

Як видно із наведених рисунків, для переважної більшості моделей досліджуваний алгоритм забезпечує кращу збіжність ітераційних процедур порівняно із прямим (класичним) алгоритмом відтворення розподілу провідності.

5. Висновки. Запропонований алгоритм відтворення провідності, який ґрунтується на використанні обернених результатів вимірювань напруг, забезпечує кращу збіжність ітераційних процедур розв'язання оберненої задачі томографії провідності. Це зумовлено лінійнішою залежністю змін функції обернених напруг до змін провідності об'єкта. Цей алгоритм не вимагає точних апріорних знань про провідність досліджуваного об'єкта і дає змогу вибрати початкове наближення провідності довільним.

1. Дорожовець М.М. Томографічні вимірювання просторового розподілу фізичних величин на прикладах

електричної та акустичної томографії: дисертація доктора технічних наук. – Львів, 2001. – 335 с.
2. Primrose K., Qiu C. Performance and Application Studies of an Electrical Resistance Tomography System // 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April 14-17, 1999. pp. 133-139.
3. Дорожовець М.М. Використання теореми варіацій для розрахунку матриці Якобі для оберненої задачі електричної томографії // Вісник Держ. ун-ту “Львівська політехніка”, “Електроенергетичні та електромеханічні системи”. – 2003. – № 479. – С. 67–71.
4. Brydak K., Dorozhovets M. Szybka metoda rozwiazania zagadnienia odwrotnego tomografii elektrycznej // Pomiar, Automatyka, Kontrola. N9_bis, 2007, T.II. – S.425–428.
5. Дорожовець М.М., Пригородський А.Б. Прямий та опосередкований методи відтворення провідності в електричній томографії // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2010. – № 71. – С. 3–7.

УДК 621.317.38

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ПОТУЖНОСТІ У ВИСОКООМНИХ КОМПЛЕКСНИХ ОПОРАХ МЕТОДОМ ЗМІЩЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ЗА НАПРУГОЮ

© Грибок Микола, 2011

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
 вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

На основі математичної моделі вимірювального кола за допомогою імітаційного моделювання одержано залежності похибок вимірювання складових потужності від впливних факторів.

Исходя из математической модели измерительной цепи, путем имитационного моделирования получены зависимости погрешностей измерения составляющих мощности от влияющих факторов.

Based on the mathematical model of measuring circle by imitation design, depends of errors influences on measuring of active and reactive power are got.

1. Вступ. Методи вимірювання складових потужності [1– 4, 7], основані на використанні вольтметрів діючого значення напруги, забезпечують високу точність вимірювань лише у випадку, коли вхідний імпеданс вольтметра набагато більший від імпедансу об'єкта досліджень. Якщо вимірювання виконують у широкому діапазоні частот, імпеданс об'єкта досліджень і вхідний імпеданс вольтметра стають співмірними, що призводить до зростання методичної похибки вимірювання складових потужності.

2. Мета дослідження. Розробити метод та схему вимірювання складових потужності у високоомних об'єктах досліджень. За допомогою імітаційного моделювання одержати числові значення похибок вимірювань залежно від впливних факторів.

3. Схема вимірювання та основні математичні співвідношення. Узагальнена структурна схема вимірювання (рис. 1) містить джерело напруги ДН, комутатор К, блок управління БУ, аналогово-цифровий

перетворювач діючого значення напруги АЦП, обчислювальний пристрій ОП, зразкові активні опори R_0, R_1, R_2 . Опори R_1, R_2 утворюють подільник напруги з коефіцієнтом поділу $K = R_1 / (R_1 + R_2)$. Опори R_0, R_1 вибирають значно меншими від вхідного опору Z_v АЦП.

4. Методика одержання математичної моделі вимірювального кола. Комплексний опір \dot{Z}_1 об'єкта досліджень на частоті f дорівнює $\dot{Z}_1 = r_{1n} + jx_{1n}$, а опір подільника напруги R_1, R_2 $R_n = R_1 + R_2$. Опори R_1 і R_0 співмірні, причому $R_0 \ll Z_v$, $R_1 \ll Z_v$, де Z_v – модуль вхідного імпедансу АЦП. Подамо \dot{Z}_1 через провідність $\dot{Y}_1 = g_{1n} - jb_{1n} = \frac{r_{1n}}{Z_1^2} - j \frac{x_{1n}}{Z_1^2}$.

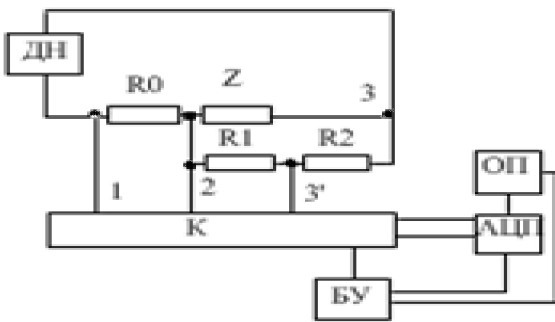


Рис. 1. Узагальнена структурна схема вимірювача складових потужності методом зміщення системи координат за напругою

Провідність кола між вузлами 2 і 3:

$$\dot{Y}_{11} = g_{1n} - jb_{1n} + \frac{1}{R_n} = \left(g_{1n} + \frac{1}{R_n} \right) - jb_{1n} = g_{11} - jb_{11},$$

де $g_{11} = g_{1n} + \frac{1}{R_n}$; $b_{11} = b_{1n}$. Опір кола між вузлами

2 і 3: $\dot{Z}_{11} = \frac{g_{11}}{Y_{11}^2} + j \frac{b_{11}}{Y_{11}^2} = r_{11} + jx_{11}$, а його модуль

$Z_{11} = \sqrt{r_{11}^2 + x_{11}^2}$. Введемо ряд позначень між точками

1, 2 і 3': $U_{12} = U_1$; $U_{23'} = U_2$; $U_{13'} = U_3$. Опір кола

між вузлами 1 і 3: $\dot{Z}_2 = \dot{Z}_{11} + R_0 = (r_{11} + R_0) + jx_{11}$, а

його модуль $Z_2 = \sqrt{(r_{11} + R_0)^2 + x_{11}^2}$. Струм, що протікає через опір, R_0 , $i_1 = \frac{U(t)}{Z_2}$. Знаходимо спади

напруг $U_{12} = i_1 R_0$; $U_{23} = i_1 Z_{11}$; $U_{13} = U(t)$. Напряга $U_{23} = i_1 r_{11} + j i_1 x_{11}$, звідси $\dot{U}_2 = k \dot{U}_{23} = k i_1 r_{11} + j k i_1 x_{11}$.

$\dot{U}_3 = U_1 + U_2 = (U_1 + k i_1 r_{11}) + j k i_1 x_{11}$. Відповідно

модулі напруг \dot{U}_2 та \dot{U}_3 : $U_2 = \sqrt{(k i_1 r_{11})^2 + (k i_1 x_{11})^2}$;

$U_3 = \sqrt{(U_1 + k i_1 r_{11})^2 + (k i_1 x_{11})^2}$. За одержаними значеннями U_1, U_2, U_3 знаходимо значення опору:

$$r_{11} = \frac{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2}{2kU_1^2} R_0 = \frac{g_{11}}{Y_{11}^2}.$$

Звідси $g_{11} = r_{11} Y_{11}^2 = g_1 + \frac{1}{R_n}$. Оскільки

$Y_{11} = \frac{i_1}{U_{23}} = \frac{i_1 k}{U_2}$, то визначаємо $g_{11} = r_{11} Y_{11}^2$, а

$g_1 = g_{11} - \frac{1}{R_n}$, $b_1 = \sqrt{Y_{11}^2 - g_{11}^2}$. За отриманими

значеннями g_1, b_1 знаходимо $Y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2}$;

$r_1 = \frac{g_1}{Y_1^2}$; $X_1 = \frac{b_1}{Y_1^2}$. Звідси

$$P_1 = \left(\frac{U_2}{k} \right)^2 g_1; Q_1 = \left(\frac{U_2}{k} \right)^2 b_1; S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2},$$

де P_1, Q_1, S_1 – відповідно значення активної, реактивної та повної потужностей. Результати вимірювання P_1, Q_1 та S_1 не залежать від значення вхідного опору Z_v АЦП та опору R_n подільника напруги.

5. Результати імітаційного моделювання

похибок. Для об'єкта досліджень R, C_1, C_2 (рис. 2) вплив зміни частоти f на похибку вимірювання P_1, Q_1, S_1 одержали при $R_0=2$ кОм, $R_n=300$ кОм, $C_{1n}=0,0001$ мкФ, $C_{2n}=0,0001$ мкФ, $U=50$ В, $K=0,05$.

$$Y_1 = \frac{Rw^2 C_1^2}{1 + R^2 w^2 C_1^2} - j \left[\frac{wC_1}{1 + R^2 w^2 C_1^2} + wC_2 \right] = g_{1n} - jb_{1n};$$

$$Y_{21} = \left[\frac{Rw^2C_1^2}{1 + R_0^2w^2C_1^2} + \frac{1}{R_n} \right] - j \left[\frac{wC_1}{1 + R^2w^2C_1^2} + wC_2 \right] =$$

$$= g_{11} - jb_{11}; \quad w = 2\pi f$$

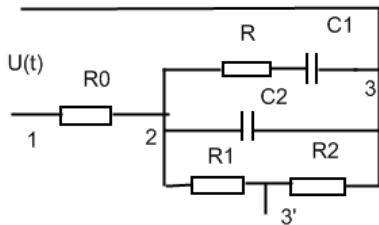


Рис. 2. Принципова схема вимірювального кола

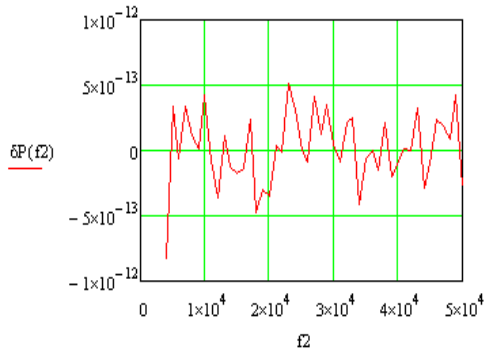


Рис. 3. Вплив зміни частоти на похибку P1

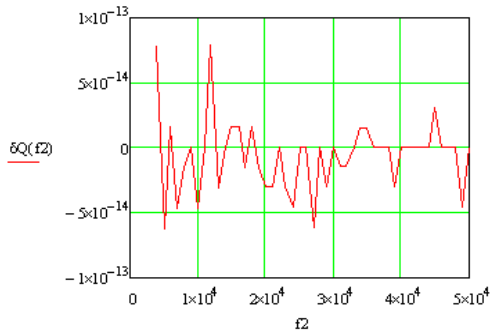


Рис. 4. Вплив зміни частоти на похибку Q1

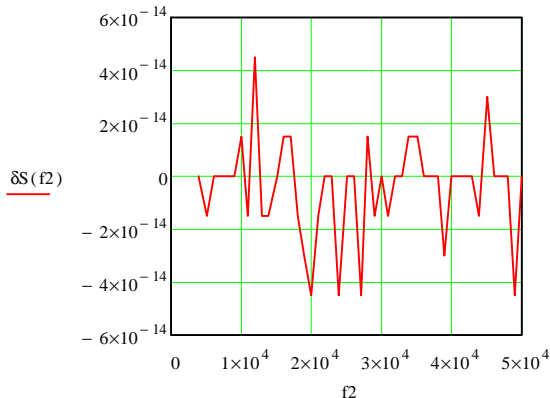


Рис. 5. Вплив зміни частоти на похибку S1

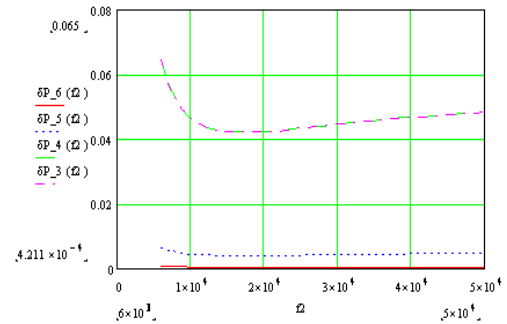


Рис. 6. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку P1

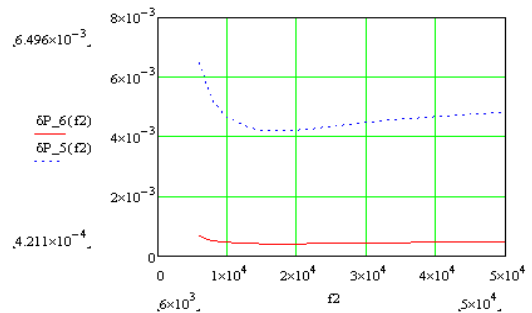


Рис. 7. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку P1

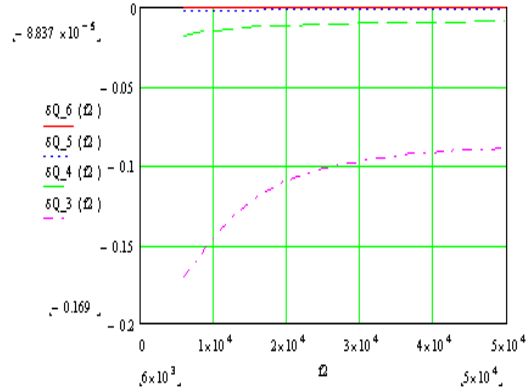


Рис. 8. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку Q1

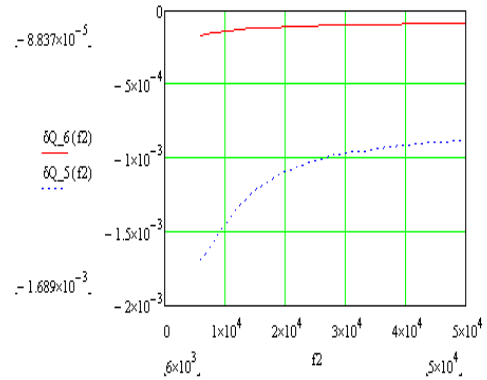


Рис. 9. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку Q1

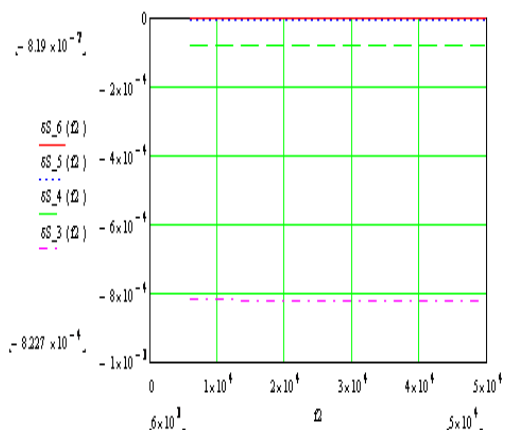


Рис. 10. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку S_1

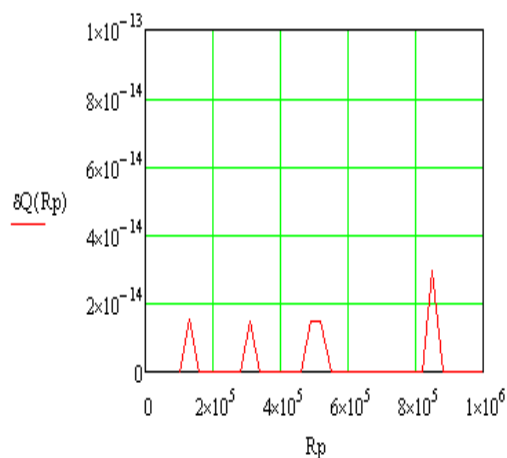


Рис. 13. Вплив зміни R_n на похибку Q_1

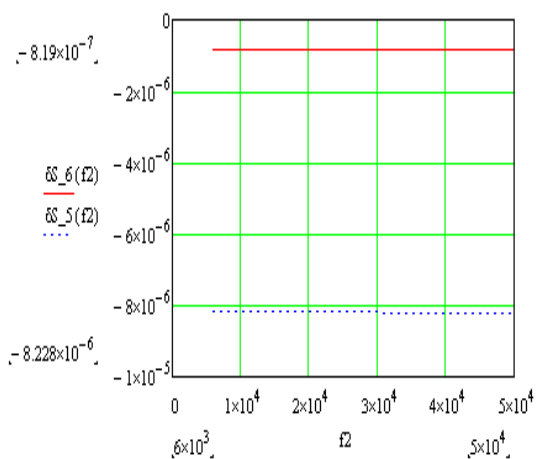


Рис. 11. Вплив зміни частоти та розрядності АЦП на похибку S_1

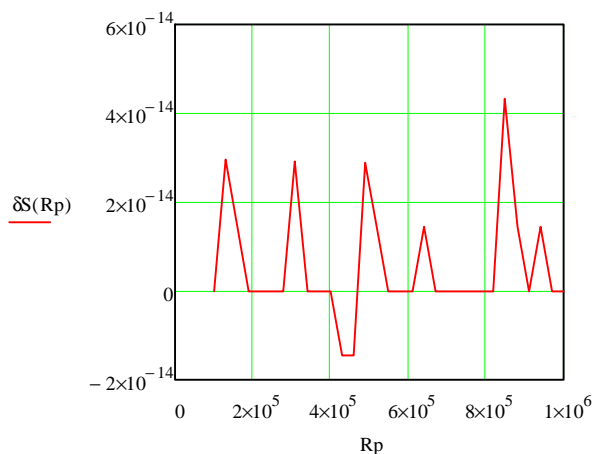


Рис. 14. Вплив зміни R_n на похибку S_1

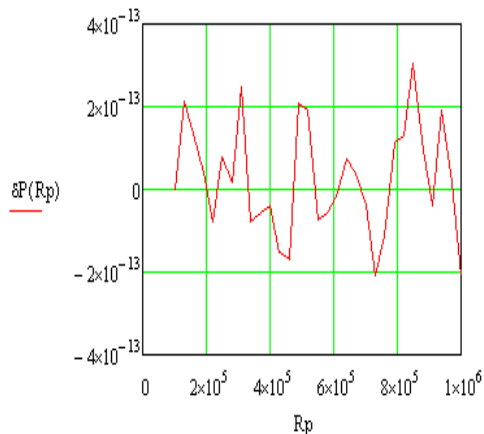


Рис. 12. Вплив зміни R_n на похибку P_1

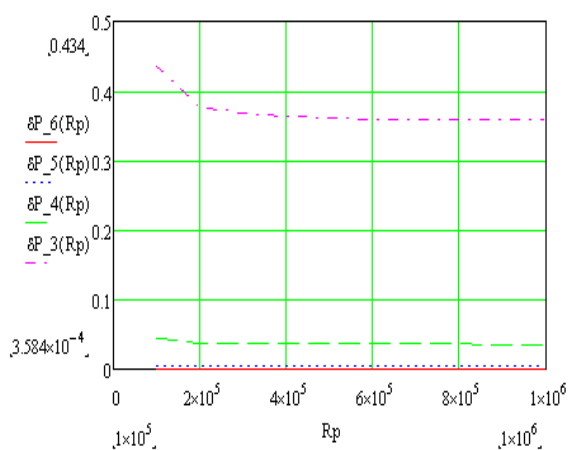


Рис. 15. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку P_1

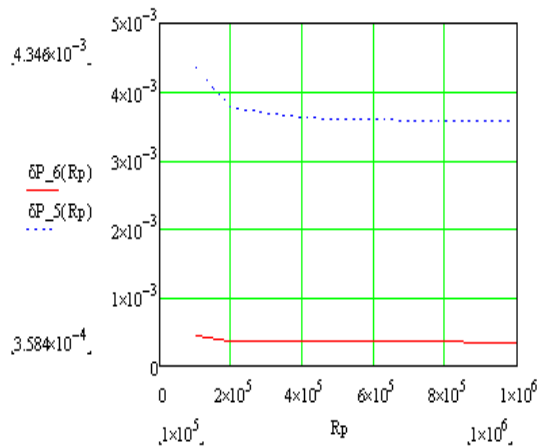


Рис. 16. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку P_1

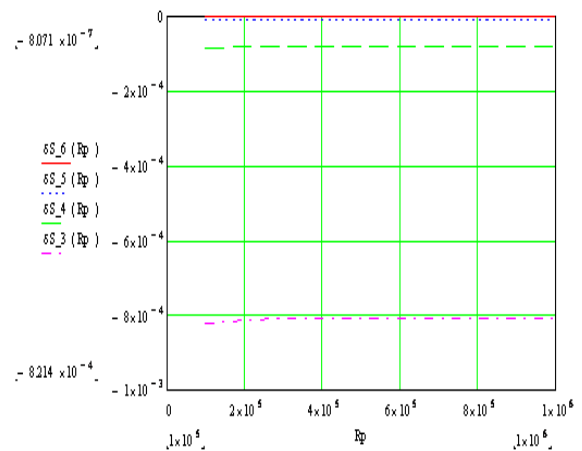


Рис. 19. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку S_1

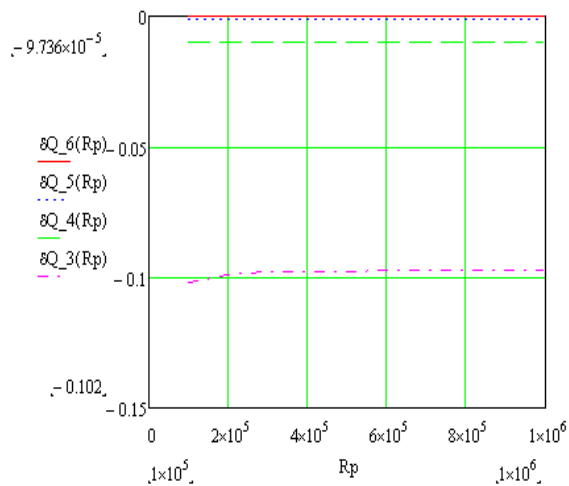


Рис. 17. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку Q_1

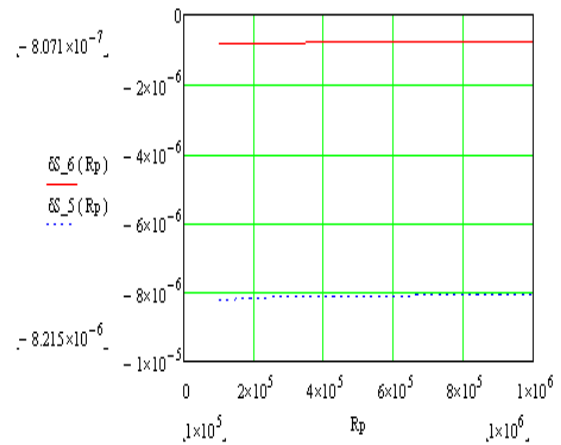


Рис. 20. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку S_1

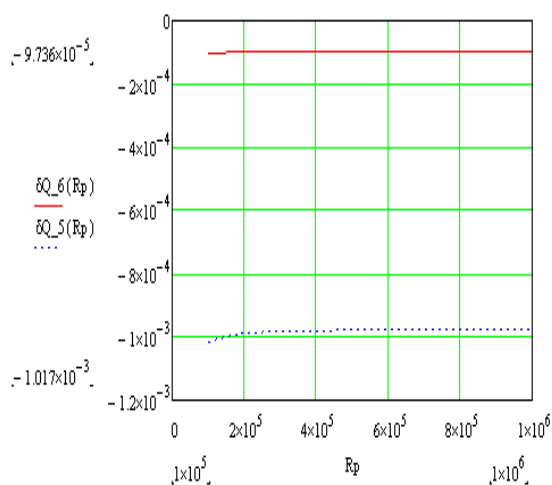


Рис. 18. Вплив зміни R_n та розрядності АЦП на похибку Q_1

Графіки на рис. 3–5 підтверджують незалежність результатів вимірювань P_1 , S_1 , Q_1 від частоти f за необмеженої розрядності АЦП. З графіків рис. 6–11 видно, що похибка вимірювання P_1 , S_1 , Q_1 зростає зі зменшенням розрядності АЦП.

За необмеженої розрядності АЦП графіки похибок рис. 12–14 підтверджують незалежність результатів вимірювання P_1 , S_1 , Q_1 від значення опору R_n подільника. Похибки вимірювання P_1 , S_1 , Q_1 визначаються лише розрядністю АЦП.

6. Висновки. На підставі виконаних досліджень можна стверджувати:

1. Запропонований метод вимірювання складових потужності ефективний і для об'єктів досліджень, імпеданс яких співмірний з вхідним імпедансом вольтметра.

2. Результати вимірювань не залежать від частоти коливань напруги та вхідного опору вольтметра.

3. Похибка вимірювання складових потужності зростає зі зменшенням розрядності вольтметра.

1. Безикович А.Я., Шапиро Е.З. *Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот.* – Л.: Энергия, 1980. 2. Marsetta L.A. *An evolution of As Power Measurement / IEEE Trans. On Instr. and Meas.* (1972)/11. – P.323–357. 3. Kahman M. Stielner M. *Ein Vorschlag für die genaue Messung der elektrischen Wirkleistung mit Effektivwert.-Spannungs-Messern.* “PTB-

Mitteilungen”. – 1989. – № 6. – S.419–424. 4. Bojna I Jahn P. *Fehleranalyse der Leistungsmessung mittels der Dreivoltmeterverfahren // Meziro Technika, 4* (1974). – S.1–4. 5. Грибок М. *Интеллектуальні методи вимірювання параметрів векторних величин // Вісник Держ. ун-ту «Львівська політехніка».* – 2001. – № 415. – С.54–62. 5. 6. А.с. № 1155954 (СССР) *Цифровой измеритель мощности // Н.И. Грибок, В.Н. Лаврив, С.А. Савенко.* –Опубл. в Б.и. 1985, №18. 7. Грибок М. *Методи вимірювання активної потужності зміщенням системи координат // Вісник Держ. ун-ту «Львівська політехніка».* – 2003. – № 475. – С.142–150.