

- 1) фактори, математичні очікування і дисперсії яких залишаються сталими в часі;
- 2) фактори, для яких математичні очікування змінюються, а величина дисперсії є сталою;
- 3) фактори, що характеризуються зміною дисперсії при сталому математичному очікуванні;
- 4) фактори, для яких одночасно змінюються і математичні очікування, і дисперсії.

Така класифікація факторів дає можливість визначити характер діаграми відхилень від номінального перебігу ТП в часі і встановити закони розподілу похибок його параметрів.

Якщо ТП характеризується параметрами, що змінюються під дією факторів першої групи, то це призводить до формування діаграми з функціями  $m_x(t)=const$  і  $\sigma_x(t)=const$ . У цьому випадку отримуємо закон Гаусса розподілу відхилень параметрів, наприклад, для різних деталей партії.

За наявності факторів другої групи спостерігається зміщення у часі центру групування. Цей випадок призводить до формування діаграми з функцією  $m_x(t)=var$ . Фактори, що належать до третьої групи, призведуть до формування діаграми з функцією  $\sigma_x(t)=var$ .

Складніші діаграми і відповідні їм “негауссові” закони розподілу існують за наявності факторів четвертої групи, тобто коли нестабільність умов виготовлення деталей характеризується одночасно і функцією  $m_x(t)=var$ , і функцією  $\sigma_x(t)=var$ .

### **Висновки**

Випадкові вхідні фактори, звичайно ж, вирішально впливають на параметричну структуру та якість технологічних процесів, що проявляється через відповідні показники якості ТП. До таких факторів можна віднести, наприклад, пружні деформації, зношування інструменту, температурні деформації технологічної системи, відхилення розмірних параметрів деталей і неоднорідність властивостей матеріалу, неточності верстату, внутрішні напруження в матеріалі деталі та інше. На початковій стадії дослідження є важливою правильною їх класифікація і ідентифікація згідно з поданою моделлю (рис. 2). Врахування ступеня впливу випадкових вхідних факторів на перебіг ТП і на виробничий процес загалом позитивно відобразатиметься на якості самого процесу та на якості готової продукції.

*1. Універсальний словник-енциклопедія / Гол. ред. ради чл. кор. НАНУ М. Попович. – 2-ге вид., доп. – К.: Всеуито. Новий друк, 2003. – 1414 с. 2. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник. 3. ДСТУ 2925-94 Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. 4. Сотниченко В. Тенденції якості у новому тисячолітті // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2000. – №4. – С. 48–51. 5. Засименко В., Столярчук П. Загальна концепція складової оцінки якості продукції на основі факторного аналізу // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – №59. – С. 131–134.*

**УДК 621.317**

**І.Р. Петровська**

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

## **ВПЛИВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОХИБОК НА РЕЗУЛЬТАТ РЕКОНСТРУКЦІЇ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ТОМОГРАФІЇ**

© Петровська І.Р., 2007

**Наведено результати досліджень інструментальних похибок вимірювання при реконструкції питомої провідності в електричній томографії.**

**Results of instrumental measurement error research at the reconstruction of specific conductance in electrical tomography are notified in the article.**

### **Вступ**

Систематичні і випадкові адитивні інструментальні похибки вимірювань вихідних величин електрично збудженого струмом об'єкта є одними з найвпливовіших факторів, які погіршують якість реконструкції томографічних образів в електричній томографії, незалежно від її виду (резистивна, провіднісна чи ємнісна) [1]. Значення цих похибок залежать від кількості вимірю-

вальних електродів, які під'єднані ззовні об'єкта досліджень і які, своєю чергою, визначаються необхідною просторовою роздільною здатністю реконструйованого образу (кількістю елементів апроксимації образу). Збільшення кількості елементів апроксимації та кількості результатів незалежних вимірювань призводить до покращання роздільної здатності реконструйованого образу, проте необхідно збільшувати кількість вимірювальних електродів, які щільніше розташовуються між собою і тим самим спричиняють зменшення рівня міжелектродних різниць потенціалів.

### Постановка задачі

В електричній томографії на рівень інструментальних похибок значною мірою впливає підсилення випадкових похибок при збільшенні кількості зовнішніх електродів, під'єднаних до досліджуваного об'єкта. Так, збільшення кількості зовнішніх електродів до 24, а відповідно, кількості апроксимаційних елементів до 96 призводить до підсилення випадкових похибок в 1000 разів [2]. Вплив систематичних адитивних похибок подібний, проте не такий сильний. Для реконструкції образу провідності із роздільною здатністю, яка є в межах 1%, необхідно забезпечити рівень адитивних похибок вимірювань електродних величин максимум 0,001% і навіть менше, що і є метою даної статті.

### Аналіз інструментальних похибок результатів вимірювання в електричній томографії.

На рис. 1 зображено джерела інструментальних похибок результату вимірювань.

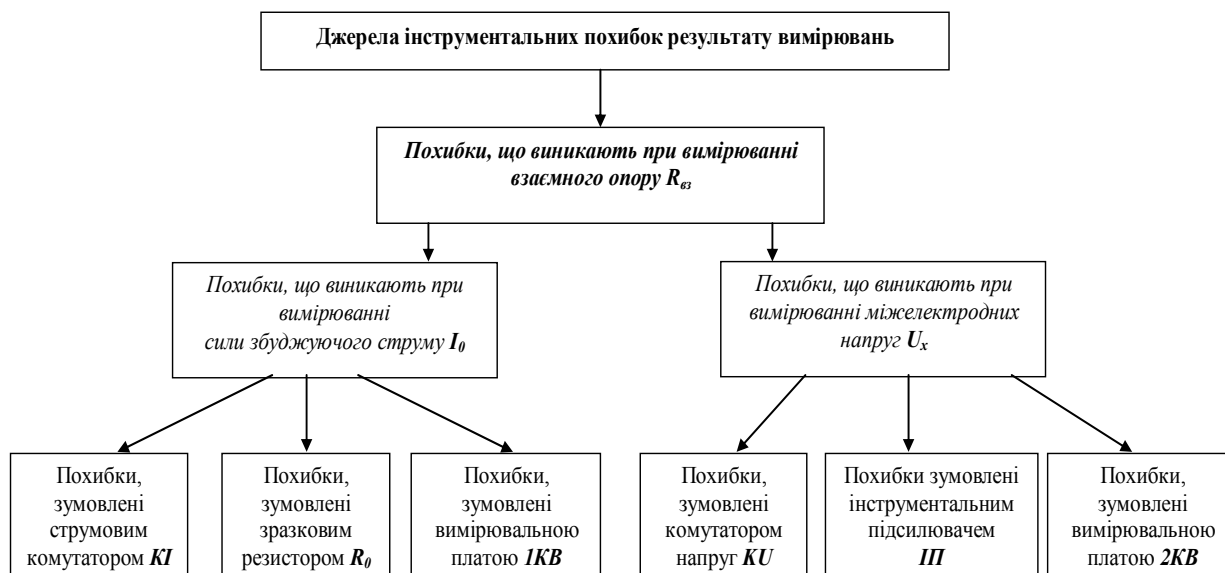


Рис. 1. Джерела інструментальних похибок результату вимірювань

### Аналіз похибок результатів вимірювання значення сили збуджувального струму

Джерелами похибок, зумовлених струмовим комутатором, є:

- значення контактного опору і термоелектричного контактного потенціалу. Якщо ці значення є невеликі (декілька мВ) порівняно з величиною опору (декілька ком), то вони істотно не впливають на значення сили струму збудження і їх впливом можна знехтувати;
- струм витоку, яким можна знехтувати у випадку, коли він був нехтовно малим порівняно з струмом збудження;
- перехідні стани, що виникають при перемиканні каналів комутатора.

Математична модель похибок, зумовлених зразковим резистором. Значення дійсного опору зразкового резистора можна описати залежністю [4]:

$$R_{zp}^* = R_{zp} \cdot (1 + \delta R_{zp(zp)} + \varepsilon_{\theta(R_{zp})} \cdot \Delta\theta + \varepsilon_{t(R_{zp})} \cdot t), \quad (1)$$

де  $R_{zp}^*$  – умовно дійсне значення опору,  $R_{zp}$  – номінальний опір зразкового резистора,  $\delta R_{zp(zp)}$  – його відносна зміна,  $\varepsilon_{\theta(R_{zp})}$  – коефіцієнт температурної стабільності (зміна величини опору),  $\varepsilon_{t(R)}$  –

коефіцієнт часової стабільності за певний час  $t$ ,  $\Delta\theta$  – максимальне відхилення від нормального значення 23°C.

Математична модель похибок, зумовлених вимірювальною платою (ІВП). Основними джерелами похибок результату вимірювання напруги  $U_0 = R_0 \cdot I_0$  є:

- абсолютна похибка  $\Delta_{P(ІВП)}$ , яку можна подати як суму адитивної  $\chi_{ІВП}$  і мультиплікативної  $\delta_{P(ІВП)}$ , (похибка від нелінійності, зміщення нуля, температурний і часовий дрейфи):

$$\Delta_{P(ІВП)} = \chi_{ІВП} + \delta_{P(ІВП)} \cdot U_0, \quad (2)$$

- роздільна здатність аналого-цифрового перетворення:  $q_{(ІВП)} = U_{Д(1)} / 2^n$  – значення кванта  $A_{q(ІВП)}$ ,  $U_{Д(1)}$  – значення дійсної або міжамплітудної шумової напруги.

- значення коефіцієнта температурної нестабільності адитивного характеру  $\varepsilon_{\theta(ІВП)a}$  і мультиплікативного характеру  $\varepsilon_{\theta(ІВП)m}$ ,

- значення коефіцієнта часової нестабільності адитивного характеру  $\varepsilon_{t(ІВП)a}$  і мультиплікативного характеру  $\varepsilon_{t(ІВП)m}$ ,

Математична модель абсолютної похибки вимірювальної плати [4]:

$$\Delta_{ІВП} = U_{Д(1)} \cdot A + \Delta_{q(ІВП)} + U_{N(ІВП)} + U_0 \cdot M, \quad (3)$$

де  $A$  – адитивна складова випадкової похибки,  $M$  – мультиплікативна складова.

$$A = (\chi_{ІВП} + \varepsilon_{\theta(ІВП)a} \cdot \Delta\theta + \varepsilon_{t(ІВП)a} \cdot t_{ІВП}) / 100\% \quad (4)$$

$$M = (\delta_{P(ІВП)} + \varepsilon_{\theta(ІВП)m} \cdot \Delta\theta + \varepsilon_{t(ІВП)m} \cdot t_{ІВП}) / 100\% \quad (5)$$

Модель похибок всього вимірювального каналу сили збуджувального струму. Математична модель квадрата стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення сили збуджувального струму  $I_0$ , набуває вигляду:

$$\left( \frac{\sigma_B(I_0)}{I_0} \right)^2 = \left( \frac{\sigma_B(U_0)}{U_0} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_B(R_0)}{R_0} \right)^2, \quad (6)$$

де  $\sigma$  – стандартне відхилення величин (зразкових струму, напруги, опору), індекс В позначає тип В обчислення похибок, про що говорилось вище. А виходячи з залежностей (4.11; 4.12; 4.14–4.17), її складові набувають вигляду:

$$\left( \frac{\sigma_B(R_0)}{R_0} \right)^2 = \sigma_B^2(\delta_{R0(сп)}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(R0)}) \cdot (\theta^2 + \sigma_B^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(R0)}) \cdot t^2 + \frac{\sigma_B^2(U_{N(R0)})}{I_0^2 \cdot R_0^2}, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{\sigma_B(U_0)}{U_0} \right)^2 = & \frac{U_{Д(1)}^2}{I_0^2 \cdot R_0^2} \cdot [\sigma_B^2(\chi_{ІВП}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(ІВП)a}) \cdot (\theta^2 + \sigma_B^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(ІВП)a}) \cdot t^2] + \\ & + \sigma_B^2(\delta_{P(ІВП)}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(ІВП)m}) \cdot (\theta^2 + \sigma_B^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(ІВП)m}) \cdot t^2 + \frac{\sigma_B^2(U_{N(ІВП)})}{I_0^2 \cdot R_0^2} + \frac{\sigma_B^2(q_{ІВП})}{I_0^2 \cdot R_0^2} \end{aligned} \quad (8)$$

### Аналіз похибок результату вимірювання значення різниці міжелектродних потенціалів

Джерелами похибок, що виникають через комутатор напруг, є:

- застосовані елементи перемикачання, які призводять до зміщення значення міжелектродної напруги  $U_x$  на значення різниці потенціалів термоелектричних контактів  $U_{\theta(KU)}$ :

$$U_{\text{вим}(j)} = U_{x(j)} + U_{\theta(KU)(j)}, \quad (9)$$

де  $U_{\theta(KU)(j)} = U_{\theta(KU1)(j)} + U_{\theta(KU2)(j)}$  – оскільки використано пару перемикачів;

- опір замкненого ключа і його нестабільність. Оскільки їх значення дуже малі порівняно з великим значенням опору вхідного інструментального підсилювача, то вони практично не впливають на точність результату вимірювання.

Тому квадрат стандартного відхилення похибки, що виникає через комутатор напруг, становить:

$$\left( \frac{\sigma_B(U_{KU})}{U_x} \right)^2 = \frac{2 \cdot \sigma_B^2(U_{\theta(KU)})}{U_x^2}. \quad (10)$$

Математична модель похибки, зумовлена інструментальним підсилювачем (ІІ). Головні джерела похибок вимірювання значення напруги  $U_{вим}$ , що виникають через ІІ:

- напруга незрівноваження (адитивного характеру)  $\Delta_{O(II)}$ ,
- похибка коефіцієнта підсилення (мультиплікативного характеру)  $\delta_{K(II)}$ ,
- коефіцієнт температурної і часової нестабільності: напруга незрівноваження (адитивного характеру)  $\varepsilon_{\theta(II,O)}$  і  $\varepsilon_{t(II,O)}$ , підсилення (мультиплікативного характеру)  $\varepsilon_{\theta(II,K)}$  і  $\varepsilon_{t(II,K)}$ ,
- значення діючої напруги шумів зрівноваженого джерела напруги шумів  $U_{N(II)}$ ,
- похибка  $\delta_{Uref}$ , температурна  $\varepsilon_{\theta(II,Uref)}$  і часова  $\varepsilon_{t(II,Uref)}$  коефіцієнта нестабільності зразкової напруги  $U_{ref}$ .

Значення квадрата стандартного відхилення похибки сумарної вихідної напруги  $U_x$ :

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_B(U_x)}{U_x}\right)^2 &= \frac{1}{U_x^2} \cdot [\sigma_B^2(\Delta_{O(II)}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(II,O)}) \cdot (\theta^2 + \sigma^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(II,O)}) \cdot t^2 + \sigma_B^2(U_{N(II)})] + \\ &+ \frac{U_{ref}^2}{K_{II}^2 \cdot U_x^2} \cdot [\sigma_B^2(\delta_{Uref}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(II,Uref)}) \cdot (\theta^2 + \sigma^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(II,Uref)}) \cdot t^2] + \sigma_B^2(\delta_{K(II)}) + \\ &+ \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(II,K)}) \cdot (\theta^2 + \sigma^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(II,K)}) \cdot t^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Математична модель похибки, зумовленої вимірювальною платою (2KB). Основні джерела похибок результату вимірювань значення напруги  $U_{вх}$  є ідентичними, як у випадку каналу номер 1 плати, лише набувають інших граничних значень (з огляду на інший вимірювальний діапазон  $U_{Д(2)}$ ).

З вищесказаного випливає, що квадрат відносної зведеної стандартної похибки результату вимірювання значення напруги  $U_{вх}$  є описаний аналогічно до (3) залежністю:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\sigma_B(U_{вх})}{U_{вх}}\right)^2 &= \frac{U_{Д(2)}^2}{U_{вх}^2} \cdot [\sigma_B^2(\chi_{2ВІ}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(2ВІ)а}) \cdot (\theta^2 + \sigma^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(2ВІ)а}) \cdot t^2] + \\ &+ \sigma_B^2(\delta_{P(2ВІ)}) + \sigma_B^2(\varepsilon_{\theta(2ВІ)м}) \cdot (\theta^2 + \sigma^2(\theta)) + \sigma_B^2(\varepsilon_{t(2ВІ)м}) \cdot t^2 + \frac{\sigma_B^2(U_{N(2ВІ)а})}{U_{вх}^2} + \frac{\sigma_B^2(q_{2ВІ})}{U_{вх}^2} \end{aligned} \quad (12)$$

Математична модель похибки всього вимірювального каналу визначення значення міжелектродних напруг. Використання в каналі отримання сигналу відповіді комутатора, інструментального підсилювача з коефіцієнтом підсилення  $K_{II}$  і вимірювальної плати призводить до того, що залежність, що описує квадрат зведеної похибки результату вимірювання міжелектродних напруг  $U_x$ , набуває вигляду стандартного відхилення похибки:

$$\left(\frac{\sigma_B(U_x)}{U_x}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_B(U_{KU})}{U_x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B(U_x)}{U_x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B(U_{II})}{U_x \cdot K_{II}}\right)^2 \quad (13)$$

### Схема досліджень інструментальних похибок

Для експериментальних досліджень інструментальної похибки було створено макет томографічної системи, блок-схему системи формування та опрацювання збуджувальних і вимірювальних сигналів наведено на рис. 2.

Вимірювальна система складається із:

- групи комутаторів струму КІ для підведення струмів збудження  $I_0$  від джерел струму  $I_0$ ;
- групи комутаторів напруг КУ для під'єднання вимірювального каналу до відповідних зовнішніх електродів об'єкта;
- зразкового резистора  $R_0$  для опосередкованого вимірювання дійсного значення збуджувального струму ( $I_0 = \frac{U_{R_0}}{R_0}$ ) за спадком напруги на зразковому резисторі;
- інструментального підсилювача ІІ з керованим коефіцієнтом підсилення  $K_{II}$  та напругою зміщенням  $U_{REF}$  для забезпечення рівня вихідної напруги, допасованої до межі перетворення ЦАП вимірювальної плати;

- вимірювальної плати, яка забезпечує аналогово-цифрове перетворення вхідних сигналів, їх нагромадження і наступне пересилання до персонального комп'ютера (ПК).

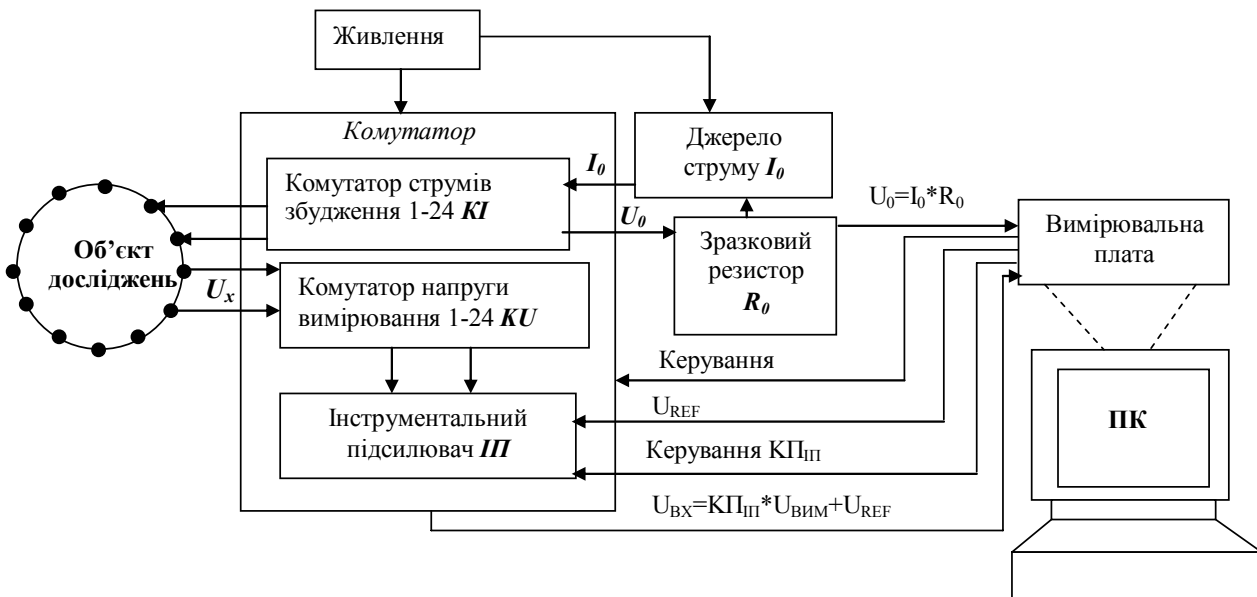


Рис. 2. Блок-схема системи формування та опрацювання збуджувальних і вимірювальних сигналів

### Оцінювання значень характеристик похибок при використанні розробленого макета системи СЗВД

#### Числові характеристики похибок результату вимірювань струму

Числові характеристики похибок, зумовлених зразковим резистором. Значення номінального опору зразкового резистора становить 100 Ом, а його відносна зміна  $\delta_{R_0(TP)} = \pm 0,05\%$ . З метою зменшення похибки прецизійним мультиметром KEITHLEY 2000 виміряно і прийнято умовно дійсне значення опору  $R_{0*} = (100,01 \pm 0,03)$  Ом. Коефіцієнт температурної стабільності  $\epsilon_{\theta(R_0)}$  в загальному випадку становить  $\epsilon_{\theta(R_0)} = \pm 20$  ppm/K, а значення коефіцієнта часової стабільності  $\epsilon_{t(R_0)}$   $\epsilon_{t(R_0)} = \pm 25$  ppm/рік.

Зміну значення опору, що виникає з явища самонагріву елемента під впливом перебігу струму (дійсне значення сили струму становить  $\approx 3$  мА), вибирається з огляду на дуже малу потужність споживання ( $P_{R_0} \approx 0,003^2 \cdot 100 = 1$  мВт) порівняно з допустимою потужністю розсіювання (500 мВт).

Квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення сили збуджувального струму  $I_0$  за формулою 6 має дві складові:

- квадрат стандартного відхилення відносної похибки зразкового резистора  $R_0$  (розрахованого за формулою 7), використовуючи наведені вище характеристики зразкового резистора становить (у %):

$$\left( \frac{\sigma_b(R_0)}{R_0} \right)^2 = \left[ \frac{(3 \cdot 10^{-4})^2}{3} + \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2}{3} \cdot (25 + \frac{(0,01)^2}{3}) + \frac{(25 \cdot 10^{-6})^2}{3} \cdot \frac{1}{12^2} \right] \cdot 100 = 3,33 \cdot 10^{-6} \quad (14)$$

Числові характеристики похибок, зумовлених вимірювальною платою. Опосередковане вимірювання збуджувального струму здійснено на вимірювальному діапазоні  $U_{D(1)} = 0,5$  В вимірювальної плати NI-DAQ [3].

- невеликі значення контактного опору  $\leq 200$  мОм і термоелектричного контактного потенціалу (сума значень напруги шумів і термоелектричного потенціалу  $\leq 3$  мкВ після 10 мс від вмикання каналу) не впливають на значення сили збуджувального струму, оскільки вони під'єднані послідовно з великим опором вихідного джерела струму.

Оскільки як виконавчі елементи застосовано герконові реле, то опір витoku є великий ( $\geq 10$  ГОм), отже, струм витoku порівняно з величиною  $I_0 = 3$  мА є нехтовно малий.

• іншим джерелом похибок можуть бути перехідні стани, що виникають під час перемикання каналів комутатора. З метою вибору станів впроваджено час комутації (запізнення), визначений як мінімальна сума діапазону часу розімкнення і-го і вмикання і+1-го каналу, після чого виникають перехідні стани і настає вимірювання.

Квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення спадку напруги  $U_0$  на зразковому резисторі  $R_0$  (розрахованої за формулою 8) (використавши дані вимірювальної плати NI-DAQ 6125 [3]) дорівнює (у %):

$$\left(\frac{\sigma_{\delta}(U_0)}{U_0}\right)^2 = \left[ \frac{0,5^2}{(3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (100)^2} \cdot \left[ \left(\frac{40 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{34 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \left(5^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2\right) \right] + \left(\frac{90 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{13 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \left(5^2 + \left(\frac{0,1}{\sqrt{3}}\right)^2\right) + \frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{(3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (100)^2 \cdot 400} + \frac{(3,8 \cdot 10^{-6})^2}{(3 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (100)^2} \right] \cdot 100 = 4,14 \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

Оскільки вимірювальна плата має періодичне автокалібрування, то оцінювати часову складову немає потреби, тому приймаємо  $\varepsilon_{t(1KB)a} = 0$ . У першому рядку формули розрахована адитивна складова, в другому – мультиплікативна.

Отже, отримано стандартне відхилення відносної похибки результату вимірювання значення сили збуджувального струму  $I_0$ , яке дорівнює  $2,7 \cdot 10^{-3}$  %.

**Числові характеристики похибок результату вимірювань міжелектродних напруг.**

Квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення міжелектродних напруг  $U_x$ , (за формулою 13) має три складові:

• квадрат стандартного відхилення відносної похибки, зумовленої комутатором напруг (розрахованого за формулою 10), з використанням наведених вище характеристик комутатора напруг, становить (у %):

$$(\sigma_B(U_{ku}))^2 = (2 \cdot 10^{-12}) \cdot 100 = 2 \cdot 10^{-10} \quad (16)$$

• квадрат стандартного відхилення відносної похибки, зумовленої інструментальним підсилювачем (розрахованого за формулою 11), з використанням наведених вище характеристик інструментального підсилювача, становить (у %):

$$\begin{aligned} (\sigma_B(U_x)) &= \left( \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(2,5 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot \left( 5^2 + \frac{(0,1)^2}{(\sqrt{3})^2} \right) + \left( 13 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{(10)^2} \right)^2 \right) + \\ &+ \left( \frac{(10)^2}{(1000)^2} \right) \cdot \left( \frac{(0,05 \cdot 10^{-2})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot \left( 5^2 + \frac{(0,1)^2}{(\sqrt{3})^2} \right) + \frac{(3 \cdot 10^{-6})^2}{(1000)^2} \cdot (770)^2 \right) + \\ &+ \left( \frac{(0,01 \cdot 10^{-2})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(2,5 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot \left( 5^2 + \frac{(0,1)^2}{(\sqrt{3})^2} \right) \right) \cdot U_x^2 = 1,85 \cdot 10^{-8} + 300 \cdot 10^{-8} \cdot U_x^2 \end{aligned} \quad (17)$$

• квадрат стандартного відхилення відносної похибки вхідної напруги 2-го каналу вимірювальної плати (розрахованого за формулою 12), з використанням наведених вище характеристик 2-го каналу вимірювальної плати, становить (у %):

$$\begin{aligned} (\sigma_B(U_{\kappa})) &= (10)^2 \cdot \left( \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(21 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot \left( 5^2 + \frac{(0,1)^2}{(\sqrt{3})^2} \right) \right) + \\ &\left( \frac{(60 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(13 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot \left( 5^2 + \frac{(0,1)^2}{(\sqrt{3})^2} \right) \right) \cdot U_x^2 + \frac{(28 \cdot 10^{-5})^2}{(\sqrt{3})^2} + \frac{(3,8 \cdot 10^{-6})^2}{(\sqrt{3})^2} = \\ &= 40,71 \cdot 10^{-6} + 0,26 \cdot 10^{-6} \cdot U_x^2 \end{aligned} \quad (18)$$

Отже, отримано квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення напруги  $U_x$  (у %):

$$\sigma_B(U_x) = \sqrt{40,71 \cdot 10^{-2} + 3,26 \cdot 10^{-2} \cdot U_x^2} \cdot 10^{-3} \quad (5.6)$$

На діапазоні вимірювань міжелектродних напруг  $U_x = 10V$  вимірювальною платою NI-DAQ 6125 [3] квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання значення міжелектродних напруг становить  $0,86 \cdot 10^{-3}$  %.

Отже, сумарний квадрат стандартного відхилення відносної похибки результату вимірювання питомої провідності за допомогою експериментального дослідження макета електричної томографічної системи становить  $3,59 \cdot 10^{-3} \%$ .

### **Висновок**

Під час реконструкції питомої електричної провідності за допомогою експериментального дослідження макета електричної томографічної системи отримано адитивну похибку вимірювань зовнішніх електродних величин  $3,59 \cdot 10^{-3} \%$ , що задовольняє вимогам забезпечення рівня похибок вимірювань зовнішніх електродних величин декілька тисячних відсотка.

1. Дорожжовець М. Оцінювання впливу інструментальних похибок на точність відтворення просторового розподілу провідності // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія". – 2002. – №59. – С. 126–131. 2. Дорожжовець М., Ковальчик А. Аналіз сумісного впливу методичної та інструментальної похибок томографії провідності // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Вимірювальна техніка та метрологія". – 2002. – №59. – С. 115–118. 3. NI 625XSpecifications. [www://NI.com// PCI NI-6251](http://www.ni.com/PCI-NI-6251). 4. Дорожжовець М. Математична модель інструментальної похибки вимірювальної системи томографії електричної провідності // Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка", "Автоматика вимірювання та керування. – 2000. – №389. – С. 9–17.

УДК 681.3.06

Ю.В. Дубова

Вінницький національний технічний університет

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ЗВУКУ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

© Дубова Ю.В., 2007

**Запропоновано метод оцінки якості передавання звуку у телекомунікаційних системах за допомогою системи розпізнавання мови. Метод може бути використаний для оцінки якості довільної системи, що перетворює звукову інформацію незалежно від характеру перетворень звуку всередині системи.**

**Method of sound transfer quality evaluation in telecommunication systems using speech recognition system is proposed in the article. Method could be used for quality evaluation of arbitrary system which transforms sound information regardless of transformation type inside the system.**

### **Вступ**

У сучасному світі глобальних мереж передавання даних та комунікацій людині постійно потрібний зв'язок для отримання інформації. Цей зв'язок можна отримати із розвинених інфраструктур, а саме книжок, газет, радіо, телебачення, інтернету, телефону тощо. Але оскільки людина постійно знаходиться в русі, їй потрібний постійний мобільний зв'язок для отримання усєї необхідної інформації із високою швидкістю. В цьому напрямі бурхливо розвивається мобільний зв'язок, змінюючи покоління за поколінням.

На сьогоднішньому етапі розвитку мобільного зв'язку виділяють три основні покоління передавання даних та декілька проміжних, а саме:

1. 1G мережі – аналогове передавання голосу (телефон);
2. 2G мережі – цифрове передавання голосу (телефон), SMS, ігри зі швидкістю від 9.6 Кбіт/с до 14.4Кбіт/с;
3. 2.5G мережі – цифрове передавання голосу (телефон), конференції, передавання мультимедіа-інформації, інтернет, мобільний банкінг, послуги, що ґрунтуються на місцезнаходженні абонента тощо зі швидкістю від 57.6Кбіт/с до 115Кбіт/с;