

УДК: 681.3+615.89

Ю. М. Маринич, Ю. М. Гуменюк, Ф. О. Іваха

## **НЕПЕРЕРВНИЙ ЧАСТОТОМІР ДЛЯ ДВИГУНА-МАХОВИКА**

### **Вступ**

Використання двигунів-маховиків (ДМ) в якості виконуючих органів систем кутової орієнтації та стабілізації космічних апаратів залишається найпоширенішим методом керування кутовим рухом супутника. Для побудови високоефективних систем керування до ДМ висуваються жорсткі вимоги по масо-габаритним характеристикам, пропорційності реактивного моменту сигналу керування та мінімізації втрат потужності при перетворенні енергії. Сучасний ДМ включає контур з широтно-імпульсним управлінням ДМ, побудований на мікроконтролері, який забезпечує режим стабілізації частоти обертання і стабілізації реактивного моменту [1]. Контур управління ДМ включає системи компенсації впливу проти ЕРС та моменту тертя на закон керування.

Найбільші похибки відтворення закону керування ДМ мають місце при зміні знаку кутової швидкості ротора, так як в цей момент системи компенсації не зменшують, а навпаки посилюють вплив напруги проти ЕРС і моменту тертя до моменту оновлення інформації кутової швидкості. Перехід через нуль кутової швидкості ротора ДМ супроводжується коливаннями реактивного моменту. Ця проблема найбільш актуальна для ДМ супутників мікро та нано рівня, так як малогабаритність обмежує кількість пар полюсів магнітної системи і відповідно кількість точок оновлення інформації кутової швидкості на оборот.

### **Постановка задачі**

Метою роботи є формування квазінеперервних сигналів кутової швидкості (СКШ) обертання ротора ДМ, побудованого на базі безколекторного двигуна постійного струму (БДПС) з безпазовим статором та з широтно-імпульсним керуванням [1,2,3,4].

### **Формування сигналів кутової швидкості обертання ротора ДМ**

Для керування кутовим рухом мікросупутників використовуються малогабаритні ДМ. Конструкція таких двигунів-маховиків передбачує малу кількість полюсів магнітної системи. Тому при дискретному формуванні сигналів кутової швидкості кількість точок оновлення інформації на оборот ротора мала. Тому на протязі досить великого кута

повороту ротора системи компенсації впливу напруги проти ЕРС і моменту тертя використовують значення кутової швидкості по попередньому виміру частотоміру, що знижує точність виконання закону керування, особливо в області малих моментів.

Схема взаємного розташування елементів конструкції ДМ, побудованого на базі безколекторного трифазного чотирьохполюсного двигуна постійного струму з безпазовим статором представлена на рис. 1.

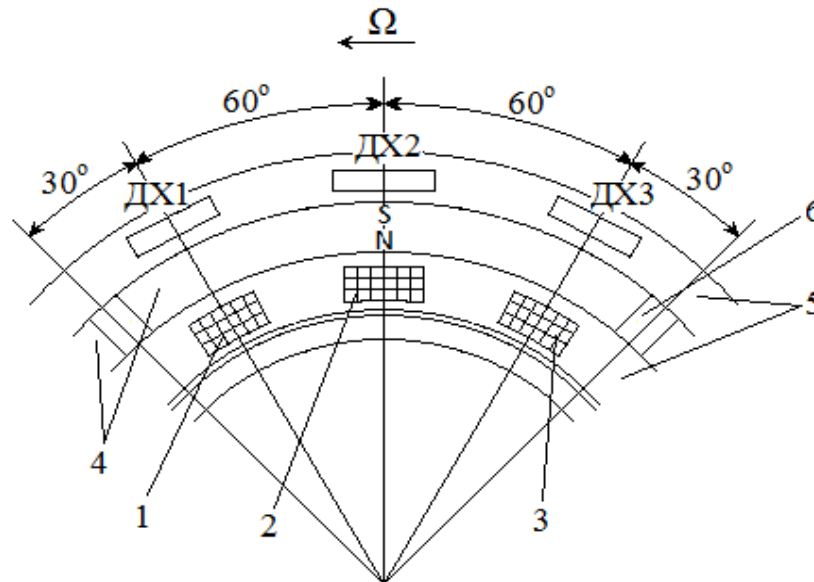


Рис. 1. Сектор чотирьохполюсного трифазного БДПС

Він містить магнітопроводи 5, які обертаються разом з ротором, перетворювачі Холла ДХ1, ДХ2, ДХ3 закріплені на корпусі і зв'язані потоком індукції з радіально намагніченими постійними магнітами 4, розташованими на роторі 6, котушки фаз статора, робочі витки відповідних фаз показані на рис. 1. в розрізі (1 – перша фаза, 2 – друга фаза, 3 – третя фаза),  $\Omega$  – кутова швидкість обертання ротора ДМ.

Сигнали датчиків положення ротора  $U_{дп1}$ ,  $U_{дп2}$ ,  $U_{дп3}$  формуються з потоків розсіювання датчиками Холла і мають вигляд, як показано на рис. 2.  $\dot{\psi}$  – кутова швидкість обертання ротора в розмірності електричних градусів/секунду  $\dot{\psi} = 2\Omega$ .

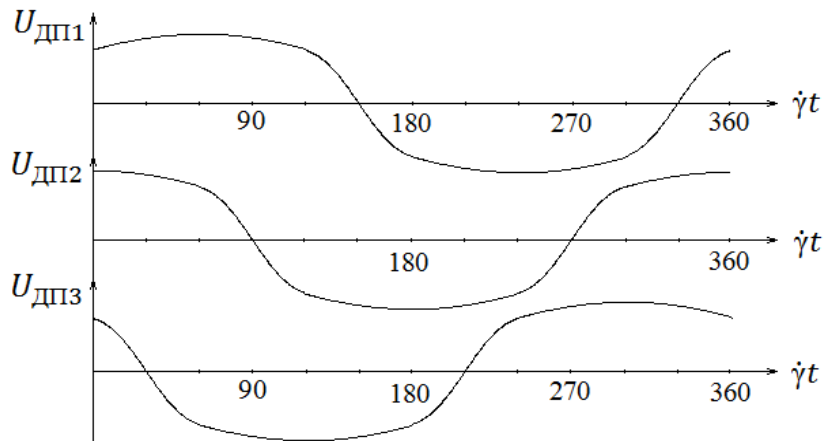


Рис. 2. Епюри сигналів  $U_{дп1}$ ,  $U_{дп2}$ ,  $U_{дп3}$  відповідних датчиків положення ротора ДП1, ДП2, ДП3

При використанні магнітних систем з малою кількістю полюсів (2, 4) сигнали датчиків положення мають форму, яка містить переважно першу та третю гармоніки. Причому, при радіальному намагнічуванні постійних магнітів 4 (рис. 1.) в спектрі сигналів  $U_{дпi}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) вклад високих гармонік зменшується. Отже, основні складові сигналів  $U_{дп1}$ ,  $U_{дп2}$ ,  $U_{дп3}$  аналітично можуть бути представлені у вигляді:

$$\begin{cases} U_{дп1} = U_1 \cos\left(\gamma - \frac{\pi}{3}\right) + U_3 \cos 3\gamma \\ U_{дп2} = U_1 \cos \gamma - U_3 \cos 3\gamma \\ U_{дп3} = U_1 \cos\left(\gamma + \frac{\pi}{3}\right) + U_3 \cos 3\gamma \end{cases}$$

Формування неперервних сигналів кутової швидкості в мікроконтролері пропонується виконувати за алгоритмом, який показано на рис. 3. Позначення, що наведені на рисунку

1, 2, 3 – підсилювачі (для виставки крутизни СКШ та вимірювання амплітуд сигналів  $U_{дпi}$  ( $i = 1, 2, 3$ );

4 – суматор;

5 – пристрій віднімання;

6 – пристрій формування сигналу похідної;

7 – пристрій множення;

8 – пристрій віднімання.

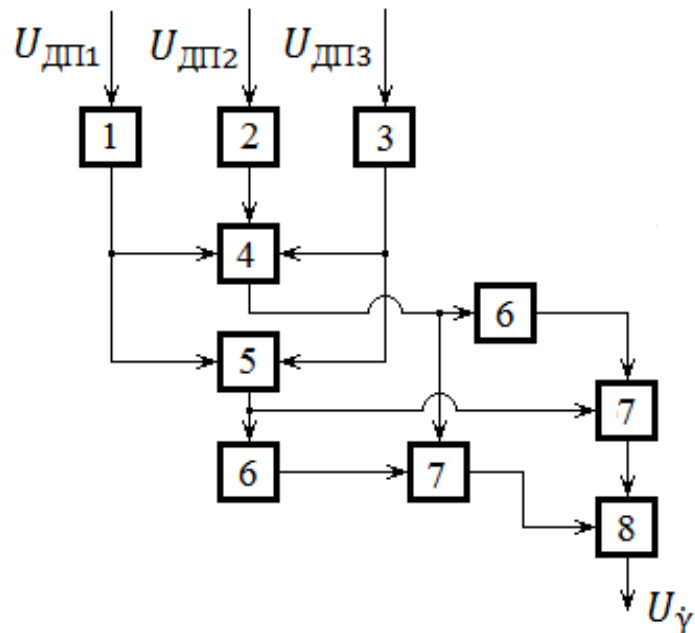


Рис. 3. Схема формування сигналу кутової швидкості ротора ДМ

Аналітично сигнал кутової швидкості має вигляд:

$$U_{\dot{\gamma}} = (U_{\text{дп1}} + 2U_{\text{дп2}} + U_{\text{дп3}})(\dot{U}_{\text{дп1}} - \dot{U}_{\text{дп3}}) - (\dot{U}_{\text{дп1}} + 2\dot{U}_{\text{дп2}} + \dot{U}_{\text{дп3}})(U_{\text{дп1}} - U_{\text{дп3}}).$$

Після обчислення отримаємо СКШ, пропорційний кутовій швидкості обертання ротора ДМ:

$$U_{\dot{\gamma}} = 3\sqrt{3}U_1^2\dot{\gamma} = 6\sqrt{3}U_1^2\Omega$$

Наявність в сигналах датчиків положення  $U_{\text{дп}i}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) п'ятої гармоніки з амплітудою  $U_5$  призводить до появи в СКШ ( $U_{\dot{\gamma}}$ ) складової на частоті  $6\dot{\gamma}$  з амплітудою  $4\frac{U_5}{U_1}$ , яка впливає на точність визначення поточної кутової швидкості ротора і обмежує використання запропонованого підходу до формування СКШ. Використання в ДМ двохполюсної магнітної системи дозволяє отримувати пульсації в СКШ менше 1%.

## Висновки

Розроблений підхід дозволяє з сигналів датчика положення формувати квазінеперервний сигнал кутової швидкості ротора ДМ, побудованого на базі 2-х і 4-х полюсних 3-х фазних безколекторних двигунів постійного струму. Очікувану похибку сигналу кутової швидкості можна визначити при програмному моделюванні чи макетуванні магнітної системи ДМ по присутності гармонік вище третьої в спектрі сигналів датчика положення.

## Список використаної літератури

1. *Маринич Ю. М.* Двигун-маховик для управління кутовим рухом супутника [Текст] / Ю. М. Маринич, О. В. Збруцький // Механіка гіроскопічних систем. – 2011. – № 23. – С. 68–75.
2. Astrosyn International Technology Ltd. Special DC motors [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://astrosyn.com/section.php/3/1/special\\_dc\\_motors/8b2086734e18398b6633c42b1a894fd2](http://astrosyn.com/section.php/3/1/special_dc_motors/8b2086734e18398b6633c42b1a894fd2).
3. Microsat Systems Canada Inc. Development of reaction wheel attitude control systems [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://www.reactionwheel.com/products/index.html>.
4. *Marinich Yu. M.* Motor–hangwheel for satellite angular movement control [Text] / Yu. M. Marinich, A. V. Zbrutskiy // Вісник Черкаського Державного Технологічного Університету. – 2009. – Спецвипуск. – С. 66–68.