

USE OF BRUSHLESS MOTORS IN TRAINING COURSES⁴

Assist. Prof. Nikolay Valov, PhD

Department of Automatics and Electronics,

“Angel Kanchev” University of Ruse

phone: 082 888 253

e-mail: npvalov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Donka Ivanova, PhD

Department of Automatics and Electronics,

“Angel Kanchev” University of Ruse

phone: 082 888 266

e-mail: divanova@uni-ruse.bg

Abstract: The rotation of the rotor of brushless motors is thanks to fast power electronic components and synthesized pulse sequences of the supply to their windings. They are an illustrative example of the application of pulse-width modulation to drive electric motors. The management of the process is realized by digital devices contributing to the practical implementation of the ideology of Industry 4.0. IoT devices are a dynamically developing segment in digitization, connectivity and access to devices. The offered microcontrollers have functionalities far exceeding the needs for managing the systems. A publication presents all these elements making up a control device for brushless motors and providing an opportunity for students to implement the system themselves.

Keywords: Learning, Brushless DC motor, Microcontroller.

ВЪВЕДЕНИЕ

В световен мащаб има непрекъснато нарастване на цифровите устройства и системи. Самото развитие на цифровата техника е предпоставка за разкриване на нови възможности и технологии. Относително нови изделия, които непрекъснато разширяват своето приложение, са безчетковите или безколекторните електродвигатели. До голяма степен тяхното развитие е благодарение на създадените нови, бързи, температурно щадящи и в същото време за големи стойности на тока електронни комутационни компоненти. В същото време цифровите устройства способстват за прилагането на практика на идеологията за Industry 4.0. IoT устройствата са развиващ се динамичен сегмент в цифровизацията и свързаността и достъпа до устройствата. Предлагащите микроконтролери са с функционалности далеч надхвърлящи нуждите за управление на системите.

В тази връзка е уместно да се представят на студентите новите технологични възможности и да им се предложи относително просто решение, с което да се уверят в своите възможности и да се мотивират за разширяване на своите познания. В публикацията са разгледани достъпни технически решения за изграждане на дистанционно управление на безчетков двигател. От друга страна, за да се реализира управляващата система, на студентите са им необходими познания по различни изучавани дисциплини. Необходими са знания по електротехника, електрически машини, силова електроника, сензорна и микропроцесорна техники или най-общо казано с предложеното решение се онагледяват широк кръг от учебни дисциплини.

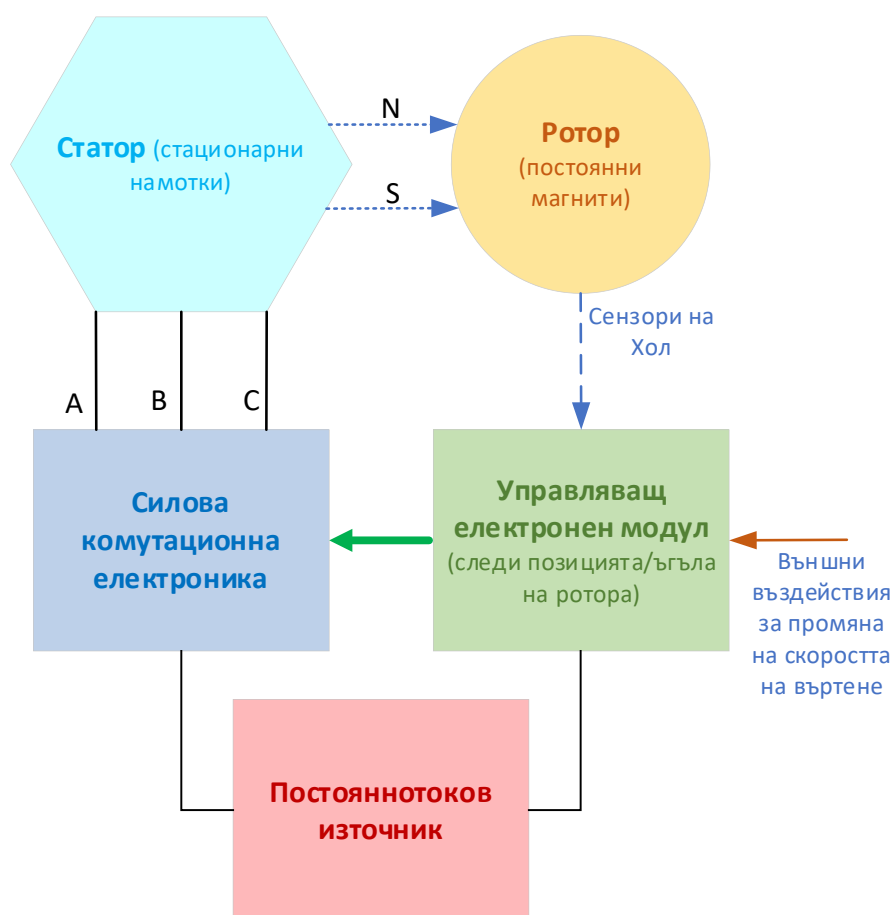
ИЗЛОЖЕНИЕ

Структура на управлението за безчетковите двигатели

⁴ Докладът е представен на 25 октомври 2024 г. в секция „Електротехника, електроника и автоматика“ с оригинално заглавие на български език: УПОТРЕБА НА БЕЗЧЕТКОВИ ДВИГАТЕЛИ В ОБУЧИТЕЛНИ КУРСОВЕ

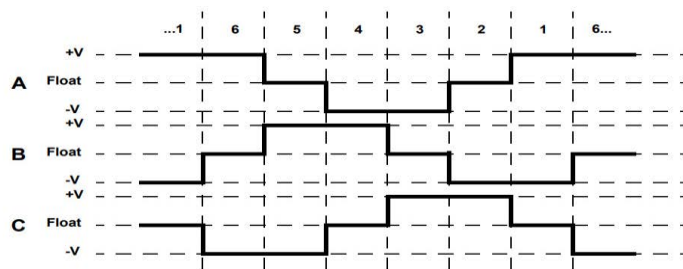
Отличителна черта на безчетковите постояннотоккови двигатели е липсата на колектор, в който се реализира комутация на изводите на котвената намотка на двигателите за постоянен ток. От там се е породило и тяхното наименование безколекторни. И двете понятия - безчеткови и безколекторни се използват в практиката.

Друга особеност при безчетковите двигатели е изпълнението на ротора. Най-често при тях той е реализиран от постоянен магнит, докато при класическите двигатели той е съставен от секциите на котвената намотка. При безчетковите двигатели се комутира тока протичащ през статорните намотки (Meng, Z., & al. 2010). Обикновено статорната намотка има 3 полюса/секции, към които периодично и синхронно се подава захранващото постоянно напрежение. Илюстрация на принципа на работа на безчетковия двигател е показана на Фиг. 1.



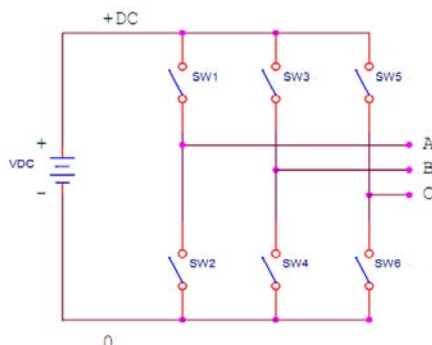
Фиг. 1. Структура на управлението за безчетков двигател

Управляващият електронен модул периодично и в строга последователност подава управляващи импулси към ключовите елементи в силовата комутационна електроника, които подават захранващо напрежение на статорните намотки. Протичащият през статорните намотки ток създава магнитно поле, което завърта/ориентира постоянния магнит на ротора. Формата на импулсните поредици, подавани на статорните намотки, е илюстрирана на Фиг.2. При този тип двигатели няма директен електрически контакт на въртящия се елемент със захранването, т.е. не е необходимо да се използват графитни четки.



Фиг. 2. Шестстъпкова комутация (или трапецовиден сигнал) за управление на безчетков двигател (BLDC мотор)

Безчетковият двигател има 3 извода (3 фази) на статорните намотки А, В и С, на които се подават в различни моменти от времето положителният „+“ или отрицателният „-“ полюс на захранването. Това се реализира с помощта на 6 електронни ключа включени в мостова схема (Фиг.3).



Фиг. 3. Мостова схема за захранване на статорните намотки на безчетков двигател

За правилната работа на двигателя трябва във всяка стъпка на завъртането от 60° да има включен само един ключ от горното рамо на моста и само един ключ от долното рамо (Maradzhiev, I., 2014). Затваряйки (включвайки) ключ SW1 подаваме „+“ на фаза А, като в същото време затваряме и ключ SW4 и подаваме „-“ на фаза В. По този начин токът от батерията ще потече от „+“ през фази А и В и ще се затвори на „-“. Прието е въртеливото движение по часовниковата стрелка да се положително (от ляво на дясно). За движение в обратна посока се разменят полюсите на напрежението подавано на фазите А и В. В този случай се затварят ключове SW3 и SW2 и токът ще протече от „+“ на батерията през В и А и ще се затвори на „-“, или всъщност имаме обратна посока на протичането на тока през намотките В и А.

За промяна на състоянието на ключовете, след изключването на 2 от фазите, трябва да се изчака нужното време за затварянето на ключовете и размагнитването на намотките и чак след това да се включи друга двойка намотки. Това се регистрира с използването на сензори на Хол (Hall) отчитащи намагнитването в намотките (Angeti, J., & al, 2019). Захранването на намотките (изводите на фазите) трябва да е съобразено с положението на постоянния магнит на ротора в двигателя. Управлението на ключовете може да се представи чрез таблица на комутациите, Таблица 1 (Purnalal1, M. & Sunil kumar, T. K. 2015).

Таблица 1 Включвания на ключовете в зависимост от сигналите от сензорите на Хол

Сензори на Хол при намотки			Захранвани намотки	Състояние на ключове					
С, Н3	В, Н2	А, Н1		SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6
1	0	1	A-B	1	0	0	1	0	0
0	0	1	A-C	1	0	0	0	0	1
0	1	1	B-C	0	0	1	0	0	1
0	1	0	B-A	0	1	1	0	0	0
1	1	0	C-A	0	1	0	0	1	0
1	0	0	C-B	0	0	0	1	1	0

Компоненти на управлението за безчетков двигател

Всички тези управляващи вериги се реализират с помощта на т.н. електронен контролер на скоростта (ESC-electronic speed controller) (Фиг.4.а). Тези контролери имат силови изходи, към които се включват статорните намотки на безчетковия двигател (Фиг.4.б) и входове, отчитащи положението на ротора на двигателя чрез сензори на Хол. Те позволяват задаване на скоростта на въртене на ротора чрез широчинно-импулсна модулация, променяна от вграден потенциометър. Предвидени са и възможности за промяна на посоката и скоростта на въртене, както и за управление на електронна спирачка. Тези функционалности могат да се управляват и чрез външни за ESC-контролера въздействия. В случая се използва микроконтролер, на който е инсталиран WEB сървър достъпен дистанционно от всяка точка на Земята с Интернет свързаност.



а)

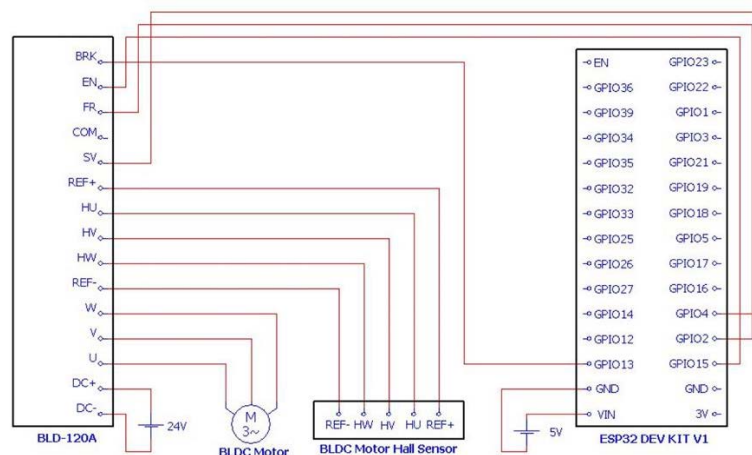


б)

Фиг. 4. Контролер на скоростта и безчетков двигател: а) ESC контролер JKBLD120; б) Безчетков двигател 57BL75S10-230

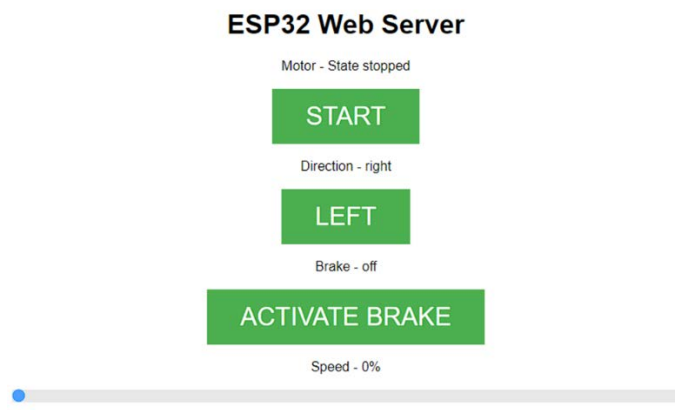
Управлението на контролера на скоростта JKBLD120 се реализира от цифровите изходи на микроконтролера ESP32 DEV KIT v1. За целта са избрани следните цифрови изводи на микроконтролера ESP32 за подаване на управляващи сигнали към входовете на скоростния контролер задвижващ безчетковия двигател, (Фиг.5):

- GPIO13/20 - BRK (задействане на спирачка)
- GPIO15/21 - EN (включване/изключване на движението)
- GPIO2/22 - F/R (определяне на посоката на въртене по часовниковата стрелка/обратно на часовниковата стрелка)
- GPIO4/24 - SV (задание на скорост на въртене)



Фиг. 5. Схема на електрическите съединения

За разработената задвижваща система е разработено и WEB приложение за управление на движението, позволяваща на потребителя да управлява всички функционалности на контролера на скоростта, а именно пускане/спиране, посока напред/назад, задействане на спирачката и скорост на въртене, (Фиг.6).

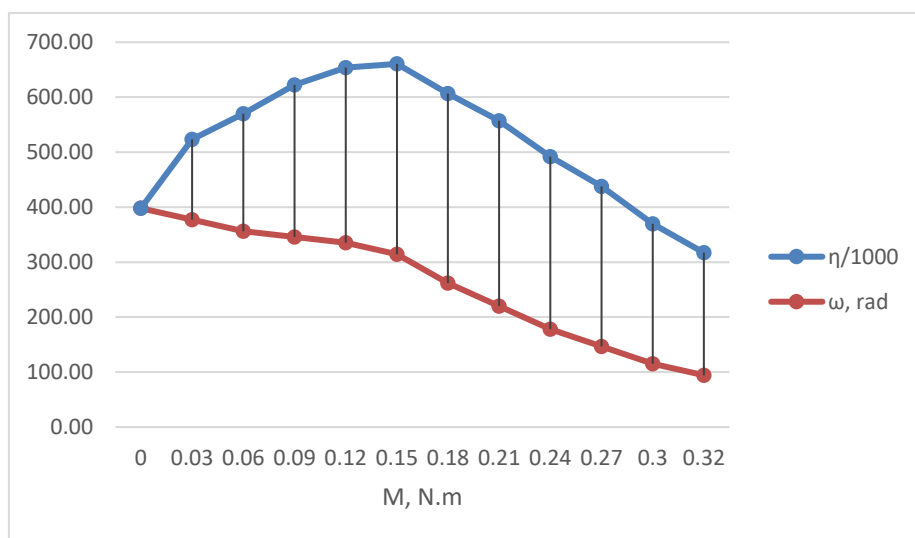


Фиг. 6. WEB интерфейс на приложението за задвижване на BLDC

С проектираната система са проведени изследвания, като обобщени резултати от експериментите са показани в Таблица 2 и на Фиг.7.

Таблица 1 Експериментални резултати от изследване на безчетков двигател 57BL75S10-230

U, V	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
I, A	2,7	3,3	4,1	4,7	5,3	5,7	5,8	5,8	5,8	5,8	5,7	5,7
P, W	65,5	77,3	99,8	112,4	126,2	136	136,7	137	136	135,9	135,7	135,3
n, rpm	3800	3600	3400	3300	3200	3000	2500	2100	1700	1400	1100	900
M, N.m	0	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,3	0,32
Pm, N.m	0,00	11,31	21,36	31,10	40,21	47,12	47,12	46,18	42,72	39,58	34,55	30,16
ω , rad	397,91	376,96	356,02	345,55	335,08	314,14	261,78	219,90	178,01	146,60	115,18	94,24
η	0,00	0,15	0,21	0,28	0,32	0,35	0,34	0,34	0,31	0,29	0,25	0,22
$\eta/1000$	0,00	146,30	214,04	276,69	318,62	346,47	344,70	337,07	314,14	291,25	254,64	222,89



Фиг. 7. Механична характеристика и к.п.д. на безчетков двигател 57BL75S10-230

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектираната система е полезна за провеждане на лабораторни и практически упражнения по дисциплини изучавани в бакалавърския курс на обучение. Тя може да бъде полезна на студентите от специалности Компютърно управление и автоматизация, Електроника, Електроснабдяване и електрообзавеждане и Електроинженерство на Русенски университет „Ангел Кънчев“. Лабораторният макет позволява и разширение и по-нататъшно развитие на системата за управление на задвижването. Синтезирането на различни закони за управление (П, ПИ) ще позволи и оценка на динамичните качества на безчетковия двигател.

С предложеното решение се постига основната цел, а именно достъпност на реализацията и включване на знанията от широк кръг от изучавани дисциплини.

БЛАГОДАРНОСТИ

Докладът отразява резултати от работата по проект No 24-ФЕЕА-05, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

REFERENCES

Angeti, J., Kadalla, A. S., Dubukumah, G., & Zirata, B. K., (2019). Speed Control of BLDC Motor using Fuzzy: Tuned PID Controller. *Communications on Applied Electronics*. 7, 29 (Jun 2019), pp.6-12. DOI: 10.5120/cae2019652825

Maradzhiev, I., (2014). Influence of inverter output filter on torque speed curves of brushless DC motor drive. *Scientific research of the Union of Scientists in Bulgaria-Plovdiv, series C. Technics and Technologies*, Vol. XII., Union of Scientists, ISSN 1311-9419, Session 31 October – 1 November 2014, pp. 144-147. (**Оригинално заглавие:** Мараджиев, И., 2014. Товарни характеристики на безчетков двигател за постоянен ток при наличие на LC филтър в изхода на инвертора. *Научни трудове на Съюза на учените в България–Пловдив Серия В. Техника и технологии, том XII, Съюз на учените сесия 31октомври - 1ноември 2014, стр. 144-147*)

Meng, Z., Chen, R., Sun C. & An, Y. (2010). The mathematical simulation model of brushless DC motor system. *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, Taiyuan, 2010, pp. V12-625-V12-629, doi: 10.1109/ICCASM.2010.5622430.

Purnalal, M. & Sunil kumar, T. K. (2015). Development of mathematical model and speed control of BLDC motor. *International Journal of Electrical and Electronics Engineers (IJEET)*, Volume 07, Issue 01, Jan- June 2015, ISSN(O)-2321-2055.

Description of ESP32-DevKitC, <https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp32-devkitc/overview>