

УДК 629.7

Машковський Р.А.¹, Козлов В.В.²

¹ асп. гр. А-141.14 НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц., доц. кафедри «Електропривод та автоматизація промислових установок» НУ «Запорізька політехніка»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОШИВОК ESC РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ БЕЗКОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ У МУЛЬТИКОПТЕРАХ

Машина, що починається з простих пристроїв, таких як дрилі, а закінчується складним обладнанням, як промислові роботи, всі використовують безколекторні двигуни постійного струму, які перетворюють електричну енергію в обертальний рух.

Безколекторні двигуни постійного струму, які також називають двигунами BLDC, мають багато переваг порівняно з їхніми колекторними аналогами. Вони забезпечують вищу ефективність і потребують меншого обслуговування, саме тому вони замінили колекторні двигуни в багатьох застосуваннях.

Обидва типи двигунів працюють на основі схожого принципу, в якому обертальний рух створюється за допомогою притягання та відштовхування

магнітних полюсів постійних та електромагнітів. Однак, спосіб керування цими двигунами дуже різниться. Безколекторні двигуни постійного струму потребують складного контролера, який також називають ESC, тоді як колекторний двигун можна контролювати, регулюючи постійну напругу.

Для безколекторних двигунів комутація (процес живлення правильних котушок двигуна для створення обертового руху) контролюється електронним способом.

ESC періодично перемикає струм між фазами двигуна відповідно до положення двигуна, щоб забезпечити плавне обертання. Це може керуватися зворотним зв'язком від датчиків усередині двигуна (керування на основі датчиків) або шляхом виявлення зворотної електрорушійної сили (ЕРС) від самого двигуна (керування без датчиків).

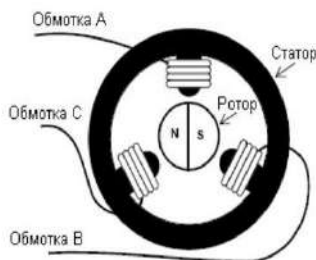


Рисунок 1 - Схема безколекторного двигуна постійного струму

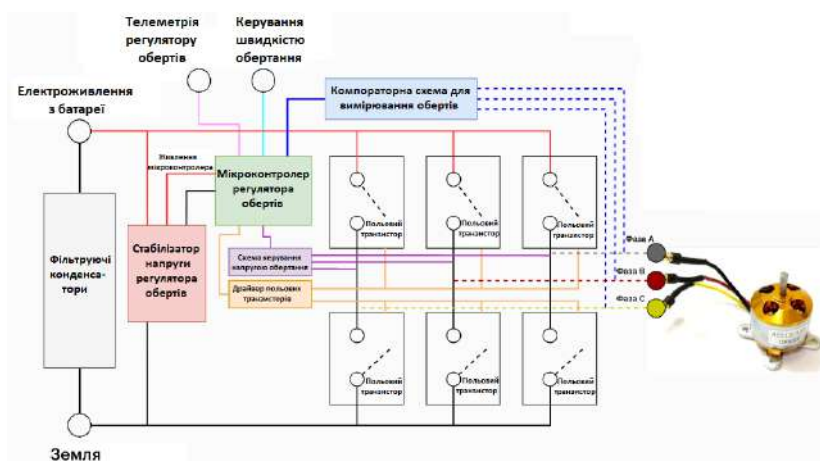


Рисунок 2 – Структурна схема ESC.

Функції ESC:

- ESC служать проміжними пристроями між джерелом живлення (акумулятором або блоком живлення) і двигуном BLDC. Вони регулюють потужність, що подається на двигун, на основі вхідних команд, отриманих від системи керування, наприклад мікроконтролера або пульта дистанційного керування;

- ESC регулюють швидкість двигуна за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ);

- можливість змінювати напрямок обертання двигуна BLDC за допомогою ESC досягається шляхом зміни послідовності комутацій фаз (обмоток) живлення;

- регулюючи струм, ESC можуть змінювати вихідний крутний момент двигуна.

ESC отримують сигнали від системи керування (наприклад, мікроконтролера або пульта дистанційного керування), які визначають бажані робочі стани через різні протоколи зв'язку, які можуть включати аналоговий, ШИМ, послідовні протоколи, такі як UART, або розширені цифрові інтерфейси, такі як шина CAN. Ця гнучкість дозволяє інтегрувати ESC в різні типи архітектур керування, від простих пристроїв з дистанційним керуванням до складних багатомоторних систем, керованих складним програмним забезпеченням.

Нижче перераховані всі протоколи ESC, доступні для мультикоптера, і відповідна їм ширина сигналу - час, необхідний для надсилання одного пакета даних:

- Standard PWM (1000мкс – 2000мкс);
- Oneshot125 (125мкс – 250мкс);
- Oneshot 42 (42мкс – 84мкс);
- Multishot (12.5мкс – 25мкс);
- Dshot150 (106.8мкс);
- Dshot300 (53.4мкс);
- Dshot600 (26.7мкс);
- DShot1200 (13.4мкс);
- ProShot (Dshot через PWM $\rightarrow$ 4біта = 1 імпульс).

Протоколи Oneshot125, Oneshot42 і Multishot є аналоговими сигналами, схожими на стандартний PWM, але набагато швидше. DShot - це новий протокол ESC, що є цифровим сигналом: UART пакет 16 біт.

Програмне забезпечення (прошивка) є важливим компонентом ESC. Прошивка фактично служить мозком ESC, перетворюючи вхідні команди в точні команди керування двигуном і керуючи силовою електронікою, відповідальною за комутацію та продуктивність двигуна:

- функція прошивки в ESC;

- інтерпретація вхідного сигналу;
- комутація двигуна;
- управління широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ);
- обробка зворотного зв'язку;
- захист і діагностика.

В табл.1 наведено порівняльну таблицю прошивок ESC, доступних для мультикоптерів.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця прошивок ESC

	BLHeli	SimonK	BLHeli_S	BLHeli_32	AM32	BlueJay	KISS
Рік виходу	2013	2011	2016	2017	2021	2022	2014
Шина	8-bit	8-bit	8-bit	32-bit	32-bit	8-bit	32-bit
Чіпсет	ATMEL	ATMEL	SILABS BusyBee BB1 & BB2	ARM STM32 F0, F3, L4	ARM STM32 F0, F3, L4	SILABS BusyBee	ARM STM32 F0
Відкритий код	Так	Ні	Так	Ні	Так	Так	Ні
Двонаправ- лений DSHOT	Ні	Ні	Ні	Так	Так	Так	Не відомо
Змінна ШИМ	Ні	Ні	Ні	Так	Так	Так	Не відомо
Активна розробка	Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так	Не відомо

Більшість ESC поставляються із програмним забезпеченням (прошивкою) виробника. Однак такі прошивки не завжди є оптимальними для цього ESC. Часто на ESC встановлюється прошивки з відкритим вихідним кодом SimonK та BLHeli, проте версії цих прошивок є застарілими та підтримують старі протоколи зв'язку польотного контролера та ESC.

Мінусом "рідних" прошивок регуляторів є низька роздільна здатність. Тобто, регулятор весь діапазон обертів проходить, наприклад, за 100 кроків. Кастомні прошивки забезпечують більшу роздільну здатність. Після перепрошивки регулятор втрачає більшу частину своїх функцій. Прошиті регулятори призначені виключно для роботи на мультикоптерах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Introduction to Brushless DC Motor Control. URL: <https://www.mathworks.com/campaigns/offers/next/introduction-to-brushless-dc-motor-control.html>
2. Overview of ESC Firmware and Protocols: How Flight Controllers and ESCs Communicate (2023). URL: <https://oscarliang.com/esc-firmware-protocols/>

3. Alexandr Myasischev (2023). Програмування ESC регуляторів прошивками SimonK і BLHeli через Arduino і польотний контролер. URL: https://www.researchgate.net/publication/332381105_PROGRAMMIROVANIE_ESC_REGULATOROV_PROSIVKAMI_SIMONK_I_BLHELI_CEREZ_ARDUINO_POLETNYJ_KONTROLLER