

Осадчий С.І., к.т.н. (КНТУ, Україна), Саула О.А. (ПВІЗ, Україна)

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІКИ РАДІОРЕЛЕЙНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Наведені передаточна функція радіорелейного каналу зв'язку, спектральна щільність власних шумів визначені в результаті експерименту та методика ідентифікації такого класу систем.

З багатьох літературних джерел відомо, що до більшості систем автоматизації входять нелінійні складні об'єкти, які функціонують у стохастичних умовах, тому їх необхідно розглядати як такі, що самоорганізуються за Фельдбаумом [1].

Окремим екземпляром цих об'єктів є сучасний канал передачі даних, в якому здійснюються нелінійні перетворення сигналів та існують стохастичні корисні сигнали, завади та шуми. При роботі в реальних експлуатаційних умовах канал, як динамічний об'єкт, у відповідності до конструкції та умов роботи обирає деяку траєкторію з множини можливих. Тому, вигляд та параметри його математичної моделі повинні визначатися або уточнюватися в умовах наближених до реальних в результаті рішення задачі ідентифікації [2]. Побудовані у такий спосіб моделі дозволять створювати оптимальні гарантуючі системи передачі телеметричної інформації.

Стаття присвячена розробці методики ідентифікації та оцінюванню передаточної функції $W_k(s)$ та спектральної щільності $S_{\text{св}}(s)$ власних шумів каналу зв'язку, побудованого на базі радіорелейної станції Р-415.

На сьогодні відомо багато методів ідентифікації динамічних моделей систем [3]. Їх головним недоліком є чутливість результату до похибок апаратури реєстрації. В даній роботі застосовано спектральний метод структурної ідентифікації обґрунтований в [4]. Цей метод малочутливий до власних шумів апаратури реєстрації та дозволяє з мінімальною дисперсією похибки в результаті обробки даних спостережень за входом та виходом об'єкта оцінити його передаточну функцію та неконтрольоване збурення, яке діяло під час спостережень.

У відповідності з обраним методом методика ідентифікації каналу передачі телеметричних даних складається з декількох етапів:

- аналіз технічних характеристик та експлуатаційних умов (АТХ);
- вибір апаратури та складання структурної схеми експериментальної установки (ССС);
- монтаж та налагодження системи реєстрації даних (ЗН);
- реєстрація сигналів на вході і виході каналу (РС);
- первинна обробка отриманих даних (ПО);
- спрощення оцінок спектральних щільностей та визначення шуканих $W_k(s)$ і $S_{\text{св}}(s)$ відповідно алгоритму з [4](ИДН);
- аналіз якості ідентифікації (АЯ).

Аналіз технічних характеристик та умов роботи радіорелейних станцій показав, що для наближення умов експерименту до реальних експлуатаційних необхідно в якості джерела корисного сигналу використати генератор шуму П-219 (генератор "білого" шуму в полосі частот 0 – 5 кГц), а в якості навантаження виходу каналу - активний резистор $R=600$ Ом. Схема підключення апаратури збору інформації наведена на рис. 1. ПЕОМ на схемі підключена до об'єкту досліджень з допомогою звукової карти та призначена для реєстрації сигналів на вході і виході каналу, первинної та вторинної обробки експериментальних даних (рис. 2).



Рис. 1. Структурна схема підключення каналу для ідентифікації

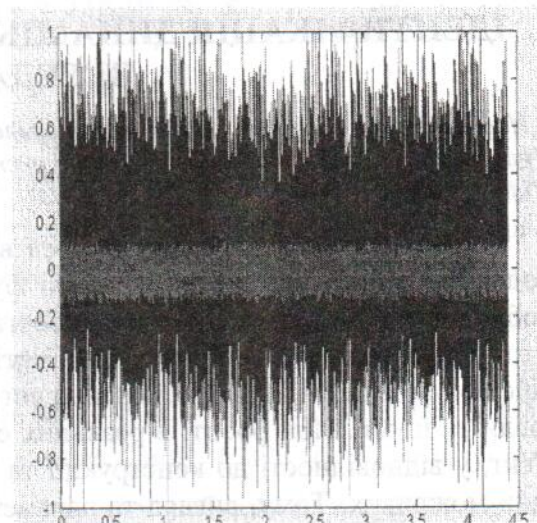


Рис. 2. Реалізація вхідного та вихідного сигналів

В результаті первинної обробки реалізацій вхідного $u(t)$ та вихідного $x(t)$ сигналів на основі алгоритму Блекмена-Тьюкі [5] знайдені спектральні щільності вхідного сигналу $S_{uu}(s)$, вихідного сигналу $S_{xx}(s)$ та взаємна спектральна щільність $S_{ux}(s)$ (рис.3-рис.5) у вигляді:

$$S_{uu}(s) = \frac{2.59e4 \cdot \sigma_u^2 |s + 2.15e4|^2}{\pi |s^2 + 3.82e4s + 8.913e8|^2}, \quad (1)$$

$$S_{xx}(s) = \frac{1.5e4 \cdot \sigma_x^2 |(s + 1.48e4)(s + 645.8)|^2}{\pi |(s + 2369)(s^2 + 2e4s + 4.54e8)|^2}, \quad (2)$$

$$S_{ux}(s) = \frac{1912 \cdot \sigma_u \cdot \sigma_x (s + 1.5e4)(-s + 1.26e4)(s^2 + 5594s + 2.9e8)}{\pi |s^2 + 9e3s + 1.8e8|^2 (s^2 + 3438s + 2.98e8)}, \quad (3)$$

де $\sigma_u = 0.0537$ В – середньоквадратичне відхилення вхідного сигналу; $\sigma_x = 0.313$ В – середньоквадратичне відхилення вихідного сигналу.

Основа для пошуку $W_k(s)$ та $S_{ee}(s)$ склав алгоритм, розроблений в [2,4], у відповідності з яким шукана оптимальна матриця оцінок визначається як

$$\Phi = [W_k, S_{ee}] = R_0^{-1} (T_0 + T_+) D^{-1}, \quad (4)$$

де R_0 - результат факторизації [2] вагового коефіцієнта R (для каналу зв'язку $R_0 = 1$);

D - результат факторизації блочної матриці S_{yy} , такий що

$$D \cdot D_* = S_{yy} = \begin{bmatrix} S_{uu} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$T_0 + T_+$ - стійка частина результату сепарації блочної дрібно-раціональної матриці

$$T = T_0 + T_+ + T_- = R_0 S_{yx} D_*^{-1}; \quad (6)$$

«*»- знак Ермітового спряження матриць [7]; S_{yx} - матриця взаємних спектральних щільностей:

$$S_{yx} = (S_{ux}, S_{\Delta x}); \tag{7}$$

$S_{\Delta x}$ - результат факторизації рівняння зв'язку

$$S_{x\Delta} \cdot S_{\Delta\Delta} \cdot S_{\Delta x} = S_{xx} - S_{xu} \cdot S_{uu}^{-1} \cdot S_{ux}. \tag{8}$$

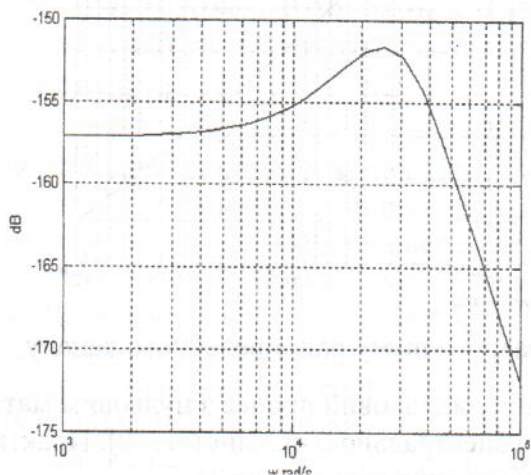


Рис. 3. Спектральна щільність вхідного сигналу

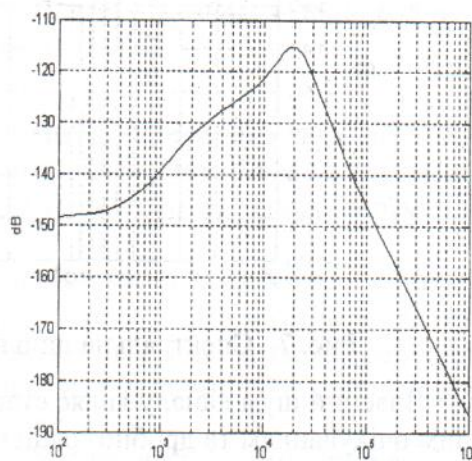


Рис. 4. Спектральна щільність вихідного сигналу

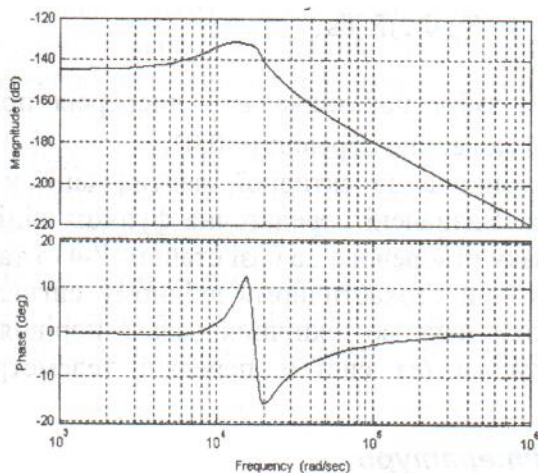


Рис. 5. Взаємна спектральна щільність

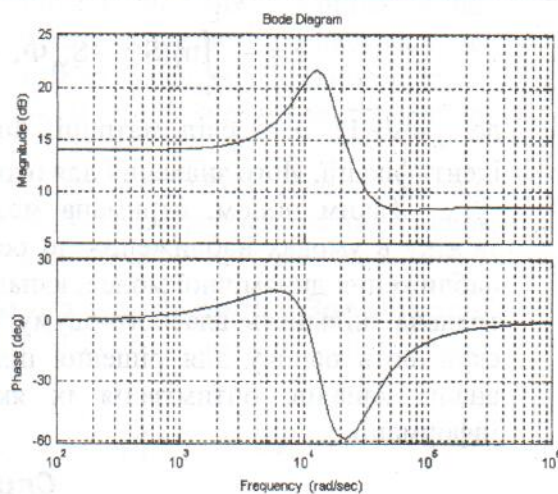


Рис. 6. Частотні характеристики радіо-релейного каналу

В результаті підстановки спектральних щільностей з (1)-(3) у алгоритм (5)-(8) визначені: передаточна функція каналу зв'язку $W_k(s)$ у вигляді:

$$W_k(s) = \frac{2.66(s + 8166)(s^2 + 3.82e4s + 8.9e8)}{(s + 2.15e4)(s^2 + 9000s + 1.8e8)}, \tag{9}$$

та спектральна щільність неконтрольованого власного шуму каналу:

$$S_{ee}(s) = S_{ee+} \cdot S_{ee-} = \left| \frac{30.38(s + 1.48e4)(s + 1429)(s^2 + 1.3e4s + 1.49e8)}{(s + 2369)(s^2 + 9000s + 1.8e8)(s^2 + 2e4s + 4.54e8)} \right|^2. \tag{10}$$

Аналіз частотних характеристик каналу зв'язку (рис.6) показав, що радіорелейний канал зв'язку є лінійним динамічним об'єктом зі смугою пропускання

0,3-3 кГц та коефіцієнтом підсилення у ній близьким до 10 дБ, що не протирічить технічним характеристикам Р-415.

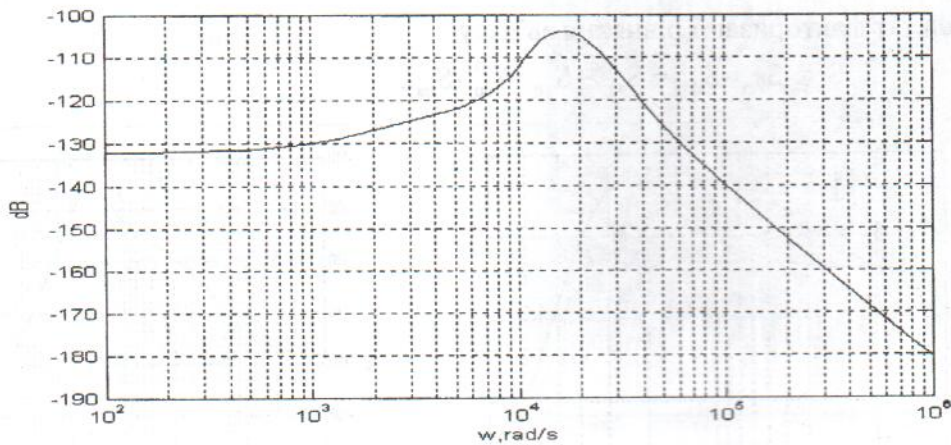


Рис. 7. Спектральна щільність власного шуму радіо-релейного каналу

Власний шум каналу являє стаціонарний випадковий процес з нульовим математичним очікуванням та дробно-раціональною спектральною щільністю (10). Практична ширина його спектру знаходиться в смузі пропускання каналу (рис.7).

Основу для аналізу якості ідентифікації моделі динаміки каналу у відповідності з [2,4] складає наступний інтеграл

$$e = \frac{1}{j} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \text{tr}[(S_{xx} - S_{yx} \Phi_* - \Phi_* S_{xy} + \Phi_* S_{yy} \Phi_*) R] ds, \quad (11)$$

де $j = \sqrt{-1}$; tr - слід матриці. Фізичний зміст показника e - дисперсія похибки ідентифікації. Його значення для отриманої моделі не перевищує 0,01.

Таким чином, отримана методика виконання активної ідентифікації каналів зв'язку в умовах наближених до реальних. Визначені передаточна функція лінійного наближення динамічної моделі каналу зв'язку створеного на базі станцій Р-415 та спектральна щільність власного шуму каналу при стохастичному входному сигналі, які складають основу для рішення цілої низки науково-технічних задач: порівняльний аналіз каналів, оптимізація їх якості та синтез систем передачі телеметричної інформації.

Список літератури

1. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем.- М.: Наука, ФМ, 1966. -623с.
2. Блохін Л.М., Буриченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління – К.: НАУ, 2003. -208с.
3. Киричков В.Н. Идентификация объектов систем управления технологически процессами/ Под ред. А.А.Краснопрошиной- К.: Наук.думка, 1987. -263 с.
4. Блохин Л.Н. Оптимальные системы стабилизации – К.: Техника, 1982.- 144с.
5. Отнес Р., Энноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. – 428с.
6. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц.- М.:Наука,1988.- 552с.