



ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗГРАЖДАНЕ НА СТЕНД ЗА МИКРОПРОЦЕСОРНО УПРАВЛЕНИЕ НА ТРИФАЗЕН БЕЗЧЕТКОВ СИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С ПОСТОЯННИ МАГНИТИ

Любомир Секулов, Георги Павлов, Явор Исаев, Румен Стоицев
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, yavorisaev@gmail.com, rstoitsev@vtu.bg

**ВТУ „Тодор Каблешков” – София
ул. „Гео Милев” 158, София 1574
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: безчеткови синхронни двигатели, автономни инвертори, сензори, редкоземни магнити, микропроцесорно управление, електрически транспортни средства

Резюме: Конкурентни двигатели на масово използваните в момента, в областта на електротранспорта, са безчетковите синхронни двигатели с постоянни редкоземни магнити (BLDC).

В доклада е представено проектирането и компоновката на стенд за изследване на основните параметри и характеристики на микропроцесорна система за управление (МСУ) на трифазни синхронни двигатели с постоянни магнити. Системата е асемблирана със съвременен тип управляващ микропроцесор и датчици определящи положението на ротора с цел ефективност при управлението. Направени са експериментални изследвания на проектираното устройство.

ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА

Асинхронните електродвигатели навлязоха масово във всички видове електрически транспорт, енергетиката, промишлеността и битовата техника. Захранването и реализацията на всички основни режими на работа на асинхронните двигатели (АД) се осъществява посредством инверторни устройства. Тяхното разнообразие и функции в зависимост от изискванията на работния процес е голямо.

В момента конкурентни двигатели в областта на електротранспорта са постояннотоките безчетковите синхронни двигатели с постоянни редкоземни магнити (BLDC). Те имат нужните характеристики да заменят АД, но основният проблем при тях е изграждането на електродвигателна (ЕЗ) система с оптимално управление, осигуряваща висока енергийна ефективност, безпроблемно приложение при високи мощности, както и ниска цена. МСУ трябва да реализира оптимално управление на момента и скоростта на BLDC в реално време, като това предполага използването на подходящи датчици и микроконтролери, осигуряващи необходимите параметри и характеристики на ЕЗ в тягов и спиращ режим.

Имайки предвид сложността на тези системи от една страна и от друга спецификата на професионалното обучение, което дава катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта (ЕЕТ)” в областта на електрическият транспорт, се

изисква не само добро и осъвременено теоретично обучение, но и засилено практическо обучение с конкретна специфична насоченост. То трябва да бъде съобразено със съвременното техническо развитие в тази сфера.

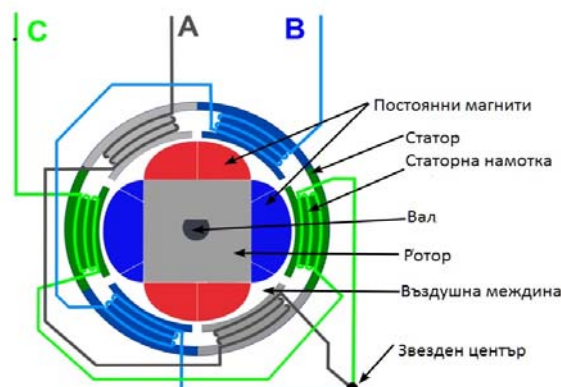
В тази връзка се проектира и разработи стенд за изследване на основните параметри и характеристики на МСУ на трифазни BLDC. Системата е асемблирана със съвременен тип управляващ микропроцесор и сензори от дискретен тип, контролиращи положението на ротора на синхроните двигатели (СД) в реално време, с цел реализация на висока ефективност при управлението.

1. КРАТЪК АНАЛИЗ НА СЪСТОЯНИЕТО НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА ПО ПРОБЛЕМА

За постигане на основната цел и задачи е направено разширено проучване и анализ на електрозадвижванията, реализирани на базата на двигатели от типа BLDC и приложението им в електрическият транспорт. Изследвани са използваните в техниката алгоритми и методи за управление на този тип двигатели. Анализът на тази предварителна информация даде възможност за проектиране на силова схема на захранване на двигател от типа BLDC и МСУ, осигуряващи възможност за провеждане на изследвания на основните параметри и характеристики на подобен тип ЕЗ. Тази реализация създава реални условия за провеждане на научно-изследователска работа и адекватно обучение на студенти и докторанти от специалностите, по-които обучава катедра „ЕЕТ“.

Коментираните Brushless DC (BLDC) мотори съчетават положителните качества на постоянноковите и асинхронни двигатели. Тези трифазни машини се управляват с постоянно напрежение под формата на импулси, които се реализират посредством транзистори работещи в ключов режим. Това управление е възможно само ако е известно точното положение на ротора спрямо статора, което се контролира от бързи и прецизни сензори.[1]

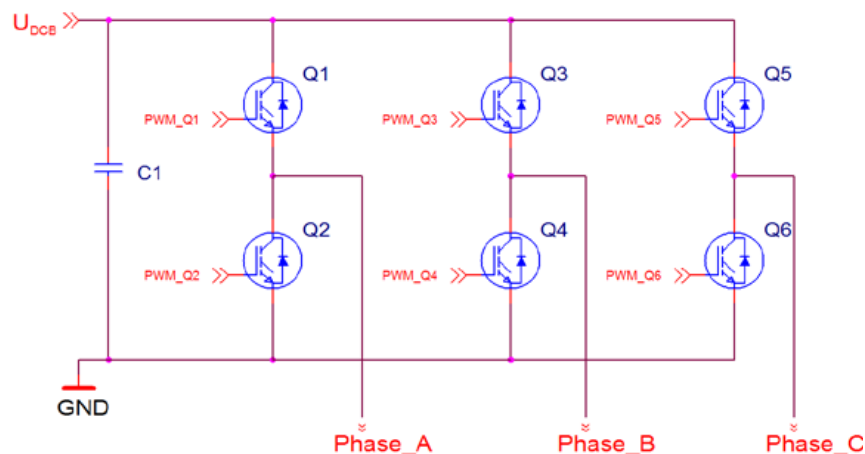
Безчетковият постоянноков (BLDC) двигател е въртяща се електрическа машина, при която статора е изпълнен като класически трифазен статор, а на ротора има повърхностно монтирани постоянни редкоземни магнити. Двигателят може да бъде изпълнен като еднополюсен или многополюсен, когато има повече от една полюсна двойка за всяка фаза. Броят на полюсните двойки на фаза определя основните електрически и механични параметри на двигателя. На фиг. 1 е показан двигател с една полюсна двойка на фаза.



Фиг. 1. Безчетков трифазен постоянноков двигател (BLDC)

BLDC използват електрически ключове (транзистори), за да реализират необходимата импулсна комутация на напрежението и тока през трите фази на двигателя, като по-този начин да създадат необходимият въртящ момент и обороти.

Тези електрически ключове обикновено са свързани в структурата на H-мост за еднофазни BLDC двигатели и мостова трифазна структура за трифазни BLDC. На фиг. 2 е показана схемата на свързване на инвертора, състоящ се от шест мощни транзистора Q1÷Q6, към постояннотоковия източник на захранване U_{DCE} и трифазната намотка на двигателя. Използва се широчинно-импулсна модулация (PWM), която преобразува постоянно захранващо напрежение в модулирано напрежение. По този начин лесно и ефективно се ограничава пусковия ток, контролира се скоростта и въртящия момент.[2,4]



Фиг. 2. Силова схема на захранване на BLDC

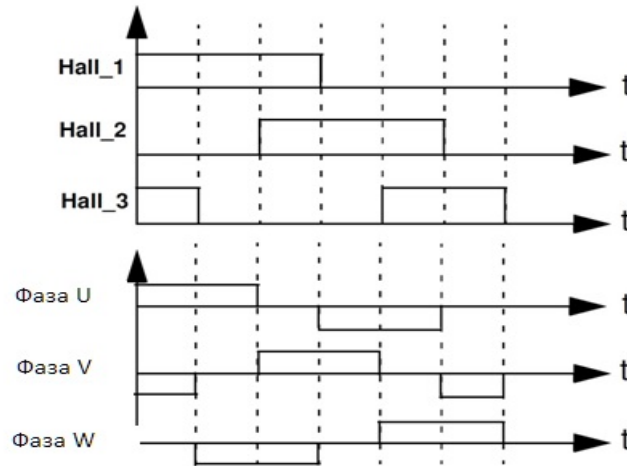
Комутацията на тока във BLDC се осъществява благодарение на обратната връзка за позицията на ротора, от която се определя момента на превключване на съответните транзистори, свързани към отделните фази на двигателя, с цел постигане на максимален въртящ момент. Най-лесният и прецизен начин за точното определяне на позицията на ротора е използването на подходящи сензори за положение. Най-често използваният в техниката е *Hall* сензора (сензори на Хол) вградени в статора на подходящо място.

Двигател от типа BLDC се управлява с правоъгълни напреженови импулси, съчетани с дадена позиция на ротора. Генерираният статорния поток взаимодейства с потока на ротора, който се създава от постоянните магнити, монтирани на ротора. Прецизното управление на този динамичен процес определя големината на въртящия момент и скоростта на двигателя. Управляващите напреженови импулси трябва да се подават в подходящ момент към двете работещи фази на трифазната система така, че ъгълът между потока на статора и този на ротора да е приблизително 90° , като това гарантира максимален въртящ момент и мощност на двигателя. Поради този факт, двигателят изисква микропроцесорен контрол и подходящи сензори на положението на ротора при всички работни режими и покой. На фиг. 3 е показана диаграмата на изменение на управляващите напрежения на трите фази на двигателя.[1,2,5]

При трифазните двигатели във всеки момент от времето са натоварени само две от фазите на статора, а през третата токът има нулева стойност. По този начин се получават шест възможни вектора на напрежение, които се прилагат към BLDC, като контролът на този процес се осъществява с помощта на подходящи сензори и микропроцесорно управление.

В техниката се използва и безсензорно управление на базата на сигнала от незахранената фаза, по-която се определя местоположението на ротора. Този начин на управление притежава редица недостатъци и намира ограничено приложение в

техниката, при специфични условия (силно замърсена и запрашена среда, течна среда и др.). Най-често използваното управление в тяговите електрозадвижвания в ЕТС е сензорното управление на BLDC, поради редицата предимства, свързани със специфичните изисквания на управлението на двигателите, използвани в ЕТС.



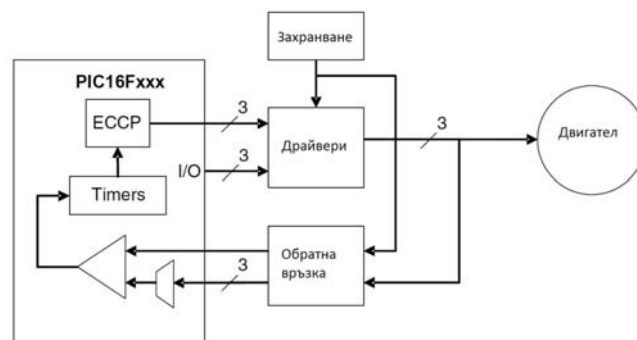
Фиг. 3. Напреженията на трите фази в зависимост от сигналите на датчиците

В доклада по-нататък са показани проектираните и изработени основни компоненти на стенда, позволяващ провеждането на експериментални изследвания при различни алгоритми на управление на трифазен синхронен безчетков двигател, куплиран към центробежен вентилатор. Основните алгоритми за управление се реализират от специално разработена за целта МСУ с микроконтролер PIC16F1786 и *Hall* сензори с изразен голям хистерезис, контролиращи положението на ротора на двигателя в реално време.

Реализираното ЕЗ и МСУ е внедрено в експлоатация (от 1 година) в ЕТС, експлоатирани в "Столичен електротранспорт" ЕАД, като реализира управление при конкретни алгоритми на вентилаторните уредби на климатичните им инсталации.

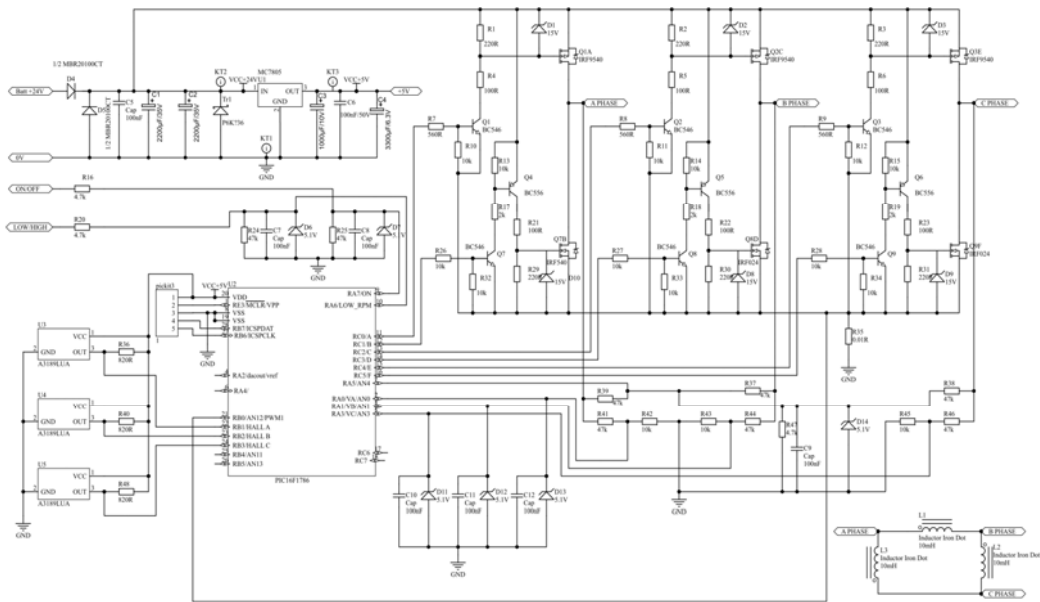
2. ОПИСАНИЕ НА ПРОЕКТИРАНИТЕ И ИЗРАБОТЕНИ СИЛОВО ЕЗ И МСУ НА BLDC

На фиг. 4 е показана блоковата схема на реализираното ЕЗ и МСУ за BLDC. Блоковата схема съдържа захранване, което осигурява работа на ЕЗ в диапазон от 9 до 35 V. Микропроцесор, който формира импулсите за драйверите и обработва сигналите от обратните връзки. Драйвери, които осигуряват необходимия ток за задвижване на двигателя. Обратна връзка, която е реализирана с датчици на *Hall* и индикира положението на ротора спрямо статора във всеки един момент.



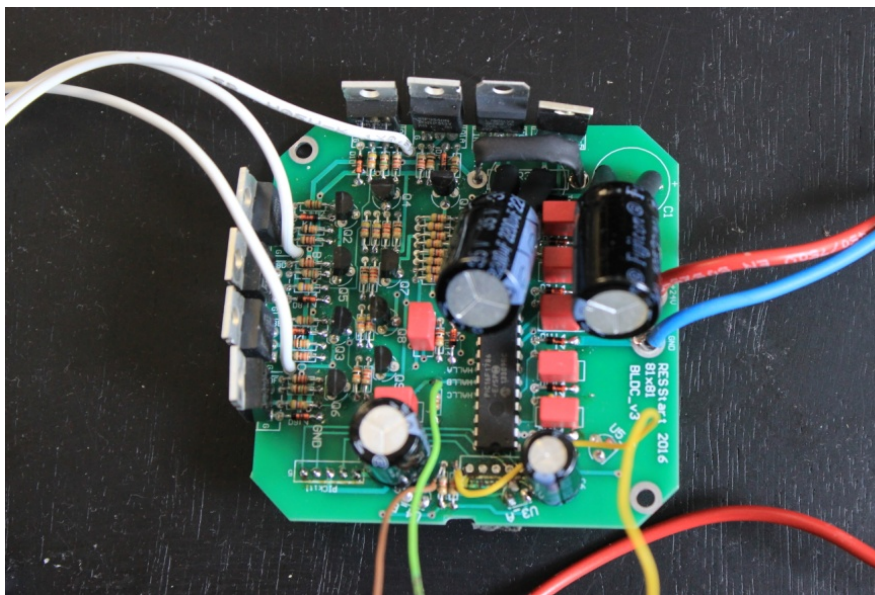
Фиг. 4. Блокова схема на МСУ на ЕЗ на BLDC

На фиг. 5 е показана принципната схема на проектираната и реализирана МСУ на ЕЗ с BLDC и внедрена в ЕТС в Столичен електротранспорт.



Фиг. 5. Принципната схема на МСУ на ЕЗ с BLDC

На фиг.6 е показан общият вид на проектираната платка за управление.



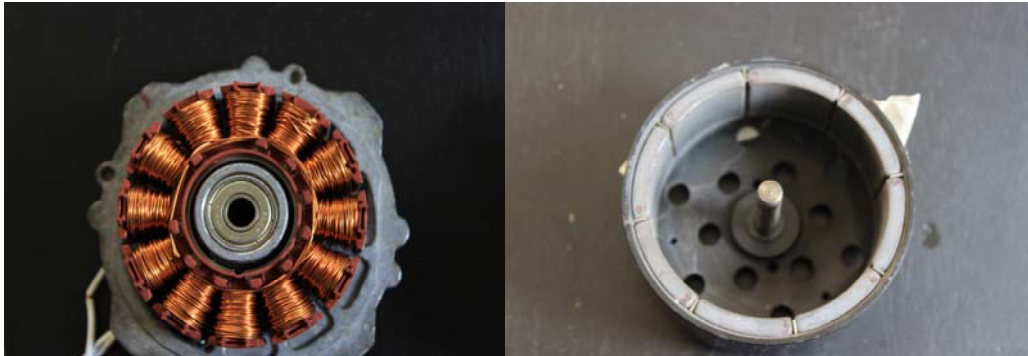
Фиг. 6. Общ вид на изработената платка за управление на ЕЗ за BLDC двигател

Проектираната платка е реализирана с конвенционални елементи за провеждане на изпитания, като те ще бъдат заменени с SMD елементи. Тя се монтира в закупена за целта алуминиева защитна кутия, която изпълнява ролята и на охладител за мощните полски транзистори.

Проектираната МСУ регулира режимите на работа на двигател тип BLDC с максимална мощност 200W и максимална честота на въртене 2750 min^{-1} . Двигателят е многополюсен, 6 полюсен ротор и 4 полюса на всяка фаза на статора. МСУ осигурява плавно регулиране на оборотите на двигателя, който е куплиран към центробежен вентилатор. Това асемблиране на ЕЗ позволява провеждането на широк цикъл от

лабораторни упражнения за изследване на основните параметри и характеристики на МСУ, BLDC и вентилаторната уредба. Трябва да се отбележи, че използваните вентилаторни спомагателни системи в ЕТС в ЖП, градския транспорт и метрополитен са от центробежен тип.

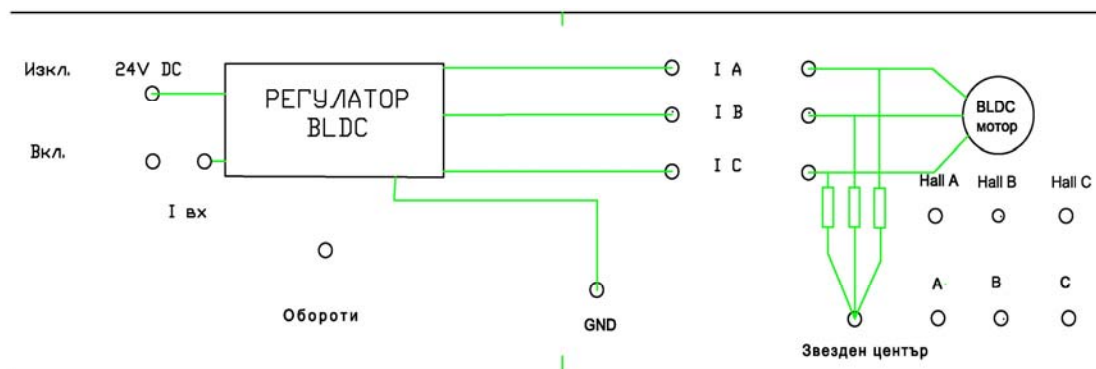
Общият вид на статора и ротора на използвания синхронен двигател е показан на фиг. 7.



Фиг. 7. Общ вид на статора и ротора на използвания BLDC двигател

3. ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗРАБОТВАНЕ НА СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА BLDC

Блоковата схема на проектирания стенд, изчертана на лицевия панел на стенда е показана на фиг. 8. Реализираните ЕЗ и МСУ куплирани към центробежен вентилатор са монтирани в подходяща метална кутия, в която също така са разположени всички електронни компоненти обезпечаващи мощно постоянно токово захранване (DC 24V, $I_T = 20A$) на ЕЗ и неговата защита. На лицев панел посредством подходящи клеми са изведени всички специфични контролни точки на силовото ЕЗ и управлението, както и потенциометър за плавно регулиране на оборотите на двигателя. По-този начин се създава възможност за присъединяване на измервателна техника и провеждане на конкретни изпитания, както и снемане на основни параметри и характеристики на ЕЗ.



Фиг.8. Блоковата схема на проектирания стенд

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитието на енергийната и транспортна техника през последните години е изключително динамично. Нови технологии се прилагат не само в силовото електрообзавеждане на ТЕС, но и в системите за управление и защита. Това изисква промяна в нивото и качеството на подготовка на кадри и определя необходимостта от създаване на квалифицирани специалисти, обучени съобразно специфичните изисквания на пазара на труда. Това изискване може да бъде постигнато само чрез изграждане на съвременна лабораторна база, отговаряща на нивото на техниката днес.

Изследването и анализът на този тип двигател, определя алгоритъма на управление и той може да се модифицира и приложи при по-големи мощности в тяговите електрозадвижвания в зависимост от нивото на техниката към момента.

Актуалността на тази разработка е свързана със създаване на възможности за провеждане на цялостни изследвания в тази актуална и перспективна област на техниката, свързана с ЕЗ от нов тип и възможностите за приложение в ЕТС. Това ще актуализира и разшири възможностите за обучение, ще повиши качеството на подготовка по редица основополагащи дисциплини, ще създаде условия за разширяване на НИРД (научно изследователска и развойна дейност) в областта тяговите ЕЗ и управлението, реализирани с двигатели от типа BLDC.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Straszko. Three-Phase BLDC Sensorless Motor Control Application, Freescale Semiconductor, Inc., Design Reference Manual, Dokument Nomer DRM 144, Rev. 0,02/2014
- [2] Zhao J., Yangwei Y. Brushless DC Motor Fundamentals, July 2011, AN047
- [3] Muhammad Mubeen, "Brushless DC Motor Primer," Motion Tech Trends, July, 2008.
- [4] Петров И. Г. Димитров, Б. Михайлов. Многофакторно електронно регулиране на отоплителните системи в трамвайните мотриси и тролейбуси. VI Научна конференция ЕФ 2014, Созопол, 15.09. – 17.09. 2014 г.
- [5] И. Петров, Г. Димитров, И. Ангелов, М. Вълков. Универсален микропроцесорен регулатор за управление на отоплителни уреди в електрически транспортни средства. Механика, транспорт, комуникации. Том 13, брой 3/3, 2015 г., статия № 1250, стр. X-49 – X-54.

TESTING AND ANALYSIS OF THE CONTROLS OF THREE-PHASE BRUSHLESS DC ENGINES

Lubomir Sekoulov, Georgi Pavlov, Yavor Isaev, Rumen Stoitsev
res_start@abv.bg, g_pavlov61@abv.bg, yavorisaev@gmail.com, rstoitsev@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport – Sofia
158 Geo Milev Str., Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: *brushless synchronous engines, autonomous invertors, sensors, rare-earth magnets, microprocessor control, electric means of transport*

Abstract: *At present, the engines competitive to those of mass production for the electric transport sector are the brushless synchronous engines with permanent rare-earth magnets (BLDC).*

This report presents the design and component assembly of a stand designated to test the key parameters and features of the microprocessor control system (MCS) for the three-phase synchronous BLDC. The system was assembled with contemporary-type control microprocessor and sensors detecting the position of the rotor for attaining maximum effectiveness of control. The designed device underwent experimental testing.