

УДК 528.837: 629.783

І. М. Семенчук,
к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки підприємств,
Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв
А. М. Михайловська,
студентка III курсу, Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв

ПЕРСПЕКТИВНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

I. Semenchuk,
PhD in economics, associate professor, Associate professor of business economics,
Petro Mohyla Black Sea State University
A. Mykhailovska,
Third-year student, Petro Mohyla Black Sea State University

PERSPECTIVE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF SPACE APPLIANCES FOR EARTH REMOTE SENSING

Робота присвячена обґрунтуванню можливостей супутникового простору для організації дистанційного зондування землі. У статті обговорюються основні можливості сервісу, що забезпечує сьогодні користувачам не тільки швидкий і зручний доступ до великих обсягів постійно і оперативно оновлюється інформацією, але і досить розвинений інструментарій для її аналізу.

Розглянуто принципи функціонування та побудови нового класу електромеханічних систем на основі індукторних двигунів подвійного живлення, що дозволяють підвищити надійність і якість регулювання сервісних блоків космічних апаратів для дистанційного зондування Землі.

Work to discuss the possibilities of space for satellite remote sensing organizations. The article discusses the main features of the service, which provides users now not only fast and easy access to large amounts of constantly updated information and operational, but is sufficiently developed tools for its analysis.

The principles of operation and construction of a new class of electromechanical systems based on dual power inductor engines that improve the reliability and quality of service regulation blocks spacecraft for remote sensing.

Ключові слова: космічний апарат, дистанційне зондування Землі, електромеханічна система, індукторний двигун подвійного живлення.

Key words: spacecraft, remote sensing, electromechanical systems, dual power inductor motor.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Однією з найважливіших проблем сьогодення на державному рівні в умовах розвитку ринкової економіки є нераціональне використання та охорона земель, що значною мірою по-

в'язане з відсутністю моніторингу земель, тобто комплексною системою спостережень, оцінкою і прогнозуванням стану змін земельних ресурсів загалом. Зазначена проблема вирішуються за допомогою дистанційного зондуван-

ня землі (ДЗЗ), що у свою чергу розглядається через призму перспективи використання електромеханічних систем космічних апаратів.

АНАЛІЗ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Проблеми розвитку дистанційного зондування Землі займалися такі видатні вчені, як В.В. Асмус, Р. Вудс, Р. Гонсалес, В.К. Злобін, Є.О. Лупян, А.Г. Орлов, А.М. Овчинников, М.О. Попов, У. Претт, В.А. Соїфер, С.А. Станкевич та ін. Їх наукові дослідження є основою розв'язання поставлених завдань.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз електромеханічних систем космічних апаратів, які підвищують якість результатів дистанційного зондування землі для розробки рекомендацій щодо моніторингу земель.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У наш час для дистанційного зондування Землі має велике значення вдосконалення систем космічних апаратів. Всі космічні апарати (КА) містять електромеханічні системи (ЕМС), що забезпечують їх нормальне функціонування в автоматичному режимі: системи повороту антени, системи повороту сонячних батарей, системи позиціонування апаратури. До таких систем пропонуються особливі вимоги до точності позиціонування, тобто сукупність радіоелектронних засобів, що дозволяє визначити положення та швидкість руху об'єкта на поверхні Землі або в атмосфері, обертання з малими швидкостями та надійності, бо стоїть завдання збільшення терміну активного існування (САС) КА більше 12 років.

Нині для таких ЕМС використовуються, як правило, синхронні двигуни з постійними магнітами (СДПМ) або індуктивні двигуни (ІД) також називають синхронними двигунами з електромеханічної редукцією (СДЭР). Найбільш вдалим рішенням є використання ІД, так як при цьому можна істотно зменшити розміри механічного редуктора, що збільшує точність, надійність і САС КА. Ще більш перспективними є ІД спеціальної конструкції, звані індуктивними двигунами подвійного живлення (ІДДП). Їх використання може повністю виключити механічний редуктор, забезпечити реалізацію будь-яких законів управління, істотно підвищити точність і надійність ЕМС. Але в даний час ще недостатньо розвинені способи управління ЕМС з ІДДП, які істотно відрізняються від

способів управління звичайними двигунами змінного струму [1, с. 120—124].

Тепер розглянемо основний принцип роботи ЕМС з ІДДП для КА. Особливістю ІДДП є наявність двох багатофазних обмоток на статорі, кожна з яких живиться електричною напругою від власного джерела. Обмотки включені таким чином, що кутова швидкість виявляється дорівнює різниці частот живлячих напруг:

$$\omega_r = \frac{\omega_1 - \omega_2}{Z_r}$$

де ω_r — кутова частота валу двигуна;
 ω_1, ω_2 — кутові частоти першого і другого живлячих напруг;

Z_r — коефіцієнт електромагнітної редукції.

Можливість вибору близьких частот живлячих напруг дозволяє легко забезпечувати як завгодно малі швидкості, аж до так званого синхронного стояння, що дуже корисно при реалізації різних законів управління, але неможливо забезпечити в інших двигунах. Коефіцієнт електромагнітної редукції (зазвичай дорівнює 10...100) додатково зменшує кутову швидкість, а також збільшує момент ІДДП. Все це і дозволяє позбутися від механічного редуктора — одного з самих ненадійних пристроїв КА [1, с. 117—118].

У науково-навчальній лабораторії систем автоматизованого проектування (ННЛ САПР) СФУ створена експериментальна установка з двома примірниками ІДДП різної потужності для розробки та вивчення ЕМС нового типу. Колективом лабораторії розроблені нові способи управління, які забезпечують різноманітні функціональні можливості ЕМС з ІДДП у відповідності з вимогами до відповідних агрегатів КА. Нині готуються до захисту кілька дисертацій, в яких розглядаються різні аспекти проектування таких ЕМС. При створенні ЕМС з будь-якими двигунами виділяють два види організації ЕМС: способи управління та принципи побудови системи управління. Спосіб управління являє собою спосіб впливу на двигун з метою регулювання його швидкості, кута повороту або моменту. У кожного типу двигунів — свій набір можливих способів управління. Стосовно до ІДДП виділяють такі способи управління, характерні також для інших двигунів змінного струму: амплітудний (змінюються амплітуди живлячих напруг), частотний (змінюються частоти живлячої напруги) і фазний (змінюються поточні фазові зрушення живлячих напруг). Але оскільки у ІДДП є

дві багатофазні обмотки і дві багатофазні живлячі напруги, то можлива зміна параметрів як будь-якого одного, так і обох напруг одночасно. В останньому випадку можуть змінюватися як однакові параметри (наприклад, частоти обох напруг), так і різні (наприклад, частота однієї напруги і амплітуда іншого).

Таким чином, у звичайних двигунах "одинарного" живлення є 3 базових способи управління (або 7 комбінацій при спільному зміні декількох параметрів: частота, амплітуда, фаза, частота-амплітуда, фаза-амплітуда, частота-фаза, частота-амплітуда-фаза). У двигунах "подвійного" харчування існує 6 базових способів управління (частота, амплітуда, фаза двох живлячих напруг), а також велика кількість комбінацій з урахуванням різноманітного поєднання цих змінних параметрів. Все це, з одного боку, робить ІДДП самим функціональним типом двигунів, що дозволяє забезпечити будь-які необхідні режими роботи (в порівнянні із звичайними двигунами), а з іншого боку суттєво ускладнює проектування ЕМС на його основі через великого розмаїття можливих варіантів технічних рішень. Але ці "труднощі", насправді, надають проектувальнику майже необмежені можливості отримання ЕМС будь-якого необхідного типу — як існуючих, так поки ще і не реалізованих шляхом обмежень, наявних для звичайних двигунів [2, с. 143—150].

За кордоном в даний час розробки ЕМС з ІДДП не ведуться. Провідні компанії світу (наприклад, Siemens, General Electric і ін) випускають ІД "одинарного" живлення і розробляють ЕМС на їх основі. Тому ведуться в СФУ розробки нового класу ЕМС є оригінальними.

Розглянемо основні способи управління ІДДП для КА. Всі способи управління ІДДП можна класифікувати по різним критеріям:

- 1) по фізичній сутності змінюваних параметрів — частотне, амплітудне і фазне;
- 2) по сполучуваності змінюваних параметрів частотно-амплітудне, частотно-фазне, фазну-амплітудне, частотно-фазну-амплітудне;
- 3) з точки зору роздільності управління по обмотках — зміна параметрів тільки однієї обмотки або обох обмоток одночасно;
- 4) за критерієм спрямованості зміни — збільшення або зменшення змінюваного параметра [2, с. 180].

У двигунах "одинарного" живлення спосіб управління однозначно пов'язаний з регульованими параметрами. Наприклад, кутова

швидкість двигуна прямо пропорційна частоті живлячої напруги. Тому, щоб кожному значенню необхідної швидкості однозначно відповідало значення частоти живлячої напруги.

У двигуна подвійного живлення можливостей більше: одну і ту ж швидкість можна забезпечити 6 способами:

- 1) змінювати частоту тільки першої живлячої напруги;
- 2) змінювати частоту тільки другої живлячої напруги;
- 3) збільшувати обидві частоти таким чином, щоб їх різниця відповідала необхідній швидкості двигуна;
- 4) зменшувати обидві частоти таким чином, щоб їх різниця відповідала необхідній швидкості двигуна;
- 5) збільшувати частоту першого живлячої напруги і зменшувати частоту другого;
- 6) зменшувати частоту першого живлячої напруги і збільшувати частоту другого [3]. Також можна змінювати амплітуди і фазовий зрушення обох живлячих напруг.

При "подвійному" харчуванні можна забезпечити роботу двигуна в кроковому режимі, тобто повертати його вал на потрібний кут. Звичайні двигуни є двигунами обертального типу — при подачі на них напруги вони починають обертатися. Щоб забезпечити поворот на потрібний кут (що характерно для апаратури КА), потрібна установка спеціального датчика кутового положення і складна система управління. У ІДДП за рахунок його конструкції можна відпрацьовувати потрібні кути повороту більш простими способами — з допомогою фазного управління. Але зміна фаз також можливе 6 способами — в залежності від того, які фазові зрушення змінюються. Для регулювання моменту двигуна використовується амплітудне управління — воно також може бути реалізовано 6 способами. Таким чином, формально можливо $6 \times 6 \times 6 = 216$ способів управління. Стосовно для кожного пристрою можна вибрати декілька. При цьому можна вирішувати не тільки завдання забезпечення функціонування, а також завдання оптимізації — через великого числа додаткових можливостей одночасного впливу на інші параметри ЕМС: на коефіцієнт корисної дії, встановлену модність джерела живлення та ін. Всі можливості управління ІДДП потребує вивчення, щоб розробники мали можливість обґрунтованого вибору способу управління [4, с. 16].

Важливу роль відіграють також принципи побудови ЕМС з ІДДП для КА. Під принципа-

ми побудови ЕМС розуміється її структура з урахуванням наступних факторів:

— регульованих координат (системи позиціонування, слідкуючі системи по куту або по швидкості, системи стабілізації кута або швидкості);

— основний і (можливо) додаткових цілей регулювання (зазвичай це мінімізація помилки регулювання, втрат, часу регулювання тощо);

— обмежень по елементній базі (припустимість чи неприпустимість датчиків, лінійного або нелінійного закону регулювання та ін).

— обраного способу управління ІДДП і, відповідно йому, джерела електроживлення;

Нині розглядається ряд способів управління і можливих для них принципів побудови ЕМС, серед яких перспективними представляються спосіб квазишагового фазного управління, за якого відсутня необхідність зворотного зв'язку по куту повороту, а також спосіб оптимального частотного управління у разі одночасної зміни обох частот живлячих напруг з використанням датчиків зворотного зв'язку по куту повороту. Для цих способів створено комплекс математичних моделей ІДДП, що включає різні варіанти алгебро-диференціальних рівнянь:

— повна нелінійна модель з системою диференціальних рівнянь в рамках класичної теорії електричних машин з невеликими модифікаціями;

— дві спрощені нелінійні моделі з допущенням про несуттєвих електромагнітних [5, с. 83].

ВИСНОВОК

Розробки ЕМС з ІДДП можуть використовуватися в КА для дистанційного зондування Землі. Для цього розробляються не тільки нові структури ЕМС і способи управління ІДДП, а також математичне забезпечення для їх автоматизованого проектування. Реалізоване у відповідних модулях програм MathCAD та Matlab, воно трансформується в методичне забезпечення. Нині ведуться роботи по ув'язці результатів проектування ЕМС і конструкторського проектування електродвигуна в різних програмах: КОМПАС, SoliaWorks та ін. Це спростить подальше впровадження розроблюваного нового класу ЕМС на підприємствах космічної галузі. Усі ці кроки призведуть до спрощеного процесу зондування землі, аналізу земної поверхні, швидкої обробки матеріалу та лаконічного його використання, тим самим вплине на раціональне використання земель в різних сферах діяльності.

Література:

1. Душна М.П. Проблеми оцінювання соціо-еколого-економічної збалансованості розвитку / М.П. Душна, І.П. Соловій // "Економіка природокористування і охорони довкілля". — 2010. — С. 115—124.

2. Смирнов Л.Е. Аэрокосмические методы географических исследований. — Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1975. — 303 с.

3. Річні звіти Державного космічного агентства України за 2013, 2014 рр. — Режим доступу: <http://space.com.ua/nsau/catalognew.nsf/mainU/46BC117B7408F718C22579A00052878B?OpenDocument&Lang=U>

4. Національне космічне агентство. Україна і космос / Національне космічне агентство України, 2010, Вид-во: "СпейсІнформ". Дизайн. 16 с.

5. Лялько В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д., Левчик О.І. Державна установа "Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук Національної академії наук України" (до 20-річчя заснування) / Космічна наука і технологія. — 2012. — № 3. — С. 83—88.

References:

1. Dushna, M.P. and Solovij, I. P. (2010), "Problems of evaluation of socioecological and economically sustainable development", *Ekonomika pryrodokorystuvannia i okhorony dovkillia*, pp. 115—124.

2. Smirnov, L.E. (2005), *Ajerokosmicheskie metody geograficheskikh issledovanij [Aerospace methods of geographical research]*, Izdatel'stvo Sankt-Peterburgskogo universiteta, St. Petersburg, Russia.

3. State Space Agency National of Ukraine (2017), "State Space Agency of Ukraine Annual Report 2013, 2014", available at: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalognew.nsf/mainU/46BC117B7408F718C22579A00052878B?OpenDocument&Lang=U> (Accessed 24 March 2017).

4. State Space Agency National of Ukraine (2017), "Space Agency of Ukraine Annual Report 2010", available at: http://www.nkau.gov.ua/pdf/NSAU_report_2010.pdf (Accessed 24 March 2017).

5. Lyalko, V.I. Popov, M.O. Fedorovskyi, O.D. and Levchik, O. I. (2012), "The State Organization "Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine" (To the 20th anniversary of the foundation)" *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*, vol. 18, no. 3, pp. 83—88.

Стаття надійшла до редакції 19.05.2017 р.