

1. Мичуда З.Р. Логарифмічні аналого-цифрові перетворювачі – АЦП майбутнього. – Львів, 2002. 2. А.с. 1429136 СССР, МПК G06G 7/24. Логарифмический аналого-цифровой преобразователь / З.Р. Мичуда, Н.В. Яворский. – Опубл. 07.10.1988. Бюл. №37. – 5 с. 3. Мичуда З.Р. Порозрядний логарифмічний аналого-цифровий перетворювач// Вимірювальна техніка та метрологія. – 1998. – №53. – С.114–118. 4. З. Мичуда, К. Гльканич, Л. Мичуда. Новий метод логарифмічного аналого-цифрового перетворення // Комп'ютерні технології друкарства. – Л., 2004. – № 12. – С.220–225. 5. С.С.Lefas. Successive approximation logarithmic A/D conversion using charge redistribution techniques // Int. Journal of Circuit Theory and Applications. – Vol.15. – №1. – 1987. – P.61–69.

УДК 621.317

О.В. Бойко, П.Г. Столярчук, Г.І. Барило, В.І. Матвіїв  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

## МЕТОДИ ПОСЛАБЛЕННЯ ЗАВАД НОРМАЛЬНОГО ВИДУ В АКТИВНИХ ІМІТАТОРАХ ОПОРУ

© Бойко О.В., Столярчук П.Г., Барило Г.І., Матвіїв В.І., 2005

**Запропоновано методи послаблення завад нормального виду в чотирипровідних активних імітаторах опору. Проаналізовано вплив додаткових елементів на коефіцієнт послаблення завад і динамічні характеристики імітатора опору.**

**The methods of compensation influence of the normal mode noise in four-terminal code-control resistance measures are proposed. Influence of the additional elements on the noise suppression and dynamic characteristics in the resistance measures are analyzed.**

### Вступ

Під час метрологічної перевірки резистивних перетворювачів в промислових умовах доволі часто кодокеровані міри опору повинні забезпечувати можливість неспотвореного передавання значення зразкового опору на віддаль. На вимірювальні кола діють різні впливні чинники. Одним з основних чинників на промислових об'єктах, що впливає на точність передачі одиниць зразкового опору на віддаль, є завади промислових мереж [1, 2]. В [3] показано, що для зменшення впливу завад нормального виду в чотирипровідних активних імітаторах опору необхідно намагатися вирівняти завади в лініях зв'язку. Рівність завад в усіх лініях зв'язку можна отримати у разі рівності параметрів гальванічних зв'язків між джерелом завад і окремими лініями зв'язку. Для вирівнювання параметрів гальванічних зв'язків застосовують загальнодоступні конструктивні методи (екранування, скручування ліній зв'язку, заземлення та інші), однак це не дає змоги повністю усунути вплив завад на сигнали у вимірювальних колах [4, 5]. Для зменшення впливу завад застосовують також структурні методи [2, 6]. Відомі методи послаблення завад при вимірюванні напруги неможливо використати в активних імітаторах опору. Тому необхідно розробляти спеціальні методи, які б дали змогу зменшити вплив завад на похибку імітації опору.

### Підвищення завадостійкості активних імітаторів опору

На рис.1 наведено структурну схему активного імітатора опору з компенсацією впливу завад нормального виду в усіх лініях зв'язку.

Для вирівнювання завад у першій і другій лініях зв'язку введено схему формування компенсаційного струму, побудовану на операційному підсилювачі DA2 з резисторами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  у зворотних зв'язках. Функція перетворення активного імітатора опору описується виразом

$$R_{\text{ім}} = R_0 \mu + \frac{e_{34} - e_{32}}{I_{\text{вх}}} + \left( \frac{e_{32} - e_{31}}{I_{\text{вх}}} + \frac{I_k R_0}{I_{\text{вх}}} \right) \mu + \frac{e_{33}}{k I_{\text{вх}}}, \quad (1)$$

де  $e_{31}$ ,  $e_{32}$ ,  $e_{33}$ ,  $e_{34}$  – значення напруги завад у відповідних лініях;  $\mu$  – коефіцієнт передачі кодокерованого подільника напруги КПН;  $I_{\text{вх}}$  – значення вхідного струму;  $I_k$  – значення компенсаційного струму;  $R_0$  – значення опору зразкового резистора;  $k$  – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача DA3.

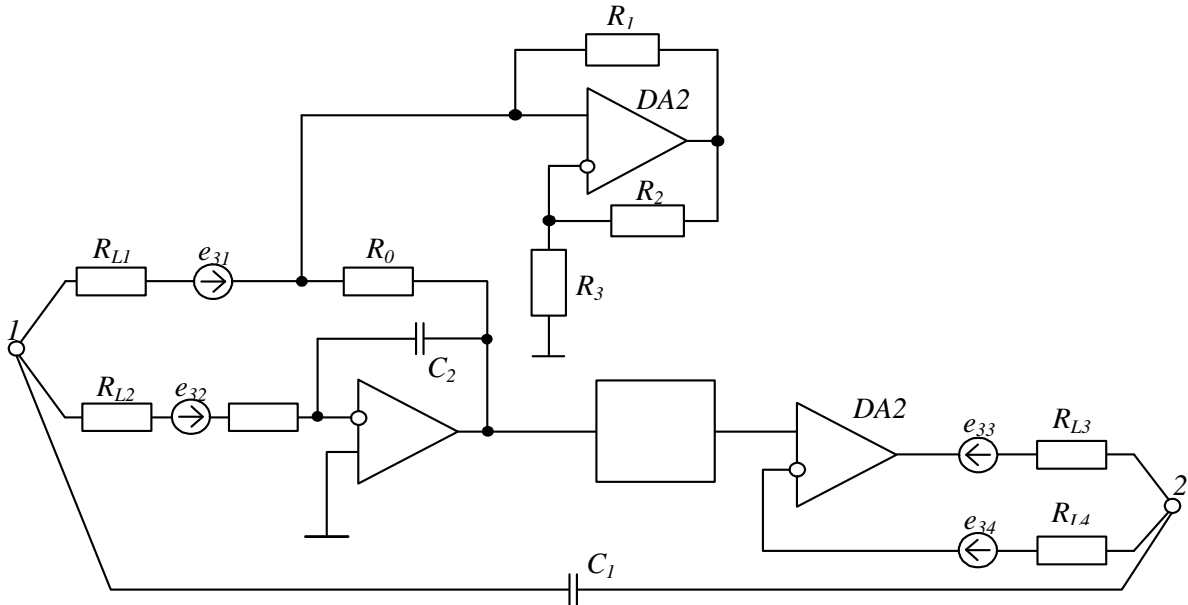


Рис. 1. Еквівалентна структурна схема активного імітатора опору з компенсацією впливу завад нормального виду

Схема формування компенсаційного струму формує струм

$$I_k = \frac{e_{31} - e_{32}}{R_0}, \quad (2)$$

що досягається у разі виконання умови

$$R_0 R_2 = R_1 R_3. \quad (3)$$

У разі нехтування похибкою формування компенсаційного струму функція перетворення має вигляд

$$R_{\text{ім}} = R_0 \mu + \frac{e_{34} - e_{32}}{I_{\text{вх}}} + \frac{e_{33}}{k I_{\text{вх}}}. \quad (4)$$

Для забезпечення стійкості схеми формування компенсаційного струму необхідно, щоб коефіцієнт додатного зворотного зв'язку не перевищував коефіцієнта від'ємного зв'язку, тобто

$$\frac{R_1 + R_0}{R_0} \leq \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

Умова стійкості автоматично забезпечується у разі виконання умови компенсації (3).

Вирівнювання завад у другій і четвертій лініях зв'язку досягається за рахунок введення додаткових ємнісних зв'язків, які забезпечують однакові потенціали за змінною складовою у другій і четвертій лініях. Послаблення завад у третій лінії відбувається за рахунок зворотного зв'язку вихідного підсилювача, в колі якого знаходиться ця лінія і ефективність послаблення завад залежить лише від коефіцієнта підсилення операційного підсилювача DA3. Для можливості зменшення ємності конденсаторів послідовно з опором лінії  $R_{L2}$  введено резистор  $R$ .

Еквівалентне значення завади між точками 1 і 2 при нехтуванні похибок, спричинених обмеженістю коефіцієнта підсилення ОП і формуванням  $I_k$ , визначається з формули

$$U_{12_3} = (e_{34} - e_{32}) \left( 1 - \frac{R_0(R_{L2} + R)}{R_0(R_{L2} + R) - \frac{1}{\omega C_1} \frac{1}{\omega C_2} - j \frac{R_0}{\omega C_1}} \right), \quad (5)$$

де  $\omega$  – кругова частота завади;  $R_{L2}$  – значення опору другої лінії зв'язку.

Максимальне значення завади між точками 1 і 2 становить

$$U_{12_{\max}} = e_{34} - e_{32} \quad (6)$$

Коефіцієнт послаблення завад дорівнює

$$K_{\Pi} = 20 \lg \left| \frac{U_{12_{\max}}}{U_{12_3}} \right| \quad (7)$$

Після відповідної підстановки отримаємо

$$K_{\Pi} = 20 \lg \frac{\left( R_0(R_{L2} + R) - \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} \right)^2 + \left( \frac{R_0}{\omega C_1} \right)^2}{\frac{1}{\omega C_1} \sqrt{\left( \frac{1}{\omega^3 C_1 C_2^2} + \frac{R_0^2}{\omega C_1} - \frac{R_0(R_{L2} + R)}{\omega C_2} \right)^2 + \left( R_0^2(R_{L2} + R) \right)^2}}. \quad (8)$$

З аналізу виразу (8) видно, що коефіцієнт послаблення завад залежить від значень  $R_0$ ,  $R$ ,  $C_1$  і  $C_2$ .

На рис.2 наведено графічні коефіцієнти послаблення завад від  $C_1$ ,  $R$  і  $C_2$ . Як видно, коефіцієнт послаблення зростає на 20 дБ при збільшенні на порядок значення ємності конденсатора  $C_1$  або значення опору додаткового резистора  $R$ . Збільшення значень  $C_1$  і  $R$  обмежується насамперед часом встановлення вихідного сигналу, вхідним опором ОП, а також габаритами і внутрішнім опором конденсатора. Оптимальне значення ємності другого конденсатора становить  $C_2=10 \mu\text{Ф}$ .

#### Дослідження динамічних характеристик активного імітатора опору

Для аналізу впливу частотно-залежних елементів на динамічні похибки імітації опору визначено залежність значення імітованого опору від частоти:

$$R_{\text{ім}}(\omega) = \frac{\sqrt{\frac{1}{\omega^2 C_1^2} \left( R_0 R_2 + \frac{\mu}{\omega^2 C_2^2} \right)^2 + \left( R_0 R_2 + \frac{R_0 \mu - R_2}{\omega^2 C_1 C_2} - \frac{R_0 \mu^2}{\omega^2 C_2^2} \right)^2}}{\left[ R_0^2 \left( \frac{1}{\omega C_1} + \frac{\mu}{\omega C_2} \right)^2 + \left( R_0 R_2 - \frac{1}{\omega^2 C_1 C_2} \right)^2 \right] \frac{\omega C_1}{R_0}}, \quad (9)$$

де  $R_2=R_{L2}+R$ .

На похибку імітації опору впливають значення ємності конденсаторів  $C_1$  і  $C_2$ , а також значення опору додаткового резистора  $R$ . З графічної залежності (рис. 3) видно, що зменшення  $C_2$  та  $R$  розширяє частотний діапазон імітації опору. Значення ємності  $C_1$  на частотний діапазон не впливає.

Під час роботи АІО з комутаторами важливішою характеристикою є час встановлення вихідного сигналу. Для цього скористаємося операторним методом розрахунку перехідних процесів.

У разі під'єднання АІО з нульовими початковими умовами в момент  $t=0$  до джерела одиничної напруги з вихідним опором  $R_{\text{вих}}$  напруга в точках імітації опору в операторній формі описується виразом:

$$U(p) = \frac{R_{\text{ім}}(p)}{p[R_{\text{вих}} + R_{\text{ім}}(p)]}, \quad (10)$$

$$\text{де } R_{\text{ім}}(p) = \frac{R_0(R_{L2} + R)C_2 p + R_0 \mu}{R_0(R_{L2} + R)C_1 C_2 p^2 + R_0(C_1 \mu + C_2) p + 1}.$$

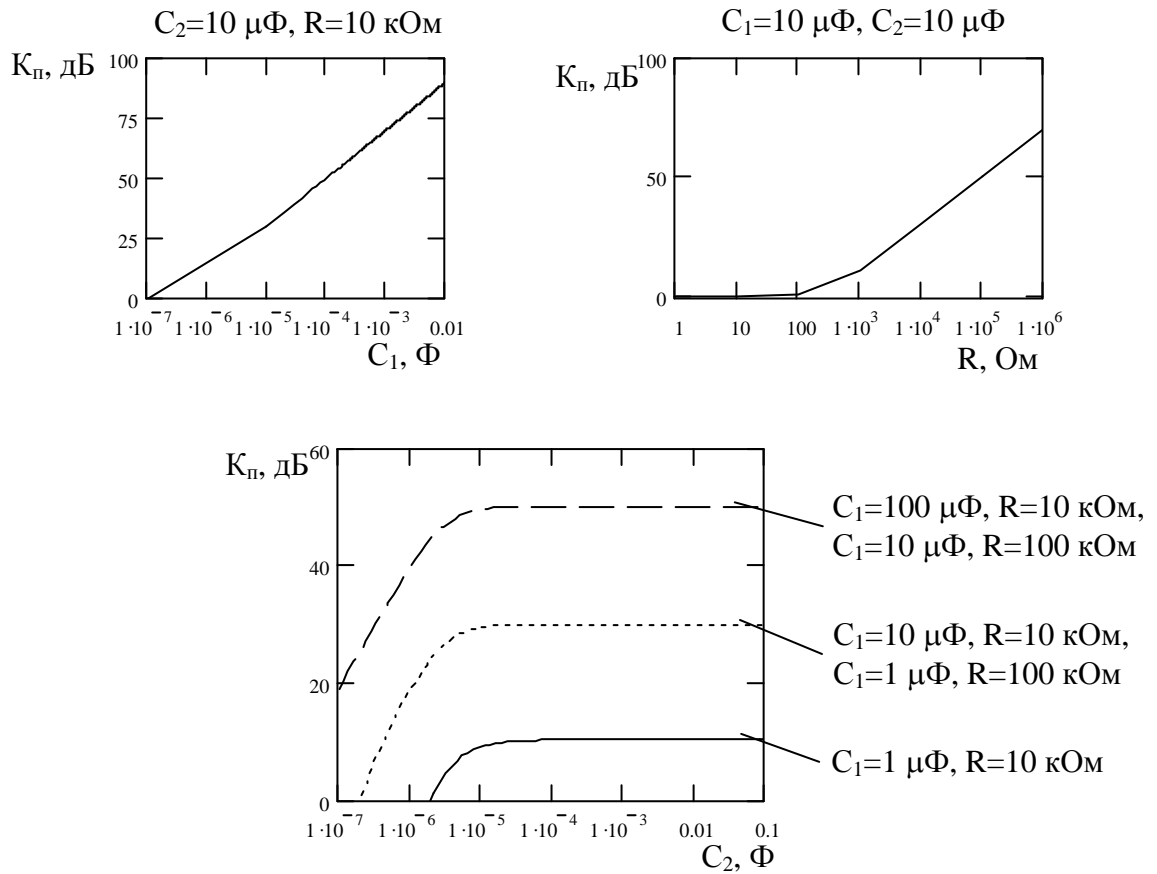


Рис. 2. Залежності коефіцієнта послаблення завад від  $C_1$ ,  $R$  і  $C_2$

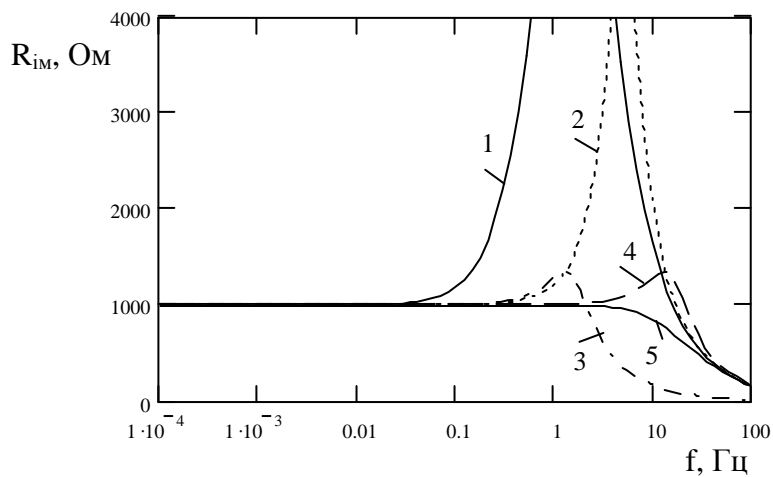


Рис.3. Залежність значення імітованого опору від частоти:  
 1. –  $R=10^4$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-4}$  Ф;  $R=10^5$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-5}$  Ф;  
 2. –  $R=10^4$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-5}$  Ф;  $R=10^5$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-6}$  Ф;  
 3. –  $R=10^4$  Ом,  $C_1=10^{-4}$  Ф,  $C_2=10^{-5}$  Ф; 4. –  $R=10^4$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-6}$  Ф;  
 5. –  $R=10^3$  Ом,  $C_1=10^{-5}$  Ф,  $C_2=10^{-5}$  Ф.

Для переходу до функції часу використовуємо зворотнє перетворення Лапласа:

$$U(t) = L^{-1}[U(p)].$$

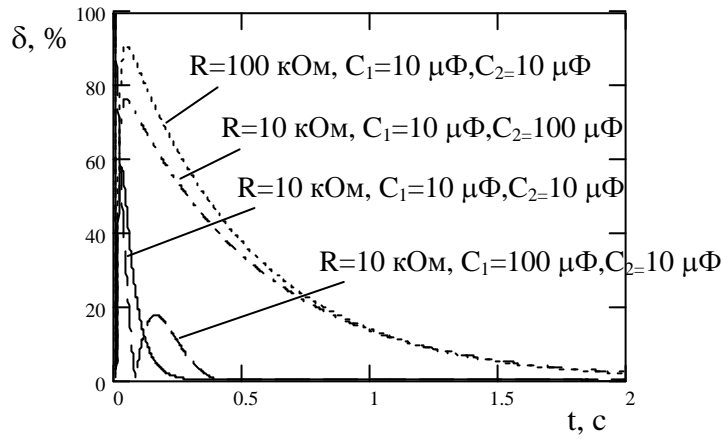


Рис. 4. Динамічна відносна похибка імітації опору

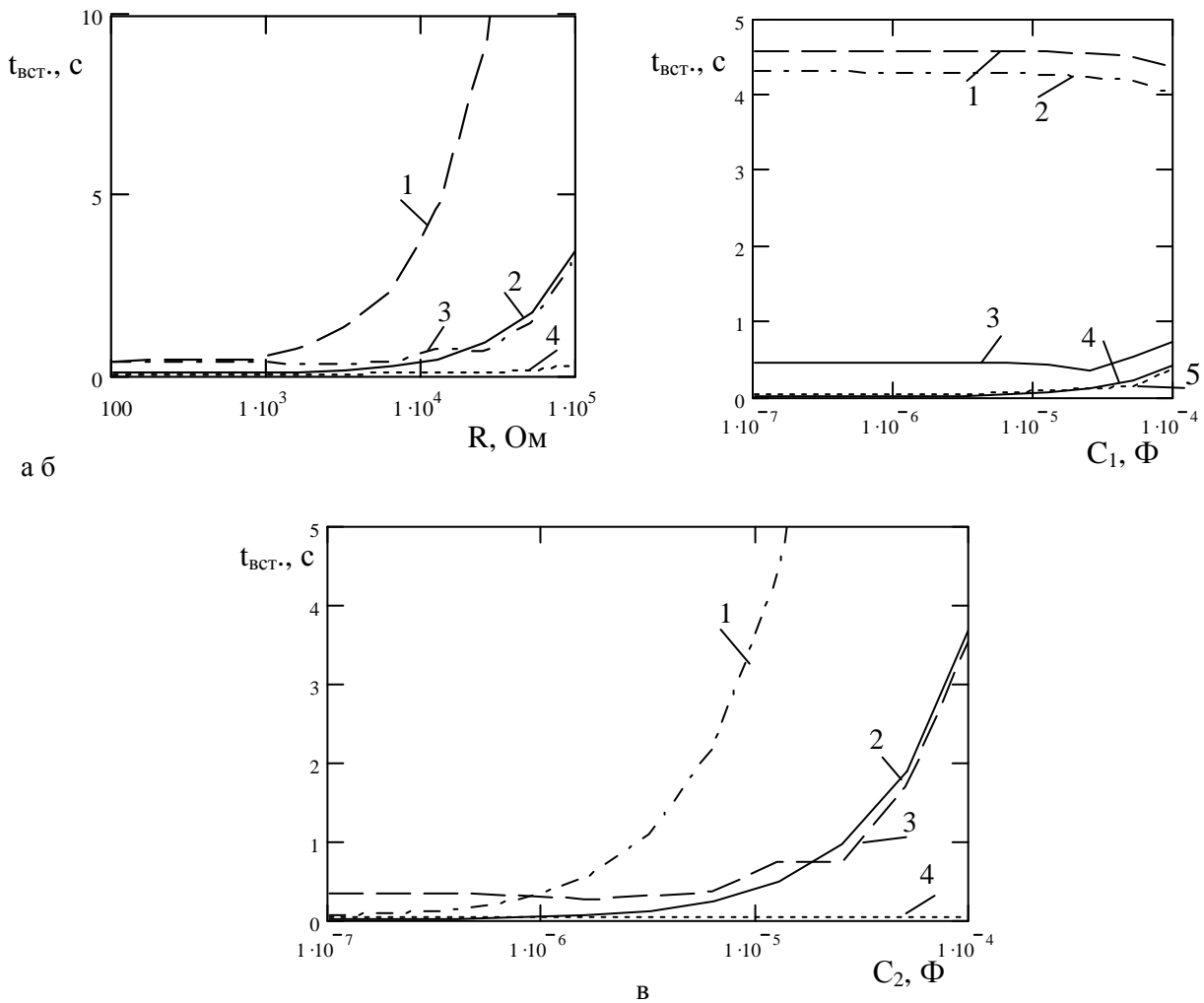


Рис. 5. Залежності часу встановлення вихідного сигналу :

- а) від значення опору додаткового резистора  $R$  (1. –  $C_1=10^{-5} \Phi$ ,  $C_2=10^{-4} \Phi$ ;  
 2. –  $C_1=10^{-5} \Phi$ ,  $C_2=10^{-5} \Phi$ ; 3. –  $C_1=10^{-4} \Phi$ ,  $C_2=10^{-5} \Phi$ ; 4. –  $C_1=10^{-5} \Phi$ ,  $C_2=10^{-6} \Phi$ );  
 б) від значення ємності  $C_1$  (1. –  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_2=10^{-4} \Phi$ ; 2. –  $R=10^5 \text{ Ом}$ ,  $C_2=10^{-5} \Phi$ ;  
 3. –  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_2=10^{-5} \Phi$ ; 4. –  $R=10^3 \text{ Ом}$ ,  $C_2=10^{-5} \Phi$ ; 5. –  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_2=10^{-6} \Phi$ );  
 в) від значення ємності  $C_2$  (1. –  $R=10^5 \text{ Ом}$ ,  $C_1=10^{-5} \Phi$ ; 2. –  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_1=10^{-4} \Phi$ ;  
 3. –  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_1=10^{-6} \Phi$ ;  $R=10^4 \text{ Ом}$ ,  $C_1=10^{-5} \Phi$ ; 4. –  $R=10^3 \text{ Ом}$ ,  $C_1=10^{-5} \Phi$ )

Часова динамічна відносна похибка імітації опору описується виразом:

$$\delta Z(t) = \frac{U(t)/I_{\text{вх}} - U_{\text{н}}(t)/I_{\text{вх}}}{U_{\text{н}}(t)/I_{\text{вх}}} = \frac{U(t) - U_{\text{н}}(t)}{U_{\text{н}}(t)}, \quad (11)$$

де  $U_{\text{н}}(t)$  – номінальне значення вихідної напруги в точках імітації опору.

За допомогою програмного пакета MathCAD 2000 отримано графічні залежності часової динамічної похибки імітації опору (рис.4), а також залежності часу встановлення вихідного сигналу від значень  $R$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  з точністю до 0.01% (рис. 5).

З аналізу графічних залежностей видно, що час встановлення залежить від значень  $R$ ,  $C_2$  і практично не залежить від  $C_1$ . Час встановлення не перевищує 1с, якщо значення  $R$  і  $C_2$  не перевищують 10 кОм і 10 мФ, відповідно. При збільшенні  $R$  або  $C_2$  на порядок час встановлення буде більшим від 4 с.

### Висновки

Застосування компенсаційної схеми за струмом і додаткових ємнісних зв'язків дає змогу підвищити завадостійкість активних імітаторів опору. Вибором значень ємностей конденсаторів  $C_1$ ,  $C_2$  і додаткового резистора  $R$  можна досягти компромісу між послабленням завад і динамічними характеристиками активного імітатора опору в конкретних промислових умовах.

Використання запропонованого АІО в промислових умовах забезпечить необхідну точність перевірки перетворювачів, вхідним сигналом яких є опір.

1. *Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е.С. Полищука. – К., 1984.* 2. *Михайлов Е.В. Помехозащищенность информационно – измерительных систем. – М., 1975.* 3. *Бойко О. Влияние завад у чотирипровідних активних імітаторах опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2003. – №62. – С. 28–31.* 4. *Серьезнов А.Н., Цапенко М.П. Методы уменьшения влияния помех в термометрических цепях. – М., 1968.* 5. *Швецкий Б.И. Электронные цифровые приборы. – К., 1981.* 6. *Малиновский В.И. Цифровые вольтметры интегрирующего типа (Обзор) // Приборы и системы управления, 1973. – №2. – С.10–13.*

УДК 621.374

А.Я. Горпенюк, В.Б. Дудикевич, Н.М. Лужецька  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматики і телемеханіки

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНВЕЄРНИХ ЧИСЛО-ІМПУЛЬСНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Горпенюк А.Я., Дудикевич В.Б., Лужецька Н.М., 2005

**Розглянуто способи імітаційного моделювання конвеєрних число-імпульсних функціональних перетворювачів. Запропоновано моделі базових конвеєрних число-імпульсних вузлів і алгоритми моделювання конвеєрних число-імпульсних структур загалом.**

**The methods of imitation design of conveyor pulse-number functional converters are considered in the article. The models of base conveyor pulse-number nodes and algorithms of conveyor pulse-number structures design are offered .**

### Постановка проблеми

Нехай перед нами стоїть задача функціонального перетворення деякої змінної фізичної величини. Будь-яка фізична величина може бути перетворена в імпульсну послідовність (порівнянням із зразковою мірою). Інформативними параметрами імпульсної послідовності, зокре-