УДК 621.317.772

В.Д. РУДИК, В.Д. ТРОМСЮК, О.В. ВЕРНИГОРА
Вінницький національний технічний університет, Київський національний авіаційний університет
Т. 8 – 0975 – 82 – 01 – 56
E-mail: vdrudyk@mail.ru

ДИНАМІЧНА ПОХИБКА НЕЛІНІЙНОСТІ ФАЗОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ

Розроблено багато методик визначення динамічних властивостей та похибок вимірювальних каналів, але такі методики, як правило, не враховують нелінійності і зводять розгляд нелінійних, за своєю сутністю систем, до лінійних, що не дозволяє дослідити вплив нелінійності на перехідні процеси та визначити динамічні похибки не лінійності [1]. Особливо це стосується вимірювальних каналів, призначених для вимірів зсуву фаз сигналів, коли нелінійні спотворення сигналів значно впливають на похибку вимірювань. Такі канали при незначних рівнях сигналів можна розглядати як інерційні пристрої з м’якою нелінійністю.

На основі рядів Вольтерра можна інерційну нелінійну систему, з м’якою нелінійністю, подати у вигляді послідовно-паралельного сполучення лінійних і нелінійних ланок, якщо нелінійна система з одним входом і одним виходом, описується оператором:

$$y(t) = N\{x(t)\}, \tag{1}$$

де $x(t)$ – вхідний сигнал системи; $y(t)$ – вихідний сигнал системи; $N\{\ \}$ – нелінійний оператор.

При досить слабких вимогах, що пред'являються до вигляду оператора, вихідний сигнал системи може бути представлений у вигляді:

$$y(t) = \int^{\infty} q_1(\tau)\cdot x(t-\tau)d\tau + \iint^{\infty} q_2(\tau_1,\tau_2)\cdot x(t-\tau_1)\cdot x(t-\tau_2)d\tau_1\tau_2 + $$
$$+ \iiint^{\infty} q_2(\tau_1,\tau_2,\tau_3)\cdot x(t-\tau_1)\cdot x(t-\tau_2)\cdot x(t-\tau_3)d\tau_1\tau_2\tau_3 + \cdots \tag{2}$$

де $q_k(\tau_1,\tau_2,\dots,\tau_k)$ – ядро ряду Вольтерра *k*-гостепеня, *k*-степенева вагова функція.

В результаті такого представлення оператора, можна побудувати модель канала вигляді паралельного з'єднання ланок, відповідних кожному з доданків ряду. Якщо застосувати до кожного ядра перетворення Лапласа *n*-го порядку, тоді модель набере вигляду паралельного з'єднання ланок з багатовимірними передавальними функціями.

Метод рядів Вольтерра займає положення між методами аналізу лінійних систем і нелінійних, з суттєвою нелінійністю, і дозволяє досліджувати інерційні системи з м'якими нелінійностями. Ряд Вольтерра є узагальненням інтеграла згортки,що широко використовується в теорії лінійних систем.

Загальна структурно-алгоритмічна модель нелінійного інерційного вимірювального каналу з м’якою нелінійністю подана на рис. 1 [2]. Застосувавши перетворення Лапласа до рівнянь, які описують ланки моделі, знаходяться їх передавальні функції.

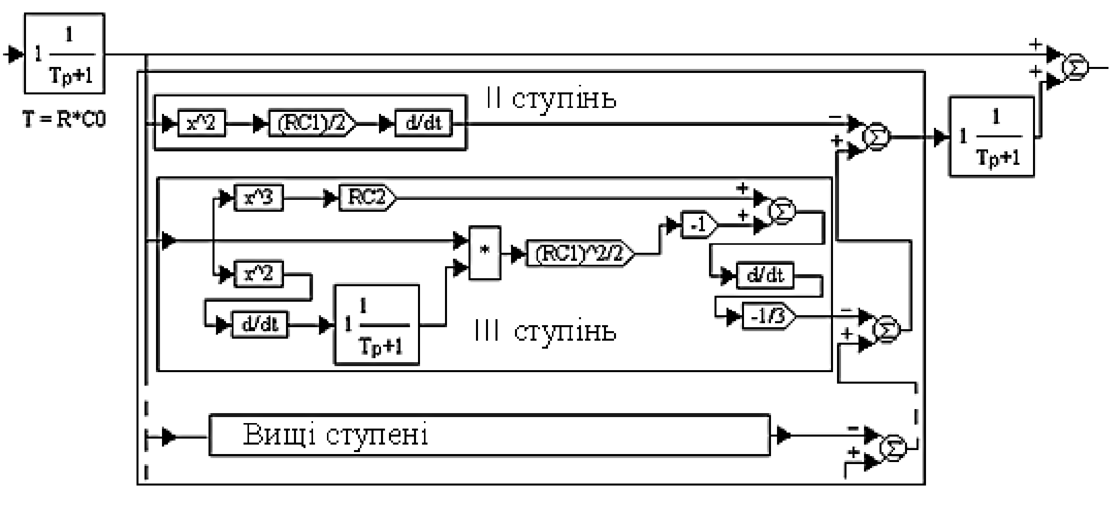
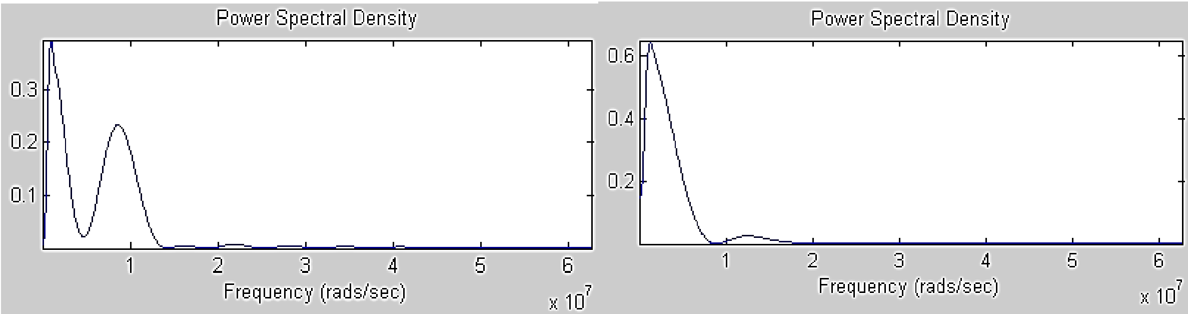


Рис. 1. Структурно – алгоритмічна модель нелінійного інерційного вимірювального каналу

Ряд Вольтерра подає інерційну нелінійність у вигляді окремих операцій піднесення до степеня, перемноження сигналів, множення сигналів на коефіцієнт і інерційної операції, визначеною лінійною частиною системи, а також операції диференціювання.

Для дослідження нелінійної динамічної похибки виміру фазового зсуву, яка викликається збагаченням спектру вихідного сигналу і залежить від коефіцієнта гармонік, був проведений аналіз спектрів вихідного сигналу по кожному з періодів сигналу на часовому проміжку усталення.



а) б)

Рис. 2. Спектральна діаграма комбінаційних продуктів вихідного сигналу моделі: 1-й період (*а*), 3-й період (*б*)

Отримавши спектри кожного з періодів вихідного сигнала, рис. 2, можна визначити динамічну похибку нелінійності виміру фазового зсуву сигналів $\Delta\varphi_н$, яку вносять динамічні нелінійні спотворення у кожному періоді:

$$\Delta\varphi_{нm} = \Delta\varphi_{tm} - \Delta\varphi_{ст}, \qquad (3)$$

де: $\Delta\varphi_t$ – миттєва похибка нелінійності; $\Delta\varphi_{ст}$ – стаціонарна похибка нелінійності; *m* – номер періода.

Графік динамічної похибки нелінійності $\Delta\varphi_н = f(t)$ поданий на рис. 3.

Значення стаціонарної похибки нелінійності відповідає значенню похибки після закінчення перехідного процесу.

Такі підходи стосуються засобів вимірювання фазових зсувів, що визначають зсув фаз між двома синусоїдальними сигналами між точками їх переходу через нульове значення, оскільки у випадку нелінійності каналу, фіксуються моменти проходження через нуль не першої, а суми першої і вищих гармонік.

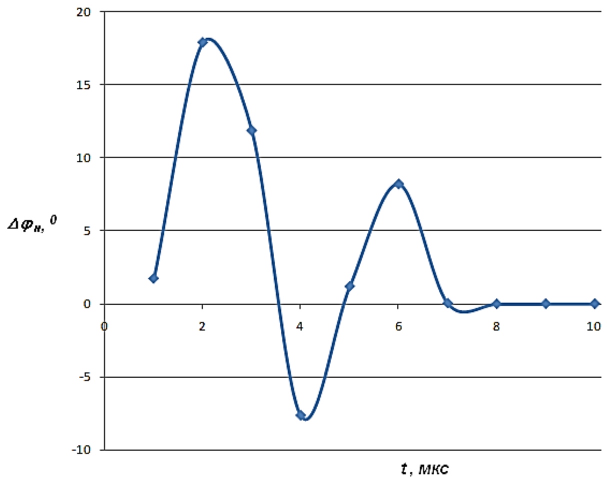


Рис. 3. Графік динамічної похибки нелінійності фазового вимірювального каналу $\Delta\varphi_н = f(t)$

Висновки

1. На основі використання ядер Вольтерра запропонована структурно-алгоритмічна модель інерційного фазового вимірювального каналу з м'якою нелінійністю;
2. На основі аналізу динамічних змін спектру вихідного сигналу моделі розроблена методика, що дозволяє визначати динамічну похибку нелінійності фазових вимірювальних каналів;
3. Показано, що динамічна похибка нелінійності носить коливальний згасаючий характер;
4. Динамічна похибка нелінійності визначає характер перехідного процесу у реальному вимірюваль-ному каналі.

Література

1. Рудик В. Нестаціонарні часові похибки в лінійних вимірювальних каналах/ В. Рудик, С. Гончар// Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах –2005. – № 1. –С. 64-67.

2. Рудик В.Динамічні похибки нелінійності фазових вимірювальних каналів/ В. Рудик, М. Назаренко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах –2009. – № 1. –С. 75-79.