

М.І. Грибок, М. Гула
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКООМНИХ ТРИКОМПОНЕНТНИХ КОМПЛЕКСНИХ ОПОРІВ МЕТОДОМ ЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ЗА СТРУМОМ

© Грибок М.І., Гула М., 2009

На основі математичної моделі вимірювального кола за допомогою імітаційного моделювання одержано залежності похибок вимірювання RLC-параметрів від впливних факторів для методу зміщення системи координат за струмом.

On the basis of mathematical model of measuring circle by an imitation design dependences of errors of measuring of RLC-parameters are got on influences.

Вступ. Для вимірювання параметрів трикомпонентних комплексних опорів розроблено методи [1, 2, 3], основані на здійсненні аналого-цифрових перетворень на кількох частотах. Необхідність розширення діапазону частот зумовлене ще й тим, що похибка вимірювання RLC-параметрів залежить від співвідношення значень $R, \omega L$ і $1/\omega C$ в об'єкті досліджень, і від архітектури схеми заміщення. Водночас із зростанням частоти імпеданс об'єкта досліджень стає співмірним із вхідним імпедансом аналого-цифрового перетворювача АЦП. А це призводить до зростання методичної похибки вимірювання. Тому розроблення нових методів вимірювань, що забезпечують незалежність результатів вимірювань від значення вхідного імпедансу АЦП, є актуальним завданням.

Аналіз стану досліджень та публікацій на задану тему. Впровадження алгоритмічних методів [4, 5] у процеси вимірювань відкрило нові можливості для визначення параметрів низькоомних двокомпонентних і трикомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат за опором і провідністю [6], а також за напругою і струмом [7]. Проблема вимірювання параметрів високоомних трикомпонентних комплексних опорів частково вирішена в [8], однак там не одержано числових значень похибок вимірювань залежно від впливних факторів.

Мета дослідження. За допомогою імітаційного моделювання одержати числові значення похибок вимірювання RLC- параметрів трикомпонентних комплексних опорів для методу зміщення системи координат за струмом.

Схема вимірювання та основні математичні співвідношення. Узагальнена структурна схема вимірювання (рис. 1) [8] містить джерело синусоїдальної напруги ДСН, комутатор К, блок управління БУ, аналого-цифровий перетворювач АЦП діючого значення напруги, цифровий частотомір ЦЧ, обчислювальний пристрій ОП, зразкові опори R_{01}, R_{02}, R_1 і R_2 .

Струмозадаючий опір $R_0=R_1+R_2$ складається з двох опорів R_1 і R_2 , які утворюють подільник напруги з коефіцієнтом поділу $K = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$. Опори R_{01}, R_{02} і R_1 повинні бути співмірними, причому набагато меншими від значення вхідного опору Z_v АЦП.

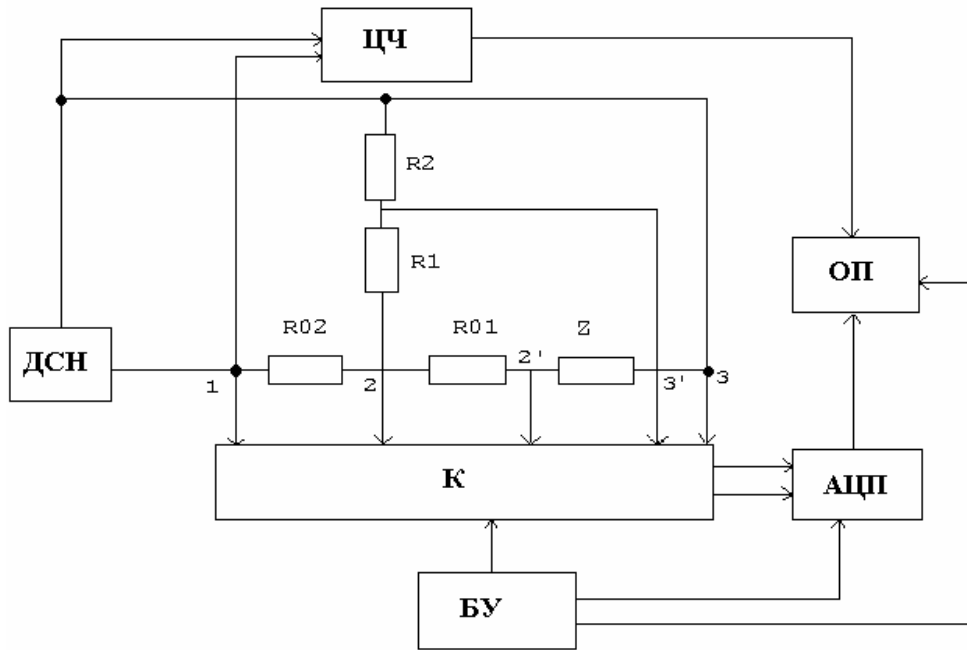


Рис. 1. Узагальнена структурна схема вимірювача RLC-параметрів трикомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат за струмом

Методика одержання математичної моделі вимірювального кола. Комплексний опір \dot{Z}_{1H} об'єкта досліджень на частоті f_1 дорівнює $\dot{Z}_{1H} = r_{1H} + jx_{1H}$. Комплексний опір послідовно ввімкнених опорів R_{01}, \dot{Z}_1 дорівнює $\dot{Z}_{2H} = \dot{Z}_{1H} + R_{01} = (r_{1H} + R_{01}) + jx_{1H} = r_{2H} + jx_{2H}$, де $x_{1H} = x_{2H}$. Виражаємо опір \dot{Z}_{2H} через провідність $\dot{Y}_{2H} = g_{2H} - jb_{2H} = \frac{r_{2H}}{Z_{2H}^2} - j\frac{x_{2H}}{Z_{2H}^2}$, де $Z_{2H} = \sqrt{r_{2H}^2 + x_{2H}^2}$. Провідність кола між вузлами 2 та 3: $\dot{Y}_{3H} = \dot{Y}_{2H} + \frac{1}{R_0} = \left(g_{2H} + \frac{1}{R_0}\right) - jb_{2H} = g_{3H} - jb_{3H}$, де $g_{3H} = g_{2H} + \frac{1}{R_0}$; $b_{2H} = b_{3H}$. Опір кола між вузлами 2 та 3: $\dot{Z}_{3H} = \frac{g_{3H}}{Y_{3H}^2} + j\frac{b_{3H}}{Y_{3H}^2} = r_{3H} + jx_{3H}$, а його модуль $Z_{3H} = \sqrt{r_{3H}^2 + x_{3H}^2}$. Комплексний опір кола між вузлами 1 та 3 дорівнює $\dot{Z}_{4H} = \dot{Z}_{3H} + R_{02} = (r_{3H} + R_{02}) + jx_{3H}$, а його модуль $Z_{4H} = \sqrt{(r_{3H} + R_{02})^2 + x_{3H}^2}$. На підставі значення \dot{Z}_{4H} і напруги $U(t)$ ДСН знаходимо струм в колі $i_{11} = \frac{U(t)}{Z_{4H}}$. Спада напруг між вузлами $U_{12}(\omega_1) = U_1 = i_{11}R_{02}$; $U_{23}(\omega_1) = U_2 = i_{11}Z_{3H}$; $U_{13}(\omega_1) = U(t)$.

Напруги $\dot{U}_{23}(\omega_1) = \frac{U_2 \cdot R_1}{R_0} = U_3$; $U_4 = \frac{U_2}{Z_{2f}} \cdot R_{01} = U_{22}(\omega_1)$. За сигналом БУ напруги U_1, U_3, U_4 через комутатор К подаються послідовно в часі на вхід АЦП, перетворюються на коди чисел і передаються в ОП. За одержаними значеннями напруг U_1, U_3, U_4 і відомими опорам R_{01}, R_{02} і R_1 визначаємо струми в колі $i_2 = \frac{U_1}{R_{02}}, i_1 = \frac{U_4}{R_{01}}, i_{01} = \frac{U_3}{K \cdot R_0}$.

З [8] обчислюємо синфазне значення струму, що протікає через провідність \dot{Y}_3 ,

$$i_{x1} = \frac{i_2^2 - i_1^2 - i_{01}^2}{2 \cdot i_{01}}. \text{ Звідси } g_2 = \frac{i_{x1}}{U_3} \cdot K$$

Визначаємо значення модуля провідності \dot{Y}_2 між вузлами 2 і 3 $Y_2 = \frac{i_1}{U_2} = \frac{i_1}{U_4} \cdot K = \frac{U_4 \cdot K}{R_{01} U_3}$.

За відомими значеннями Y_2 і g_2 знаходимо квадратурне значення провідності \dot{Y}_2 :
 $b_2 = \sqrt{Y_2^2 - g_2^2} = \frac{x_2}{Z_2^2}$. Оскільки $Z_2 = \frac{U_2}{i_1} = \frac{U_3 R_{01}}{K \cdot U_4}$, то $x_2 = b_2 \cdot Z_2^2$, а $r_2 = g_2 \cdot Z_2^2 = r_1 + R_{01}$,

звідси $r_1 = r_2 - R_{01}$, а $Z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$. З урахуванням обчислених значень Z_1, r_1, x_1 маємо $b_1 = \frac{x_1}{Z_1^2}$,

$g_1 = \frac{r_1}{Z_1^2}$. Отже, на першій частоті f_1 ми знайшли значення r_1, x_1, g_1 та b_1 . Оскільки об'єкт

досліджень містить три невідомі як трикомпонентний комплексний опір, то БУ змінює в ДСН частоту коливань $U(t)$ з f_1 на f_2 . Комплексний опір об'єкта досліджень на частоті f_2 дорівнює

$Z_{5H} = r_{5H} + jx_{5H}$. Комплексний опір послідовно ввімкнених R_{01} і Z_5 дорівнює

$Z_{6H} = Z_{5H} + R_{01} = (r_{5H} + R_{01}) + jx_{5H} = r_{6H} + jx_{6H}$. Виражаємо опір Z_{6H} через провідність

$Y_{6H} = g_{6H} - jb_{6H} = \frac{r_{6H}}{Z_{6H}^2} - j \frac{x_{6H}}{Z_{6H}^2}$, де $Z_{6H} = \sqrt{r_{6H}^2 + x_{6H}^2}$. Провідність кола між вузлами 2 та 3:

$Y_{7H} = Y_{6H} + \frac{1}{R_0} = \left(g_{6H} + \frac{1}{R_0} \right) - jb_{6H} = g_{7H} - jb_{7H}$, де $g_{7H} = g_{6H} + \frac{1}{R_0}$; $b_{7H} = b_{6H}$.

Опір кола між вузлами 2 та 3: $Z_{7H} = \frac{g_{7H}}{Y_{7H}^2} + j \frac{b_{7H}}{Y_{7H}^2} = r_{7H} + jx_{7H}$, де $Y_{7H} = \sqrt{g_{7H}^2 + b_{7H}^2}$, а його

модуль $Z_{7H} = \sqrt{r_{7H}^2 + x_{7H}^2}$. Комплексний опір кола між вузлами 1 та 3 дорівнює

$Z_{8H} = Z_{7H} + R_{02} = (r_{7H} + R_{02}) + jx_{7H}$, а його модуль $Z_{8H} = \sqrt{(r_{7H} + R_{02})^2 + x_{7H}^2}$. На підставі значення

Z_{8H} і напруги $U(t)$ ДСН знаходимо струм в колі $i_{22} = \frac{U(t)}{Z_{8H}}$. Спади напруг між

вузлами $U_{12}(\omega_1) = U_5 = i_{22} R_{02}$; $U_{23}(\omega_1) = U_6 = i_{22} Z_{7H}$; $U_{13}(\omega_1) = U(t)$.

Напруга $U_{23}(\omega_1) = \frac{U_6 \cdot R_1}{R_0} = U_7$; $U_8 = \frac{U_6}{Z_{7H}} \cdot R_{01} = U_{22}(\omega_1)$. За сигналом БУ напруги $U_5, U_7,$

U_8 через комутатор K подаються послідовно в часі на вхід АЦП, перетворюються на коди чисел і подаються в ОП. За одержаними значеннями напруг U_6, U_7, U_8 і відомими опорам R_{01}, R_{02} і R_1

визначаємо струми в колі $i_7 = \frac{U_5}{R_{02}}, i_6 = \frac{U_8}{R_{01}}, i_{02} = \frac{U_7}{K \cdot R_0}$. Знаходимо синфазне значення струму,

що протікає через провідність \dot{Y}_7 , $i_{x2} = \frac{i_7^2 - i_6^2 - i_{02}^2}{2 \cdot i_{02}}$. Звідси $g_6 = \frac{i_{x2}}{U_7} \cdot K$. Визначаємо значення

модуля провідності \dot{Y}_6 між вузлами 2 і 3 $Y_6 = \frac{i_6}{U_7} \cdot K = \frac{U_8 K}{R_{01} U_7}$. За відомими значеннями Y_6 і g_6

знаходимо квадратурне значення провідності $b_6 = \sqrt{Y_6^2 - g_6^2}$. Так як $Z_6 = \frac{U_7}{K \cdot U_8} R_{01}$, то маємо

$\tilde{o}_6 = b_6 \cdot Z_6^2$, а $r_6 = g_6 \cdot Z_6^2 = r_5 + R_{01}$, звідси $r_5 = r_6 - R_{01}$, а $Z_5 = \sqrt{r_5^2 + x_5^2}$. З обчислених значень

Z_5, r_5, x_5 маємо $b_5 = \frac{x_5}{Z_5^2}, g_5 = \frac{r_5}{Z_5^2}$. Отже, на частоті f_2 ми одержали значення r_5, x_5, g_5 та b_5 .

Розв'язуючи систему рівнянь [9], знаходимо значення R, L, C параметрів трикомпонентних комплексних опорів.

$$N_1 = \operatorname{Re} \dot{Z}_1 (\omega_1, R, L, C);$$

$$N_1 = \operatorname{Re} \dot{Y}_1 (\omega_1, R, L, C);$$

$$N_3 = \operatorname{Re} \dot{Z}_2 (\omega_2, R, L, C);$$

$$N_3 = \operatorname{Re} \dot{Y}_2 (\omega_2, R, L, C);$$

$$N_2 = \operatorname{Im} \dot{Z}_1 (\omega_1, R, L, C);$$

$$N_2 = \operatorname{Im} \dot{Y}_1 (\omega_1, R, L, C);$$

$$N_4 = \operatorname{Im} \dot{Z}_2 (\omega_2, R, L, C);$$

$$N_4 = \operatorname{Im} \dot{Y}_2 (\omega_2, R, L, C).$$

Результати імітаційного моделювання похибок вимірювання RLC-параметрів. Виходячи з принципової схеми вимірювального кола (рис. 2) і номінальних значень параметрів: $U=50$ В, $R_0=1$ кОм, $R_{01}=3000$ Ом, $R_{02}=1000$ Ом, $R=100000$ Ом, $C_1=0.001 \cdot 10^{-6}$ Ф, $C_2=0.002 \cdot 10^{-6}$ Ф, $K=0.01$, $f_1=300$ Гц зміною частоти $f_2=2000, 3000 \dots 20000$ Гц одержано залежності похибок вимірювання ємності C_2 (рис. 3, 4), опору R (рис. 5, 6) та ємності C_1 (рис. 7, 8) при шести, п'яти, чотирьох і трьох розрядах відліку АЦП. З графіків видно, що із зростанням розрядності АЦП похибка вимірювання зменшується. За співмірних значень опорів R, $\frac{1}{\omega C_1}$, $\frac{1}{\omega C_2}$ похибки вимірювання мінімальні (рис. 5, 6).

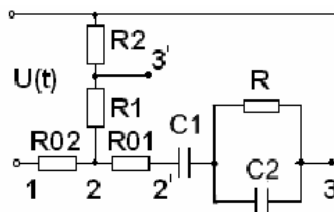


Рис. 2. Принципова схема вимірювального кола

Оскільки для визначення значення струму, що протікає через об'єкт досліджень між вузлами 2 і 2' принципової схеми, ввімкнено резистор R_{01} , то в роботі досліджено його можливий вплив на похибку вимірювання R, C_1 , C_2 при різних розрядностях АЦП. З графіків (рис. 9–14) видно, що лише при малих значеннях R_{01} похибки завищені. Очевидно, що це зумовлено малим значенням напруги на резисторі R_{01} і тим самим впливом похибки дискретності АЦП. Із зростанням значення R_{01} похибки зменшуються. Це означає, що резистори R_{01} , R_{02} , R повинні мати співмірні значення з метою забезпечення повнорозрядного відліку АЦП.

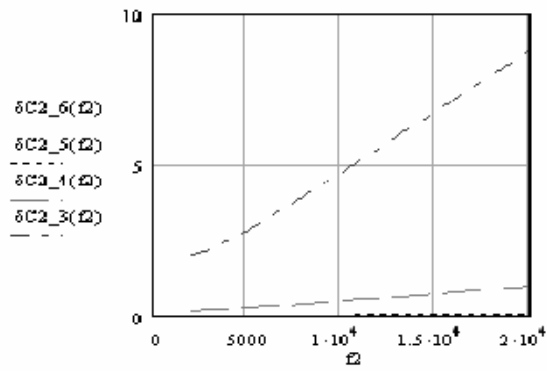


Рис.3. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

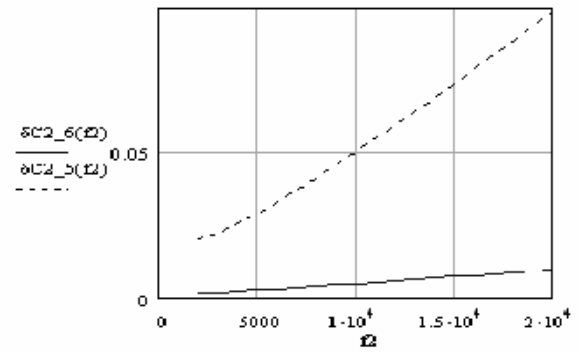


Рис.4. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

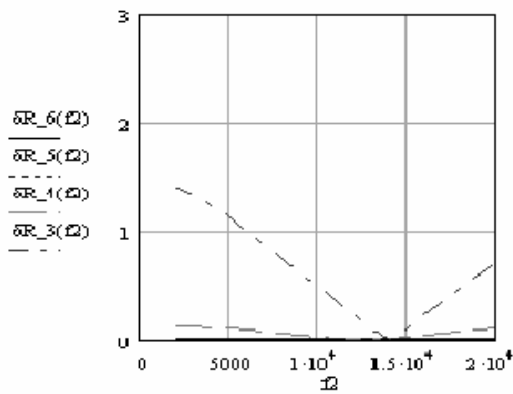


Рис.5. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

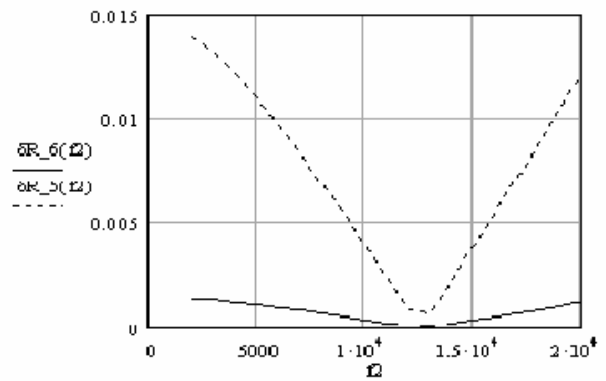


Рис.6. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

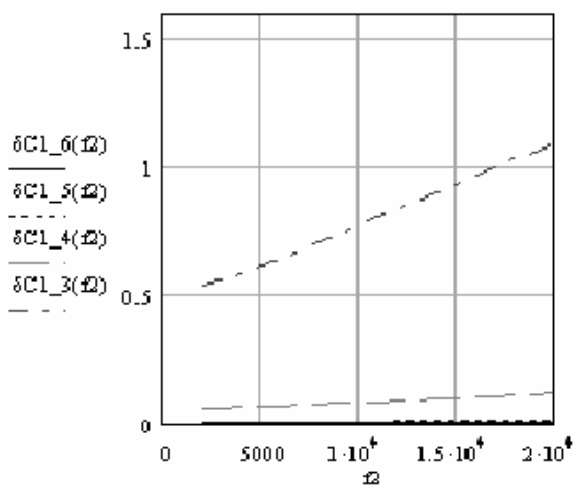


Рис.7. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

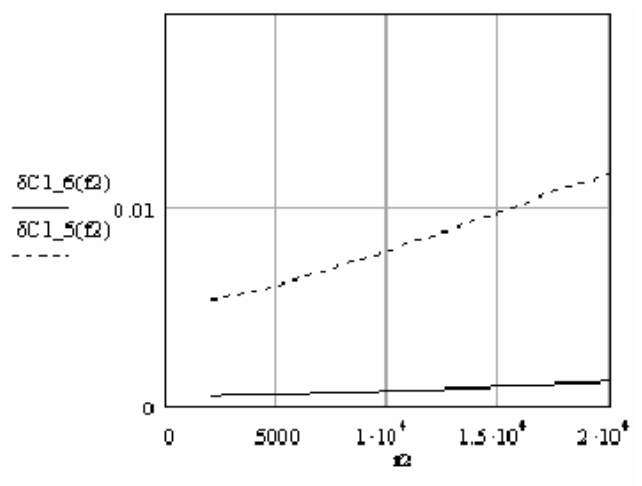


Рис.8. Вплив зміни частоти f_2 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

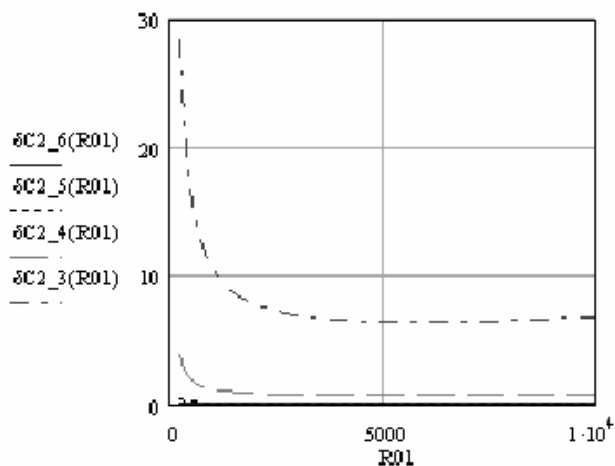


Рис.9. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

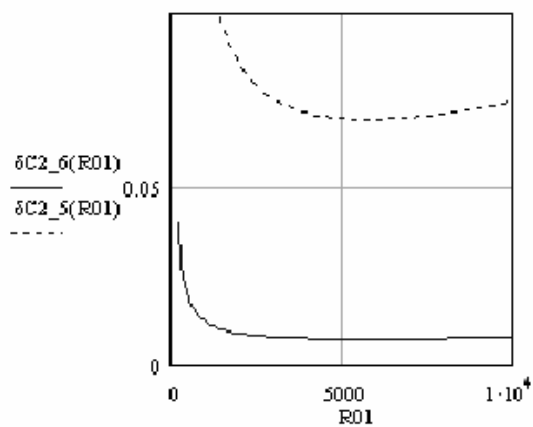


Рис.10. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

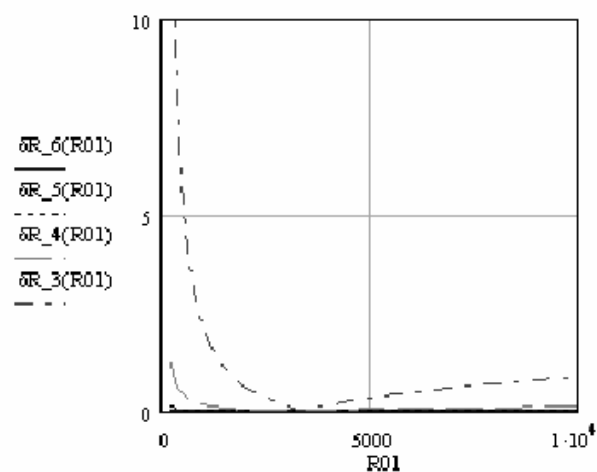


Рис.11. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

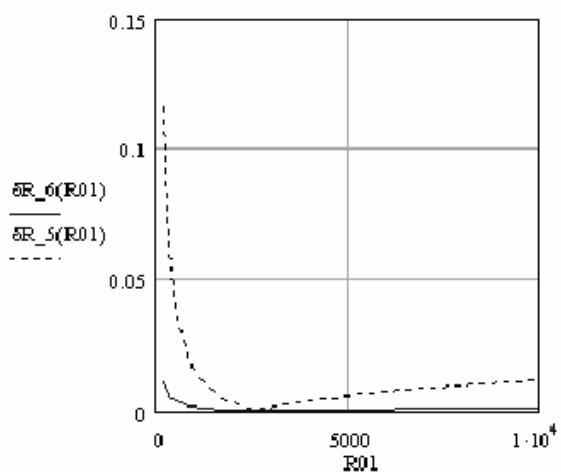


Рис.12. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

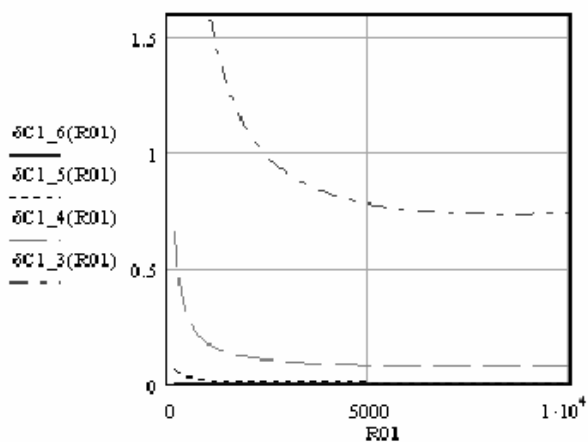


Рис.13. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

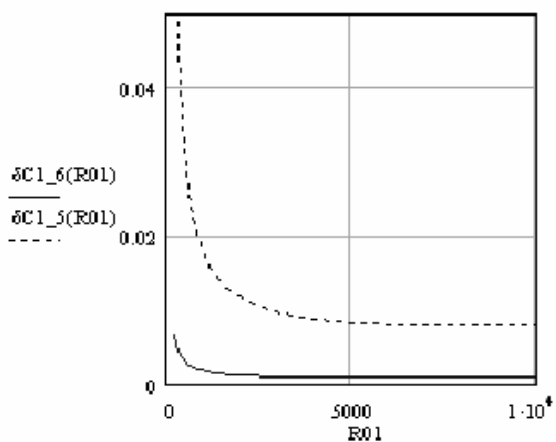


Рис.14. Вплив зміни R_{01} на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

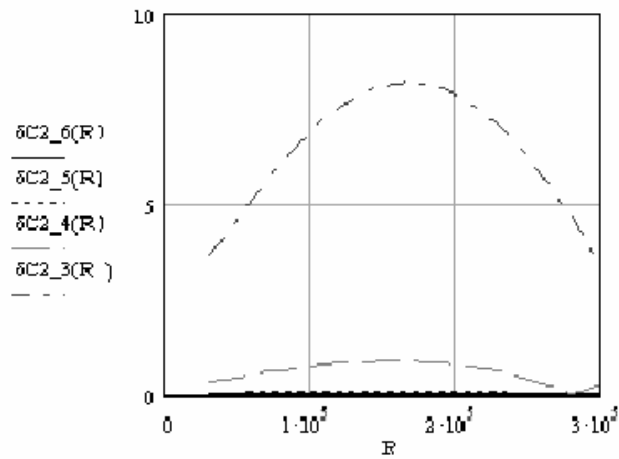


Рис.15. Вплив зміни R на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

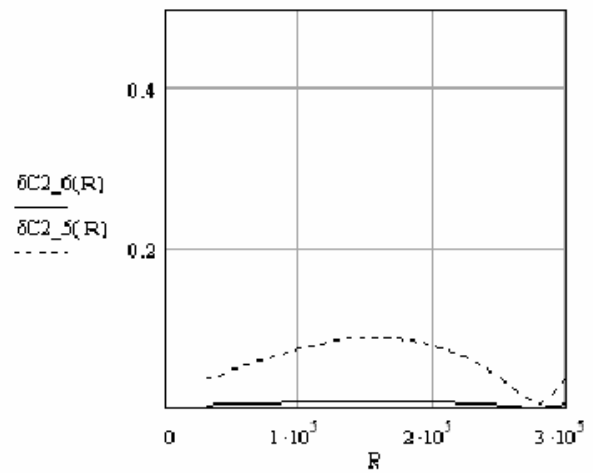


Рис.16. Вплив зміни R на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

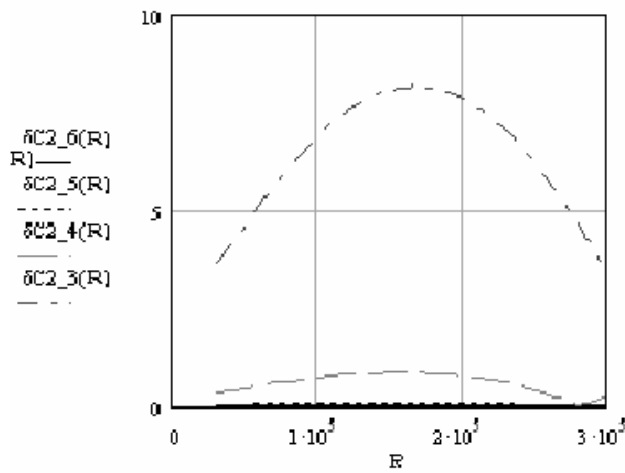


Рис.17. Вплив зміни R на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

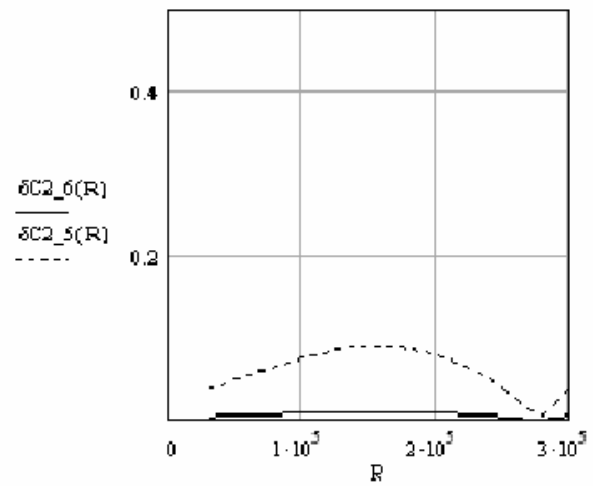


Рис.18. Вплив зміни R на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

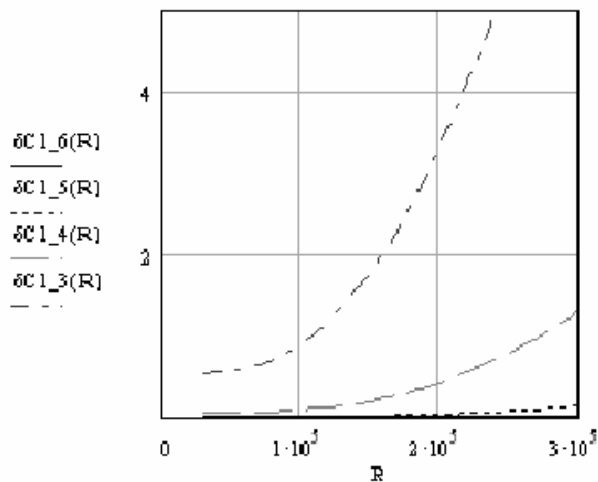


Рис.19. Вплив зміни R на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

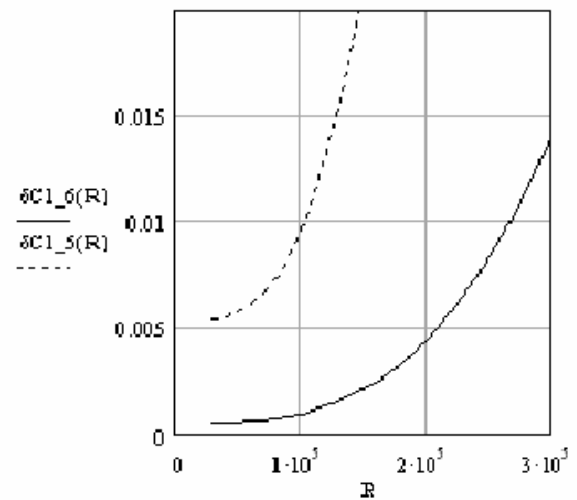


Рис.20. Вплив зміни R на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

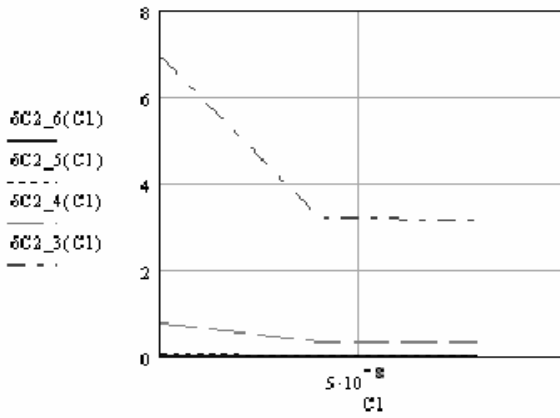


Рис.21. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

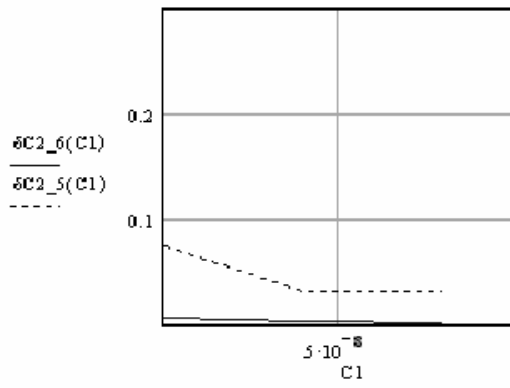


Рис.22. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

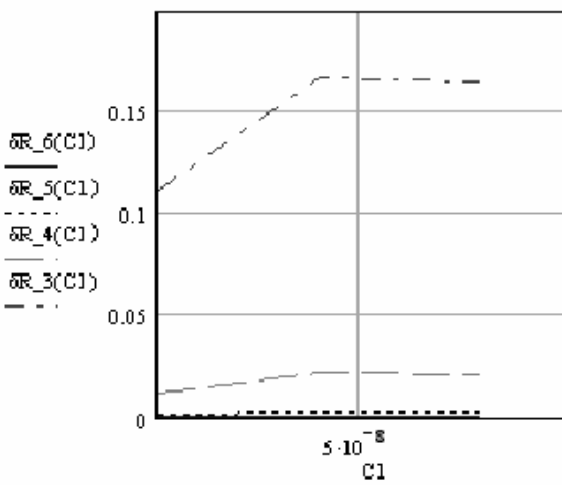


Рис.23. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

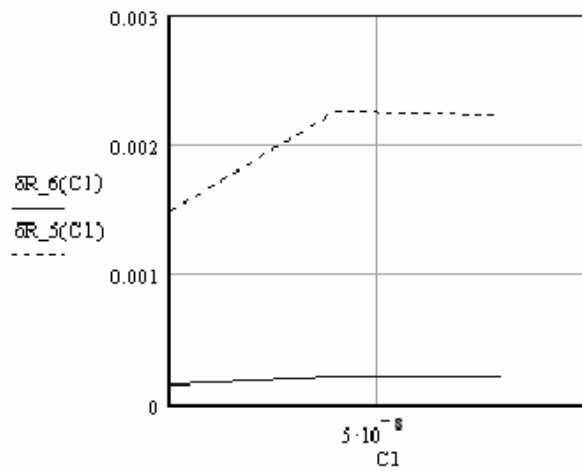


Рис.24. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

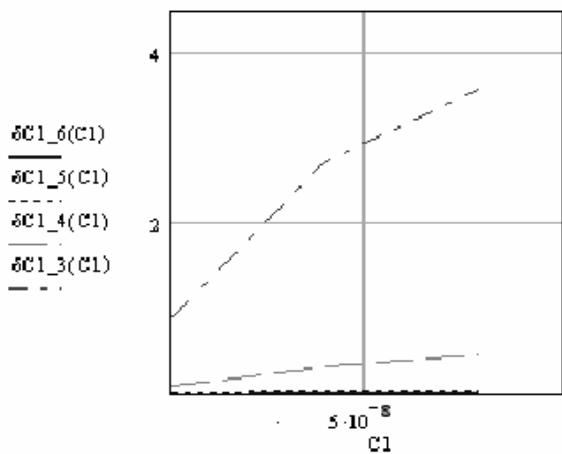


Рис.25. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

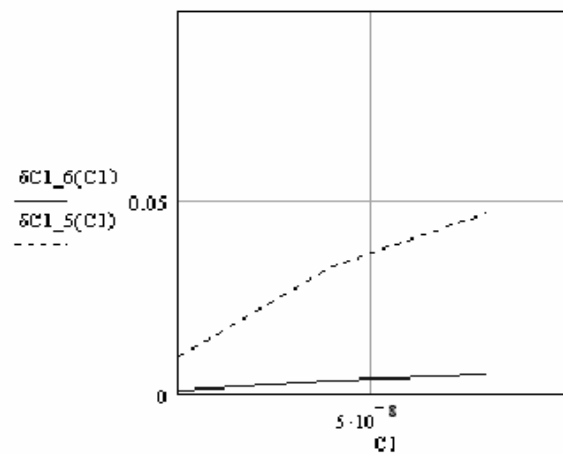


Рис.26. Вплив зміни C_1 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

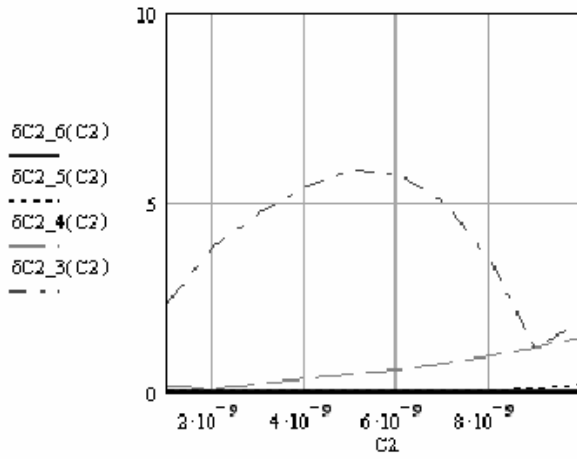


Рис.27. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

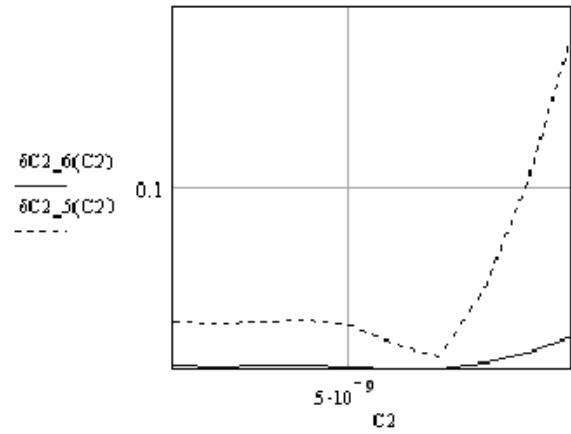


Рис.28. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання C_2 при різних розрядностях АЦП

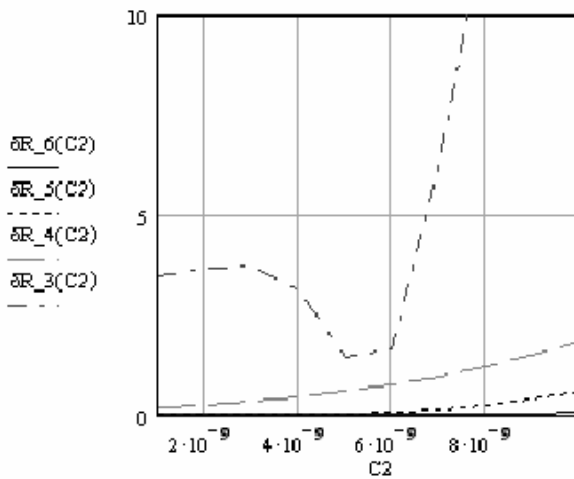


Рис.29. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

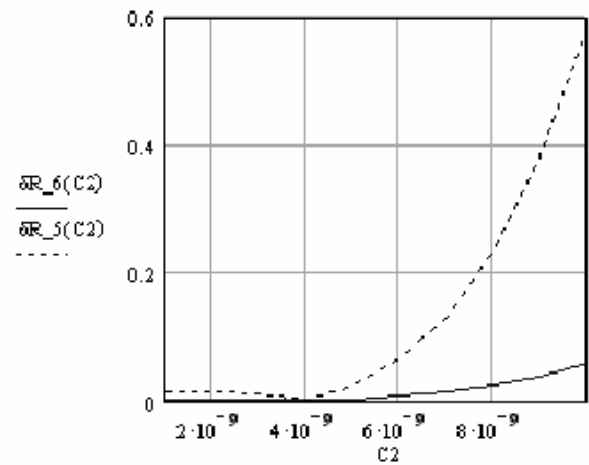


Рис.30. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання R при різних розрядностях АЦП

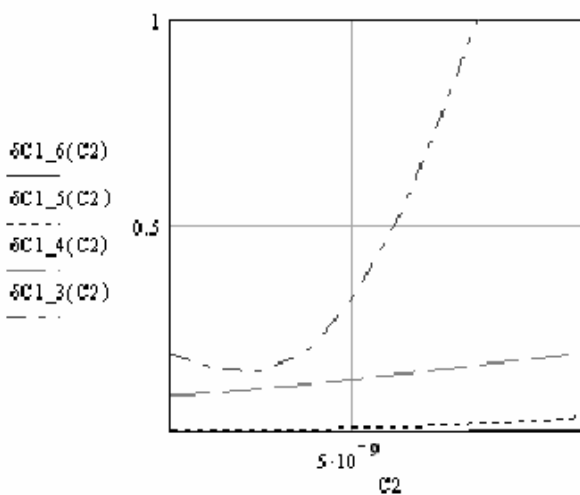


Рис.31. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

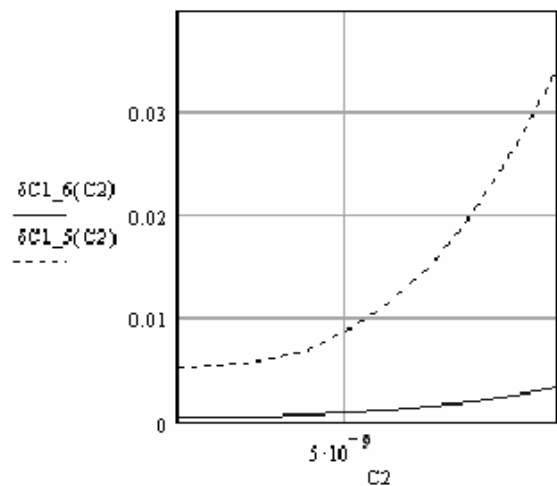


Рис.32. Вплив зміни C_2 на похибку вимірювання C_1 при різних розрядностях АЦП

Значна частина нашого дослідження стосується з'ясування впливу неспівмірності значень опорів R , $\frac{1}{\omega C_1}$, $\frac{1}{\omega C_2}$ на похибку вимірювання. З графіків видно, що при співмірних R і $\frac{1}{\omega C_1}$ похибка вимірювання опору зменшується (рис. 17, 18). Зміна R в заданих межах мало впливає на похибку вимірювання ємностей C_1 , C_2 . Переважно вона визначається розрядністю АЦП. Вплив ємності C_1 на похибку вимірювання опору R і ємностей C_1 , C_2 має інший характер. За малих значень C_1 опір $R \ll \frac{1}{\omega C_1}$, а тому на графіках (рис.21–24) маємо більші похибки. Із зростанням ємності C_1 опір $\frac{1}{\omega C_1}$ зменшується. Опір R і $\frac{1}{\omega C_1}$ стають співмірними і тим самим зменшується похибка. Водночас зростання C_1 зменшує опір $\frac{1}{\omega C_1}$, який стає $\frac{1}{\omega C_1} \ll R$. А це призводить до зростання похибки вимірювання C_1 (рис. 25, 26). При заданих частотах $f_1=300$ Гц, $f_2=1000$ Гц досліджується вплив зміни ємності C_2 на похибку вимірювання R , C_1 , C_2 (рис.27–32). На вказаних графіках збільшення значення C_2 призводить до збільшення похибки вимірювання R , C_1 , C_2 . Це пов'язано з тим, що опір $\frac{1}{\omega C_2}$ шунтує опір R , причому $R \gg \frac{1}{\omega C_2}$. У таких випадках для кожного із співвідношень R , C_1 і C_2 потрібно робити оптимальний вибір частот f_1 і f_2 , за яких опори R , $\frac{1}{\omega C_1}$, $\frac{1}{\omega C_2}$ будуть співмірними.

Висновки. На основі виконаних досліджень можна робити такі висновки:

1. Результати імітаційного моделювання підтверджують високу метрологічну ефективність запропонованого методу вимірювання параметрів високоомних трикомпонентних опорів.
2. Частоти f_1 і f_2 треба вибирати так, щоб числові значення опорів компонентів в об'єкті досліджень були співмірними, а імпеданси об'єкта досліджень на частотах f_1 і f_2 повинні відрізнятися не меншою кількістю розрядів відліків від кількості розрядів подання R , C_1 , C_2 .
3. Похибка вимірювання параметрів трикомпонентних комплексних опорів залежить від оптимального вибору частот f_1 і f_2 і від розрядності АЦП.
4. У разі відсутності апріорної інформації про числові значення параметрів трикомпонентних комплексних опорів спочатку необхідне пробне навчальне вимірювання. На основі одержаних значень проводиться оптимальний вибір частот f_1 і f_2 для здійснення точніших вимірювань.

1. Кнеллер В.Ю., Боровских П.П. *Определение параметров многоэлементных двухполюсников.* – М.: Энергоатомиздат, 1986. 2. PC-based devices for immittance control of multidimensional objects. Pohodylo E., Stolyarchuk P., Chyrka M. *IEEE Trans. Instrum. and Meas.* 2002, 51, № 5, с.1132–1135. 3. Добровинский И.Р., Бондаренко Л.Н., Блинов А.В. *Повышение точности измерений параметров двухполюсников // Измерительная техника.* – 2003, № 7. – С.49–53. 4. Грибок М.І. Алгоритмічні методи вимірювання параметрів скалярних величин // *Вимірювальна техніка та метрологія*, 2001, № 58. – С.56–59. 5. Грибок М.І. Інтелектуальні методи вимірювання параметрів векторних величин // *Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи проектування. Теорія і практика”*, 2001, № 415. – С.54–62. 6. Грибок М. *Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових опорів і провідності // Вісник Держ. ун-ту „Львівська політехніка”*, 2002, № 445. – С.120–129. 7. Грибок М.

Вимірювання параметрів двокомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат по складових напруги і струму // Вимірювальна техніка та метрологія, 2002, № 59. – С.27–37. 8. Грибок М.І. Вимірювання складових високоомних комплексних опорів методом зміщення системи координат // Відбір і обробка інформації. – 2006. – С.65–71. 9. Hrybok M. Measurement of complex resistance parameters by the method of coordinate system displacement on current // Pomiar. Automatyka. Kontrola. № 12/2006. Warszawa. – Pp.53–57. 10. Грибок М. Вимірювання параметрів високоомних трикомпонентних комплексних опорів методом зміщення системи координат за струмом // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2008, № 69. – С.26–34.

УДК 519.876.5

О.В. Горин, Я.І. Виклюк
Буковинський університет,
кафедра комп'ютерних систем і технологій

ІМІТАЦІЯ, АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ГІРСЬКОЛИЖНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ПОДІЙ

© Горин О.В., Виклюк Я.І., 2009

Подано теоретичне і практичне обґрунтування доцільності та ефективності застосування імітаційного моделювання при дослідженні економічних систем, проаналізовано можливі напрями і методи оптимізації роботи гірськолижного комплексу. Доведено необхідність організаційної та структурної перебудови цього комплексу з урахуванням отриманих результатів та запропоновано його нову ефективнішу модель.

In this paper the theoretical and practical substantiation of expedience and efficiency of application of computer simulation for the research of the economic systems is given, possible ways and methods of improvement of work of skiing complex are analyzed. The necessity of organization and structural alteration of this complex taking into account the available results are proved, and its new more effective model is offered.

Вступ. Комп'ютерне моделювання за декілька останніх десятиліть перетворилось на потужний апарат дослідження великої кількості проблем. Методи моделювання з успіхом застосовуються в таких галузях, як економіка, автоматизація проектування, організація роботи обчислювальних комплексів, транспорт, сфера обслуговування, автоматизація управління виробничими та іншими процесами.

Застосування методів моделювання в аналітичному дослідженні господарської діяльності підприємств та їхніх структурних підрозділів є однією з передумов широкого використання економіко-математичних методів. Запровадження останніх сприятиме розширенню вивчення спектра факторів, що впливають на окремі аспекти діяльності суб'єктів господарювання, а отже, і визначення можливих додаткових резервів підвищення ефективності. Ідеться про постановку й