

## ПРИЛАДИ. РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 62-50

В.Л. Баранов, д.т.н., проф.  
В/ч А0735Б.В. Молодецький, ад'юнкт  
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університетуО.Л. Поляков, к.т.н.  
Центр контролю космічного простору НЦУВ КЗ, м. ЄвпаторіяМЕТОДИКА СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНОГО СИГНАЛУ  
ШИМ-УПРАВЛІННЯ СИЛОВИМ СЛІДКУВАЛЬНИМ ПРИВОДОМ

*Запропонована методика синтезу сигналу ШИМ-управління двигуном постійного струму побудована на визначенні допоміжного аналогового сигналу управління. В статті розглядається процес програмного наведення антенної системи у ході проведення сеансу зв'язку з низькоорбітальним космічним апаратом (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).*

**Вступ.** Розвиток обчислювальної техніки призвів до її широкого використання в системах автоматичного управління (САУ). На такі електронно-обчислювальні машини (ЕОМ) покладаються функції цифрового регулятора автоматичної або автоматизованої системи керування виконавчим пристроєм. Для виконавчих пристроїв великої потужності та неелектричного типу передбачається використання проміжного підсилювача або перетворювача сигналу управління для його подачі на об'єкт управління. Для виконавчих пристроїв електричного типу малої потужності ЕОМ здатна безпосередньо подавати сигнал управління на об'єкт керування.

Використання ЕОМ в контурі управління дозволяє набути високих динамічних показників роботи САУ, підвищити точність та швидкодію, покращити показники надійності та надає можливість оперативної зміни програми функціонування.

**Аналіз стану проблеми.** Система автоматичного керування з ЕОМ дозволяє реалізувати всі відомі види САУ. Найпоширенішими з них є системи стабілізації та програмні системи автоматичного регулювання. Типова структурна схема цифрового силового слідкувального приводу (ССП) зображена на рис. 1.

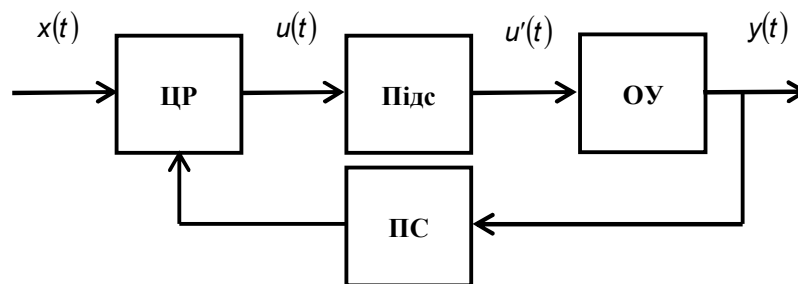


Рис. 1.

Структурна схема ССП при термінальному управлінні

Відповідно до структурної схеми на вхід цифрового регулятора (ЦР) надходить розраховані цілевказівки космічного апарата у вигляді функції  $x(t)$ . Для відпрацювання визначених цілевказівок у ньому розраховується сигнал управління  $u(t)$ . Потім через підсилювач (Підс) він подається на об'єкт управління (ОУ), який формує вихідний сигнал  $y(t)$  у вигляді кутового переміщення антенної системи станції прийому інформації ДЗЗ. Аналіз якості функціонування відбувається в ЦР, який враховує поточне значення вихідного сигналу  $y(t)$  при визначенні сигналу управління, перетворене до необхідного виду перетворювачем сигналу (ПС).

Представлена на рис. 1 структурна схема САУ може бути використана як основа при проведенні модернізації опорно-поворотного пристрою станції прийому інформації ДЗЗ високого розрізнення. Загальнодержавними космічними програмами України передбачається проведення робіт з модернізації існуючих радіотехнічних засобів. Розглядаючи космічну систему ДЗЗ високої розрізненості, а саме

наземні станції прийому інформації, слід відмітити зростання вимог до точності супроводження космічного апарата (КА) під час проведення сеансу зв'язку. Це пов'язано з високою швидкістю передачі інформації по радіоканалу «БОРТ-ЗЕМЛЯ», яка складає сотні Мбіт за секунду. Це, в свою чергу, призводить до використання радіосигналу в С та Х діапазоні частот. В такому випадку змінюється допустима помилка супроводження КА. Залежність допустимої помилки супроводження  $\Delta$  від діаметра дзеркальної антени  $D$  представлена на рис. 2. Невиконання вимог точності призведе до значних втрат корисної інформації та зниження якості знімків ДЗЗ.

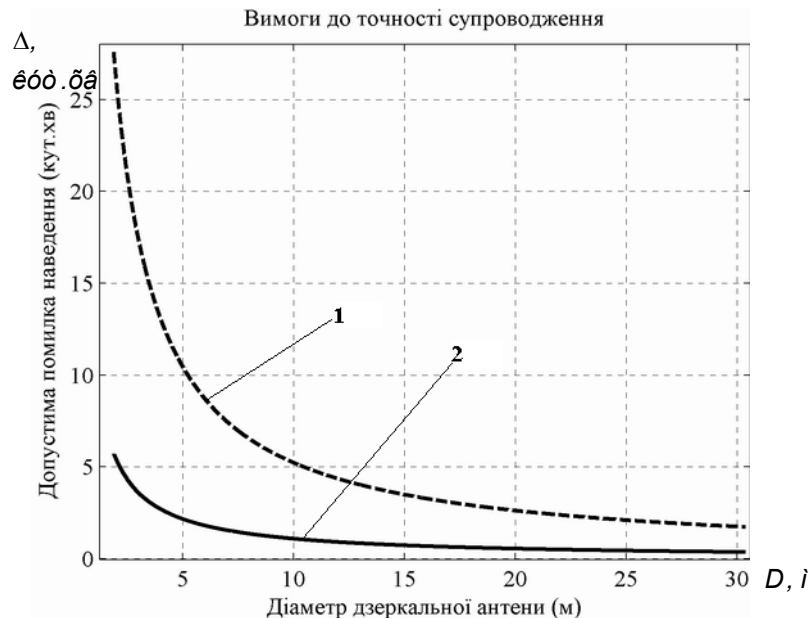


Рис. 2. Вимоги до точності супроводження КА:  
1 – в С-діапазоні частот; 2 – в Х-діапазоні частот

Приступаючи до проведення модернізації силового слідкувального приводу (ССП) доцільно врахувати можливість реалізації на базі ЕОМ цифрового регулятора. Це дозволить покращити показники якості функціонування цифрового ССП станції прийому інформації ДЗЗ порівняно з аналоговим.

**Аналіз останніх досліджень.** Питанням дослідження динаміки дискретних систем з амплітудо-імпульсною модуляцією сигналу управління присвячені роботи професора В.І. Гостева. Автором розглядається синтез цифрових систем оптимальних за швидкодією та якістю перехідних процесів [1]. Показано можливість математичного апарату  $Z$ -перетворень проводити аналіз і синтез цифрових автоматичних систем із заданими показниками точності. Але більшість робіт побудовано на математичному апараті  $Z$ -перетворень обмежені системами з амплітудо-імпульсно модульованим сигналом управління виконавчим пристроєм. В свою чергу, підвищення потужності таких систем обмежене розвитком лінійних потужних підсилювачів.

Питання управління об'єктами другого порядку досліджуються в роботі [2]. Автором розглядається процес синтезу сигналу ШІМ-управління на основі допоміжних функцій переключення. Запропонований підхід потребує значних витрат машинного часу на ітераційний пошук сигналу управління, що, в свою чергу, ускладнює їх практичну реалізацію.

Процес термінального управління процесом виводу ракети-носія розглядається в роботі [3]. В ній запропоновано метод синтезу законів управління, побудований на диференціальних перетвореннях математичної моделі об'єкта управління, в якості якого виступає двигун ракети.

Методика синтезу сигналу управління двигуном постійного струму розглядалась в роботі [4]. В ній показано можливість синтезу сигналу управління за допомогою диференціальних перетворень моделі об'єкта другого порядку, який забезпечує задані показники точності та швидкодії САУ.

**Формулювання завдання досліджень.** Розглядається програмне наведення антенної системи (АС) протягом проведення сеансу зв'язку за заздалегідь розрахованими координатами КА  $x(t)$ . Як об'єкт управління виступає двигун постійного струму, який описується диференціальним рівнянням другого порядку (1):

$$\begin{cases} \frac{dy(t)}{dt} = \omega(t) \\ \frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{1}{J} * [Cm * i(t) - Mc], \\ i(t) = \frac{1}{R} * [u(t) - Cw * \omega(t)] \end{cases} \quad (1)$$

де  $u(t)$  – сигнал управління  $[B]$ ,  $Cw = k_{\phi} * \hat{O} \left[ \frac{B * c}{\partial \hat{a} \hat{a}} \right]$ ;

$k_{\phi}$  – конструктивний коефіцієнт двигуна постійного струму  $\left[ \frac{B * c}{\partial \hat{a} \hat{a} * \hat{A} \hat{a}} \right]$ ;

$\hat{O}$  – магнітний потік збудження  $[\hat{A} \hat{a}]$ ;

$R$  – активний опір обмоток якоря  $[\hat{i}]$ ;

$i(t)$  – струм якоря  $[\hat{A}]$ ;

$Cm$  – постійна двигуна за моментом  $\left[ \frac{\hat{i} * \hat{i}}{\hat{A}} \right]$ ;

$J$  – момент інерції, перерахований до вала двигуна  $[\hat{e} \hat{a} * \hat{i}^2]$ ;

$Mc$  – момент сухого тертя  $[\hat{i} * \hat{i}]$ ;

$y(t)$ ,  $\omega(t)$  – кутове положення та кутова швидкість вала двигуна  $[\partial \hat{a} \hat{a}]$ ,  $\left[ \frac{\partial \hat{a} \hat{a}}{\hat{n}} \right]$ .

Задача супроводження КА подається як термінальна шляхом поділу розрахованої траєкторії  $x(t)$  на інтервали управління  $T$  (рис. 3). Для кожного інтервалу розраховувати сигнал ШІМ-управління як функцію поточного стану  $\vec{Y}'_0$ , термінальної координати  $\vec{Y}_H^s$  та величини кроку управління  $H_l$ :

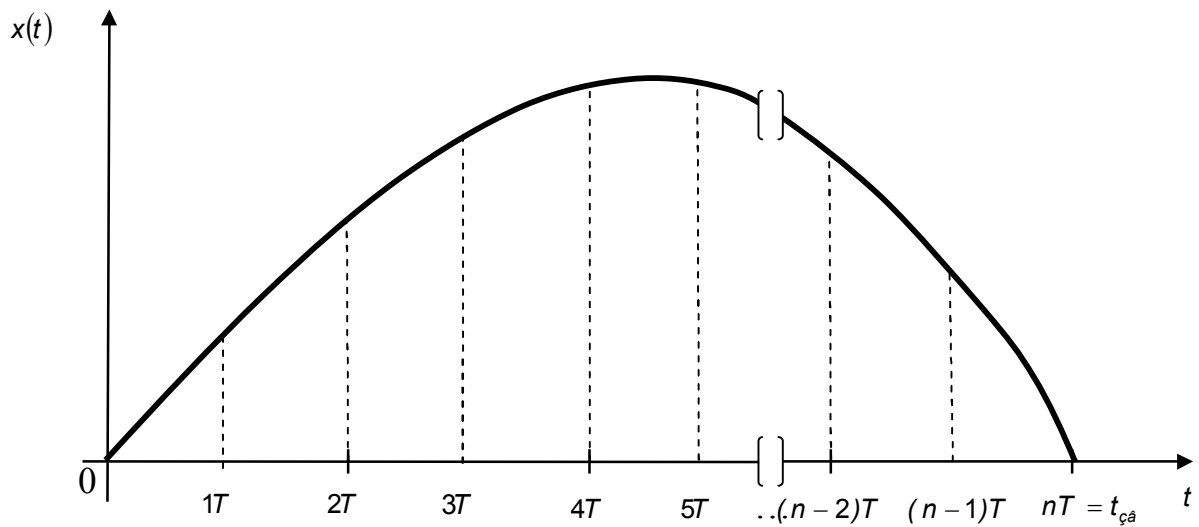


Рис. 3. Термінальне управління при супроводженні КА

$$V_{\phi^i} = [\vec{Y}'_0, \vec{Y}_H^s, H_l], \quad \begin{matrix} s \in [0, n], \\ l \in [0, m], \\ m \in [0, M], \end{matrix}$$

де  $M$  – задана кількість під інтервалів ШІМ;

$$\vec{Y}_H^s = \begin{pmatrix} x(sT) \\ x'(sT) \end{pmatrix}.$$

**Викладення основного матеріалу.** Розглянемо роботу цифрового регулятора, в якості якого функціонує ЕОМ (рис. 1) на довільному  $s$ -тому інтервалі. З рис. 4 видно, що кожний інтервал ділиться на  $M$  підінтервалів роботи ЦР. На кожному такому підінтервалі цифровим регулятором проводиться розрахунок сигналу ШІМ-управління  $V_{ШИМ}^{nm}$  (2) з врахуванням максимального значення управляючої напруги  $E_{max}$ , яка може бути подана на об'єкт управління.

$$V_{ШИМ}^{nm} = \begin{cases} E_{max} * \text{sign} \left( \frac{u_l(H_l) - u_l(0)}{2} \right), \\ T_i = \frac{H_l}{E_{max}} * \left( \frac{u_l(H_l) - u_l(0)}{2} \right), \end{cases} \quad (2)$$

де  $u(t)$  – допоміжний неперервний сигнал управління,  $t \in [0..H_l]$ ;

$H_l$  – поточна величина підінтервалу управління;

$T_i$  – тривалість сигналу управління на підінтервалі  $H_l$ .

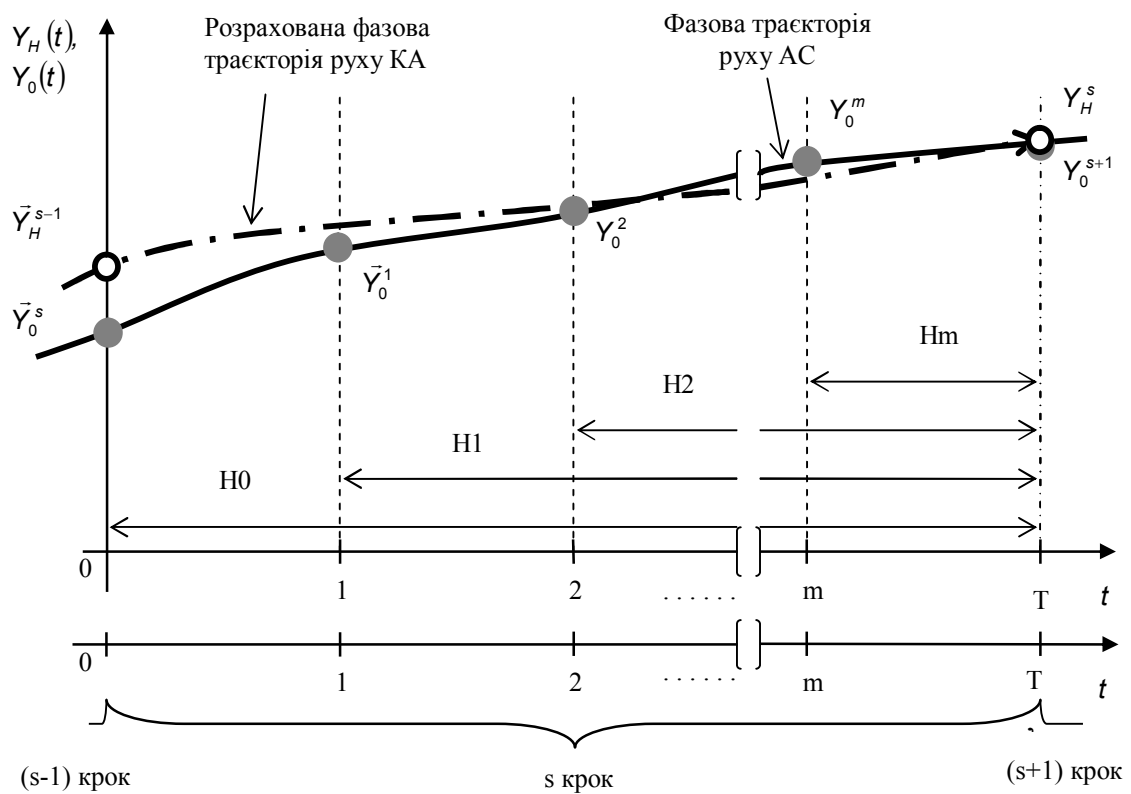


Рис. 4. Формування сигналу управління на термінальному інтервалі  $H$

У виразі (2) допоміжний сигнал  $u(t)$  має вигляд (3):

$$u(t) = u_0 + u_1 t + u_2 t^2, \quad t \in [0..H_l]. \quad (3)$$

Він являє собою неперервний термінальний сигнал управління, який оптимізує функціонал якості вигляду(4):

$$\Phi = \int_0^H i^2(t) dt. \quad (4)$$

Особливість методики полягає в тому, що для кожного підінтервалу  $m \in [0, M]$  ЦР проводить повторний розрахунок коефіцієнтів  $u_0, u_1, u_2$  і сигналу ШІМ (2). Основним завданням, яке ставиться перед ССП, є переведення ОПШ АС із поточного стану  $\bar{Y}_0^l$  у фазову координату  $\bar{Y}_H^s$  за фіксований час  $H_l$ :

$$H_i = T * (1 - \frac{l}{m}). \tag{5}$$

Побудуємо модель двигуна постійного струму в області диференційних спектрів  $X(k)$  цілочислового аргументу  $k$ . Для цього застосуємо перетворення виду:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[ \frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0}, \quad k=0, 1, 2, \dots, N, \tag{6}$$

де  $H$  – масштабна змінна, в нашому випадку величина термінального підінтервалу;

$x(t)$  – неперервна функція в області оригіналів;

$X(k)$  – компоненти дискретного диференціального спектра (функція  $x(t)$  в області зображень).

Для визначення диференціальної моделі двигуна постійного струму, описаного системою диференціальних рівнянь (1), скористаємося перетворенням (6) та властивістю похідної  $\dot{A}$  в області зображень (7) [6, 7]:

$$DX(k) = \frac{k+1}{H} X(k+1), \tag{7}$$

$$0 \leq k \leq n.$$

Застосувавши диференціальні перетворення (6) та властивість (7) до виразу (1), отримаємо модель ДПС в області зображень:

$$\begin{cases} I(k) = \frac{1}{R} * [U(k) - Cw * W(k)], \\ W(k+1) = \frac{H}{(k+1) * J} * [Cm * I(k) - \delta(k) * Mc], \\ Y(k+1) = \frac{H}{(k+1)} * W(k), \end{cases} \tag{8}$$

де  $U(k)$  – зображення допоміжного сигналу управління  $u(t)$  у вигляді диференціального спектра;

$I(k)$  – зображення струму якоря  $i(t)$ ;

$$\delta(k) = \begin{cases} 1, k = 0 \\ 0, k > 0 \end{cases} \text{ – теда-функція [6, 7];}$$

$Y(k)$ ,  $W(k)$  – зображення залежності кутового положення  $y(t)$  та кутової швидкості  $\omega(t)$  вала двигуна в області диференційних спектрів.

Записана система алгебраїчних рівнянь (8) являє собою модель ДПС в області зображень [6].

На основі виразу (3) визначимо диференціальний спектр управляючого сигналу  $U(k)$ . Отримаємо:

$$\begin{aligned} U(0) &= u_0, \\ U(1) &= u_1 H, \\ U(2) &= u_2 H^2, \\ U(k \geq 3) &= 0. \end{aligned} \tag{9}$$

За рекурентними виразами (8) з урахуванням поточного стану  $\vec{Y}_0 = [y_0, \omega_0]^T$  та нехтуючи моментом сухого тертя  $Mc = 0$ , знайдемо диференціальні спектри току в колі якоря двигуна постійного струму:

$$\begin{aligned}
 I(0) &= \frac{1}{R} (u_0 - \omega_0 Cw), \\
 I(1) &= \frac{1}{R} \left( u_1 H - \frac{HCmCw}{JR} [u_0 - \omega_0 Cw] \right), \\
 I(2) &= \frac{1}{R} \left( u_2 H^2 - \frac{HCmCw}{2JR} \left[ u_1 H - \frac{HCmCw}{JR} (u_0 - \omega_0 Cw) \right] \right);
 \end{aligned} \tag{10}$$

кутової швидкості:

$$\begin{aligned}
 W(0) &= \omega_0, \\
 W(1) &= \frac{HCm}{RJ} (u_0 - \omega_0 Cw), \\
 W(2) &= \frac{HCm}{2RJ} \left( u_1 H - \frac{HCmCw}{RJ} [u_0 - \omega_0 Cw] \right), \\
 W(3) &= \frac{HCm}{3RJ} \left( u_2 H^2 - \frac{HCmCw}{2RJ} \left[ u_1 H - \frac{HCmCw}{RJ} (u_0 - \omega_0 Cw) \right] \right);
 \end{aligned} \tag{11}$$

та кутового положення:

$$\begin{aligned}
 Y(0) &= y_0, \\
 Y(1) &= \omega_0 H, \\
 Y(2) &= \frac{H^2 Cm}{2RJ} (u_0 - \omega_0 Cw), \\
 Y(3) &= \frac{H^2 Cm}{6RJ} \left( u_1 H - \frac{HCmCw}{RJ} [u_0 - \omega_0 Cw] \right), \\
 Y(4) &= \frac{H^2 Cm}{12RJ} \left( u_2 H^2 - \frac{HCmCw}{2RJ} \left[ u_1 H - \frac{HCmCw}{RJ} (u_0 - \omega_0 Cw) \right] \right).
 \end{aligned} \tag{12}$$

Функціонал якості (4) для двох дискрет току (10) в області зображень перетворюється у функцію невідомих величин  $u_0, u_1, u_2$  і має вигляд [6]:

$$\Phi = \sum_{k=0}^1 \frac{H}{k+1} \sum_{l=0}^k I(k-l) * I(l). \tag{13}$$

Для визначення невідомих величин  $u_0, u_1$  та  $u_2$  неперервного управління  $u(t)$  (3) складемо систему алгебраїчних рівнянь. Перші два рівняння отримаємо, використавши властивість суми дискрет диференціального спектра та кінцеві термінальні умови  $\vec{Y}_H = (y_H, \omega_H)^T$ :

$$\begin{aligned}
 Y(0) + Y(1) + Y(2) + Y(3) + Y(4) &= y_H, \\
 W(0) + W(1) + W(2) + W(3) &= \omega_H.
 \end{aligned} \tag{14}$$

Третім рівнянням системи буде необхідна умова мінімуму функціоналу якості  $\Phi$  (13) за нульовою дискретою  $u_0$ :

$$\frac{\partial}{\partial u_0} \left( \sum_{k=0}^1 \frac{H}{k+1} \sum_{l=0}^k I(k-l) * I(l) \right) = 0. \tag{15}$$

Розкривши вирази (14) та (15), запишемо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases}
 y_0 - y_H + \omega_0 a1 + u_0 a2 + u_1 a3 + u_2 a4 = 0, \\
 \omega_0 a5 + u_0 a6 + u_1 a7 + u_2 a8 - \omega_H = 0, \\
 -\omega_0 a9 + u_0 a10 + u_1 \frac{H}{2} = 0,
 \end{cases} \tag{16}$$

де

$$\begin{aligned}
 a_1 &= H - \frac{H^2 C_m C_w}{2RJ} + \frac{H^3 C_m^2 C_w^2}{6J^2 R^2} - \frac{H^4 C_m^3 C_w^3}{24J^3 R^3}, \\
 a_2 &= \frac{H^2 C_m}{2RJ} - \frac{H^3 C_m^2 C_w}{6J^2 R^2} + \frac{H^4 C_m^3 C_w^2}{24J^3 R^3}, \\
 a_3 &= \frac{H^3 C_m}{6RJ} - \frac{H^4 C_m^2 C_w}{24J^2 R^2}, \\
 a_4 &= \frac{H^4 C_m}{12RJ}, \\
 a_5 &= 1 - \frac{H C_m C_w}{RJ} + \frac{H^2 C_m^2 C_w^2}{2R^2 J^2} - \frac{H^3 C_m^3 C_w^3}{6R^3 J^3}, \\
 a_6 &= \frac{H C_m}{RJ} - \frac{H^2 C_m^2 C_w}{2J^2 R^2} + \frac{H^3 C_m^3 C_w^2}{6J^3 R^3}, \\
 a_7 &= \frac{H^2 C_m}{2RJ} - \frac{H^3 C_m^2 C_w}{6J^2 R^2}, \\
 a_8 &= \frac{H^3 C_m}{3RJ}, \\
 a_9 &= C_w - \frac{H C_m C_w^2}{RJ}, \\
 a_{10} &= 1 - \frac{H C_m C_w}{RJ}.
 \end{aligned}$$

Розв'яжемо систему (16) методом виключення Гауса. Для цього помножимо друге рівняння системи на  $-\frac{H}{4}$  і складемо перше та друге рівняння. В результаті отримаємо:

$$\begin{cases}
 y_0 - y_H + \omega_0 b_1 + u_0 b_2 + u_1 b_3 + \omega_H \frac{H}{4} = 0, \\
 -\omega_0 a_9 + u_0 a_{10} + u_1 \frac{H}{2} = 0,
 \end{cases} \quad (17)$$

де

$$\begin{aligned}
 b_1 &= \frac{3H}{4} - \frac{H^2 C_m C_w}{4RJ} + \frac{H^3 C_m^2 C_w^2}{24J^2 R^2}, \\
 b_2 &= \frac{H^2 C_m}{4RJ} - \frac{H^3 C_m^2 C_w}{24J^2 R^2}, \\
 b_3 &= \frac{H^3 C_m}{24RJ}, \\
 a_9 &= C_w - \frac{H C_m C_w^2}{RJ}, \\
 a_{10} &= 1 - \frac{H C_m C_w}{RJ}.
 \end{aligned}$$

З другого рівняння системи (17) виразимо значення коефіцієнта  $u_1$ . Отримаємо:

$$u_1 = -\frac{2}{H} \left( 1 - \frac{H C_m C_w}{RJ} \right) (u_0 - \omega_0 C_w). \quad (18)$$

Підставивши вираз (18) в перше рівняння системи (17), знайдемо невідоме значення  $u_0$ .

$$u_0 = \frac{y_H - y_0 - \omega_H \frac{H}{4} - \omega_0 \left( \frac{3H}{4} - \frac{H^2 C_m C_w}{6RJ} - \frac{H^3 C_m^2 C_w^2}{24R^2 J^2} \right)}{\frac{H^2 C_m}{6RJ} + \frac{H^3 C_m^2 C_w}{24R^2 J^2}} \quad (19)$$

Враховуючи, що коефіцієнти  $u_0$  та  $u_1$  сигналу управління відомі, з другого рівняння системи (16) запишемо вираз для визначення  $u_2$ . Отримаємо:

$$u_2 = \frac{1}{a_8} (\omega_H - \omega_0 a_5 - u_0 a_6 - u_1 a_7). \quad (20)$$

Таким чином, визначивши невідомі дискрети неперервного сигналу управління  $u(t)$  з виразів (18)–(20), розраховується сигнал ШІМ-управління  $V_{\sigma i}^{i\sigma}$  (2). Таким чином, реалізується замкнений закон термінального управління (рис. 1).

Для дослідження отриманого розв’язання задачі синтезу термінального управління скористаємося моделлю (1) двигуна постійного струму незалежного збурення з параметрами, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри двигуна постійного струму МІІ-31

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра	Розмірність СІ
1	Потужність номінальна $P_d$	0,76	[кВт]
2	Номінальна напруга живлення $U_f$	110	[В]
3	Номінальний струм якоря $I_f$	8,2	[А]
4	Номінальна швидкість обертання ротора $n$	2500	[об/хв]
5	Опір обмоток якоря $R_b$	0,368	[Ом]
6	Момент інерції $J * 10^{-4}$	132	[кг * м <sup>2</sup> ]
7	Коефіцієнт перетворення редуктора $q$	1080	[раз]

Розглянемо результати роботи методики синтезу сигналу ШІМ-управління силовим слідкувальним приводом при переводі системи на один градус з нульового початкового стану. Результат моделювання для випадку рівності інтервалу термінального управління електромеханічний постійний часу двигуна постійного струму  $H = T_\sigma = 33,53$  мс представлені на рис. 5. За результатами експерименту встановлено, що при мінімізації навантаження на виконавчий пристрій час встановлення системи складає  $t_v = 133,1$  мс; тривалість перехідного процесу становить  $t_n = 159,7$  мс, коефіцієнт перерегулювання  $\sigma = 1,3$  %, ступінь затухання перехідного процесу  $\psi = 72,6$  %.

Вибираючи вид вхідного лінійного впливу, було проведено аналіз розрахованих координат низькоорбітального КА в топоцентричній сферичній системі координат. Він показав, що протягом майже всього сеансу зв’язку швидкість зміни кутової координати не перевищує  $3 \frac{\circ}{c}$ . Тільки при проходженні області зеніту швидкість досягає величини  $12 \frac{\circ}{c}$ . Тому при дослідженні якості розробленої методики досліджувався випадок проходження зеніту у вигляді вхідного впливу виду (21).

$$x(t) = 12 * t^2. \quad (21)$$



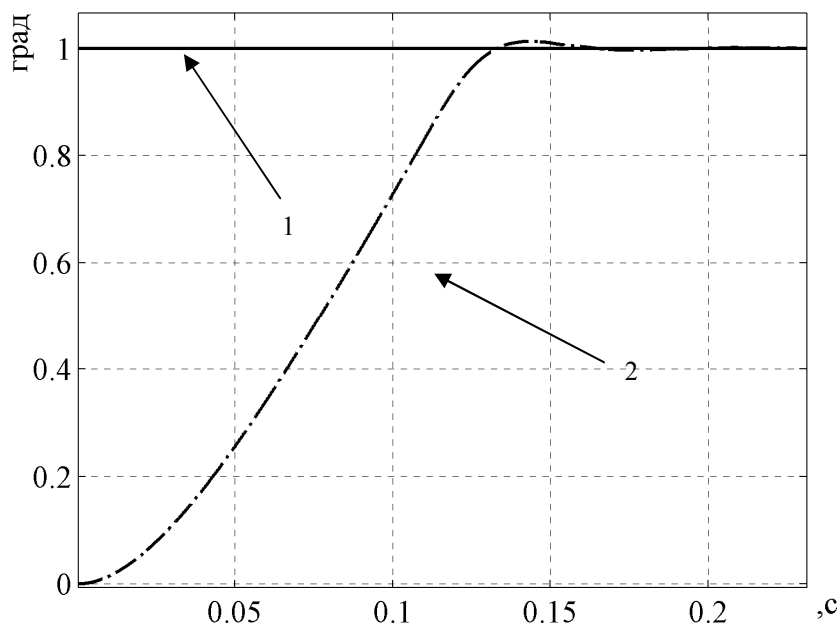


Рис. 5. Перехідна характеристика системи при  $H = T_0 = 33,53$  мс:  
 1) – одиничний вхідний вплив; 2) – результат роботи цифрового регулятора

Розглянемо результати роботи розробленої методики синтезу сигналу ШІМ-управління силовим слідкувальним приводом для системи автоматичного управління (рис. 1) для вхідного впливу (21) при нульовому початковому стані. На рис. 6 представлено результат роботи розроблених методик у вигляді залежності помилки супроводження від часу. При цьому досліджувався випадок, коли величина термінального інтервалу управління дорівнював  $H = T_0 = 33,53$  мс і кількість підінтервалів ШІМ дорівнює десяти  $m = 10$ .

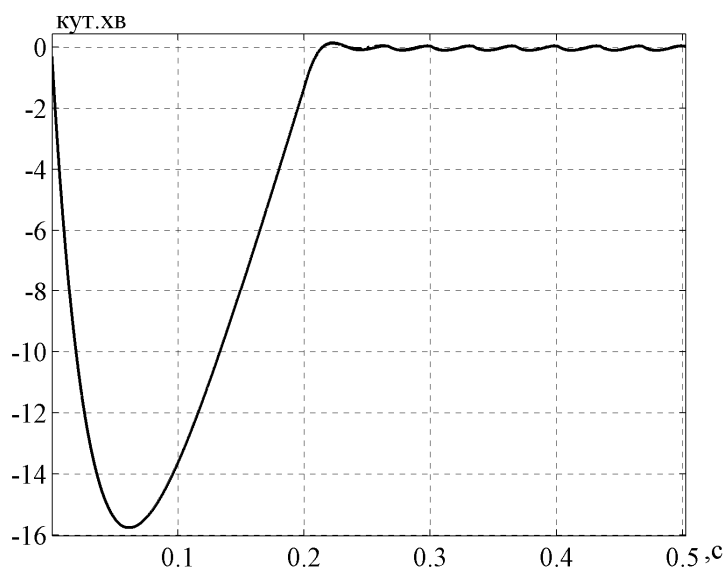


Рис. 6. Помилка супроводження КА при проходженні зеніту

Аналіз залежності величини помилки супроводження від часу показав, що тривалість перехідного процесу становить 234 мс. Максимальне значення помилки в перехідному режимі досягає величини  $15,75'$ . Значення помилки супроводження в сталому режимі складає  $0,112'$ .

**Висновки.** Представлена методика синтезу замкнутого термінального управління оптимального за енергетичними затратами на основі диференціальних перетворень. Вибраний функціонал якості дозволяє оптимізувати навантаження на об'єкт управління, що забезпечить збереження ресурсу апаратури.

Особливість запропонованої методики полягає в тому, що розв'язок задачі синтезу термінального управління двигуном постійного струму ССП станції прийому інформації ДЗЗ зводиться до розв'язання системи алгебраїчних рівнянь. Отримано аналітичний вираз для визначення сигналу управління кутовим положенням та кутовою швидкістю антенної системи протягом сеансу зв'язку з КА. Результат можна використовувати при замкненому циклі управління ССП станції прийому інформації ДЗЗ високої розрізненності від низькоорбітальних КА.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Гостев В.И.* Системы управления с цифровыми регуляторами: Справочник. — К.: Техника, 1990. — 280 с.
2. *Кучеров Д.П.* Алгоритмы адаптивного терминального управления объектами второго порядка с запаздыванием // Проблеми створення, застосування та експлуатації складних інформаційних систем / Технічні науки: зб. наук. пр. ЖВІРЕ. — Житомир, 2007. — Вип. 11. — С. 136–145.
3. *Уруский О.С., Баранов В.Л.* Синтез замкнутых законов терминального управления на основе дифференциальных преобразований // Электрон. моделирование. — 1996. — № 3. — С. 3–8.
4. *Молодецкий Б.В., Баранов В.Л.* Методика синтеза терминального управления объектом второго порядка // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. — 2007. — № 4 (47). — С. 93–99.
5. *Пухов Г.Е.* Дифференциальные спектры и модели / Ин-т проблем моделирования в энергетике. — Киев: Наук. думка, 1990. — 184 с.
6. *Баранов В.Л., Баранов Г.Л., П'яковський Д.В., Водоп'ян С.В.* Програмне та математичне забезпечення ЕОМ: диференціальні моделі військово-прикладних задач. — Ч. I. — Житомир: ЖВІРЕ, 2003. — 76 с.
7. *Баранов В.Л., Баранов Г.Л., П'яковський Д.В., Водоп'ян С.В.* Програмне та математичне забезпечення ЕОМ: диференціальні моделі військово-прикладних задач. — Ч. II. — Житомир: ЖВІРЕ, 2006. — 44 с.

БАРАНОВ Володимир Леонідович – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник в/ч А0735.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних динамічних систем;
- некоректні задачі;
- диференціальні перетворення.

МОЛОДЕЦЬКИЙ Богдан Валентинович – ад'юнкт Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- комп'ютерне моделювання фізичних процесів;
- цифрові системи автоматичного управління.

ПОЛЯКОВ Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, заступник начальника Центру контролю космічного простору Національного Центру управління та випробування космічних засобів м. Євпаторія.

Наукові інтереси:

- проблеми використання антенних систем наземного комплексу управління.

Подано 11.02.2009

**Баранов В.Л., Молодецький Б.В., Поляков О.Л.** Методика синтезу оптимального сигналу ШИМ-управління силовим слідкувальним приводом

**Баранов В.Л., Молодецький Б.В., Поляков О.Л.** Методика синтезу оптимального сигналу ШИМ-управління силовим слідящим приводом

**Baranov V.L., Molodetsky B.V., Polyakov O.L.** Technique of synthesis of the optimum signal PWM-managements of the power servo drive

УДК 62-50

**Методика синтезу оптимального сигналу ШИМ-управління силовим слідящим приводом / В.Л. Баранов, Б.В. Молодецький, О.Л. Поляков**

В статті розглянуто задачу термінального управління виконавчим пристроєм станції прийма інформації дистанційного зондування Землі. Представлено методику синтезу сигналу управління силовим слідящим приводом в час супроводження космічних апаратів.

УДК 62-50

**Technique of synthesis of the optimum signal PWM-managements of the power servo drive / V.L. Baranov, B.V. Molodetsky, O.L. Polyakov**

The technique of signal design PWM – engine management of a direct current which is based on definition of an auxiliary analogue signal of management is offered. In article process of preset guidance of antenna system during conducting of a session by low – orbiting spacecraft of distant sounding of the Earth is observed.