УДК 621.396

Р.В. Хращевський

Державний університет телекомунікацій, Київ

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ НЕЛІНІЙНОЇ КУТОМІСНОЇ СИСТЕМИ КОМАНДНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РАДІОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

У статті приведено аналіз стійкості нелінійної кутомісної системи командно-вимірювальної системи радіотехнічного комплексу.

Ключові слова: *космічний апарат, радіотехнічний комплекс.*

Вступ

Одна з проблем, що стоять при розробці радіотехнічних комплексів (РТК) космічних апаратів (КА) – стійкість кутомірних пристроїв надвисокочастотного діапазону радіосигналів (НВЧ) і вкрай високочастотної діапазону радіосигналів (КВЧ) командно-вимірювальної системи (КВС), яка розглядалася в [1 - 5]. Мета статті – проведення аналізу впливу нелінійних динамічних процесів на стійкість нелінійної кутомісної системи КВС РТК, ґрунтуючись на результатах, отриманих в [1 - 5].

Основна частина

Дослідимо за допомогою функціональних рядів Вольтерра область стійкої роботи КВС РТК. Мажоруючий ряд буде мати вигляд

$$\|\Phi\| = \sum_{i=1}^{\infty}\|\Phi_i\|, \quad (1)$$

$$\|\Phi_i\| = \max_{-\infty<t<\infty}|E_i[t]| =$$

де

$$= \max_{-\infty<t<\infty}\int_{-\infty}^{\infty}...\int_{-\infty}^{\infty} d\tau_1...d\tau_i h_i(\tau_1,...,\tau_i)\prod_{j=1}^{i}x(t-\tau_j).$$

Розкладемо нелінійність фазового детектора кутомісної системи в ряд Тейлора і, обмежуючись, першими двома членами розкладання, отримаємо:

$$\sin E = E - (1/3!)\cdot E^3. \quad (2)$$

Для нелінійності типу $f(\cdot) = C_1(\cdot) + C_m(\cdot)^m$, де m – позитивне число більше 2, вираз (1) буде мати вигляд

$$\|\Phi_1\| = \|\Phi\| - \|g_1\||C_m|\|\Phi\|^m, \quad (3)$$

як визначено в роботах [1, 2], точки на площині, в яких $\frac{dF(\Phi)}{d\Phi} = 0$, задовольняють рівності

$$1 - m\|g_1\||C_m|\|\Phi\|^{m-1} = 0, \quad (4)$$

рішення (14) дає m – 1 результатів $\Phi^{(1)}, \Phi^{(2)},..., \Phi^{(m-1)}$ виду $b(j,Z_v)$, де $b = \left(\frac{1}{m\|g_1\||C_m|}\right)^{-m+1}$; $Z_v = \frac{2\pi}{m-1}$; v = 0, 1, 2, ... , m – 2. Нехай тепер контур аналітичності C на площині Φ, на якому існують всі функціональні похідні Φ, є круг із радіусом r < b і з центром у початку координат. Відображення C, r на площині $\|\Phi_1\|$ має вигляд [2]

$$\|\Phi_1\|_\Gamma = r[(\cos\theta - \|g_1\||C_m|r^{m-1}\cos m\theta) +$$
$$+ j(\sin\theta - \|g_1\||C_m|r^{m-1}\sin m\theta)]. \quad (5)$$

Перетворення (5) дає

$$\|\Phi_1\|_\Gamma = r\exp(j\theta) - \|g_1\||C_m|r^m\exp(jm\theta), \quad (6)$$

де $0 \le \theta \le 2\pi$, r < b.

Припускаючи зміну θ в наведеному вище рівнянні від 0 до 2π отримаємо простий замкнутий контур r на площині $\|\Phi_1\|$, який містить початок координат. Найближчий до початку координат контур r можна визначити мінімізуючи $\|\Phi_1\|_\Gamma$ по θ. Для (6) маємо [2]

$$\min_{0\le\theta\le2\pi}\|\Phi_1\|_\Gamma = \min_{0\le\theta\le2\pi}\left\{r\sqrt{\begin{matrix}\|g_1\|^2|C_m|^2 r^{2(m-1)} - 2\|g_1\||C_m|\times \\ \times r^{m-1}\cos[(m-1)\theta]+1\end{matrix}}\right\} =$$
$$= r\sqrt{\|g_1\|^2|C_m|^2 r^{2(m-1)} - 2\|g_1\||C_m|r^{m-1}+1} =$$
$$= r(1 - \|g_1\||C_m|r^{m-1}), \quad (7)$$

де r < b.

Чим менше r у порівнянні з b, тим менше і $\min_{0\le\theta\le2\pi}\|\Phi_1\|_\Gamma$. Тоді для слідкуючого пристрою КВС з нелінійністю (3) ряд Вольтерра буде сходитися, коли [1 - 3]

$$\|\Phi_1\| = \max_{-\infty<t<\infty} |E_1(t)| < \frac{m-1}{m}\left(\frac{1}{m\|g_1\||C_m|}\right)^{\frac{1}{m-1}}, \quad (8)$$

де $$\|g_1\| = \int_{-\infty}^{\infty} \left|a_p^{-1}[G_1(p)]\right| dt . \quad (9)$$

Знак a_p^{-1} означає зворотне перетворення Лапласа функції, що стоїть в квадратних дужках

$$G_1(p) = K(p)H_1(p)U_c , \quad (10)$$

де K(p) – передаточна функція фільтру пропорціонального інтегрування, причому $K(p) = \frac{1/T}{p+1/T}$; $H_1(p)$ – ядро Вольтерра першого порядку, причому $H_1(p) = \frac{1}{p+U_c K(p)}$; U_c – полоса утримання, причому $U_c = SyИ_{ФДmax}$.

Стосовно до кутомісної КВС [4] m = 3, C = 1, $C_m = C_3 = -1/3!$.

Тоді вираз (10) можна записати

$$G_1 = \frac{U_c - 1/T}{p^2 + (1/T)p + U_c(1/T)C} . \quad (11)$$

Якщо корені рівняння

$$p^2 + \frac{1}{T}p + U_c\frac{1}{T} = 0 \quad (12)$$

дійсні і від'ємні (у разі сильного загасання, що характерно для пошуку АПУ), то [2]

$$\|g_1\| = \frac{1}{C_1} = 1 . \quad (13)$$

Якщо корені рівняння (12) комплексні з від'ємною реальною частиною (випадок слабкого загасання, що характерно для супроводу АУ КВС), то [2]

$$\|g_1\| = \frac{\left(1-\exp\frac{Д\pi}{F}\right)}{1-\exp\frac{Д\pi}{F}} , \quad (14)$$

де $Д = -\frac{1}{2T}$; $F = \frac{1}{2}\sqrt{4\Omega_y \, 1/T - \Omega_y^2}$.

У випадку сильного затухання в РТК із врахуванням (12) та (13) маємо

$$\|\Phi_1\| < 2/3\left(\frac{1}{3! - 1/6}\right)^{1/2} = 0,27 ; \quad (15)$$

$$\|\Phi\| = \|\Phi_1\| + \frac{|C_3|}{|C_1|}\|\Phi_1\|^3 = 0,27 + \frac{1}{6}\cdot 0,019 = 0,273 . \quad (16)$$

Для нелінійності типу (3) область стійкої роботи РТК визначається виразом [4, 5]

$$U_c = \frac{U_c C_1(m-1)}{m}\left(\frac{C_1}{m|C_m|}\right)^{-m+1} . \quad (17)$$

Підставивши (11) в (17) отримаємо

$$U = U_c \, 2/3\sqrt{3} \approx U_c ,$$

тобто у загальному випадку

$$\lim_{n\to\infty} U = U_c . \quad (18)$$

Висновки

Таким чином, область стійкої роботи РТК збігається із смугою сталого супроводу в тому випадку, якщо нелінійність фазового детектора системи стеження має вигляд (3), а в якості фільтра нижніх частот використовується інтегруючий фільтр. Отриманий результат в основному підтверджує висновок, наведений у роботах [1, 2, 5], де вказується, що в такому РТК, з точки зору стійкої роботи без обмежень на величину смуги утримання, остання визначається виразом (11). Перспектива подальших досліджень – розробка відповідної імітаційної моделі .

Список літератури

1. *Пупков К.А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К.А. Пупков, В.И. Капалин, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1978. – 448с.*
2. *Landau M. Application of the Volterra Series to the Angle Track Loop / M. Landau, C.T. Leondes // Trans.IEEE. – 1972. – V.AES-8, № 3. – P. 306-318.*
3. *Иванов М.А. Некоторые вопросы исследования нелинейных процессов в системах с помощью функциональных рядов Вольтерра / М.А. Иванов // Мат. сем. "Нелинейные эффекты в радиоприемных и усилительных устройствах"; НТОРЭС им. А.С.Попова. – М.: Радио и связь, 1979. – 150 с.*
4. *Козелков С.В. Системы наведения и автосопровождения антенных устройств радиолиний СВЧ и КВЧ диапазонов / С.В. Козелков // Труды 10 НТК в/ч 32103. Научно-практические аспекты управления космической и наземной группировками, особенности их применения. – МО СССР, 1989. – С. 223.*
5. *Козелков С.В. Наземный радиотехнический комплекс управления и идентификации космических аппаратов двойного назначения среднего и дальнего космоса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.21 / С.В. Козелков. – Х., 2000. – 457 с.*

Надійшла до редколегії 28.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, снс К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ УГЛОМЕСТНОЙ СИСТЕМЫ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Р.В. Хращевский

В статье приведен анализ устойчивости нелинейной угломестной системы командно-измерительной системы радиотехнического комплекса.

Ключевые слова: *космический аппарат, радиотехнический комплекс.*

ANALYSIS OF STABILITY OF NONLINEAR ELEVATION THE COMMAND-MEASURING SYSTEM OF RADIO ENGINEERING COMPLEX

R.V. Khrashchevskiy

The analysis of stability of the nonlinear elevation of the command-measuring system of radio engineering complex is resulted in the article.

Keywords: *space vehicle, radio engineering complex.*