

УДК 621. 372. 061:391.266

## АНАЛІЗ ПОДІБНОСТІ І РОЗБІЖНОСТІ РЕАКЦІЇ ЛІНІЙНОЇ СИСТЕМИ ДО ЕТАЛОННОГО СИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

*Рибіна І.О., Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х, Вівчарик О.Я.<sup>1</sup>*

Аналіз подібності та розбіжності сигналів має велике значення при класифікації образів та оцінці якості пристроїв та систем. Серед відомих методів оцінки подібності( розбіжності) сигналів найбільш простими у реалізації є методи кореляційні, основані на перетворенні Карунена – Лоєва [1] та методи нормальних перетворень (НП) типових сигналів[2-5]. Так, НП еталонного сигналу дозволяє отримати його спектр лише з однієї ненульовою складовою, а відміни між досліджуваним і тестовим сигналом - оцінювати кількісно за допомогою коефіцієнта трансформант. [6]

Алгоритми створення дискретного матричного оператора  $\overline{w}_N$  НП [4,5] дозволяють сформулювати матрицю  $\overline{w}_N$  перетворення та отримати спектр  $\overline{s}_\zeta$  досліджуваного сигналу  $\overline{s}_t$

$$\overline{s}_\zeta = \overline{w}_N \cdot \overline{s}_t. \quad (1)$$

Для еквідистантного НП дійсного еталонного сигналу  $\overline{s}_{t_e}$  обчислення реакції кола можна виконати за виразом [7,8]

$$\overline{y}_t = \overline{w}_N^T \cdot \overline{p}^* \cdot \overline{K(\lambda)} \cdot \overline{p}^T \cdot \overline{w}_N \cdot \overline{s}_{t_e}. \quad (2)$$

де  $T$  – знак транспонування,  $*$  – знак комплексного спряження;  $\overline{K(\lambda)}$  – діагональна матриця порядку  $N$  значень функції кола при дискретних власних значеннях  $\lambda_i$ ;  $\overline{p}^T$  та  $\overline{p}^*$  – матриці порядку  $N$ , добуток яких з матрицями  $\overline{w}_N$  та  $\overline{w}_N^T$  перетворюють (2) до вигляду

$$\overline{y}_t = \overline{F}_N^* \cdot \overline{K(\lambda)} \cdot \overline{F}_N \cdot \overline{s}_{t_e}, \quad (3)$$

де  $\overline{F}_N$  та  $\overline{F}_N^*$  – матричні дискретні оператори прямого та зворотного перетворення Фур'є, нормовані діленням рядків цих операторів на  $\sqrt{N}$

Порівнявши (2) та (3) одержуємо

$$\overline{p}^* = \overline{w}_N \cdot \overline{F}_N^*; \overline{p}^T = \overline{F}_N \cdot \overline{w}_N^T. \quad (4)$$

Якщо у вираз (2) підставити  $\overline{s}_\zeta = \overline{w}_N \cdot \overline{s}_t$ ;  $\overline{y}_{\zeta_e} = \overline{w}_{NN} \cdot \overline{y}_t$ , де  $\overline{w}_{NN}$  – дискретний оператор НП, для реакції  $\overline{y}_{\zeta_e}$  на еталонну дію  $\overline{s}_{t_e}$ , то одержимо:

$$\overline{y}_{\zeta_e} = \overline{w}_{NN} \cdot \overline{w}_N^T \cdot \overline{p}^* \cdot \overline{K(\lambda)} \cdot \overline{p}^T \cdot \overline{s}_{t_e}. \quad (5a)$$

Позначивши в (5a)

<sup>1</sup> Робота виконана під науковим керівництвом д.т.н., проф. Рибіна О.І.

$$\overline{W_{NN_2}} = \overline{W_{NN}} \cdot \overline{W_N}^T \cdot \overline{\Pi}^* \text{ та } \overline{W_{NN_1}} = \overline{\Pi}^T, \quad (56)$$

Отримаємо вираз, аналогічний (3), але вже для НП вхідного та вихідного сигналів системи з коефіцієнтом передачі  $K(\lambda)$ .

$$\overline{y_{\zeta_t}} = \overline{W_{NN_2}} \cdot K(\lambda) \cdot \overline{W_{NN_1}} \cdot \overline{s_{\zeta}}. \quad (6)$$

При цьому, якщо на вхід еталонної системи подається еталонний сигнал (спектр його має лише одну ненульову трансформанту з номером **1**), то на виході такої системи отримаємо еталонний сигнал, спектр якого  $\overline{y_{\zeta_{t_{et}}}}$  містить також лише одну ненульову трансформанту. Відхилення вхідного сигналу від еталонного дає спектр з іншими ненульовими трансформантами спектру. Ступінь спотворення вхідного сигналу можна оцінити за коефіцієнтом трансформант спектру  $\overline{s_{\zeta}}$ , а вихідного - за коефіцієнтом трансформант спектру  $\overline{y_{\zeta_t}}$ .

Згідно (6) можна оцінювати ступінь спотворень вихідного сигналу при наявності розкиду параметрів компонентів системи.

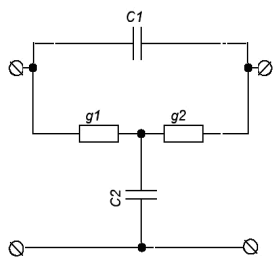


Рис. 1.

Проілюструємо запропоновані алгоритми оцінки якості лінійної системи на простому прикладі, обраному виходячи з міркувань наочності та простоти перевірки отриманих результатів.

Нехай коло рис.1 має нормовані параметри  $g_1 = g_2 = 1; C_1 = C = 1; C_2 = 2C = 2$ . Коефіцієнт передачі напруги такого кола

має вигляд: 
$$K_{31}(\lambda) = \frac{\lambda^2 + 2\lambda + 1}{\lambda^2 + 4\lambda + 1}$$

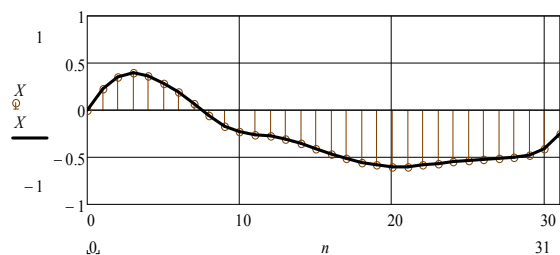


Рис. 2

Нехай вхідний еталонний сигнал має вигляд рис.2. Для цього сигналу побудуємо матричний оператор дискретного НП (1). Деякі з трансформант перетворення  $\overline{W_{NN_1}}$ , знайденого згідно з (4), наведено на рис.3, а трансформанти перетворення  $\overline{W_{NN_2}}$  – на рис. 4.

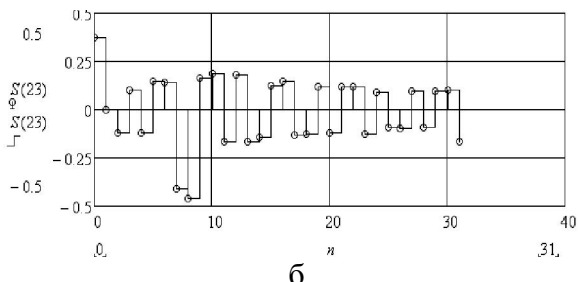
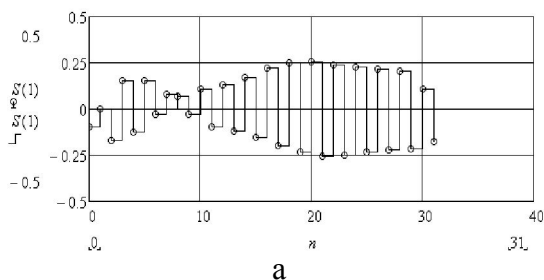


Рис. 3. Перша (а) та двадцять третя (б) трансформанти перетворення

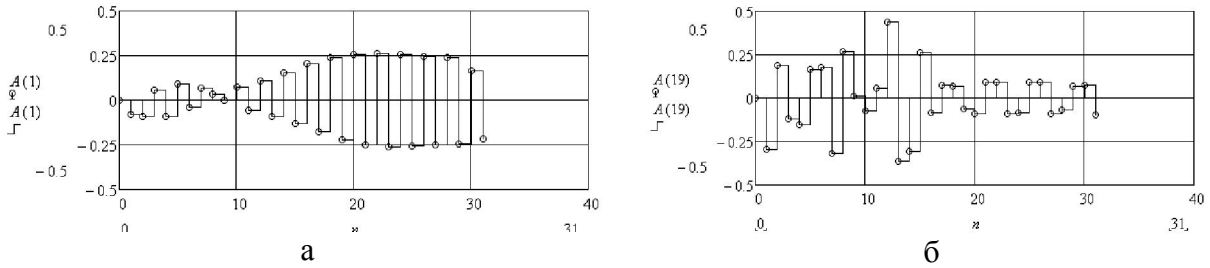


Рис. 4. Перша (а) та дев'ятнадцята (б) трансформанти перетворення

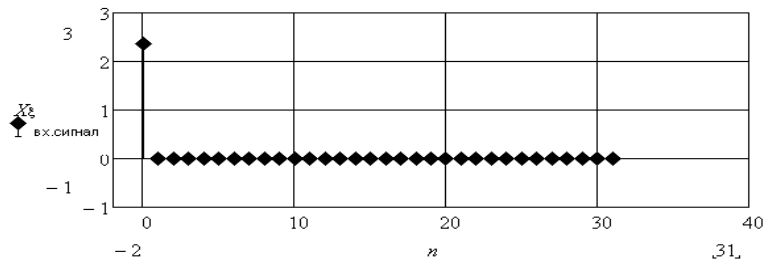


Рис. 5а. Спектр «вхідного сигналу»  $\overline{S}_k$

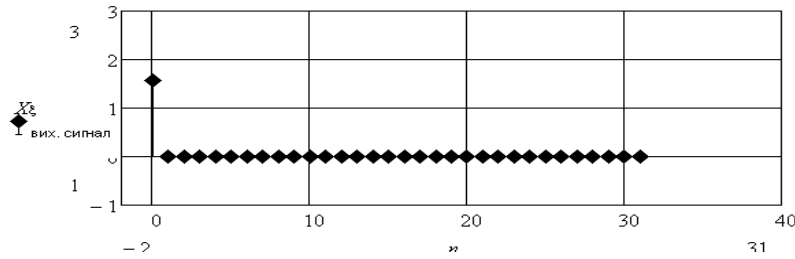


Рис. 5б. Спектр «вихідного сигналу»  $\overline{Y}_k$

Для еталонного сигналу спектри як вхідного (рис. 5а), так і вихідного (рис. 5б) сигналів мають лише перші трансформанти. Ясно, що в разі відхилень «вхідного сигналу»  $\overline{S}_k$  від еталону, спектр  $\overline{Y}_k$  буде мати ненульові трансформанти з номерами, відмінними від одиниці.

Для оцінки впливу розкиду параметрів кола, схему якого наведено на рис.1, розглянемо випадок, коли відхилення ємностей та провідностей становлять  $\pm 10\%$ , причому для простоти нехай знак відхилення для ємностей буде однаковим, так як і окремо для провідностей. Звичайно, значення параметрів можуть бути будь-якими в межах поля допуску.

Для гладких залежностей функцій кола від параметрів компонентів кола «найгірший випадок» (тобто найбільше по модулю відхилення функції від номінального значення) буде на границях інтервалів.

Для апроксимації залежності функції кола від параметрів компонентів оберемо найпростішу лінійну модель розкладу функції кола в ряд Тейлора:

$$K(\Delta g, \Delta C_1, \Delta C_2) = K_0 + \alpha_1 \frac{dK}{dg} \Delta g + \alpha_2 \frac{dK}{dC_1} \Delta C_1 + \alpha_3 \frac{dK}{dC_2} \Delta C_2,$$

де  $K_0$  – номінальне значення функції кола при власному значенні  $\lambda = \lambda_i$ ;  $\Delta g, \Delta C$  - приращення параметрів;  $\alpha$  - коефіцієнти, що враховують знак похід-

ної так, що, якщо похідна призводить до збільшення модуля функції кола, то  $\Delta g$ ,  $\Delta C$  беруться із знаком плюс, якщо навпаки – то зі знаком мінус.

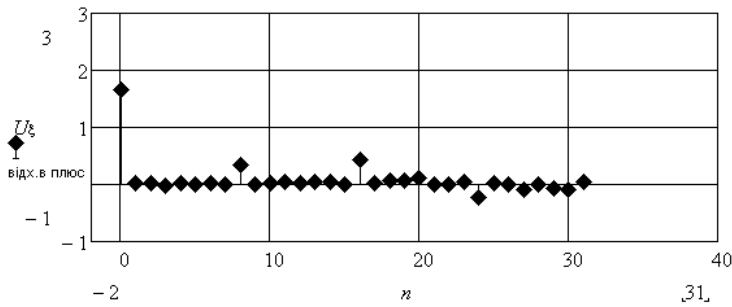


Рис. 6а. Спектр сигналу при проходженні через коло з відхиленнями параметрів компонентів на + 10 %

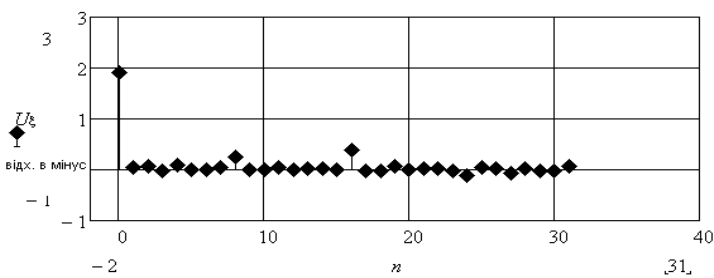


Рис. 6б. Спектр сигналу при проходженні через коло з відхиленнями параметрів компонентів на - 10 %

значеннях величин параметрів наведено на рис.7.

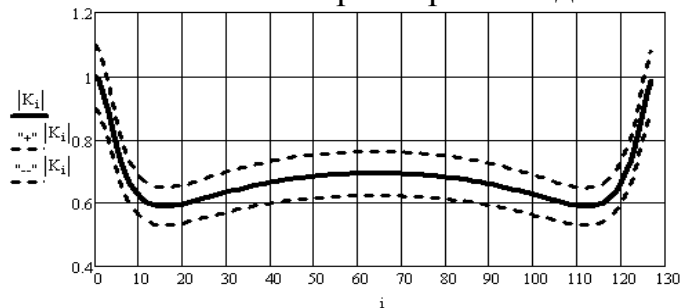


Рис.7. Функція кола  $K(\lambda)$  та її граничні значення

рення, викликане як випадковими відхиленнями вхідного сигналу, так і лінійні спотворення, викликані статистичним розкидом параметрів компонентів лінійного кола.

### Література

- 1.Абакумов В.Г., Рибін О.І., Сватош Й. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг – К.: Нора-прінт, 2001. – 516 с.
2. Рыбин А.И. Нормализация дискретных ортогональных преобразований тестовым сигналом// Радиоэлектроника. – 2004. - №7. – с.39-46.
- 3.Мельник А.Д., Рыбин А.И. Нормализация эталонного сигнала с постоянным шагом дискретизации // Радиоэлектроника.– 2008.– №1. – с.71-75 (Изв. вузов).
4. Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х. Алгоритм формування матричного оператора дискретного нормального перетворення// Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. – 2008.

Для знайдених найгірших значень функції кола було знайдено реакцію на еталонний сигнал  $\overline{U_{\xi_t}}$ , спектри нормальних трансформант яких наведено на рис.6а ( при відхиленні величин ємностей і провідностей на +10 %) і на рис.6б (при відхиленні величин ємностей і провідностей на -10 %). При цьому коефіцієнт трансформант становить  $K_{тр}=0.178$  (для рис.6а) і  $K_{тр}=0.118$  (для рис.6б). Саму функцію кола  $K(\lambda)$  та її граничні значення при граничних

1. Двократне нормальне перетворення дозволяє чисельно оцінювати ступінь спотворення сигналу при проходженні його через лінійне коло.

2. Запропонована методика дозволяє чисельно оцінювати інтегральне спотворення,

– Випуск 37. – с.19-27.

4. Ніжебецька Ю.Х, Рибін О.І.,Ткачук А.П,Шарпан О.Б. Нормальне дискретне перетворення сигналу довільної форми // Наукові вісті НТУУ «КПІ» 2008. –№4. с.34-40.

6. Рыбин А.И., Шарпан О.Б., Григоренко Е.Г., Сакалош Т.В. Коэффициенты трансформант нормализованных ортогональных преобразований и диагностика пульсограмм// Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування. 2005. Вип..30. с.148-156.

7. Рыбин А.И., Ткачук А.П. Анализ линейных систем в области трансформант собственных частот преобразования RTF// Радиоэлектроника. – 2006. - №11. – с.56-63.

*Рибіна І.О., Кузьменко О.М., Ніжебецька Ю.Х, Вівчарик О.Я. Аналіз подібності та розбіжності реакції лінійної системи до еталонного сигналу за допомогою нормального перетворення. Продемонстровано методику оцінки спотворення вхідного сигналу при наявності розкиду параметрів компонентів кола за допомогою двократного нормального перетворення.*

**Ключові слова:** нормальне перетворення, трансформанти перетворення

*Рыбина И.А., Кузьменко О.Н., Нижебецкая Ю.Х., Вивчарык О.Я. Анализ подобия и расхождения реакции линейной системы к эталонному сигналу с помощью нормального преобразования. Продемонстрировано методику оценки искажения входного сигнала при наличии разброса параметров компонентов цепи с помощью двукратного нормального преобразования.*

**Ключевые слова:** нормальное преобразование, трансформанты преобразования, искажение входного сигнала.

*Ribina I.O, Kuzmenko O., Nizhebetska Y., Vivcharik O.Ya. Analysis of similarity and discrepancy of response of linear system to etalon signal by the instrumentality of double normal transformation. Methodology of distortion estimation of input signal with dispersion of component values by the instrumentality of double normal transformation was demonstrated.*

**Key words:** normal transformation, transforms of transformation, linear system

УДК 621.372.061

## ПОГОДЖЕНА ФІЛЬТРАЦІЯ ШУКАНОГО СИГНАЛУ З ПАЧКИ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СИГНАЛІВ РІЗНОЇ ФОРМИ

*Кузьменко О.М., Рибін О.І.*

Класифікація (розпізнавання) сигналів (одно і багатовимірних) є однією з найважливіших задач сучасної технічної та медичної діагностики [1]. Таку задачу розв'язують за допомогою різноманітних методів, до яких належить класична лінійна (погоджена) фільтрація, нелінійні косинусна та нормальна фільтрація, а також погоджена фільтрація на базі перетворення Карунена – Лоева. Класична лінійна погоджена фільтрація знайшла широке розповсюдження для реєстрації наявності сигналів наперед заданої форми, наприклад, при реєстрації на фоні шумів високої інтенсивності, які маскують детермінований сигнал, в системах визначення "свій" – "чужий"[2]. Ідея такої фільтрації полягає в кумуляції (накопиченні, підсумуванні) амплітуд гармонік детермінованого сигналу в певний момент часу  $t_0$  (момент спостереження).

Погоджені лінійні фільтри мають частотну характеристику

$$K_{\Phi}(j\omega) = k \cdot S(j\omega) \cdot e^{-j\omega t_0}$$