

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНИХ ІНЕРЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У КОМАНДНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

С.В. Козелков, А.М. Явтушенко,  
В.І. Богомья, С.Д. Ставицький, Д.П. Пашков  
(Національна академія оборони України, Київ)

*У даній статті наведені результати дослідження нелінійних інерційних процесів у командно-вимірювальних системах наземного радіотехнічного комплексу.*

*нелінійні інерційні процеси, командно-вимірювальні системи, наземний радіотехнічний комплекс*

**Вступ.** Розширення знань по розвитку наземного радіотехнічного комплексу є актуальною задачею, реалізація якого проводиться в рамках Національної (Державної) космічної програми України на 2003 – 2007 р.р.

Для досягнення цієї мети необхідно провести дослідження нелінійних інерційних процесів у моноімпульсних командно-вимірювальних системах радіотехнічного комплексу наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами (КВС РТК НАКУ КА), що дозволить обґрунтувати науково-технічні пропозиції, щодо створення наземного РТК ідентифікації і управління КА розвідки

**Аналіз літератури.** Розглянемо схему реального пристрою автосупроводження КВС, що наведено на рис. 1 [1, 3]. З огляду на ортогональність і ідентичність кутомісцевого й азимутального каналів даного пристрою будемо розглядати нелінійні інерційні процеси в КВС на прикладі одного каналу, як рекомендовано в роботі [2]. У даній методиці використовуємо амплітудний моноімпульсний принцип наведення на максимум діаграми спрямованості, що відрізняється високою точністю і простотою реалізації [3, 4].

**Метою даної статті** є удосконалення математичного апарату аналізу нелінійних радіопристроїв на основі функціональних рядів Вольтерра.

**Математична постановка задачі.** З обліком зазначених вище обмежень еквівалентна модель КВС, що досліджується буде мати вигляд, представлений на рис. 2. Отримана схема описується наступним нелінійним диференціальним рівнянням, отриманим у роботі [5]:

$$A^*PE(t) + A_1^*U_cK(p)F(E) = A_2^*U_{\Pi} + A_3^*\dot{Q}(t) = A_4^*x(t) \quad (1)$$

де  $P = d/dt$  – оператор диференціювання;  $E$  – сигнал помилки;  $U_c$  – сму-

га стійкого супроводження;  $K(p)$  – передатна функція фільтра;  $F(E)$  – нелінійність дискримінатора (фазового детектора);  $U_n$  – початкова помилка при пошуку;  $\dot{Q}(t)$  – збурювання, що діє на систему автосупроводження;  $A^* \div A_4^*$  – коефіцієнти пропорційності, що характеризують кутомісцеву систему [6].

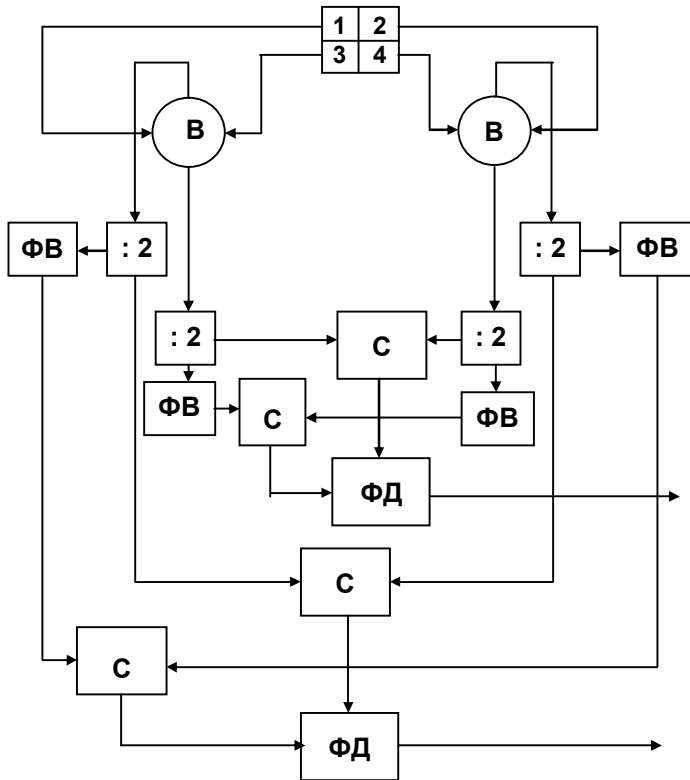


Рис. 1. Схема реального моноімпульсного антенного пристрою автосупроводження:

1, 2, 3, 4 – опромінювачі антенного пристрою; ФД – фазовий детектор;  $\alpha, \beta$  – координати наведення; ФВ – фазообертач на  $\pi$ ; С – додавач; В – відіймач; : 2 – дільник на 2

Рішення такого диференціального рівняння в загальному виді може бути отримано функціональним методом. Запишемо рішення рівняння (1) у вигляді ряду Вольтера

$$E(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} d\tau_1, \dots, d\tau_n \times h'_n(\tau_1, \dots, \tau_n) \prod_{i=1}^n x(t - \tau_i), \quad (2)$$

де  $h'_n(\tau_1, \dots, \tau_n)$  – ядра Вольтерра  $n$ -го порядку, що характеризують систему автосупроводження ( $n = 1, 2, \dots$ ).

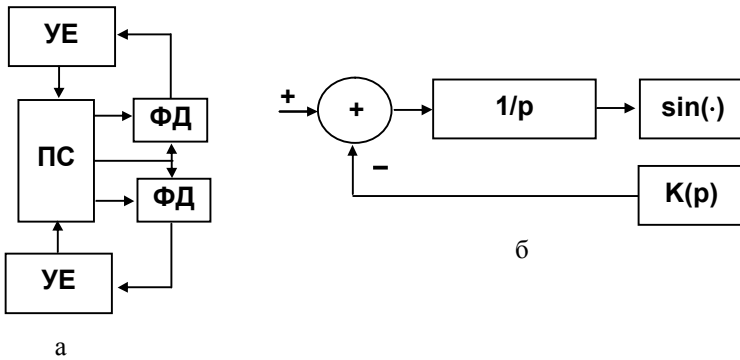


Рис. 2. Схема моноімпульсної системи автосупроводження:  
а – наведена; б – еквівалентна; ПС – перетворювач сигналів;  
УЕ – елемент управління; ФД – фазовий детектор

Авторами були проведені дослідження з оцінки точності моноімпульсних РТК різними методами, результати цих досліджень наведені на рис. 3.

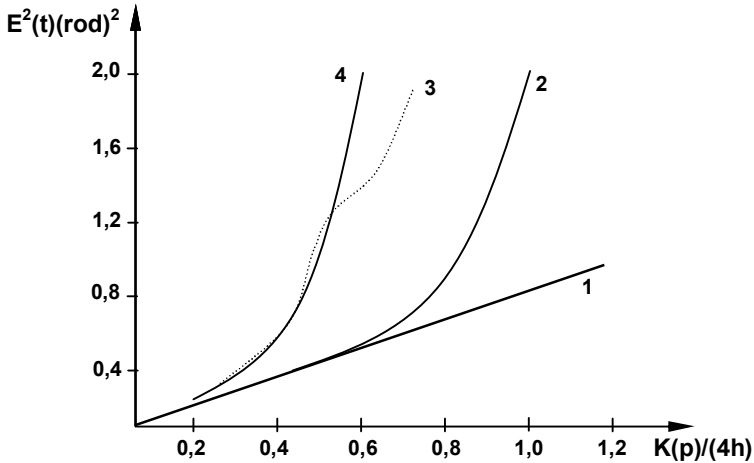


Рис. 3. Порівняння рішень, щодо оцінки точності моноімпульсної системи автосупроводження:  
1 – лінійна модель [1]; 2 – функціональне рішення другого порядку; 3 – точне рішення Тихонова [4]; 4 – функціональне рішення третього порядку

З огляду на результати проведених досліджень, і вирішуючи рівняння відносно  $E(t)$ , одержимо вираз для ядер Вольтерра в операторній формі [5]:

$$H_1(p) = \frac{1}{p + U_c K(p)}; \quad (3)$$

$$H_2(p_1, p_2) = 0; \quad (4)$$

$$H_3(p_1, p_2, p_3) = \frac{1}{3!} \frac{U_c K(p_1 + p_2 + p_3)}{p_1 + p_2 + p_3 + U_c K(p_1 + p_2 + p_3)} \prod_{i=1}^3 \frac{1}{p_i + U_c K(p_i)}. \quad (5)$$

**Висновки.** Оригінальність і наочність одержання розглянутих вище ядер Вольєрра свідчать про конструктивність розробленого методу дослідження моноімпульсних КВС. При цьому порівняльна нескладність використовуваних обчислень дозволяє розширити область застосування даного методу для аналізу в основному всіх кутомісцевих пристроїв.

Для дослідження впливу нелінійних динамічних процесів на якість функціонування перспективних РТК НАКУ КА особливу важливість здобуває дослідження впливу нелінійних інерційних процесів на пропускну здатність і завадостійкість командно-вимірювальних систем. Тому виникає необхідність у подальших роботах розглянути дані питання за допомогою розробленої вище методики, що дозволить надалі обґрунтувати науково-технічні пропозиції, щодо створення наземного РТК ідентифікації і управління КА розвідки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Иванов М.А., Козелков С.В. Анализ условий применения антенных устройств СВЧ и КВЧ диапазонов на спутниках–ретрансляторах. – М., 1989. – 12 с. – Деп. В ЦИВТИ МО СССР, вып.10, № 4238, В1384.
2. Landau M., Leondes C.T. Application of the Volterra Series to the Angle Track Loop // Trans.IEEE. – 1972. – V.AES-8, № 3. – P. 306 – 318.
3. Покрас А.М. Антенны земных станций спутниковой связи // Радиотехника. – 1987. – № 5. – С. 50 – 55.
4. Скурихин В.И., Шифрин В.Б., Дубровский В.В. Математическое моделирование. – К.: Техніка, 1983. – 270 с.
5. Иванов М.А. Некоторые вопросы исследования нелинейных процессов в системах с помощью функциональных рядов Вольєрра // Материали семінара “Нелинейные эффекты в радиоприемных и усилительных устройствах”. НТОРЭС им.А.С.Попова. – М.: Радио и связь, 1979. – 150 с.
6. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника; Т.; Радиолокационные станции и системы; Пер. с англ. под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: Сов радио, 1978. – 376 с.

Надійшла 1.06.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор В.М. Ілюшко,  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „ХАІ”.