

QUADCOPTER REALIZATION

Ján Pekarovič

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xpekar05@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Tomáš Götthans

E-mail: gotthans@feec.vutbr.cz

Abstract: The aim of this work is to design a helicopter with four rotors so-called Quacopter. The helicopter is remote controlled. Its electronics is based on Atmega8 and Atmega64 microcontrollers. This quadcopter is able to fly indoor and outdoor as well. Six ultrasonic distance sensors allows to avoid obstacles and also increases the operational safety. This helicopter is primarily intended for entertainment.

Keywords: Quadcopter, helicopter, robot, brushless motor, gyroscope, sensor

1. ÚVOD

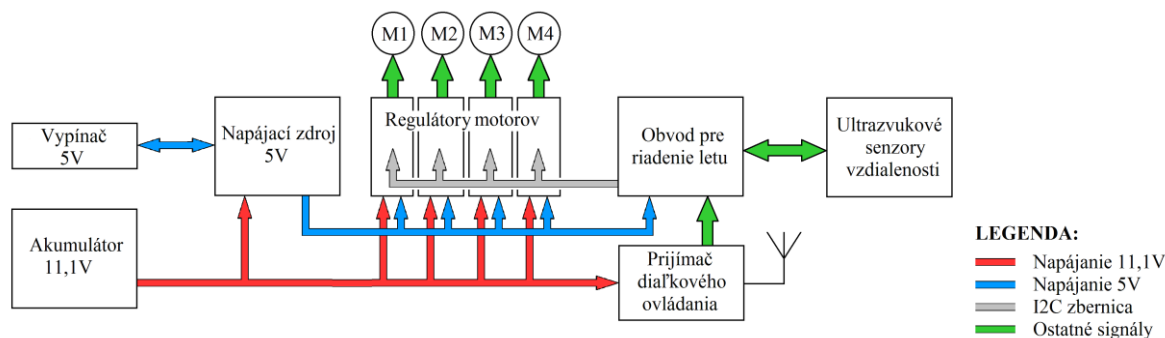
V posledných rokoch zaznamenávajú bezpilotné lietajúce prostriedky výrazný rozmach vo vojenskej aj civilnej sfére. Oblúbenú skupinu zariadení určených na vojenský, geografický alebo archeologický prieskum, servisnú kontrolu ťažko dostupných zariadení, fotografovania a mnoho ďalších predstavujú tzv. koptery.

Ide o mobilné, diaľkovo riadené airborne roboty [1]: viacrotorové vrtuľníky vybavené stabilizačnou elektronikou. Tá riadi samostatne každý rotor, čo kopterom umožňuje mimoriadnu stabilitu a zároveň rýchlosť a obratnosť. Počet rotorov sa u jednotlivých konštrukcií líši od troch až po osem. Quadcopter, teda typ so štyrmi rotormi je najrozšírenejším z nich. Okrem štyroch symetricky usporiadaných rotorov nemá žiadne pohyblivé časti. Z konštrukčného hľadiska je to výhoda, pretože na riadenie kopteru stačí regulovať otáčky jednotlivých rotorov [2]. Nevýhodou je vyšší nárok na riadiacu elektroniku. Práve jej návrhom sa táto práca zaoberá.

2. ROZBOR

2.1. BLOKOVÁ SCHÉMA

Elektronika quadcopteru pozostáva zo šiestich obvodov. Ide o napájací zdroj, štyri totožné regulátory motorov a obvod pre riadenie letu. Princíp celého zapojenia zachytáva Obrázok 1:



Obrázok 1: Bloková schéma quadcopteru

2.2. NAPÁJACÍ ZDROJ

Quadkopter je napájaný Li-Pol akumulátorom o menovitom napätí 11,1V. Riadiaca elektronika ale vyžaduje prítomnosť napájacieho napätia o hodnote 5V. To zaručuje malý spínaný zdroj s obvodom LM2575. Vypínač na napájacom zdroji slúži k zapnutiu/vypnutiu celého robota.

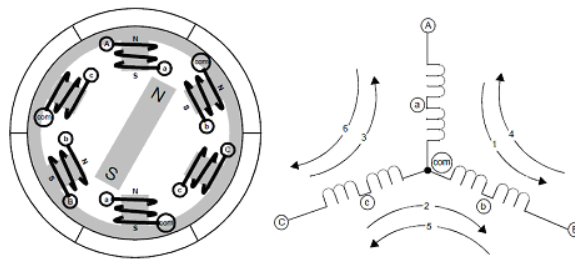
2.3. REGULÁTORY MOTOROV

Regulátory motorov predstavujú najviac prínosnú časť práce. Existuje mnoho projektov zaoberajúcich sa vývojom quadkoptera, väčšinou ale počítajú so zakúpenými modelárskymi regulátormi určenými do RC lietadiel. Táto práca však vývoj regulátoru detailne popisuje. Základom regulátoru je mikrokontrolér Atmega8.

Regulátor motorov plní nasledujúce funkcie:

- riadi otáčanie motora,
- kontroluje prúd odoberaný motorom,
- kontroluje teplotu tranzistorov riadiacich motor,
- kontroluje stav nabitia akumulátoru,
- komunikuje s obvodom pre riadenie letu prostredníctvom I²C zbernice (slave),
- komunikuje s PC prostredníctvom UART zbernice (iba pre účely vývoja).

Motory sú trojfázové zapojené do hviezdy. Regulátor generuje z jednosmerného napätia batérie tri striedavé napätia so vzájomným fázovým posunom 120°. To je možné dosiahnuť generovaním PWM signálu so súčasným prepínaním polarít fáz pomocou trojice tranzistorových mostíkov. Komutácia motora pozostáva zo 6 krokov [3]. Pri každom z nich je jedna fáza pripojená ku kladnému pólu napájania, druhá k zápornému a tretia fáza zostáva odpojená (plávajúca). Obrázok 2: zobrazuje vnútorné usporiadanie a principiálne zapojenie trojfázového DC motora s jednotlivými krokmi komutácie.



Obrázok 2: Princíp trojfázového DC motora¹

Výkonové MOSFET tranzistory spínajúce kladnú (IRFR 5305, P-kanál) a zápornú (IRLR 2705, N-kanál) fázu sú riadené PWM signálom generovaným mikrokontrolérom Atmega8. Strieda PWM signálu určuje rýchlosť otáčania. K riadeniu troch fáz stačí iba jeden PWM výstup Atmega8. To zaručujú logické obvody. PWM vstupuje do trojice hradiel AND pre kladnú a trojice pre zápornú polaritu. Použil som trojvstupové hradlá 74HC11D. To zaručí, že daná fáza motora bude pripojená napr. ku kladnému pólu iba v prípade, že: a) je aktívny Enable výstup Atmega8 pre pozitívnu polaritu danej fázy, b) do hradla vstupuje PWM signál, c) Enable signál pre negatívny pól danej fázy je neaktívny (privedený na hradlo AND cez invertor vytvorený z NAND hradna 74LS00D spojením vstupov). To znižuje nároky na riadiaci mikrokontrolér a zároveň slúži ako ochrana spínacích tranzistorov. Zabezpečuje, že nenastane skrat súčasným zopnutím oboch polarít na rovnakej fáze.

¹ Brown, W.: Brushless DC motor control made easy, Microchip Technology Inc., 2002, s. 1

Na plávajúcej fáze sa vplyvom rotácie v magnetickom poli indukuje napätie. Toto napätie vstupuje do analógového komparátoru LM339D. V regulátore sú použité tri komparátory, každý pre jednu fázu. Vo chvíli, keď hodnota indukovaného napätia dosiahne polovicu hodnoty napájacieho napätia, zmení sa hodnota na výstupe komparátoru pripojeného na vstup Atmega8. V tom momente nastáva prepnutie na nasledujúci krok komutácie.

2.4. OBVOD PRE RIADENIE LETU

Obvod pre riadenie letu je najdôležitejšou súčasťou kopteru. Jeho základom je mikrokontrolér Atmega64.

Obvod pre riadenie letu plní nasledujúce funkcie:

- kontroluje náklon robota vo všetkých troch osiach voľnosti,
- spracúva PWM signály z prijímača diaľkového ovládania,
- spracúva signály z ultrazvukových senzorov vzdialenosti,
- komunikuje s regulátormi motorov prostredníctvom I²C zbernice (master),
- komunikuje s PC prostredníctvom UART zbernice (iba pre účely vývoja).

V popisovanej konštrukcii som najmä z dôvodu priaznivej ceny použil jednoosé SMD gyroskopy ENC-03R od japonského výrobcu MuRata. Ide o mechanické MEMS gyroskopy [2]. Na ich výstupe je prítomná hodnota napätia priamo úmerná náklonu. Výstupy gyroskopov sú pripojené na vstupy AD prevodníku Atmega64.

Na robotovi je použitých až šesť ultrazvukových senzorov vzdialenosti HC-SR04. Výrobca uvádza rozsah 2 cm až 500 cm. Meraním som ale overil, že spoľahlivo fungujú v rozsahu približne 20 cm až 300 cm. Jeden je umiestnený na spodnej strane robota, aby kontroloval výšku pri lete tesne nad zemským povrchom (teda maximálne vo výške 300 cm). Ďalší na vrchnej strane kopteru, aby pri použití v budove dokázal kontrolovať svoju vzdialenosť od stropu. Vzdialenosť od prekážok v horizonte kontroluje štvorica senzorov umiestnených na jednotlivých ramenách robota. Pri použití ultrazvukových senzorov v tesnej blízkosti hrozí, že bude dochádzať k interferenciám ultrazvukového signálu. Tento problém som ošetril tak, že v každom okamihu je aktívny vždy iba jeden ultrazvukový senzor. Mikrokontrolér prepína medzi jednotlivými senzormi.

3. ZÁVER

Predložená práca predstavuje popis návrhu kompletnej elektroniky diaľkovo riadeného quadkopteru. V rámci práce boli navrhnuté regulátory trojfázových DC motorov ktoré môžu nájsť využitie všade tam, kde sú kladené vysoké nároky na výkon, efektivitu a životnosť použitého elektromotora. Meraním pomocou mechanického ramena spojeného s digitálnou váhou som určil, že každý z rotorov navrhnutého quadkopteru dosahuje ťah 680 g pri prúdovom odbere 14,5 A_{RMS}. Obvod pre riadenie letu predstavuje základ, ktorý je možné v budúcnosti rozšíriť o mnoho funkcií. Napríklad logovanie preletenej trasy pomocou GPS, obsluhu ramena s kamerou, meranie dosiahnutej výšky pomocou senzoru tlaku vzduchu, po doplnení vhodného vysielča aj o odosielanie letových údajov operátorovi. Nehovoriac o možnostiach autonómneho letu.

REFERENCE

- [1] Žalud, L.: Robotika Přednášky, Brno, FEKT VUT, 2010
- [2] Kočí, P., Fojtík, D.: Řízení vícevrtulové helikoptéry, STROJÁRSTVO, MEDIA/ST s.r.o., 2010, s. 1-5
- [3] Brown, W.: Brushless DC motor control made easy, Microchip Technology Inc., 2002