

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ДВИГУНА ДЛЯ ПРИВОДУ МАЛОПОТУЖНИХ КВАДРОКОПТЕРІВ

**Гайденко Ю.А., к.т.н., доцент, Герасименко Є.О., магістрант**  
*КПІ імені Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки*

**Вступ.** За останні п'ять-десять років в наше життя увійшли багато цікавих і корисних пристроїв які значно розширили можливості людства в багатьох сферах. Одним з таких пристроїв є безпілотний літальний апарат (БПЛА).

За допомогою БПЛА можна вирішувати безліч завдань, як у військовій сфері (розвідка, виконання небезпечних для особового складу завдань, тренування особового складу), так і в цивільній (аерофотозйомка і картографування, оперативне прогнозування і оцінка наслідків надзвичайних ситуацій, моніторинг об'єктів промисловості і природних комплексів, тощо). Крім широкого спектру вирішуваних завдань, БПЛА набагато дешевше пілотованих літальних апаратів, а також є безпечнішими і надійнішими, оскільки виключається людський фактор.

Одним з різновидів БПЛА є квадрокоптери (рис.1). Вони також, як і інші види БПЛА, мають широкий спектр застосування від відеозйомки, фотографування до використання в якості дитячих іграшок.



Рисунок 1 – Квадрокоптер GoPro Karma

При проектуванні таких цікавих апаратів однією з найважливіших проблем є правильний вибір електродвигунів для приводу гвинтів квадрокоптеру. На сьогоднішній день найчастіше зустрічаються наступні види двигунів для приводу квадрокоптера [1, 2]:

- Колекторний двигун постійного струму зі збудженням від постійних магнітів (ДПС з ПМ);
- Безколекторні двигуни – як правило, вентильно реактивні (ВРД).

Кожен з цих двигунів має свої переваги та недоліки, а також свою сферу застосування де він зможе повністю розкрити свій потенціал.

**Мета роботи** – оцінка динамічних характеристик різних видів двигунів для розробки рекомендацій щодо вибору оптимального двигуна для приводу гвинтів малопотужних квадрокоптерів.

**Об'єкт та методи дослідження.** В роботі були досліджені два типи електричних мікродвигунів, а саме: ДПС з ПМ та ВРД.

*Вимоги до двигунів* однакові: номінальна постійна напруга  $U = 12V$ ; номінальна швидкість обертання ротора  $n_2 = 4700 \text{ об/хв}$ ; номінальний момент  $M_{2\text{ном}} = 0,00925 \text{ Нм}$ .

Для визначення динамічних характеристик в програмному середовищі MATLAB-Simulink були розроблені відповідні S-моделі для обох двигунів. Модель враховувала окрім типу і параметрів відповідних двигунів, виду живлення (наприклад, ВРД живиться від спеціального перетворювача), також і вид навантаження, який близький до вентиляторного коли  $M_2 \propto n_2^2$ . На (рис.2) для прикладу зображена S-модель з ВРД.

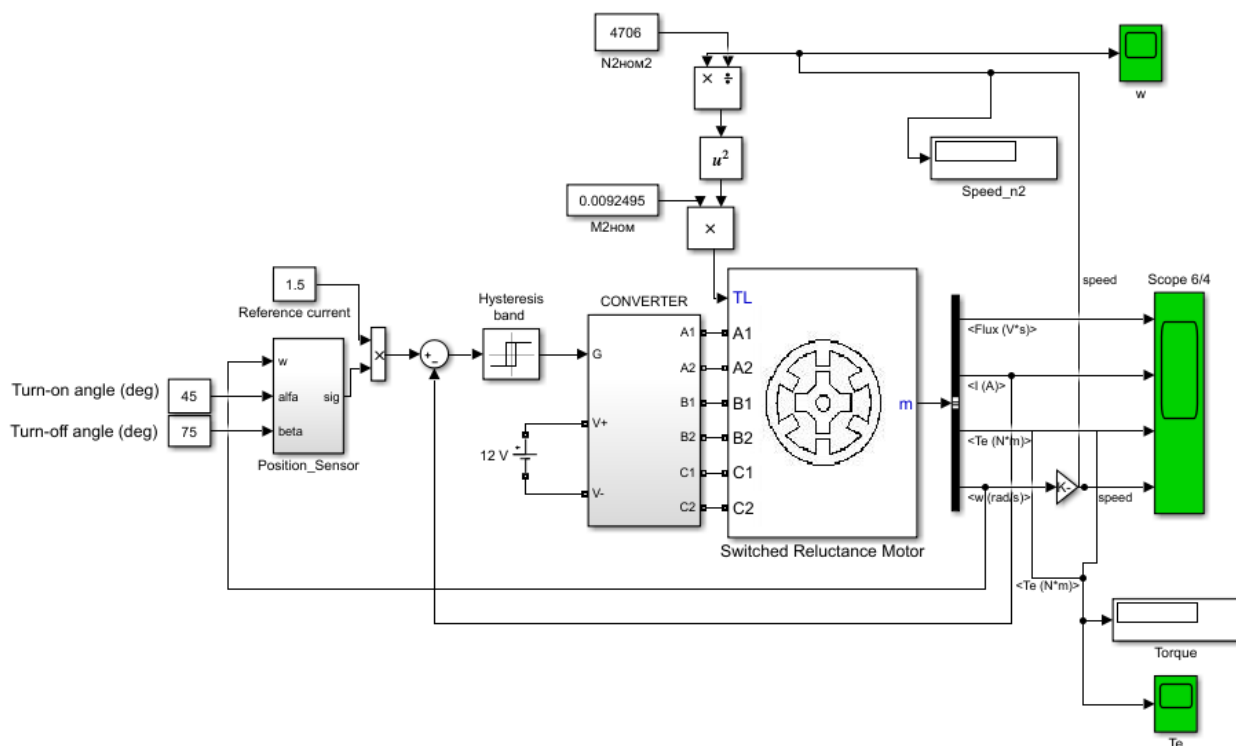


Рисунок 2 – S-модель вентиляного реактивного двигуна для приводу гвинта квадрокоптеру

**Результати та обговорення.** В результаті проведеного моделювання були одержані деякі часові залежності які дають змогу оцінити динамічні властивості кожного з представлених двигунів. Так, на рис.3 представлена часові залежності швидкості обертання ротора після подачі напруги на обмотку якоря (для ДПС з ПМ – червона крива, для ВРД – синя крива). А на рис.4 представлені аналогічні залежності для моменту на валу двигуна.

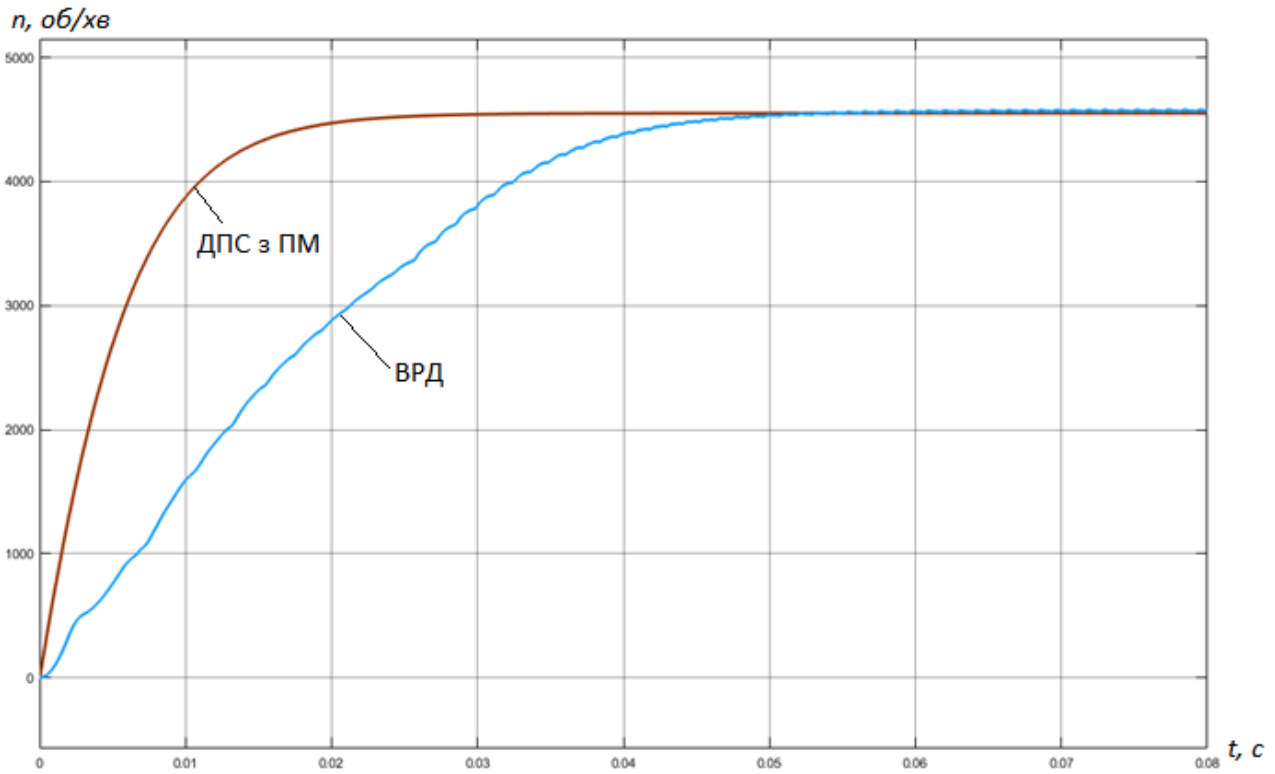


Рисунок 3 – Часові залежності  $n_2 = f(t)$  при пуску

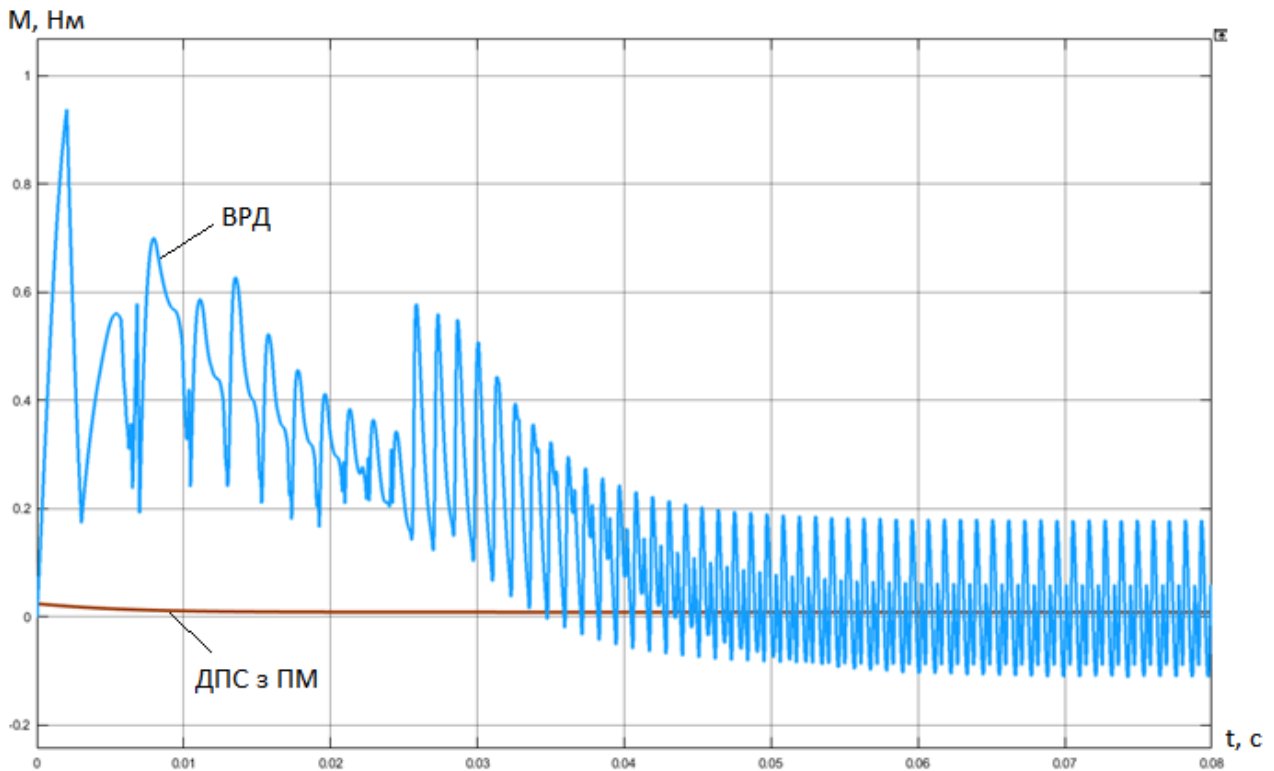


Рисунок 4 – Часові залежності  $M_2 = f(t)$  при пуску

Як видно з представлених часових залежностей, особливо з рис.3, – швидкодія ДПС з ПМ значно більше аніж у ВРД. Так, номінального значення швидкості обертання ротора ДПС з ПМ досягає у 2,5 рази швидше порівняно з

ВРД. Швидкодія грає дуже важливу роль для якісного керування квадрокоптером особливо в умовах поривчастого вітру або необхідності швидкої зміни положення апарату.

Крім того, швидкість вентиляно-реактивного двигуна має деяку пульсаційну складову викликану пульсаціями моменту (рис.4), що є природним для такого типу електродвигунів оскільки переключення фаз обмотки статора відбувається дискретно.

Пульсації електромагнітного моменту ВРД, окрім іншого, підвищують шум та вібрації, що може негативно вплинути на якість відеозйомки з квадрокоптера. В цьому випадку на квадрокоптер потрібно встановлювати додаткове стабілізуюче обладнання, що призведе до збільшення вартості і маси апарата.

Інша ситуація з ДПС з ПМ, де відсутні пульсації як моменту так і швидкості обертання.

Разом з тим, ВРД має і деякі переваги. Так, коефіцієнт корисної дії ВРД більший ніж у ДПС з ПМ (70% проти 46%). Хоча величина ККД і не є дуже важливою для електричних мікромашин якими є представлені двигуни але, все ж, це впливає на швидкість розрядання бортового акумулятора квадрокоптера. Проте головною перевагою ВРД є значно більший діапазон регулювання швидкості обертання ротора, оскільки живиться він від перетворювача частоти який може змінювати її величину в дуже широких межах. В ДПС з ПМ навпроти – в умовах використання постійних магнітів магнітний потік збудження є незмінний, тому регулювання швидкості можливе тільки шляхом зміни напруги якоря, а її можна змінювати в невеликих межах.

**Висновки:** 1) Для правильного вибору двигуна для квадрокоптера потрібно уважно оцінити умови його роботи, вимоги до діапазону регулювання швидкості, маси апарату та його вартості 2) Квадрокоптер з ВРД буде коштувати дорожче ніж аналогічний з використанням ДПС з ПМ, через необхідність застосування перетворювача частоти для живлення ВРД, а також обладнання для стабілізації положення апарату; 3) Якщо ж необхідно забезпечити високу швидкодію апарата, то ДПС з ПМ буде кращим вибором.

#### Перелік посилань

1. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2015. - 312 с.
2. Jinkun Liu, Xinhua Wang. Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems. Beijing: Tsinghua University Press, 2012. - 356 с.
3. Ермолин Н.П. Расчет коллекторных машин малой мощности. Л., «Энергия», 1973, 2016с.