

BRUSHLESS DC MOTOR CONTROLLER

Aleš Povalač

Master Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: alpov@alpov.net

Supervised by: Jiří Šebesta

E-mail: sebestaj@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The development of Brushless DC (BLDC) motor controller is presented in this paper. Basic operation of BLDC motors is described and a sensorless electronic commutation algorithm using an AVR 8-bit RISC MCU has been implemented. The controller prototype is able to drive BLDC motors up to 20 kW power. This system is supposed to be used as an engine of a boat.

1 ÚVOD

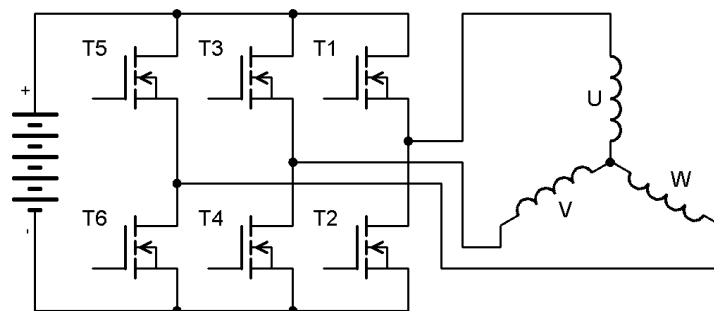
Stejnoseměrné bezkomutátorové motory se poslední dobou začínají rozsáhleji využívat. Jak napovídá název, neobsahují mechanické komutátory, které jsou u běžných stejnosměrných motorů zdrojem rušení, poruch a příčinou nižší účinnosti. Místo toho je přepínání jednotlivých vinutí řešeno elektronicky, tj. zpravidla řízeno mikroprocesorem [1].

Cílem této práce je vývoj budiče třífázového BLDC motoru vyšších výkonů. Z hlediska hardware je zapojení komplikované výkonovou částí, která spíná proudy řádově stovky ampér, umístěnou blízko řídicího mikroprocesoru. Firmware procesoru musí zajišťovat veškeré funkce BLDC regulátoru, tj. spolehlivé roztočení motoru, elektronickou komutaci, ochrany a komunikaci s ovládacím panelem. Ten slouží k nastavení otáček (resp. napětí) motoru a k zobrazování provozních údajů.

2 BLDC MOTORY

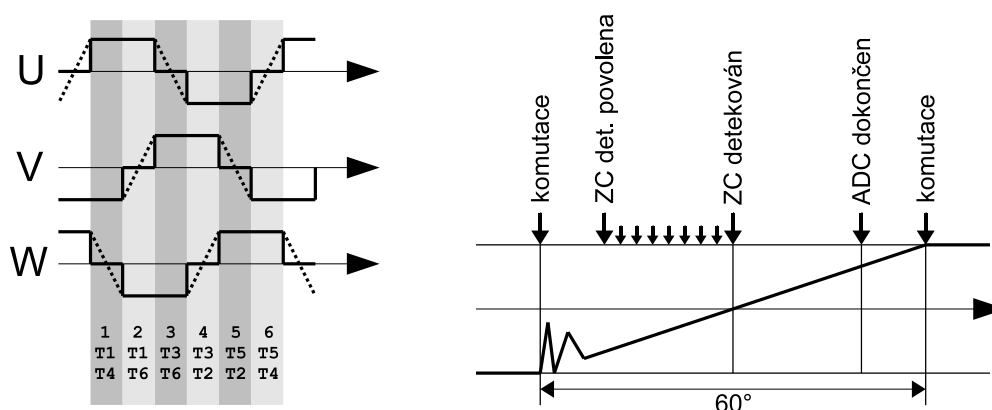
BLDC motory patří mezi synchronní motory, magnetické pole generované statorem rotuje souhlasně s magnetickým polem rotoru. Základní informace o jejich konstrukci a principu lze nalézt v [2]. Stator se u nejtýpčtějších třífázových motorů skládá ze tří vinutí zapojených do hvězdy nebo do trojúhelníku. Podle jeho provedení se motor řídí sinusovými nebo lichoběžníkovými signály. Rotor BLDC motoru obsahuje silné permanentní magnety, nejčastěji neodymové. Oproti asynchronním motorům odpovídajících rozměrů dosahují BLDC motory výrazně vyšších výkonů.

Spínání napájení do jednotlivých fází motoru se řeší zapojením známým jako trojnásobný polomost, viz obr. 1. Na spínací tranzistory (MOSFET či IGBT) je aplikován signál podle obr. 2, navíc regulovaný pulsně šířkovou modulací (PWM). Jedna fáze motoru je vždy připojena na



Obrázek 1: Schéma zapojení trojitého polomostu

kladný pól napájení, druhá na záporný a třetí je odpojena. Na nepřípojené fázi lze snímat indukované zpětné elektromotorické napětí (*back electromotive force – BEMF voltage*). Při jeho průchodu nulou se rotor nachází právě mezi dvěma polohami. Tohoto jevu je využito v implementovaném algoritmu bezsensorové elektronické komutace.



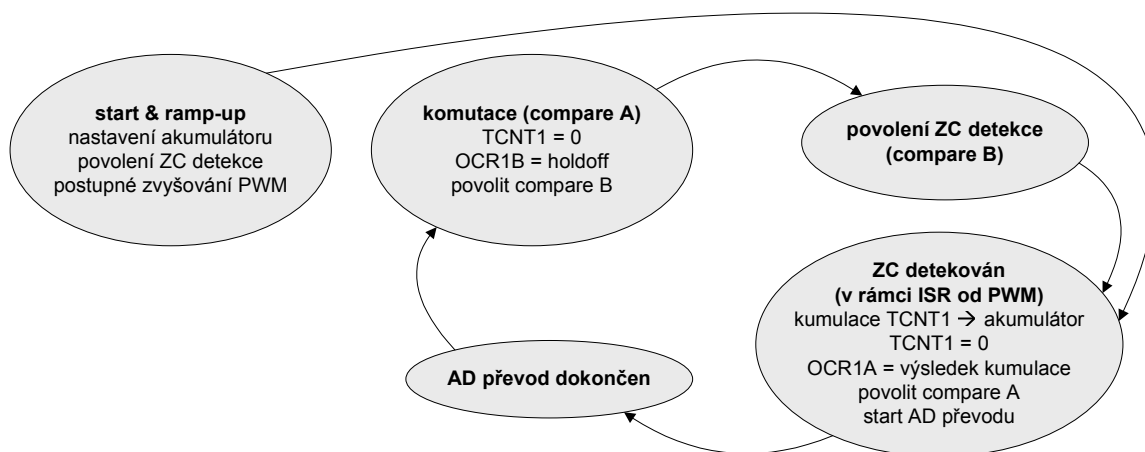
Obrázek 2: Průběhy napětí na vinutích BLDC motoru a detail snímání signálu

3 ŘÍDICÍ ALGORITMUS

Firmware mikroprocesoru je tvořen kombinací funkcí vyšší úrovně v jazyce C a obsluh časově kritických přerušení, zapsaných v AVR assembleru. Základní stavy elektronické komutace popisuje vývojový diagram na obr. 3.

Po roztočení motoru do minimálních otáček, při kterých již je zpětné elektromotorické napětí silnější než rušení a šum, přechází systém na elektronickou komutaci. Při komutaci dojde k přepnutí buzení na následující fázi motoru a k vynulování čítače. Po uplynutí intervalu, který je dán dobou demagnetizace vinutí motoru (během níž není možné měřit BEMF napětí), je povolena detekce průchodu nulou (*zero crossing – ZC*). Ta probíhá v každém cyklu PWM, vždy bezprostředně před okamžikem vypnutí buzení. Po detekování průchodu nulou, pro který je využíván analogový komparátor v procesoru AVR, je z časovače odečtena uplynulá doba, která je číslicově filtrována pomocí algoritmu kumulace s exponenciálním oknem. Tento algoritmus má dobré vlastnosti a je možné jej relativně snadno realizovat v assembleru.

Výsledkem kumulace je vyfiltrovaná hodnota poloviční doby komutace. Ta je následně odměřena časovačem a po jejím uplynutí dochází k další komutaci. Čas mezi detekovaným průcho-



Obrázek 3: Diagram algoritmu elektronické komutace BLDC kontroléru

dem nulou a další komutací je využíván pro realizaci AD převodu, kterým se měří střídavě napětí, proud a teplota spínacích tranzistorů.

Popsaný algoritmus realizuje regulaci v otevřené smyčce, tj. otáčky motoru se přizpůsobují napájecímu napětí a zatížení motoru. Změna napájecího napětí je realizována PWM modulací signálu spínacích tranzistorů. Komutaci ovládá procesor ATmega48, který je po komunikační lince standardu RS485 připojen k ovládacímu panelu s displejem.

4 ZÁVĚR

Algoritmus elektronické komutace byl ověřen na prototypu regulátoru s BLDC motory menších a středních výkonů. U motorů s vysokým výkonem dochází ke spínání značných proudů, které mohou ovlivňovat funkci procesoru, je tedy vhodné fyzicky oddělit řídicí jednotku od silové části.

Na prototypu byl při napájecím napětí 120 V otestován provoz s výkonem motoru přesahujícím 20 kW. Jako spínací prvky byly použity paralelně zapojené pětice MOSFET tranzistorů. Pouze změnou několika softwarových konstant, tedy bez jakýchkoliv zásahů do zapojení, byl prototyp schopný pracovat také s BLDC motory zkonstruovanými na napětí 24 V a 48 V. Při zvyšování proudu nad cca 150 A začínají výrazně vzrůstat výkonové ztráty na použitých MOSFET tranzistorech, což je možné řešit jejich náhradou za tranzistory IGBT.

Realizovaná řídicí jednotka bude využita k buzení BLDC motoru pro pohon elektrolodí.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory firmy OMICRON – svářecí stroje s. r. o.

REFERENCE

- [1] Sensorless Control of 3-phase Brushless DC Motors. Application Note AVR444. Atmel Corporation, 2005.
- [2] Padmaraja Yedamale: Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. Application Note AN885. Microchip Technology, 2003.