

Максимальне значення, $K_{z \max}$	0,79991
Розмах, $K_{z \max} - K_{z \min}$	4,1E-0005
Медіана	0
Середнє арифметичне	0,7999
Дисперсія	2,0E-0010
Стандартне відхилення	1,4E-0005
Коефіцієнт варіації	56872,7133
$\chi^2$ – тест за $P = 97\%$ :	
– нормальний закон розподілу	Ні
– рівномірний закон розподілу	Ні
Максимальна відносна похибка, %	$\leq 0,016\%$

**Висновок.** Коефіцієнт заповнення імпульсної послідовності широко використовується як інформативний вихідний параметр різноманітних сучасних сенсорів. Запропонований метод вимірювання коефіцієнта заповнення і шпаруватості дає можливість уникнути складової похибки вимірювання, яка виникає через квантування періоду.

Результати моделювання продемонстрували підвищення точності вимірювання у два рази порівняно з класичним методом вимірювання коефіцієнта заповнення під час його використання в універсальному перетворювачі частота-код. Експериментальні дослідження також підтвердили високі метрологічні характеристики методу і перетворювача на його основі.

1. *Temperature Sensor SMT160-30, Specification Sheet, Smartec, The Netherlands, 2003.* 2. *Yurish S.Y. Practical circuits and interface techniques for MEMS accelerometers with quasi-digital output // Sensors & Transducers Magazine. – 2005. – Vol.58. – № 8. – P.352–359.* 3. *Yurish S.Y. Digital magnetic sensors based on universal frequency-to-digital converter (UFDC-1) // Sensors & Transducers Magazine. – 2005. – Vol.61. – № 11. – P.446–450.* 4. *Meijer G. Concepts and focus point for intelligent sensor systems // Sensors and Actuators A. – 1994. – Vol. 41–42. – P. 183–191.* 5. *Middelhoek S., French P.J., Huijsing J.H., Lian W.J., Sensors with digital or frequency output // Sensors and Actuators. – 1988. – Vol. 15. – P. 119–133.* 6. *Vuori J. Simple method measures duty cycle // EDN Magazine. – 1997. – №3.* 7. *Chao G., Meijer G. A novel method of reading the time-domain sensor signals //Proc. ProRISC. – Veldhoven (The Netherlands). – 2001.* 8. *Способ измерения частоты и периода гармонического сигнала и устройство для его осуществления: А.с. 788018 СССР, G01R 23/00 / Н.В. Кирианаки, Б.М. Березюк (СССР), Бюл. №46, 1978.* 9. *Yurish S.Y., Kirianaki N.V., Pallas-Areny R. Universal frequency-to-digital converter for quasi-digital and smart sensors: specifications and applications // Sensor Review. – 2005. – Vol. 25. – №.2. – P.92–99.* 10. *Шрюфер Е. Цифрова обробка дискретизованих сигналів / Пер. з нім. – К., 1992.* 11. *Денбновецький С.В., Кокошкин С.М., Шкуро А.Н. Наносекундная хронометрия. – К., 1991.* 12. *Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые). – К., 1986.*

**УДК 681.2.08**

**М.І. Грибок**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

## **ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПАРАЛЕЛЬНИХ RLC-СХЕМ МЕТОДОМ ЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ЗА СТРУМОМ**

© Грибок М.І., 2006

**Досліджено можливість вимірювання RLC-параметрів двоконтактних комплексних опорів в діапазоні частот методом зміщення системи координат за складовими струму.**

**The two elements complex resistance RLC-parameters in a range of frequencies by the coordinates system displacement method on the current components is investigated.**

**Вступ.** В багатьох галузях науки і техніки [1, 2, 3] виникає необхідність вимірювання RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів в діапазоні частот. Часто компоненти двополосників відповідають певним якісним характеристикам об'єкта досліджень, а тому підвищення точності їх вимірювання є актуальним завданням.

**Аналіз попередніх розробок та існуючих літературних джерел.** Методи зрівноваження (компенсаційні або мостові) [1, 2] забезпечують високі метрологічні характеристики лише на фіксованих частотах, як правило, 1 кГц. Аналогічний недолік притаманний засобам [7], в яких реалізовано метод фазочутливого детектування. Складність технічної реалізації і робота у вузькому діапазоні частот обмежують області їх використання. Впровадження засобів обчислювальної техніки у вимірювальні кола [4, 5, 6, 7, 8] відкриває нові можливості під час вимірювання RLC-параметрів в діапазоні частот. У [5] досліджено можливість використання методу заміщення під час вимірювання RLC-параметрів. Однак необхідність наявності апріорної інформації про комплексний вхідний опір вимірювача фази і вимірювача діючого значення напруги і застосування високоточного вимірювача фази в діапазоні частот звужують області використання і знижують потенційну точність вимірювань.

**Мета дослідження.** Впровадження алгоритмічних методів [9, 10, 11] в процеси вимірювань відкрило нові можливості для визначення параметрів векторних величин [10, 11] методом зміщення системи координат за опором і провідністю [12], а також за напругою [13]. У той самий час недостатньо досліджено можливість синтезу схем вимірювання параметрів комплексних опорів зміщенням системи координат за струмом. Усунення цього недоліку розглядає ця робота.

**Схеми вимірювання та основні математичні співвідношення.** Схеми вимірювання RLC-параметрів паралельних схем заміщення синтезовані, враховуючи методи вимірювання параметрів векторних величин [11, 12, 13] і закони Ома на змінному струмі:

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}}; \dot{g} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}}$$

Узагальнена структурна схема вимірювання (рис. 1) містить джерело синусоїдної напруги ДСН, комутатор К, блок управління БУ, аналого-цифровий перетворювач АЦП діючого значення напруги, цифровий частотомір ЦЧ, обчислювальний пристрій ОП, зразкові активні опори  $R_{01}$ ,  $R_{02}$ , зразковий комплексний опір  $\dot{Z}_0$  і подільник напруги  $R_1$ ,  $R_2$ . Спад напруги на резисторі  $R_{01}$  пропорційний до значення струму  $I_1$ , що протікає через досліджуваний комплексний опір  $\dot{Z}$ . На резисторі  $R_{02}$  маємо спад напруги, що пропорційний до значення струму  $I_2$ . Залежно від зразкового комплексного опору  $\dot{Z}_0$  ( $R_0, j\omega L_0, 1/j\omega C_0$ ) через  $\dot{Z}_0$  протікатиме струм  $i_{x0}=O_1O_2$  або  $i_{y0}=O_1O_3$  (рис. 2). Значення синфазної  $i_x$  та квадратурної  $i_y$  складових струмів в комплексному опорі  $\dot{Z}$

визначаються із співвідношення:  $i_x = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{x0}^2}{2i_{x0}}$ ;  $i_y = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{y0}^2}{2i_{y0}}$ . Оскільки  $i_{x0} = \dot{U}_{23}/R_0$ ,

$$i_{y0} = \dot{U}_{23}/j\omega L_0; i_{y0} = j\dot{U}_{23}\omega C_0, \text{ то } g_x = \frac{i_x}{U_{23}}, g_y = \frac{i_y}{U_{23}} \text{ або } g_y = \sqrt{g^2 - g_x^2}.$$

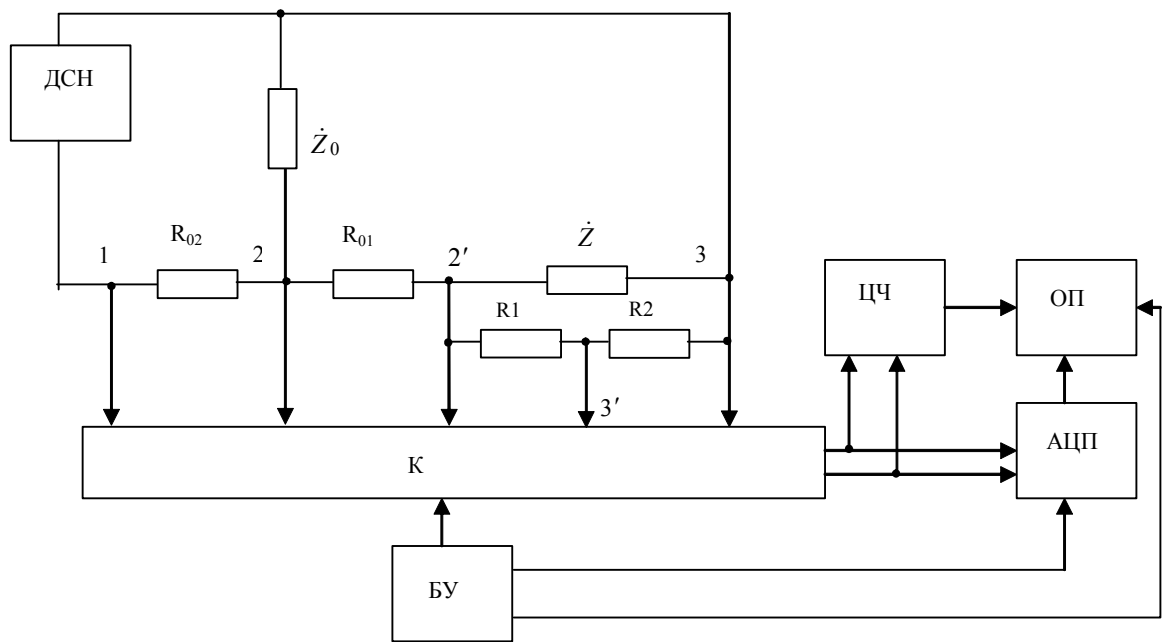


Рис. 1. Узагальнена структурна схема вимірювача RLC-параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат за струмом

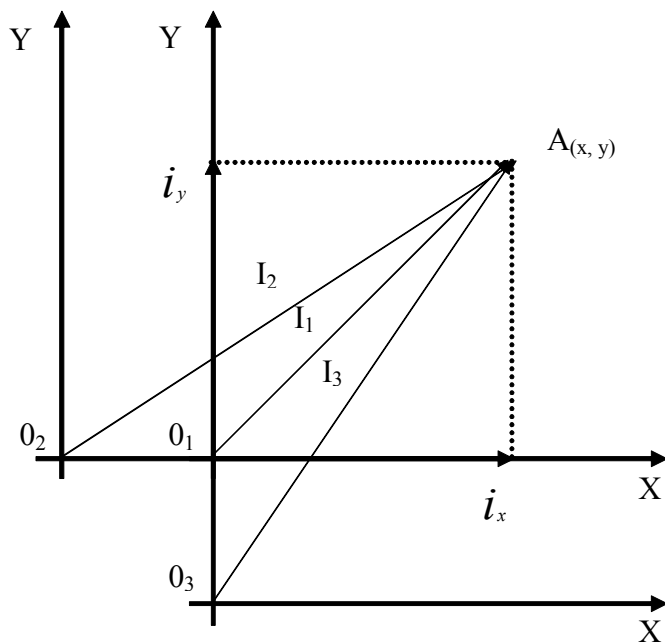


Рис. 2. Координатні системи під час вимірювання синфазної та квадратурної складових струмів

За одержаними значеннями  $g_x$  і  $g_y$  легко знайти RLC-параметри залежно від схеми заміщення  $\dot{Z}$ .

У разі наявності високої напруги на комплексному опорі  $\dot{Z}$  або під час здійснення вимірювань

в широкому діапазоні частот, коли вхідний опір  $\dot{Z}_B$  АЦП сумірний із досліджуваним комплексним опором, то реалізуємо операцію множення вектора на скаляр за допомогою подільника напруги  $R_1, R_2$ .

Значення  $R_{01}$  і  $R_1$  вибираються з умови  $R_{01} \ll |\dot{Z}_B|, R_1 \ll |\dot{Z}_B|$ . В таблиці наведені схеми вимірювальних кіл залежно від схеми заміщення об'єкта досліджень, а також від способу зміщення координат по осі абсцис чи по осі ординат. Для зміщення струму по осі ординат використовується емнісний опір  $1/j\omega C_0$ , оскільки його технічно простіше реалізувати в діапазоні частот. Для кожного вимірювального кола наведено основні математичні співвідношення і номінальні рівняння вимірювання RLC-параметрів.

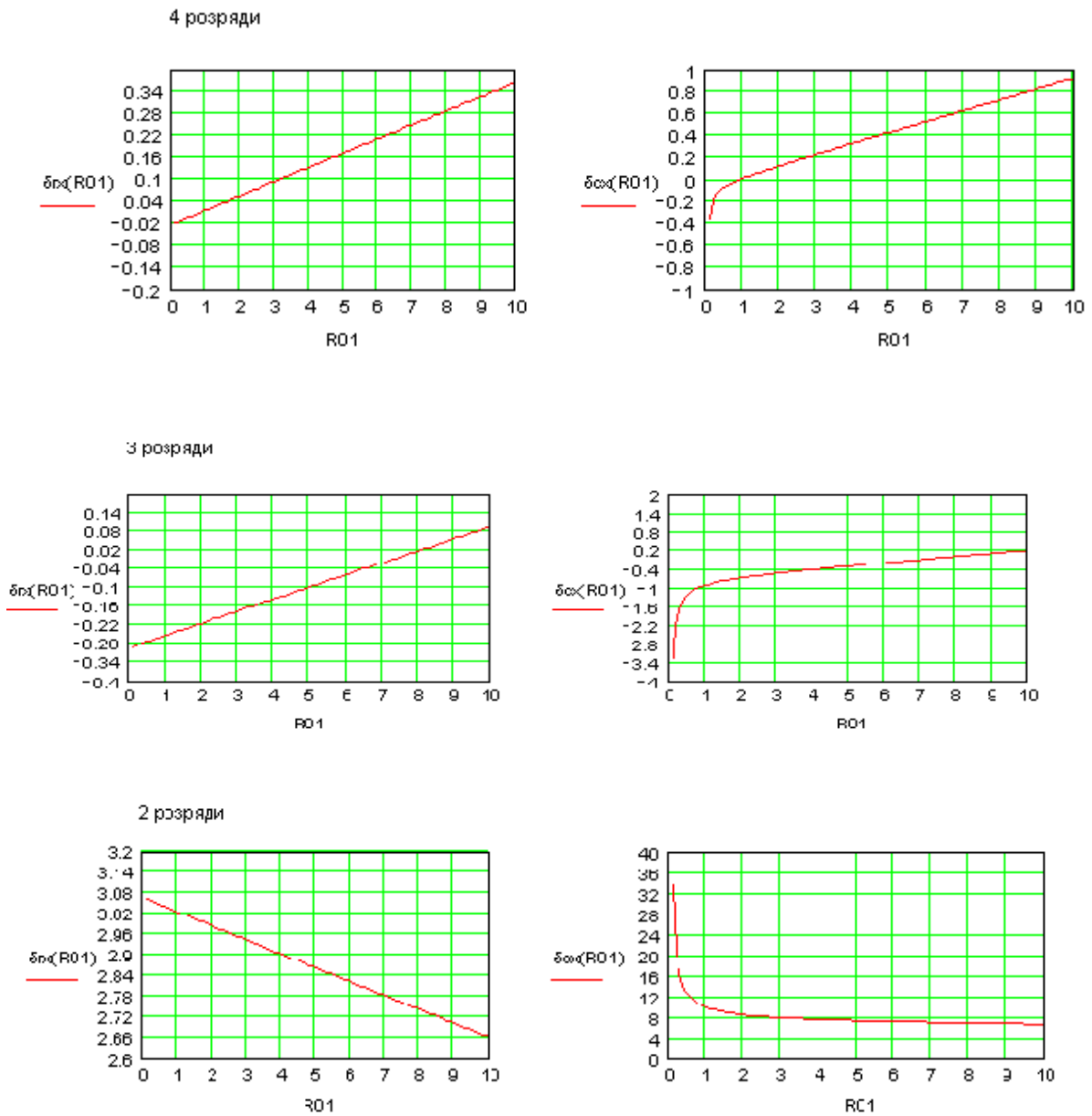
### Схеми вимірювальних кіл із зміщенням систем координат за струмом

№ з/п	Схема вимірювального кола	Основні математичні співвідношення
1	2	3
1		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_2 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad i_{x0} = \frac{U_{23}}{R_0};$ $i_x = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{x0}^2}{2i_{x0}}; \quad g = \frac{i_1}{U_{23}}; \quad g_x = \frac{1}{R} = \frac{i_x}{U_{23}};$ $R = \frac{U_{23}}{i_x}; \quad C = \frac{\sqrt{g^2 - g_x^2}}{\omega}; \quad \omega = 2\pi f$
2		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_3 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad i_{y0} = U_{23} \omega C_0$ $i_y = \frac{i_3^2 - i_1^2 - i_{y0}^2}{2i_{y0}}; \quad g = \frac{i_1}{U_{23}}; \quad g_y = \omega C = \frac{i_y}{U_{23}};$ $R = \frac{1}{\sqrt{g^2 - g_y^2}}; \quad C = \frac{i_y}{\omega U_{23}}; \quad \omega = 2\pi f$
3		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_2 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad i_{x0} = \frac{U_{23}}{R_0};$ $i_x = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{x0}^2}{2i_{x0}}; \quad g = \frac{i_1}{U_{23}}; \quad g_x = \frac{1}{R} = \frac{i_x}{U_{23}};$ $R = \frac{U_{23}}{i_x}; \quad C = \frac{1}{\omega \sqrt{g^2 - g_x^2}}; \quad \omega = 2\pi f$

<p>4</p>		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_3 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad i_{y0} = U_{23} \omega C_0$ $i_y = \frac{i_3^2 - i_1^2 - i_{y0}^2}{2i_{y0}}; \quad g = \frac{i_1}{U_{23}}; \quad g_y = \omega C = \frac{i_y}{U_{23}}$ $R = \frac{1}{\sqrt{g^2 - g_y^2}}; \quad g_y = \frac{1}{\omega L} = \frac{i_y}{U_{23}}$ $R = \frac{1}{\sqrt{g^2 - g_y^2}}; \quad L = \frac{U_{23}}{\omega i_y}; \quad \omega = 2\pi f$
<p>5</p>		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_2 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad U_{23'} = U_{23} K;$ $K = \frac{R_1}{R_2 + R_1}; \quad U_{23} = \frac{U_{23'}}{K}; \quad \text{при } R_{01} \ll  Z ,$ $U_{22'} \ll U_{23'}; \quad i_{x0} = \frac{U_{23'}}{K R_0}; \quad i_x = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{x0}^2}{2i_{x0}};$ $g = \frac{i_1}{U_{23'}} K; \quad R_e = \frac{R R_{\Pi}}{R_{\Pi} + R_e}; \quad g_x = \frac{i_x}{U_{23'}} K;$ $R_{\Pi} = R_1 + R_2; \quad R_e = \frac{U_{23'}}{K i_x}; \quad R = \frac{R_e R_{\Pi}}{R_{\Pi} - R_e}; \quad C = \frac{\sqrt{g^2 - g_x^2}}{\omega}; \quad \omega = 2\pi f$
<p>6</p>		$i_1 = \frac{U_{22'}}{R_{01}}; \quad i_3 = \frac{U_{12}}{R_{02}}; \quad U_{23'} = U_{23} K;$ $K = \frac{R_1}{R_2 + R_1}; \quad R_{\Pi} = R_1 + R_2; \quad U_{23} = \frac{U_{23'}}{K}$ <p>при <math>R_{01} \ll  Z </math> <math>U_{22'} \ll U_{23}</math></p> $i_{y0} = \frac{U_{23'}}{K} \omega C_0; \quad i_y = \frac{i_3^2 - i_1^2 - i_{y0}^2}{2i_{y0}}; \quad g = \frac{i_1}{U_{23'}} K;$ $R_e = \frac{R R_{\Pi}}{R_{\Pi} + R_e}; \quad g_y = \frac{i_y}{U_{23'}} K = \omega C; \quad C = \frac{i_y K}{\omega U_{23'}}$ $\omega = 2\pi f; \quad R_e = \frac{1}{\sqrt{g^2 - g_y^2}}; \quad R = \frac{R_e R_{\Pi}}{R_{\Pi} - R_e}$

--	--	--

Параметри вимірювального кола (схема 1, таблиця):  $C_x=0.0000001$  Ф;  $R_0=2000$  Ом;  
 $R_x=1000$  Ом;  $f=1000$  Гц;  $\omega=2\pi f$ ;  $R_{02}=0,1$  Ом;  $U=10$  В.



*Рис. 3. Залежності похибок вимірювання RC-параметрів від значення опору  $R_{01}$ (кОм) і розрядності АЦП*

**Висновки.** Результати вимірювання RLC-параметрів методом зміщення системи координат за струмом не залежать від значення коефіцієнта передачі АЦП, що особливо важливо під час

проведення вимірювань в діапазоні частот. Похибка вимірювання RLC-параметрів значною мірою визначається співвідношенням  $g \cos\varphi$  і  $g \sin\varphi$  і сумірністю  $1/R_0$  і  $g \cos\varphi$ , а також  $\omega C_0$  і  $g \sin\varphi$ . Значення  $R_{01}$  повинно бути  $R_{01} \ll |Z|$ , оскільки похибка вимірювання зростає з ростом  $R_{01}$  і із зменшенням розрядності АЦП (рис. 3). За відсутності апріорної інформації про чисельні значення  $g \cos\varphi$  і  $g \sin\varphi$  слід провести пробні вимірювання з метою уточнення значень  $1/R_0$  і  $\omega C_0$ . За значної відмінності  $g \cos\varphi$  і  $g \sin\varphi$  слід змінити частоту  $\omega$ , за якої  $g \cos\varphi \approx g \sin\varphi$ .

1. Гриневи́ч Ф.Б. Автоматические мосты переменного тока. – Новосибирск, 1964. 2. Кнеллер В.Ю. Автоматические измерения составляющих комплексных сопротивлений. – М.-Л., 1967. 3. Кнеллер В.Ю., Боровских П.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. – М., 1986. 4. Добровинський І.Р., Ломтев Е.А. Проектирование ИИС для измерения параметров электрических цепей. – М., 1997. 5. Добровинський І.Р., Бондаренко Л.Л., Блинов А.В. Повышение точности измерений параметров двухполюсников // Измерительная техника. – 200. – №. – С.49–53. 6. Modern impedance measurement techniques. Bate Alan. Electron. World. – 2003, 109. – №1803. – С.52–59. 7. PC-based devices for immitance control of multidimensional objects. Pohodylo E., Stolyarchuk P., Chyrka M. IEEE Trans. Instrum. and Meas. 2002, 51. – №5. – С. 1132–1135. 8. Агама-лов Ю.Р. Теоретические основы построения и техническая реализация многофункциональных преобразователей комплексного сопротивления на базе адаптивного подхода / Автореф. дисс. .... докт. техн. наук. Ин-т проблем упр. РАН. – М., 2003. – 46 с. 9. Свистунов Б.Л. Структурно-алгоритмические методы синтеза средств инвариантного измерения параметров электрических цепей / Автореф. дисс. .... докт. техн. наук. Пенз. гос. ун-т. – Пенза, 2004. – 47 с. 10. Грибок М. Алгоритмічні методи вимірювання параметрів скалярних величин // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – №58. 11. Грибок М. Інтелектуальні методи вимірювання параметрів векторних величин // Вісник ДУ “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”. – 2001. – №415. 12. Грибок М. Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових опорі і провідності // Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – 2002. – №445. 13. Грибок М. Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових напруги і струму // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – №59

УДК 004.942:534-8

Н.Я. Павич,

Національний університет “Львівська політехніка”.  
кафедра програмного забезпечення автоматизованих систем

## КОНТРОЛЕР ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ОБ’ЄМНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ У ПРУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

© Павич Н.Я., 2006

Розглядаються особливості дослідження та визначення форми об’ємних неоднорідностей у пружних середовищах за допомогою ультразвукових хвиль. Запропоновано структурну схему контролера для системи таких досліджень на основі апаратного інтерфейсу універсальної послідовної шини.

The features of investigation and identification of volumetric inhomogeneities form in elastic medium with ultrasonic waves are considered. System block scheme of controller for the