

## Изследване на системи за автоматично управление на ориентацията на орбитални станции

*Хр. Ж. Петев*

*Институт „Електрон“, Плевен*

Дълговременните обитасми орбитални станции (ДООС) в съчетание с автоматични космически лаборатории и обсерватории позволяват да се усъвършенстват космическите изследвания и да се осигури непрекъснато и редовно получаване на научна информация и практически данни. Това позволява да се провеждат сложни научно-технически и медико-биологични експерименти, както и изпращане на експедиции в далечния Космос.

Продължителният срок на съществуване на ДООС на орбита поставя изключително високи изисквания към апаратурата на системата за управление на станцията, към нейната ориентация и стабилизация и към други автоматизирани бордови системи. Особено тежки изисквания се поставят и към разхода на енергия, необходима за управление на ъгловото положение и корекция на орбитата.

Задачите за управление на ДООС и процесите на сближаване и стикване пораждаат много нови теоретични проблеми, изискват повишаване на ефективността и точността на методите за разчет и синтез на системи за управление. Основен критерий се явява минимизирането на разхода на енергия или гориво при запазване на зададени параметри на движението като ъгли и ъглови скорости.

Едно от възможните решения е използването на пасивни системи за стабилизация, притежаващи голяма простота и надеждност, които в настоящия момент са добре познати и изучени. Характерно за този вид системи е, че те не са в състояние да осигурят необходимата точност при триосна стабилизация и притежават твърде ниско бързодействие.

Перспективно решение е използването на моментен магнетопривод, създаващ независимо управление на ъгловото движение по два канала. Осигуряването на триосна стабилизация изисква допълнително използване на маховик при полет по полярна орбита или гравитационна система при полет по екваториална орбита.

Съгласно с [1] предавателната функция по сигнала на управлението има вида

$$(1) \quad W(p) = \frac{\omega_1^2}{p^2 + 2d_1 \omega_1 p + \omega_1^2}$$

Системата за управление може да се запише във вида

$$(2) \quad \begin{aligned} \frac{d\chi_1}{dt} &= \chi_2, \\ \frac{d\chi_2}{dt} &= -a_2 \chi_2 - a_1 \chi_1 - b u \chi_1, \end{aligned}$$

където  $a_1 = \omega_1^2$ ,  $a_2 = 2d_1 \omega_1$  и  $b = \omega_1^2$ .

Ще разгледаме синтеза на системата за управление в класа на линейните и нелинейните системи от вида на системите с променлива структура, характеризирани със с настъпване на режим на хлъзгане във финалния стадий на преходния процес. Управляващото въздействие ще има следния вид:  
— за линейна система

$$(3) \quad u_1 = \alpha;$$

— за система с променлива структура [2]

$$(4) \quad u_2 = \begin{cases} \alpha & \text{за } \chi_1 \rho_{хл} > 0, \\ \beta & \text{за } \chi_1 \rho_{хл} < 0, \end{cases}$$

където  $\alpha > 0$  и  $\beta < 0$ ;

— за система с променлива структура с минимално преместване на изпълнителния механизъм [3, 4]

$$(5) \quad u_3 = \begin{cases} \alpha & \text{за } \chi_1 \rho_{инд} > 0 \text{ и } \chi_1 \rho_{хл} > 0, \\ \beta_1 & \text{за } \chi_1 \rho_{инд} < 0 \text{ и } \chi_1 \rho_{хл} > 0, \\ \beta_2 & \text{за } \chi_1 \rho_{инд} < 0, \end{cases}$$

където  $\alpha > 0 > \beta_1 > \beta_2$ ,  $C_{хл} > C_{инд} > 0$ ,  $\rho_{хл} = \chi_2 + C_{хл} \chi_1$ ,  $\rho_{инд} = \chi_2 + C_{инд} \chi_1$ .

Характерно за системите с променлива структура е, че движението в режим на хлъзгане се реализира върху хиперповърхнината, която се описва с уравнение от  $(n-1)$  ред, наречена хиперповърхнина на хлъзгане. В разглеждания случай тя е от първи ред, поради което преходният процес е апериодичен. Уравнението  $\rho_{инд} = 0$  осигурява попадането на изображаващата точка в сектор, където е възможно възникване на режим на хлъзгане във фазовото пространство, около която точка трябва да се организира насрещно движение на фазовите траектории. Съотношенията, които осигуряват устойчивост на система с управление  $u_1$  и условията за попадане, възникване и устойчивост на режима на хлъзгане, са получени в [2, 3]:

$$(6) \quad \alpha > 0 > \frac{-C_{инд}^2 + C_{инд} a_2 - a_1}{b} > \beta_1,$$

$$(7) \quad \beta_1 > \frac{-C_{хл}^2 + C_{хл} a_2 - a_1}{b},$$

$$(8) \quad \beta = \beta_2 < \frac{-C_{хл}^2 + C_{хл} a_2 - a_1}{b}.$$

Ако се възползваме от квазирелейния запис на управленията  $u_2$  и  $u_3$  в режим на хлъзгане съгласно [2], се получава

$$(9) \quad u_2 = -\frac{\alpha + \beta}{2} \chi_1 + \frac{\alpha - \beta}{2} |\chi_1| \operatorname{sign} \rho_{\text{хл}}$$

и

$$(10) \quad u_3 = -\frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \chi_1 + \frac{\beta_1 - \beta_2}{2} |\chi_1| \operatorname{sign} \rho_{\text{хл}}$$

От тези уравнения, като се вземат под внимание знаците на коефициентите, се стига до извода, че за управление  $u_2$  комутируемата съставка по знака на  $\rho_{\text{хл}}$  е по-голяма по стойност от некомутируемата, а при  $u_3$  е обратно. Това се дължи на факта, че при първия случай режимът на хлъзгане е съпроводен с качествено изменение на структурата от устойчива (устойчив фокус или възел и седло) в неустойчива, докато при  $u_3$  некомутируемата съставка е по-голяма от комутируемата, защото режимът на хлъзгане се реализира между две неустойчиви структури (седла), но с различни параметри. Установените зависимости водят до повишена шумозащитност на управление  $u_3$  спрямо  $u_2$  [4, 5], което може да се оцени със съотношението между некомутируемите съставки

$$(11) \quad K = \frac{|\beta_1| + |\beta_2|}{|\alpha| - |\beta|}$$

Бързодействието на система за управление, работеща в режим на хлъзгане, е винаги по-голямо от това на съответната линейна система. Това се дължи на факта, че бързодействието на системата се определя от най-малкия отрицателен корен на характеристичното уравнение, а при система с променлива структура отрицателният корен винаги е по-голям от този при линейна система, защото имаме и един положителен корен. Корени на системата (2) са:

-- за управление  $u_1$

$$(12) \quad \lambda_{1,2} = -\frac{a_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_2}{2}\right)^2 - (a_1 + b\alpha)}, \quad \lambda_{1,2} = -0,5 \pm j 3,278;$$

-- за управление  $u_2$

$$(13) \quad \lambda_{1,2} = -\frac{a_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_2}{2}\right)^2 - (a_1 + b\beta)}, \quad \lambda_{1,2} = -3,7; 2,7;$$

-- за управление  $u_3$

$$(14) \quad \lambda_{1,2} = -\frac{a_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_2}{2}\right)^2 - (a_1 + b\beta_2)}, \quad \lambda_{1,2} = -3,7; 2,7.$$

От синтеза на динамична система с коефициенти  $a_1 = a_2 = b = 1$  за управленията  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  бяха получени следните стойности:

$$(15) \quad u_1 = \alpha - 10,$$

$$(16) \quad u_2 = \begin{cases} \alpha = 10 \\ \beta = -9 \end{cases} \text{ за } C_{\text{хл}} = 3,5,$$

$$(17) \quad u_3 = \begin{cases} \alpha = 10 \\ \beta_1 = -6 \\ \beta_2 = -9 \end{cases} \text{ за } \begin{cases} C_{\text{мид}} = 3,2 \\ C_{\text{хл}} = 3,5 \end{cases}.$$

От получените отрицателни корени на характеристичните уравнения се вижда, че бързодействието на система, работеща в режим на хлъзгане, е около 7 пъти по-високо от това на линейна система със същото управляващо въздействие. При отчитане на извода от [1], че силата на тока в моментния магнитопривод е пропорционална на квадрата на коефициента пред отклонението, се вижда, че системите, работещи в режим на хлъзгане, създават нови възможности за икономия на електроенергия. Това означава, че система с променлива структура със същото бързодействие като линейната (3) ще консумира около 49 пъти по-малко ток за магнитопривода.

Най-икономично с управление  $u_3$ , което притежава по-голяма некомутируема съставка от  $u_2$  и съответно по-голямо еквивалентно управление в режим на хлъзгане съгласно даденото определение от Уткин [6]. Една приблизителна оценка на отношението на еквивалентните управления в режим на хлъзгане може да се даде с отношението на некомутируемите съставки в режим на хлъзгане (11) като в случая  $K=15$ .

В заключение може да се направят следните изводи:

1. Системите за управление на ДООС, реализирани въз основа на режимите на хлъзгане, са перспективен клас системи за управление. Те се характеризират с висока точност, бързодействие и шумозащитеност.

2. Режимите на хлъзгане са инвариантни спрямо смущения и вариации на магнитното поле на Земята [8].

3. Системите с променлива структура се характеризират със сравнително проста реализация и малък разход на енергийни ресурси в сравнение с аналогичните, проектирани като линейни. Те са с опростена конструкция в сравнение с активните системи за управление, по-точни и по-бързодействащи от пасивните системи за стабилизация на ДООС [7].

## Л и т е р а т у р а

1. Боднер, В. А. Системы управления летательными аппаратами. М., Машиностроение, 1973.
2. Емельянов, С. В., Теория систем с переменной структурой. М., Наука, 1970.
3. Петев, Хр. Ж. Относно един метод на организиране на режим на хлъзгане в САУ с променлива структура. — Тех. мисъл, 1980, № 5.
4. Петев, Хр. Ж. Относно устойчивостта на свободните движения в СПС с минимално преместване на ИМ. — Тех. мисъл, 1981, № 2.
5. Петев, Хр. Ж. Изследване на един клас СПС при случайни смущения. — В: ЮНС на ВНВВУ „Г. Бенковски“ — май 1980.
6. Уткин, В. И. Скользящие режимы и их применение в СПС. М., Наука, 1974.
7. Петев, Хр. Ж. Системы автоматического управления ориентацией КЛА. — В: Тр. международной конференции „Проблемы комплексных систем управления 85“ — Варна, октомври 1985.
8. Петев, Хр. Ж. Синтез инвариантной системы управления судном по курсу. — В: XIII семинар на БИГС, Варна, 1984.



# A system for orbital stations automatic orientation control

Cr. Zh. Petev

(Summary)

Systems for orientation control with the help of instantaneous magnetic actuator with three control algorithms are discussed. The first algorithm is characteristic for a constant structure linear control system representing a fixed focus or unit. For the control of the second algorithm a sliding mode between two constant structures differing qualitatively is organized, i. e., focus or unit and saddle. The third control algorithm provides a sliding mode with minimum control effect change and sliding is realised between two unstable qualitatively similar structures — saddles.

In conclusion an assessment of the operation rate and energy consumption of the algorithms is given.