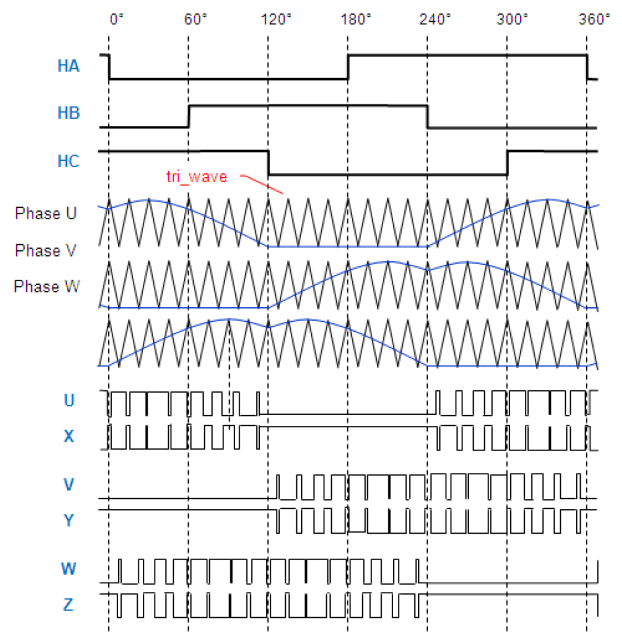
3.4.2 Způsoby řízení motoru

Regulátor umožňuje dva základní způsoby řízení motoru, respektive spínání můstku - „obdélníkové řízení“ a „sinusové řízení“. První jmenované je jednodušší, ovšem vykazuje některé nevýhody. Na obrázku 6 je znázorněn průběh spínání jednotlivých tranzistorů. Díky třem hallovo sondám fyzicky posunutým o 120° jsme schopni rozpoznat šest různých úhlu natočení rotoru s odstupem 60°. V závislosti na poloze rotoru spínají tranzistory a vytváří magnetické pole, které způsobí otáčení rotoru. Skoková změna spínání tranzistorů má za následek nekonstantní kroučící moment motoru během otáčení. To je také hlavní nevýhodou tohoto způsobu řízení.



Ilustrace 6: Obdélníkové řízení BLDC motoru [6]

Druhý způsob řízení je založen na plynulé změně napětí na jednotlivých vinutích statoru. To zajistí konstantní průběh momentu během otáčení. K tomu ovšem potřebujeme znát polohu rotoru daleko přesněji, než s přesností na 60°. Regulátor FCM8201 tento údaj dopočítává z rychlosti otáčení. Tedy od poslední změny signálu z hallovo sond odhaduje polohu v závislosti na čase. Je zřejmé, že pro tento způsob musí být otáčky konstantní. Regulátor proto před dosažením konstantních otáček používá obdélníkový režim řízení. Vzhledem k časté změně rychlosti otáčení motoru, robot využívá trvale obdélníkový režim. Na obrázku 7 je znázorněno spínání tranzistorů sinusového řízení. Je patrné, že v každém okamžiku, na rozdíl od obdélníkového řízení, protéká proud všemi vinutími, proto má motor pak i větší proudový odběr.



Ilustrace 7: Sinusové řízení BLDC motoru [6]

3.5 Teplotní čidlo

Pro měření teploty jsem vybral čidlo SMT 160-30 firmy Smartec. Toto čidlo má pouze dva piny na napájení a jeden výstup. Teplotní rozsah čidla je $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výstupem je logický signál o přibližném kmitočtu 4 kHz, který mění střihu v závislosti na teplotě. Závislost popisuje vzorec 1.

$$DC = 0,320 + 0,0047 * t \quad (1)$$

DC - střída signálu

t - teplota [$^{\circ}\text{C}$]

3.6 Li-pol baterie

Jako zdroj energie byl zvolen dvoučlánekový lithium – polymerový akumulátor. Tyto akumulátory se vyznačují především velmi dobrým poměrem uchované energie ku hmotnosti. Právě proto se používají v oblasti modelářských pohonů.

3.6.1 Základní vlastnosti Li-Pol akumulátorů

- počet cyklů při vybíjecím proudu 0,5 C bývá kolem 500 a udává se pro pokles kapacity na 80 %
- po 100 cyklech při vybíjení maximálním proudem klesá kapacita o 15 až 20 %
- střední vybíjecí napětí je 3,6 V
- samovybíjení je velmi nízké
- netrpí napět'ovou depresí či „paměťovým“ efektem
- skladování se doporučuje při nabití na 60 % [8]

3.6.2 Akumulátor pro první prototyp

Pro první prototyp byl vybrán dvoučlánekový akumulátor firmy Dualsky. Jeho cena se pohybuje kolem 300 Kč a je relativně dobře dostupný. Je vybaven servisním konektorem JST-XH.

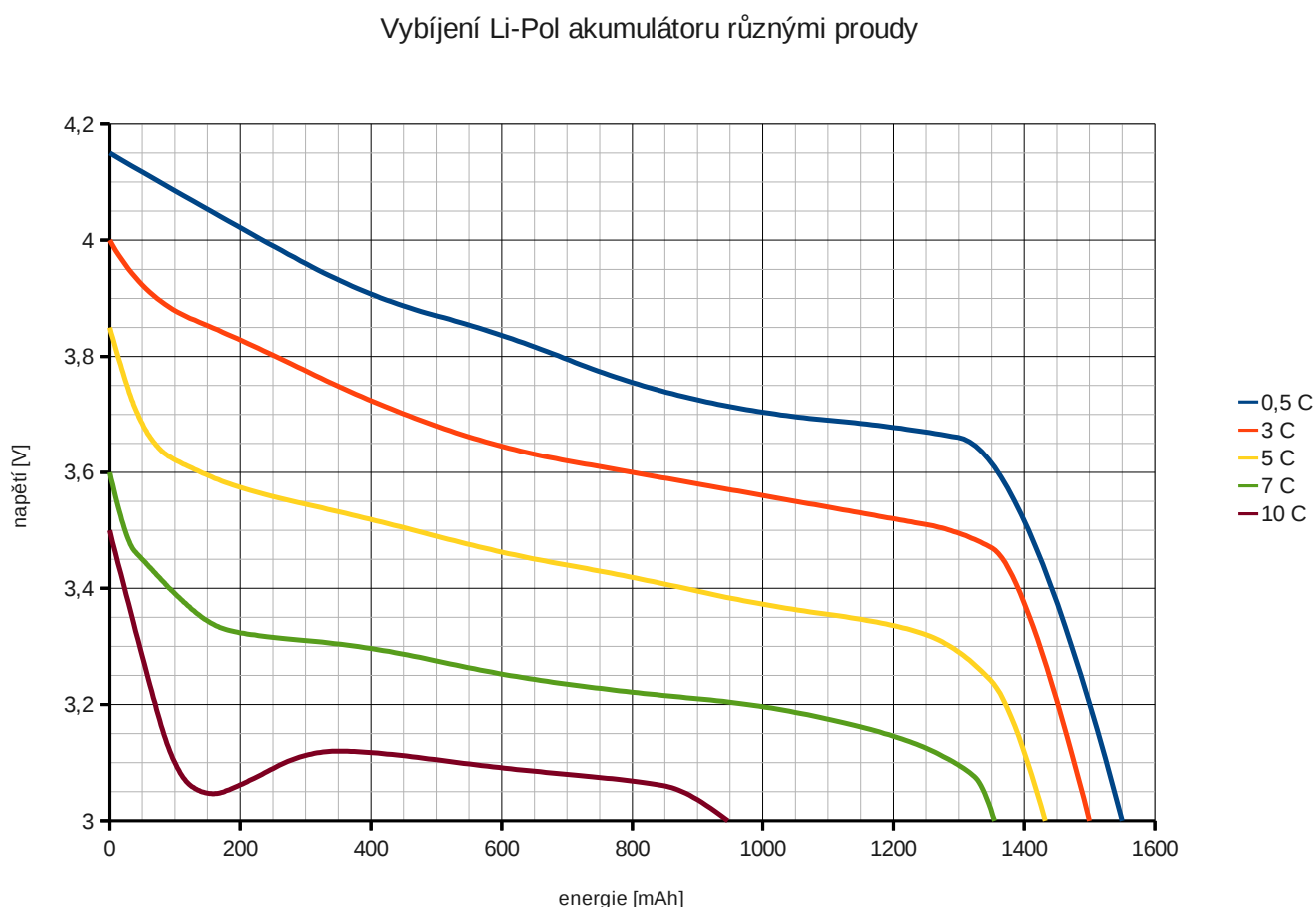
- kapacita 800 mAh
- maximální vybíjecí proud 30 C trvale
- rozměry 52x30x14 mm, hmotnost 49 g
- maximální nabíjecí proud 5 C

3.6.3 Vybíjení Li-Pol akumulátorů

Dle typu akumulátoru je maximální vybíjecí proud standardně až 10 C (některé speciální typy až 50 C). Vybíjení vyššími proudy může články zničit. Je důležité ukončit vybíjení, pokud klesne napětí pod 3 V na článek, jinak opět hrozí zničení článku.

Z grafu 1 je patrné, že vybíjecí proud má velký vliv na celkovou energii, kterou můžeme z akumulátoru dostat. Při vybíjení proudem o velikosti poloviny kapacity akumulátoru můžeme získat téměř dvakrát více energie než při vybíjení proudem desetkrát větším než je kapacita. Z grafu je také patrné, že napětí klesá v oblasti nabití 10 % až 90 % prakticky lineárně.

Vybíjecí proud má velký vliv na životnost akumulátoru. Vybíjení vyššími proudy způsobuje rychlejší degradaci akumulátoru. Hluboké vybíjení má rovněž negativní vliv na životnost. [8]



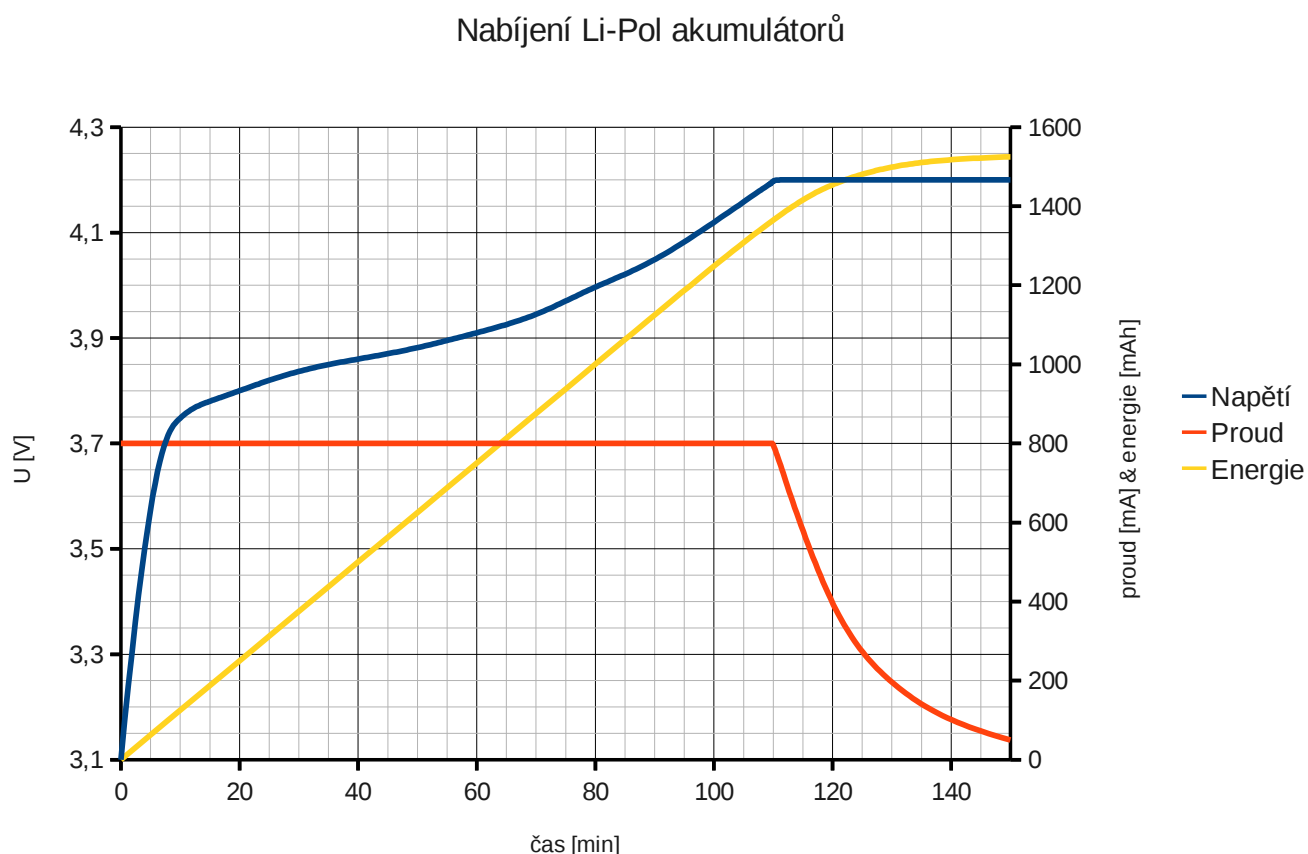
Graf 1: Typické vybíjecí charakteristiky Li-Pol akumulátoru [8]

3.6.4 Nabíjení Li-Pol akumulátorů

Při nabíjení je velmi důležité dodržet maximální nabíjecí napětí 4,2 V s velmi malou tolerancí (kolem 30 mV), jinak hrozí zničení článku. Při překročení napětí může dokonce dojít k výbuchu článku a následnému vzniku požáru. Dle typu akumulátoru je maximální nabíjecí proud až 3 C. Při hlubším vybití je nutné nabíjet velmi malým proudem, maximálně 0,1 C. [8]

Nabíjení na konečné nabíjecí napětí 4,2 V při velmi nízkých teplotách (pod $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) je pro akumulátory velmi škodlivé. Při těchto teplotách se používá konečné nabíjecí napětí 4,1 V.

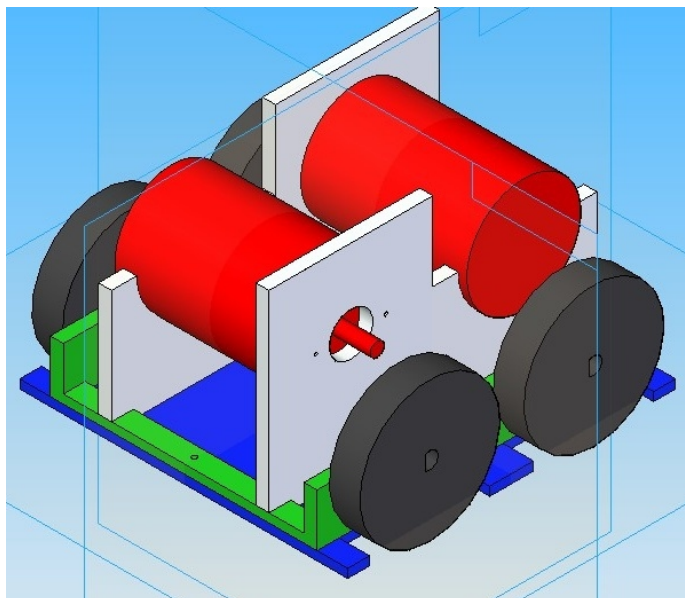
Na grafu 2 jsou znázorněny typické průběhy napětí a proudu při nabíjení akumulátoru maximálním proudem, rovným polovině kapacity. Je patrné, že při dosažení konečného nabíjecího napětí 4,2 V začne proud tekoucí akumulátorem klesat. V tento moment je akumulátor nabit již na přibližně 90 % kapacity.



Graf 2: Nabíjení Li-Pol akumulátoru [8]

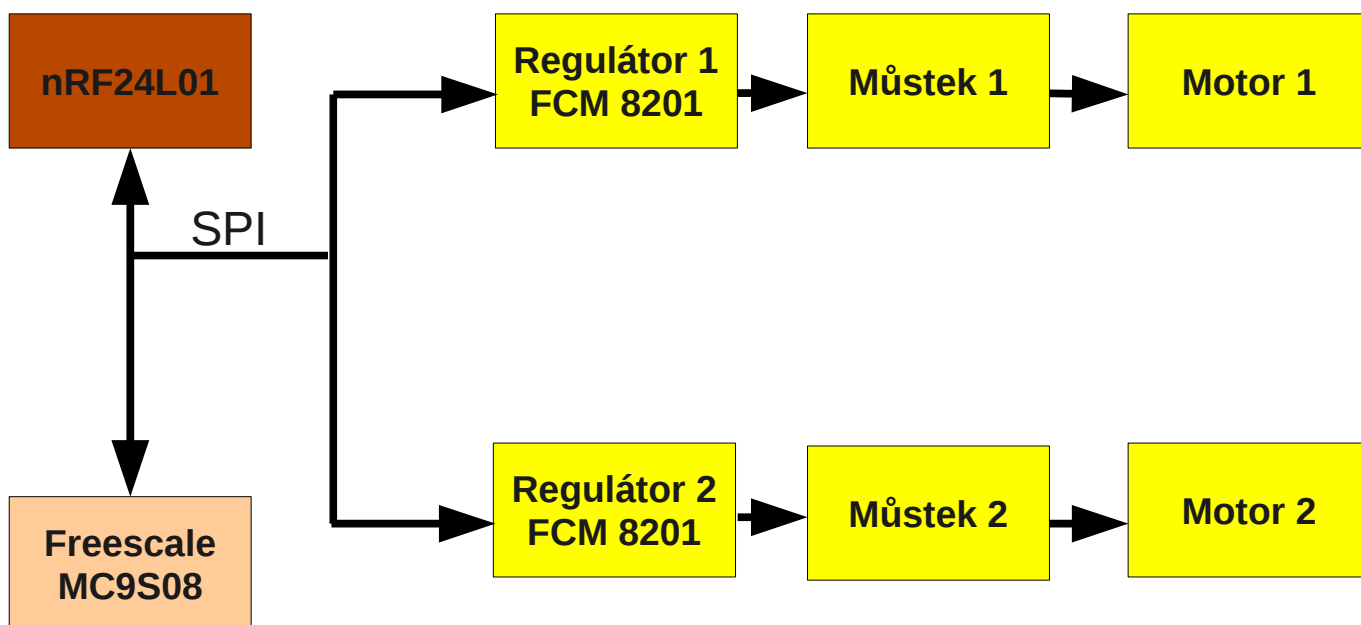
4 Robot

Robot má tvar krychle se čtyřmi kolečky. Jeho 3D náčrtek je na obrázku 8. O pohon robota se starají dva BLDC motory. Každý motor pohání jednu stranu kol. Robot tedy zatáčí, pokud jsou rychlosti kol různé. Elektroniku robota tvoří jedna deska dvouvrstvého tištěného spoje o rozměrech 71 x 73 mm. Zapojení se skládá z několika hlavních částí, jak je patrné z blokového schématu na obrázku 9.



Ilustrace 8: 3D náčrtek robota

4.1 Blokové schéma



Ilustrace 9: Blokové schéma robota

4.2 Popis zapojení hardwaru robota

Proud cívkami každého z motorů je spínán pomocí 3-fázových můstků složených z unipolárních tranzistorů IRF2804 v pouzdře D2PACK. Tyto tranzistory se vyznačují především velmi nízkým odporem kanálu v sepnutém stavu. Výrobce udává $2\text{ m}\Omega$. Cena jednoho tranzistoru se pohybuje kolem 50 Kč. Hlavní důvod použití těchto tranzistorů byl právě nízký odpor kanálu, tedy předpoklad malé výkonové ztráty, protože v robotu je velmi málo místa a větší nároky na chlazení by bylo obtížné účinně řešit. Všechny spínací tranzistory jsou umístěné z vrchní strany desky, kde bude prostor pro případné pasivní chlazení vedením tepla do šasi robota.

Řízení každého můstku obstarává integrovaný obvod firmy Fairchild semiconductor – FCM 8201. Obvody komunikují s mikrokontrolérem Freescale po rozhraní SPI. Dále je sběrnice SPI připojena na bezdrátový modul nRF24L01. Vzhledem k tomu, že mikrokontrolér má pouze jedno SPI rozhraní, vznikl zde malý problém. SPI rozhraní je třeba v mikrokontroléru přenastavovat vzhledem k tomu, zda má probíhat komunikace s bezdrátovým modulem, nebo s regulátorem. Specifikace se liší nejen v maximální frekvenci hodinového signálu, ale i ve vzorkovací hraně. Přepínání rychlostí jsem zvolil z důvodu úspory času a tím i tedy odezvy celého systému. Frekvence hodinového signálu pro komunikaci s bezdrátovým modulem je 8 MHz, pro komunikaci s regulátorem FCM 83,3 kHz.

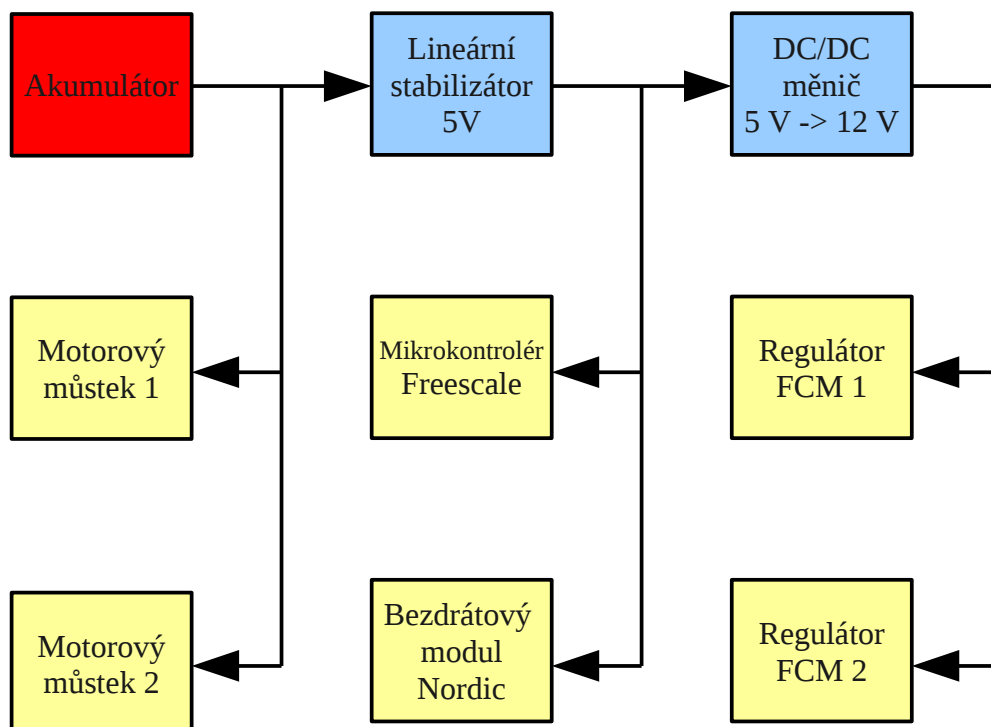
Kromě můstků se na vrchní straně desky nalézají ještě bezdrátový modul. Všechny ostatní součástky jsou situovány na spodní straně. Elektrolytické kondenzátory jsou umístěné v podélné ose robota, tedy nad motory, kde je více místa.

Pro měření teploty jsem použil čidlo SMT 160-30. Jak bylo popsáno v kapitole 3.5 na straně 19, jeho výstupem je střída. Pro zjištění střídavy mikrokontrolérem jsem výstup čidla připojil přes filtr typu dolní propust na vstup A/D převodníku. Střední hodnota napětí za filtrem pak přímo úměrně odpovídá střídě signálu. Nulové napětí odpovídá střídě 0, napájecí napětí pak střídě 1. Vstup pro signál z čidla je na pinu 6 konektoru SV1 (viz. schéma na straně 43).

Piny 2 a 4 konektoru SV1 jsou připojeny na A/D převodník přímo a jsou rezervovány pro budoucí využití.

4.3 Napájení

Robot je napájen z dvoučlánkového lithiium–polymerového akumulátoru. Tedy napájecí napětí se může pohybovat v rozmezí přibližně 6 V až 8,4 V v závislosti na vybití akumulátoru. Protože robot obsahuje obvody, které pro svůj chod potřebují různá napájecí napětí, bylo nutné vytvořit několik napájecích větví s různými napětími. Pro tento požadavek se ukázala dostačující a zároveň nejjednodušší struktura zobrazená na obrázku číslo 10.



Ilustrace 10: Blokové schéma napájecí soustavy robota

Akumulátor je přímo připojen na 3-fázové můstky ovládající motory. K akumulátoru je dále připojen lineární stabilizátor. Použil jsem nízko úbytkový stabilizátor MCP1701AT od firmy Microchip. Maximální povolený proud na jeho výstupu je 250 mA. Výrobce je garantován maximální úbytek napětí 600 mV. Stabilizátor jsem použil v pouzdře SOT-23A.

Protože regulátory motorů FCM 8201 potřebují pro svůj běh minimální napájecí napětí 10 V, bylo nutné použít zvyšovací měnič. Zvolil jsem integrovaný DC/DC měnič IE0512S firmy XP Power. Tento měnič jsem volil, protože nepotřebuje žádné externí součástky, je poměrně malý a cena je rovněž příznivá. Jedná se o měnič s pevným vstupním napětím v rozmezí 4,5 V až 5,5 V. Na výstupu měniče je možno odebírat až 84 mA při pevném napětí 12 V.

Jeden regulátor FCM odebírá proud necelých 10 mA. Tedy z výstupu z DC/DC konvertoru je odebíráno 20 mA při 12V. Odebíraný výkon se spočte dle vzorce 2.

$$P_{out} = U * I = 12 * 0,02 = 0,24 \text{ W} \quad (2)$$

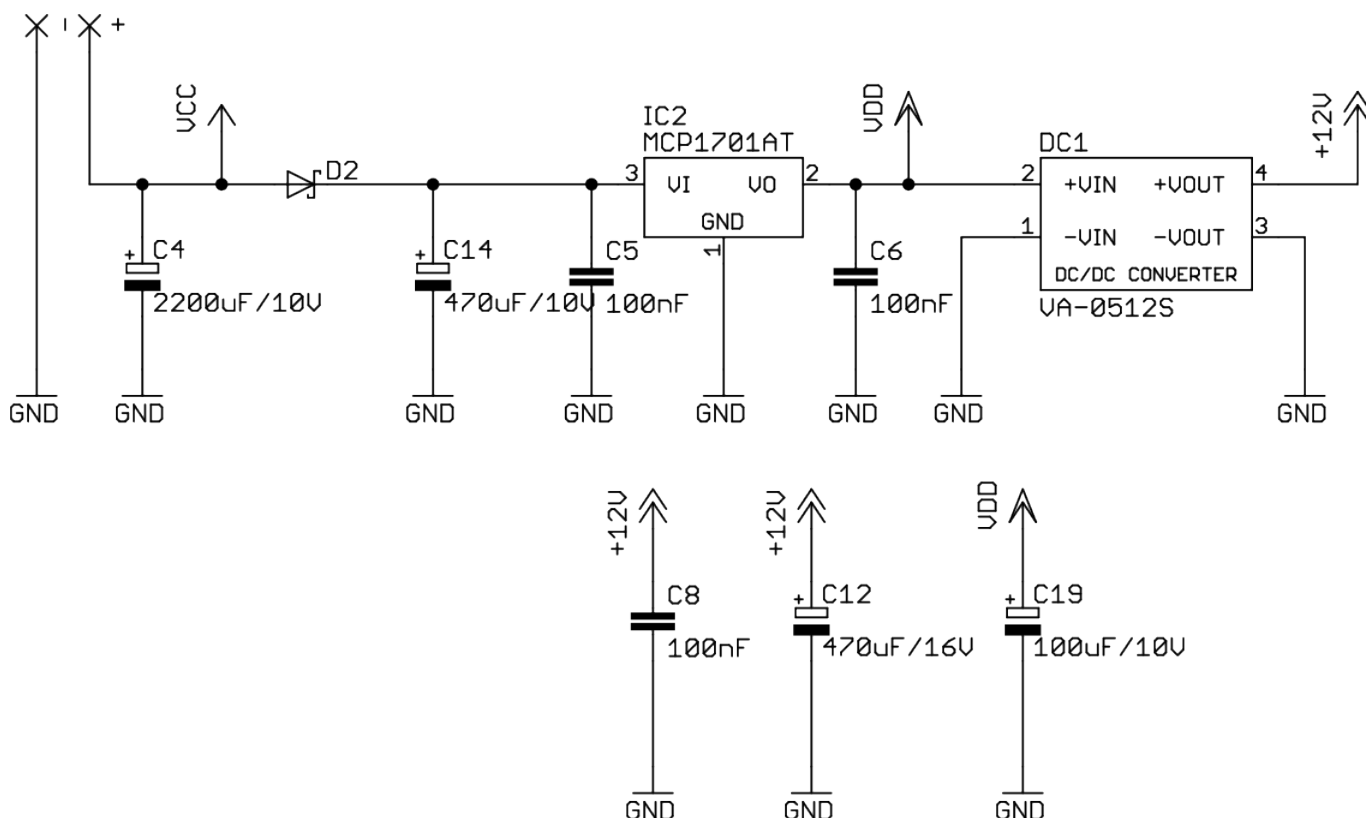
Výrobce udává maximální účinnost konvertoru 80 %. Počítat tedy budeme s účinností 70 %. Na vstupu budeme potřebovat výkon vypočtený dle vzorce 3.

$$P_{in} = P_{out} * \eta = 0,24 * 0,7 = 0,343 \text{ W} \quad (3)$$

Což odpovídá vstupnímu proudu vypočtenému dle vzorce 4.

$$I = \frac{P_{in}}{U_{in}} = \frac{0,343}{5} = 0,069 \text{ A} = 69 \text{ mA} \quad (4)$$

Připomeňme z kapitoly 3.2.2, že bezdrátový modul odebírá proud maximálně necelých 13 mA. Mikrokontrolér pak při plném zatížení odebírá 25 mA. Z výpočtů je tedy patrné, že maximální výstupní proud lineárního stabilizátoru 250 mA je plně postačující.



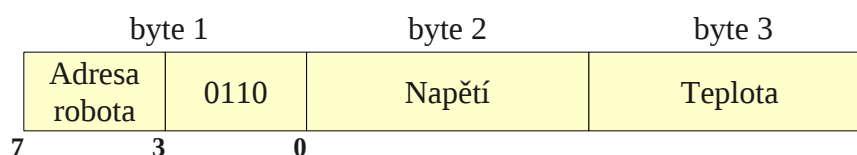
Ilustrace 11: Schéma reálného zapojení napájecí soustavy robota

Na obrázku 11 je zobrazeno schéma napájecí soustavy robota, které odpovídá blokovému schématu na straně 24. Napájecí napětí je filtrováno elektrolytickým kondenzátorem C4. Před vstupem lineárního stabilizátoru je zapojena shottkyho dioda D2, která zabraňuje vybíjení kondenzátoru C4 zpět do napájení, pokud napětí V_{CC} klesne. Toto může nastat například při rychlé změně zatížení motoru. Pokud by zde dioda D2 nebyla, může dojít k poklesu vstupního napětí stabilizátoru a tím i k poklesu V_{DD} , který pak může způsobit reset číslicových obvodů, a to je nežádoucí. Limitujícím faktorem pro velikost elektrolytických kondenzátorů byl fyzický prostor v robotu.

4.4 Software robota

Po náběhu napájení a spuštění programu se provede inicializace periférií, přepnutí regulátorů FCM do SPI módu a jejich nastavení. Dále se nastaví bezdrátový komunikační modul Nordic a program se dostane do nekonečné smyčky.

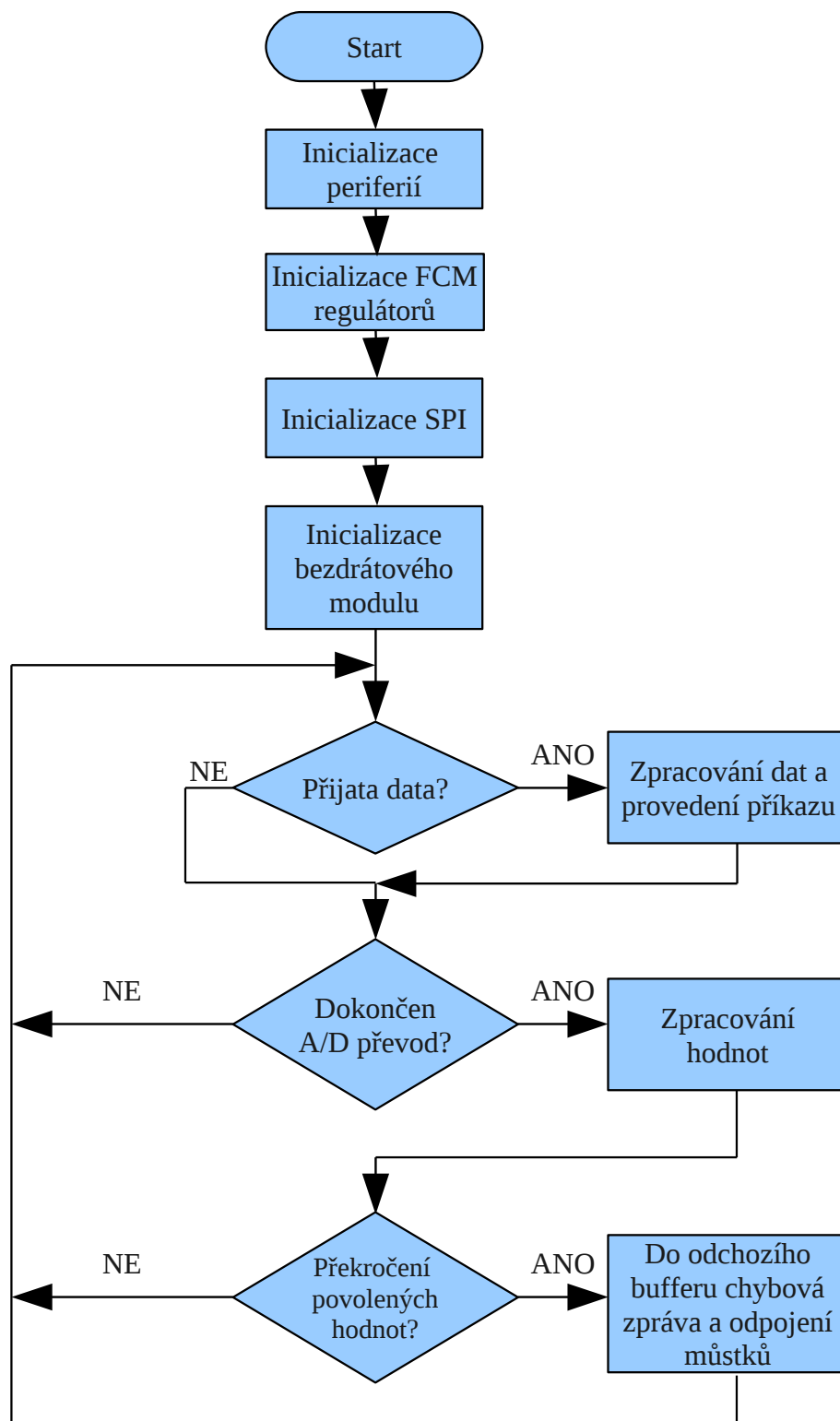
Program v nekonečné smyčce kontroluje stav příznaků, zda nejsou připravena data na zpracování. Přerušení může vyvolat bezdrátový modul pomocí signálu IRQ, pokud přijme data. Dále měří napětí na vstupech A/D převodníku, které jsou úměrné teplotě a napětí. Pokud dojde k překročení povolených hodnot (u prvního prototypu je naprogramováno minimální napětí 6 V a maximální teplota 60 °C), tak se nejprve odpojí oba motorové můstky. Poté se vymaže odchozí buffer v bezdrátovém modulu a zapíše se do něj chybová zpráva. To zajistí, že zpráva s údajem o napětí a teplotě odejde jako první. Ztráta dat v odchozím bufferu není v tomto okamžiku podstatná, protože robot se nyní nachází v poruchovém stavu. Nicméně řídicí systém má možnost si vymazaná data vyžádat znovu.



Ilustrace 12: Struktura chybové zprávy robota

Na obrázku 12 je znázorněna struktura chybové zprávy robota. Vzorce na přepočet napětí a teploty se nachází na straně 30.

4.4.1 Vývojový diagram



Ilustrace 13: Vývojový diagram programu robota

4.4.2 Přijetí dat

Pokud bezdrátový modul přijme platná data, pak si vyžádá obsluhu pomocí vnějšího přerušení na pinu PTB5. SPI se přenastaví pro komunikaci s modulem a vyčte se přijímací buffer. Poté se smažou v modulu příznaky přijatých dat a přijímací buffer se vymaže. Nakonec se SPI přenastaví zpět pro komunikaci s regulátorem FCM a nastaví se příznak, že data jsou připravena ke zpracování. Toto je konec programu obsluhy přerušení.

Příznak připravených dat vyvolá v nekonečné smyčce proceduru zpracování dat. Poté se dle příkazu vyčítají nebo zapisují data do regulátorů, nebo se do odesílacího bufferu zapíší hodnoty teploty a napětí. Komunikační protokol je popsán na straně 29.

5 Bezdrátový vysílač a komunikace s nadřazeným systémem

Pro komunikaci mezi roboty a řídicím systémem bylo nutné zkonstruovat vysílač, který vyhoví požadavkům na přenosovou rychlost a půjde snadno připojit k řídicímu počítači. Zvolil jsem připojení pomocí rozhraní USB, přes převodník USB na sériový port. Toto řešení je schopno vyhovět nároku na přenosovou rychlost a z programátorského hlediska je velmi jednoduché. Vysílač je osazen stejně jako robot mikrokontrolérem Freescale MC9S08DZ60. Jako zdroj hodinového signálu používá externí krystalový oscilátor pracující na frekvenci 16 MHz.

5.1 Parametry komunikace

- modulační rychlost sériového kanálu je 57600 baudů
- používá se 8 datových bitů, 1 stop bit, žádná parita
- přenosová rychlost bezdrátového kanálu je nastavena na 1 MBit/s
- CRC bezdrátového kanálu má délku 1 byte
- v jednom datovém paketu se posílají 3 datové byty

Minimální komunikační rychlost sériového kanálu byla stanovena následujícím postupem. V nejvyšší lize soutěže hraje 11 robotů v jednom týmu. Každý robot se ovládá třemi byty v jedné zprávě. Kamera může být schopna sejmout 60 snímků za vteřinu (ve skutečnosti bude pravděpodobně použita kamera horší). Tedy nové data mohou být připraveny každých 16,6 ms. Sériový kanál používá start bit, 8 datových bitů a 1 stop bit, tedy celkem 10 bitů. Minimální modulační rychlost se tedy spočte dle vzorce 5.

$$V_m = 60 * 11 * 3 * 10 = 19800 \text{ Bd} \quad (5)$$

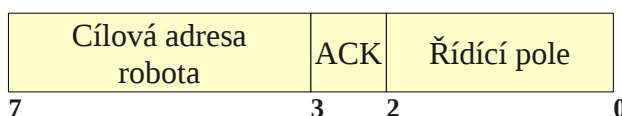
5.2 Hardware vysílače

Celá deska vysílače je udělána jako USB klíčenka, s rozměry 21 x 60,5 mm. Zapojení vysílače je poměrně jednoduché. Datové vodiče USB jsou připojeny na převodník FTDI. Z převodníku vedou signálové vodiče TX a RX přímo na mikrokontrolér Freescale MC9S08DZ60. Z důvodu přesnějšího časování používá jako zdroj hodin externí krystalový oscilátor pracující na kmitočtu 16 MHz. Mikrokontrolér je pak po sběrnici SPI spojen s bezdrátovým modulem Nordic nRF24L01 a zjednodušeně řečeno tvoří jakýsi převodník UART – SPI. Obvod obsahuje dvě LED diody. Jedna indikuje napájení, druhá je kontrolní. Dále je zde osazen konektor pro programování mikrokontroléru.

Jako zdroj napájecí energie je použit USB port. Napájecí napětí je na vstupu filtrováno LC filtrem. K napájení obou číslicových obvodů jsou připojeny blokovací kondenzátory.

5.3 Komunikační protokol

Každý datový paket se skládá ze 3 bytů. První byt má charakter příkazového bytu. První nibble, tedy první 4 bity, prvního bytu udávají číslo robota, kterému zpráva patří. Pátý bit nastavuje bezdrátový modul, zda si pro tento paket bude vyžadovat potvrzovací zprávu (v této zprávě může být robotem poslána vyžádaná data a pod.). Poslední 3 bity udávají příkaz.



Ilustrace 14: Struktura prvního datového bytu paketu

Je nutné si uvědomit, že při příkazu na čtení nějakých dat, musí nejprve robot přijmout příkaz, ten zpracovat a odpověď může poslat až v potvrzovací zprávě dalšího paketu. Tedy není nutné vyžadovat potvrzovací zprávu při samotném příkazu čtení, ale až v nějakém dalším paketu. Seznam dostupných příkazů se nachází v tabulce 1.

Hodnota řídicího pole	Příkaz	Byte 2	Byte 3
000	Nastav PWM motorů 1 a 2, směr M1 i M2 dopředu	Střída PWM motoru 1	Střída PWM motoru 2
001	Nastav PWM motorů 1 a 2, směr M1 dopředu, M2 dozadu	Střída PWM motoru 1	Střída PWM motoru 2
010	Nastav PWM motorů 1 a 2, směr M1 dozadu, M2 dopředu	Střída PWM motoru 1	Střída PWM motoru 2
011	Nastav PWM motorů 1 a 2, směr M1 i M2 dozadu	Střída PWM motoru 1	Střída PWM motoru 2
100	Zapiš hodnotu do registru regulátoru	MSB udává, zda se jedná o regulátor 1 (log 1), nebo 2 (log 0), zbytek udává adresu registru	Data
101	Čti hodnotu z registru regulátoru	MSB udává, zda se jedná o regulátor 1 (log 1), nebo 2 (log 0), zbytek udává adresu registru	
110	Čti stav baterie a teplotu		
111	Rezervováno		

Tabulka 1: Přehled příkazů komunikačního protokolu

Robot vždy odpovídá rovněž paketem o délce 3 byty. První byte je téměř stejný, jako byl u příkazu, aby systém rozeznal od kterého robota přišla odpověď a co v odpovědi vlastně je. Jediný rozdíl je v ACK bitu, ten je vždy 1. Pouze v případě chybové zprávy robota je tento bit 0. Chybová zpráva robota je zobrazena na obrázku 12 na straně 26. Při čtení hodnoty z registru je i druhý byte stejný, tedy obsahuje adresu odkud data jsou a poslední byte obsahuje samotné data. Příkaz „čti stav baterie a teplotu“ vrací hodnoty z výstupu A/D převodníku. Ve druhém bytu vrací hodnotu napětí baterie, ve třetím údaj o teplotě. Napětí se dopočte dle vzorce 6, teplota pak dle vzorce 7.

$$U = \frac{10 * n}{255} [V] \quad (6)$$

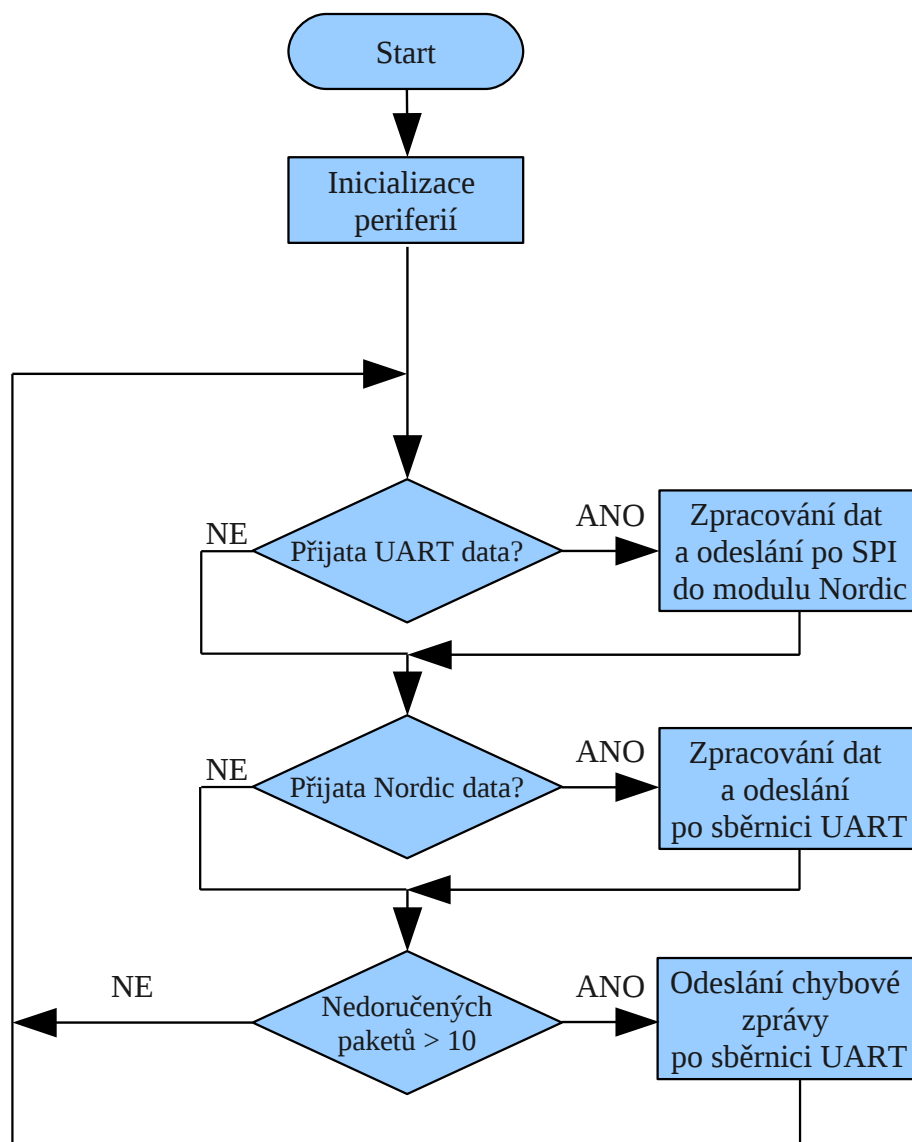
$$t = \frac{n}{255 * 0,0047} - \frac{0,32}{0,0047} [^{\circ}C] \quad (7)$$

5.4 Software vysílače

Po náběhu napájení a spuštění programu se provede inicializace periférií a nastavení bezdrátového komunikačního modulu Nordic. SPI zde pracuje na frekvenci 8 MHz.

Program v hlavní smyčce kontroluje stav příznaků, zda není připraven nějaký datový paket na zpracování. Přerušení může vyvolat buď přijatý byte po sériovém kanálu, nebo pomocí externího signálu IRQ si může vyvolat přerušení bezdrátový modul.

5.4.1 Vývojový diagram



Ilustrace 15: Vývojový diagram software ve vysílači

5.4.2 Přijetí dat ze sériového kanálu

Přijetí datového byte po sériovém kanálu způsobí přerušení. Podprogram přerušení vykopíruje přijatý byte do datového pole na první místo a inkrementuje ukazatel. Zároveň se pustí čítač timer2. Pokud další byte přijde do 2 ms od přijetí prvního, uloží se na další pozici v datovém poli. Toto se opakuje i pro třetí byte. Pokud je přijat v časovém intervalu, nastaví se příznak, že datový paket je připraven ke zpracování a zakáže se přerušení od sériového kanálu.

Pokud se nedodrží časový interval mezi byty, pak čítač timer2 přeteče a vynuluje ukazatel do datového pole. Tedy takto se vyhodnocuje neúplný, tedy chybný paket.

V hlavní smyčce si program, pokud je paket připraven, vykopíruje data do jiného pracovního pole a znovu povolí přerušení (tedy je umožněn příjem dalších dat po sériovém kanálu). Dle prvního bytu se určuje adresa cílové bezdrátové stanice. Pokud se adresa liší od adresy poslední poslané zprávy, program vyšle po SPI příkaz bezdrátovému modulu na změnu cílové adresy. V opačném případě se adresa měnit nemusí a tím se zmenší časová prodleva v odesílání zprávy. Nakonec se odešlou data po SPI s příkazem na odeslání paketu. Pokud je vyžadován potvrzovací paket od cílové stanice, není možné v době čekání na potvrzení měnit adresu cílové stanice ve vysílacím modulu (doba čekání na přijetí potvrzovací zprávy je maximálně 250 μ s).

5.4.3 Přerušení vyvolané bezdrátovým modulem

Bezdrátový modul si vyvolá přerušení programu pomocí signálu IRQ ve třech různých případech. Tedy pokud přijme data z bezdrátového kanálu, nebo pokud neobdrží vyžádaný potvrzovací paket (tedy pravděpodobně nebyl paket doručen). V posledním případě když zpráva byla odeslána.

Vyvolání přerušení od bezdrátového modulu se nejprve po SPI vyčte status registr. Ten udává co vyvolání přerušení způsobilo. Pokud přijetí dat, data se vykopírují do pracovního pole. Vymaže se přijímací FIFO paměť a přerušení se ukončí. V hlavní smyčce programu se pak data vykopírují do jiného pracovního pole a toto pole se začne odesílat po sériovém kanálu do počítače.

Pokud přerušení vyvolá nepřijetí potvrzovací zprávy, data jsou vymazána, aby bylo umožněno vysílání dat dalším robotům. Také se povolí změna adresy cílové stanice. Je zde předpoklad, že data budou každému robotovi vyslány 60x za vteřinu, tedy nemá smysl se pokoušet paket doručit a zdržovat ostatní roboty. Příkaz na změnu směru dostane v dalším paketu, tedy přibližně za 16 ms. Program rovněž inkrementuje čítač nedoručených zpráv. Pokud tento čítač dosáhne hodnoty více jak deset, informuje o tom řídicí systém v počítači vyslanou zprávou ve tvaru znázorněném na obrázku 16.

0xFF	Číslo robota	Počet nedoručených zpráv
------	--------------	--------------------------

Ilustrace 16: Chybová zpráva vysílače

Pokud data byla odeslána a nebylo vyžadováno potvrzení, tak se pouze povolí změna adresy cílové stanice. Pokud byla odeslána a v pořádku přišlo potvrzení, nuluje se čítač nedoručených zpráv.

6 Dosažené výsledky a parametry

V této kapitole jsou popsány a zhodnoceny naměřené výsledky jednotlivých modulů i celého systému.

6.1 Řízení můstku

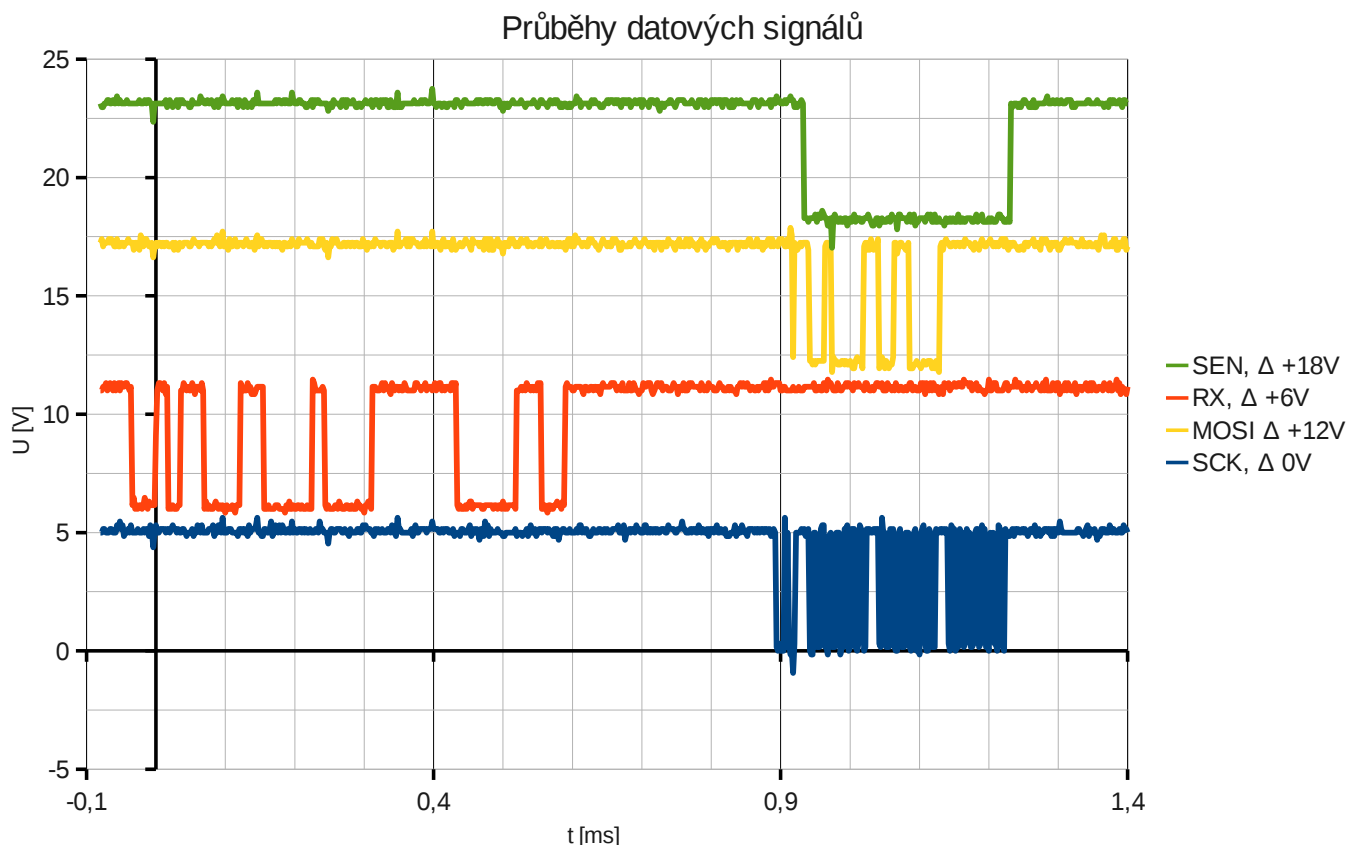
Na grafu 3 jsou znázorněny průběhy řídicích signálů tranzistorů v horní části můstku. Dále je zde zobrazen signál z hallové sondy, která indikuje polohu rotoru. Je patrné, že průběhy přesně odpovídají obdélníkovému typu řízení popsanému v kapitole 3.4.2 na straně 17.



Graf 3: Průběhy napětí řídicích signálů horní skupiny tranzistorů 3-fázového můstku

6.2 Zpoždění přenosu příkazu

Důležitým parametrem celého systému je doba přenosu požadavku na změnu rychlosti motoru z řídicího systému do motoru. Když software v řídicím počítači vypočte požadavky na rychlosti motorů robota, pak je signál odeslán virtuálním sériovým kanálem do bezdrátového vysílače. Graf 4 ukazuje průběhy datových signálů ve vysílači a v robotovi.



Graf 4: Časové zpoždění příkazu

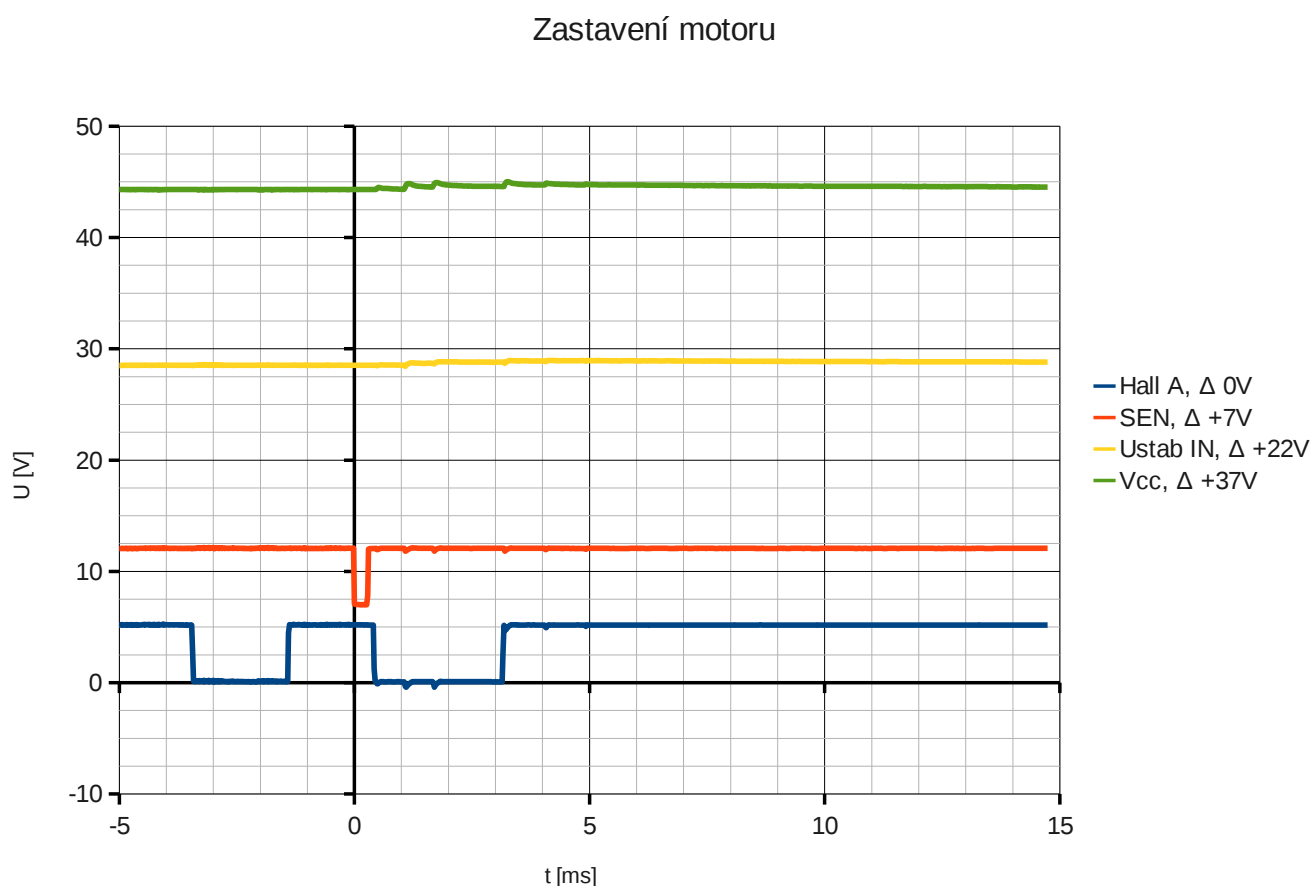
V grafu jsou znázorněny tyto průběhy:

- červený - ukazuje průběh signálu RX na sběrnici UART ve vysílači
- modrý - zobrazuje průběh hodinového signálu SPI v robotovi
- žlutý - zobrazuje průběh signálu MOSI sběrnice SPI v robotovi
- zelený - zobrazuje signál „chip select“ regulátoru FCM

Ve změřeném příkladu byla z počítače odeslána zpráva, obsahující příkaz na změnu rychlosti motoru. Teda zpráva dlouhá 3 byty. Z průběhů je patrné, že mezi prvním start bitem na sběrnici UART až po uložení nové hodnoty do regulátoru je časové zpoždění asi 1,3ms. Při zápisu různých hodnot do obou regulátorů pak bude odezva lehce přes 1,5ms. Za tuto dobu tedy robot při maximální rychlosti 2 m/s urazí 3 mm. Myslím si, že tedy tato doba zpoždění přenosu dat je postačující.

6.3 Odezva na požadavek regulace

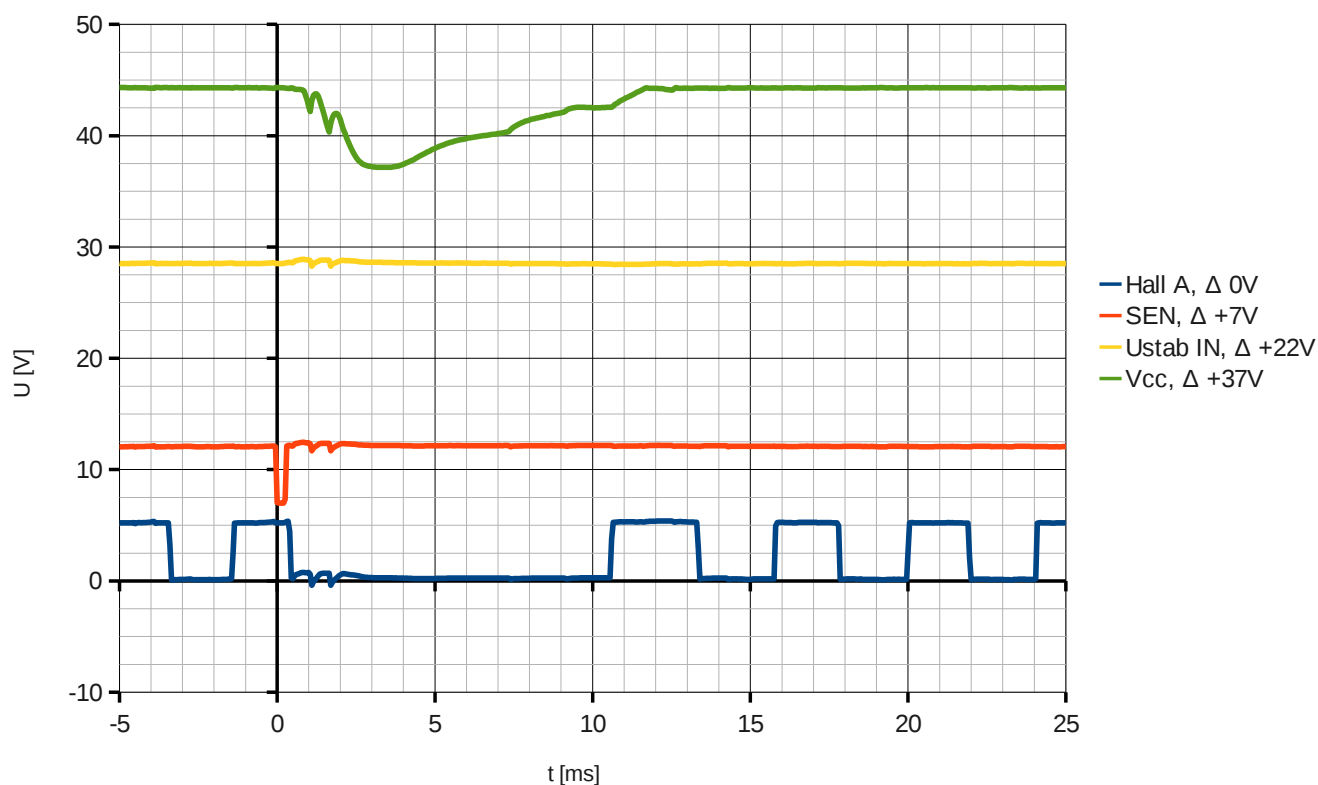
Po zpoždění přenosu příkazu je další důležitá vlastnost - rychlost samotné regulace. Na grafech 5 a 6 jsou zobrazeny odezvy na příkazy zastavení a reverzace z plné rychlosti (přibližně 16 000 otáček). Průběhy byly naměřeny při nulovém zatížení motoru, tedy motor běžel naprázdno.



Graf 5: Odezva motoru při požadavku na zastavení

Červený průběh v grafu 5 znázorňuje signál „chip select“ regulátoru FCM. Po náběžné hraně tohoto signálu je v regulátoru uložena nová hodnota. Modrý průběh znázorňuje signál z hallovy sondy. Z grafu je patrné, že motor zastaví přibližně za 4 ms. Zelený signál zde znázorňuje napájecí napětí a žlutý napětí na vstupu lineárního stabilizátoru (napájecí napětí za diodou D2, viz. schéma na straně 43).

Reverzace motoru



Graf 6: Odezva motoru při požadavku na reverzaci

Graf 6 znázorňuje velmi podobnou situaci. Do regulátoru je poslán příkaz na reverzaci motoru. Je vidět, že motor naběhne na plné otáčky za necelých 15 ms. Tento graf zároveň dokládá důležitost diody D2. Velký proudový odběr motoru může způsobit pokles napájecího napětí, který by mohl v krajním případě způsobit reset číslicových obvodů a systém by pak nebyl prakticky použitelný. Při těchto poklesech napájecího napětí jsou číslicové obvody dočasně napájeny z kondenzátorů C14, C12 a C19 (opět viz. schéma na straně 43). Nutno podotknout, že tyto průběhy byly naměřeny při napájení laboratorním zdrojem s proudovým omezením na 2,5 A. Li-pol akumulátor takto velký pokles nezpůsobí.

7 Závěr

Všechny body zadání této diplomové práce se povedlo splnit. Řídící jednotka je postavena a oživena, bezdrátový vysílač také. Bohužel tým lidí pracující na mechanické části robota nestihl odstranit všechny mechanické problémy a tak řídící jednotka nemohla být namontována do robota a testována v reálných podmínkách. Přesto regulace motorů funguje velmi dobře a jsem přesvědčen, že vyhoví i po namontování do robota. Rovněž bezdrátová komunikace funguje na požadovanou vzdálenost 5 metrů spolehlivě a bez problémů.

Pro vývoj obvodového zapojení jsem v první fázi používal nepájivé pole, kde jsem měl možnost ověřit první návrhy. Po oživení základních funkcí byl zhotoven první prototypový tištěný spoj, který ještě neodpovídal finálnímu rozměru. Na tomto prototypu jsem provedl první měření, našel a následně odstranil několik dalších problémů a chyb. Nakonec byl navržen finální tištěný spoj s odpovídajícími rozměry. Ten je možné nalézt v přílohách. Pro kreslení schémat a tištěných spojů jsem používal program Eagle, „light edition“ 5.10 pro Linux.

Při regulování nezatížených motorů se zdá, že další chlazení spínacích tranzistorů nebude potřeba. Toto tvrzení ovšem bude potřeba ověřit při reálném zatížení. Za dobu vývoje vznikl problém, že výrobce přestal dodávat použité motory, proto pro finálního robota bude potřeba vybrat nějaké jiné podobné motory.

Pro budoucnost tohoto projektu je teď nezbytně nutné dokončit mechanickou část robota a zkompletovat první prototyp. Poté provést praktické testování, ověřit v reálných podmínkách výdrž baterie, ověřit zda například šasi robota nebude mít negativní vliv na bezdrátovou komunikaci, najít a následně se pokusit odstranit případné slabiny systému, apod. Pro toto jednoduché testování jsem naprogramoval velice primitivní program v jazyce C do PC. Program slouží pro ovládání robota z klávesnice pomocí šipek. Program jsem napsal pro Linux, distribuci Fedora 14. Na ničem jiném testován nebyl. Zdrojový kód i samotný program je k dispozici na přiloženém CD. Vzhledem k tomu, že testovací program nebyl součástí zadání této diplomové práce a má sloužit pouze k ověření funkčnosti regulace, nebyla mu věnována velká pozornost a odpovídá tomu i jeho kvalita a jednoduchost.

Seznam použité literatury

- [1] FIRA. *FIRA MiroSot Game Rules* [online]. 2010, [cit. 10.4.2012]. Dostupné z: http://www.fira.net/?module=file&act=procFileDownload&file_srl=2869&sid=ab073a0168b7b1b4655f12c1a5c21ac7
- [2] FIRA. *MIROSOT* [online]. 2010, [cit. 10.4.2012]. Dostupné z: <http://www.fira.net/?mid=photo>
- [3] BARTOŠ, Václav. *Elektrické stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN80-7043-332-9.
- [4] NORDIC SEMICONDUCTOR. *nRF24L01 Product Specification* [online]. 2007, [cit. 23.10.2011]. Dostupné z: http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2730/34105/file/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf
- [5] FREESCALE SEMICONDUCTOR. *HCS08 Microcontrollers - MC9S08DZ60* [online]. 2008, [cit. 5.10.2012]. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08DZ60.pdf?fsrch=1&sr=1
- [6] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. *AN-8201 - FCM8201 Three-Phase Sine-Wave BLDC Motor Controller* [online]. 2011, [cit. 10.12.2011]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-8201.pdf>
- [7] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. *FCM8201 - 3-Phase Sinusoidal Brushless DC Motor Controller* [online]. 2011, [cit. 10.12.2011]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FC/FCM8201.pdf>
- [8] HAMMERBAUER, Jiří. *Akumulátory Lithium - Polymer (Li-Pol)* [online]. 2011, [cit. 10.4.2012]. Dostupné z: http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/NSA/Texty/Akum_Lipol.pdf

Příloha A - Seznamy součástek

A.1. Vysílač

Jméno	Hodnota	Součástka	Pouzdro	Poznámka
C1	100n	C-EUC0805	C0805	
C2	100n	C-EUC0805	C0805	
C3	100n	C-EUC0805	C0805	
C4	4u7	CPOL-EUB	PANASONIC_B	
C5	100n	C-EUC0805	C0805	
C6	5p6	C-EUC0805	C0805	
C7	5p6	C-EUC0805	C0805	
IC1	FT232RLSSOP	FT232RLSSOP	SSOP28DB	
IC2	MC9S08DZ32	MC9S08DZ32	LQFP48	Freescale
L1		ferit	L-EUL0805	L0805
LED1	green	LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206	Led
LED2	red	LEDCHIPLED_1206	CHIPLED_1206	Led
Q1	16MHz	CRYSTALHC49S	HC49/S	Krystal
R1	10k	R-EU_R0805	R0805	
R3	1M	R-EU_R0805	R0805	
R4	500R	R-EU_R0805	R0805	
R5	500R	R-EU_R0805	R0805	
S1		10-XX	B3F-10XX	Mikrotlačítko
SV1	BDM	MA03-2	MA03-2	Pin header
U\$2	NRF24L01	NRF24L01	NRF24L01	Modul nRF24L01
X1	USB-A-H	USB-A-H	USB-A-H	Konektor USB A

Příloha A.1.1: Seznam součástek pro vysílač

A.2. Robot

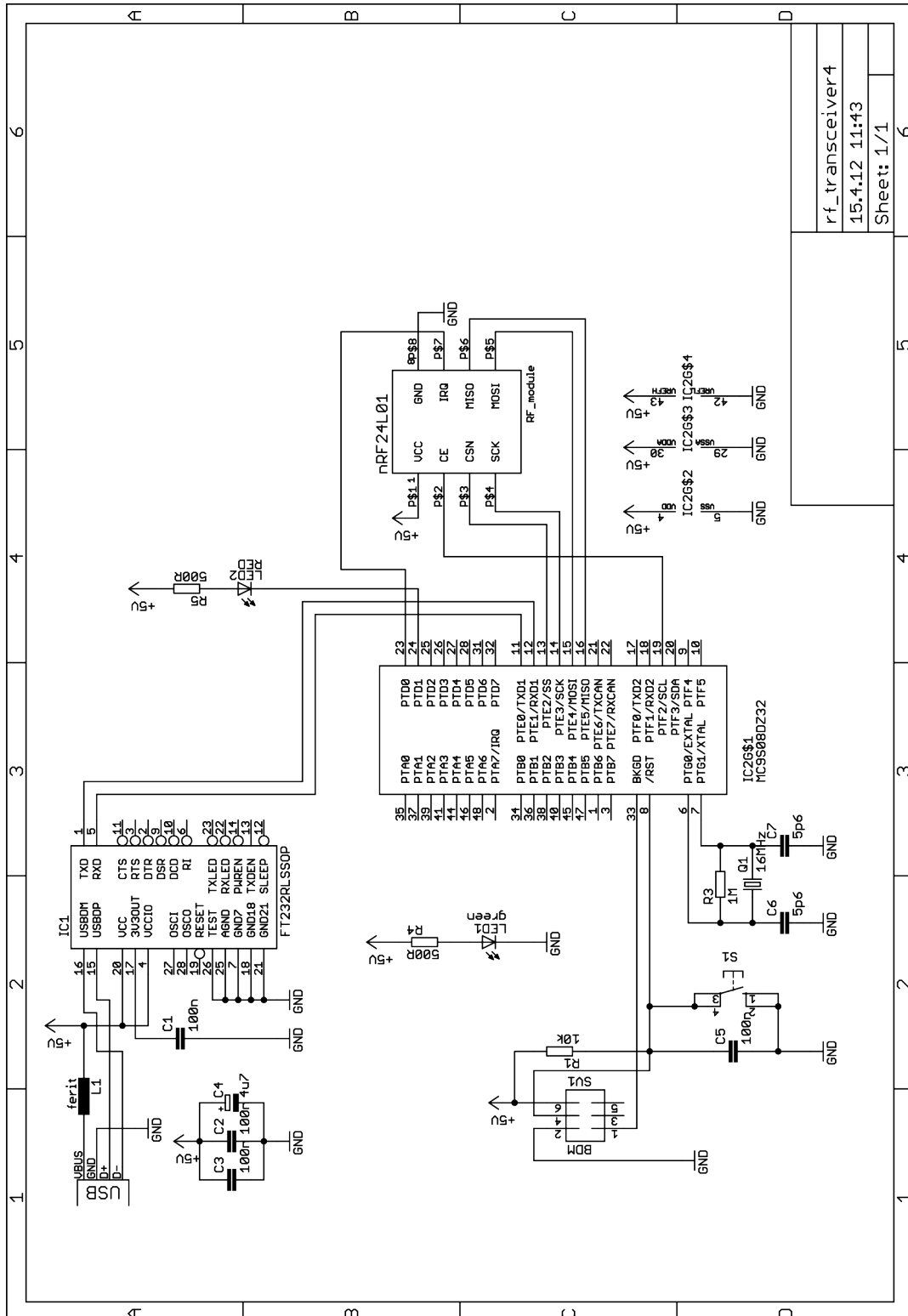
Jméno	Hodnota	Součástka	Pouzdro	Poznámka
C1	100nF	C-EUC0805	C0805	
C2	470pF	C-EUC0805	C0805	
C3	100pF	C-EUC0805	C0805	
C4	2200uF/10V	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	
C5	100nF	C-EUC0805	C0805	
C6	100nF	C-EUC0805	C0805	
C7	100nF	C-EUC0805	C0805	
C8	100nF	C-EUC0805	C0805	
C9	470pF	C-EUC0805	C0805	
C10	100nF	C-EUC0805	C0805	
C11	100pF	C-EUC0805	C0805	
C12	470uF/16V	CPOL-EUE5-10.5	E5-10,5	
C13	100uF/10V	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	
C14	470uF/10V	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	
C15	1uF	C-EUC1206	C1206	
C16	1uF	C-EUC1206	C1206	
C17	100nF	C-EUC0805	C0805	
C18	100nF	C-EUC0805	C0805	
C19	100uF/10V	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	
D1	LED_SMD_1206	LED_SMD_1206	P1206	
D2	LM5819	DIODE-MINIMELF	MINIMELF	Shottkyho dioda
DC1	VA-0512S	VA-0512S	4SIL	DC/DC konvertor
HAL1	6B-ZR	6B-ZR	B6B-ZR	Konektor JST
HAL2	6B-ZR	6B-ZR	B6B-ZR	Konektor JST
IC1	MC9S08DZ96	MC9S08DZ96	TQFP48_7X7	Freescale
IC2	MCP1701AT	MCP1703CB	SOT23	
IC3	NRF24L01	NRF24L01	NRF24L01	Modul nRF24L01
IC4	FCM8201	FCM8201	TQFP32-08	
IC5	FCM8201	FCM8201	TQFP32-08	
Q2	BSS123	BSS123	SOT23	
R1	0R003	R-EU_R6332W	R6332W	
R2	330	R-EU_R0805	R0805	
R3	10k	R-EU_R0805	R0805	
R4	12k	R-EU_R0805	R0805	
R5	63K	R-EU_R0805	R0805	
R6	10k	R-EU_R0805	R0805	
R7	10k	R-EU_R1206	R1206	
R8	12k	R-EU_R0805	R0805	
R9	12k	R-EU_R0805	R0805	
R10	0R003	R-EU_R6332W	R6332W	
R11	12k	R-EU_R0805	R0805	

R12	63K	R-EU_R0805	R0805	
R13	10k	R-EU_R0805	R0805	
R14	220	R-EU_R1206	R1206	
R15	47k	R-EU_R0805	R0805	
R16	10k	R-EU_R0805	R0805	
R17	12k	R-EU_R0805	R0805	
R18	10k	R-EU_R0805	R0805	
R19	47k	R-EU_R0805	R0805	
R20	12k	R-EU_R0805	R0805	
R21	12k	R-EU_R0805	R0805	
R22	100k	R-EU_R0805	R0805	
R23		R-EU_R0805	R0805	Není osazen
R24		R-EU_R0805	R0805	Není osazen
R25	100k	R-EU_R0805	R0805	
R26		R-EU_R0805	R0805	Není osazen
R27		R-EU_R0805	R0805	Není osazen
R28	10k	R-EU_R1206	R1206	
R29	10k	R-EU_R0805	R0805	
R30	47k	R-EU_R0805	R0805	
SJ1	SJ	SJ	jumper	SMD jumper
SJ2	SJ	SJ	jumper	SMD jumper
SV1	MA03-2	MA03-2	con-lstb	
SV2	MA03-2	MA03-2	con-lstb	
T1	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T2	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T3	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T4	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T5	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T6	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T7	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T8	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T9	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T10	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T11	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet
T12	IRF2804	IRF2804	D2PACK	transistor-fet

Příloha A.2.1: Seznam součástek robota

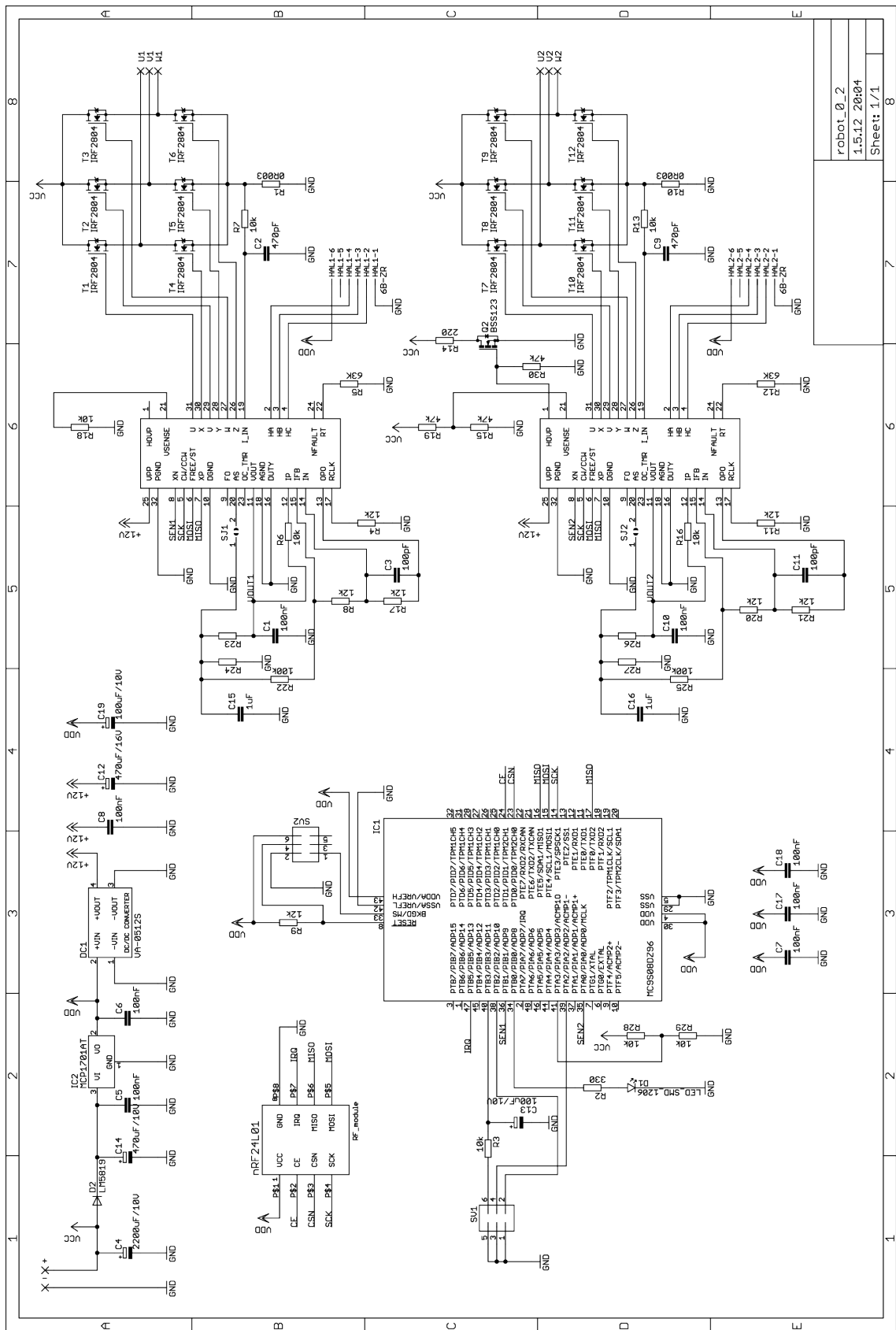
Příloha B - Schémata

B.1. Schéma vysílače



Příloha B.1.1: Schéma vysílače

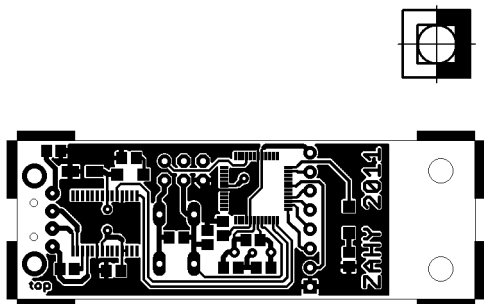
B.2. Schéma robota



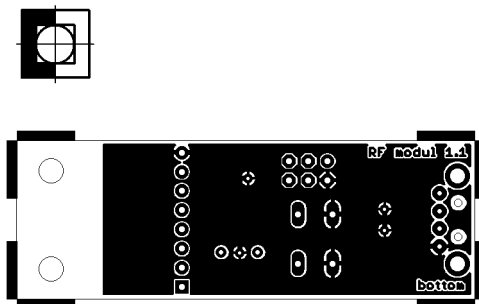
Příloha B.2.1: Schéma robota

Příloha C - Tištěné spoje

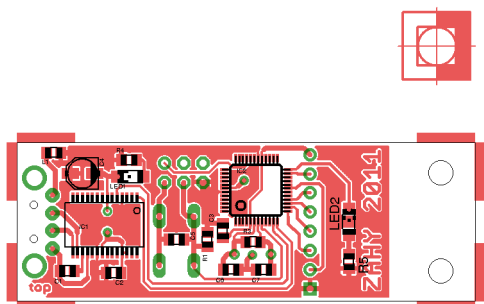
C.1. Tištěný spoj vysílače



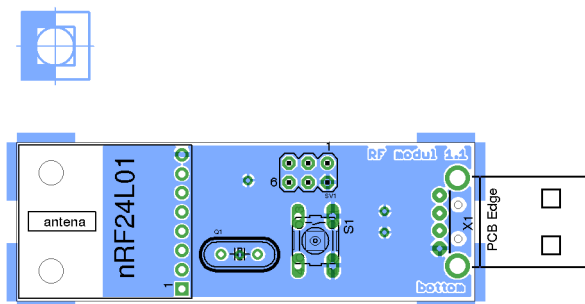
Příloha C.1.1: Tištěný spoj vysílače - vrchní strana



Příloha C.1.2: Tištěný spoj vysílače - spodní strana

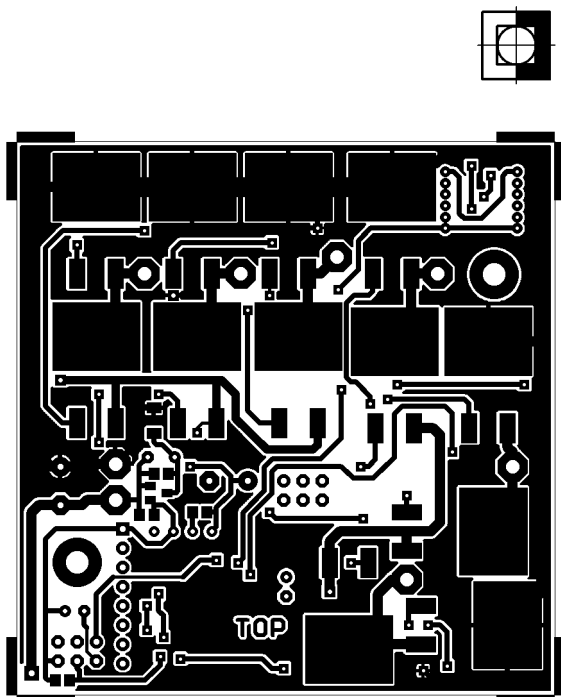


Příloha C.1.3: Osazovací plán vysílače - vrchní strana

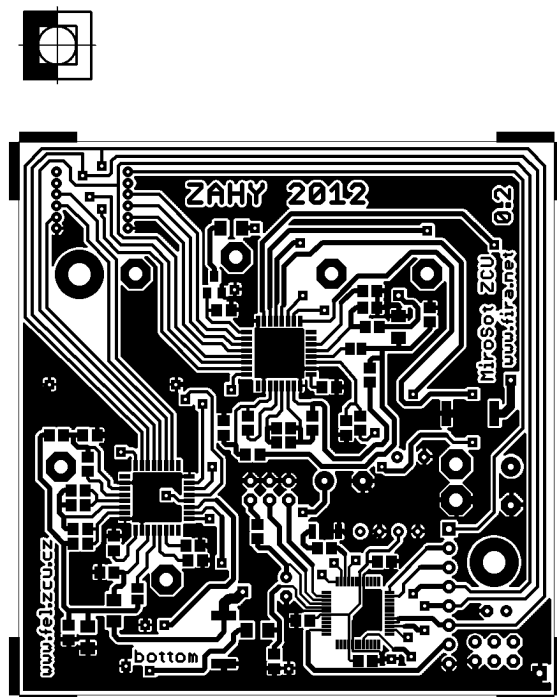


Příloha C.1.4: Osazovací plán vysílače - spodní strana

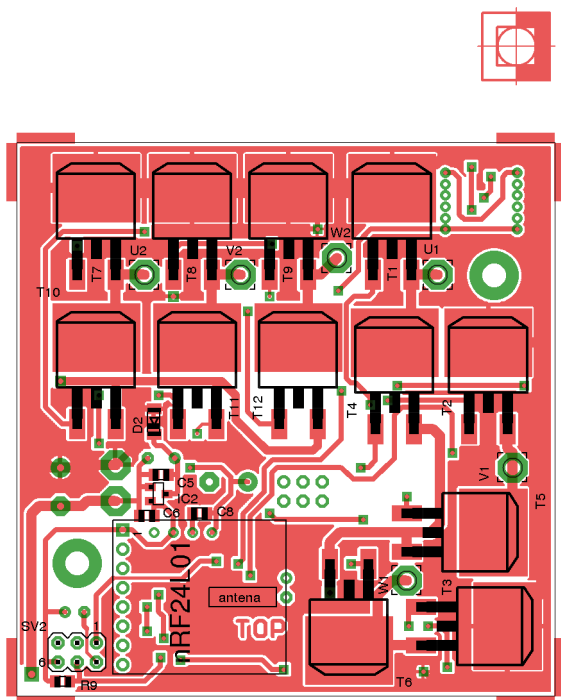
C.2. Tištěný spoj robota



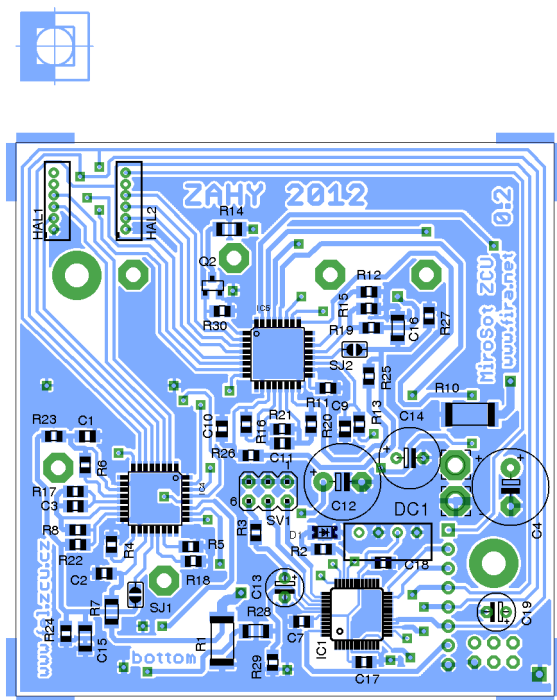
Příloha C.2.1: Tištěný spoj robota - vrchní strana



Příloha C.2.2: Tištěný spoj robota - spodní strana



Příloha C.2.3: Osazovací plán robota - vrchní strana



Příloha C.2.4: Osazovací plán robota - spodní strana