

УДК 681.327.12

М. М. Биков, канд. техн. наук, доц.;

В. В. Ковтун, канд. техн. наук, доц.;

Н. Г. Савінова, асп.

## ОЦІНЮВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ГОЛОСІВ

Важливою задачею у аналізі ефективності ІВС для автоматичного розпізнавання голосів є врахування апаратних похибок системи, що в інформаційних джерелах недостатньо освітлено. Запропоновано рівняння перетворення ІВС для автоматичного розпізнавання голосів, на основі якого проведено дослідження статичних метрологічних характеристик ІВС для розпізнавання голосів та розраховано відносну похибку реальної апаратної частини ІВС такого типу.

### Вступ

Якість роботи інформаційно-вимірювальної системи для автоматизованого розпізнавання голосів (ІВС АРГ) оцінюється, здебільшого, достовірністю правильного розпізнавання, на величину якої окрім факторів, пов'язаних із недосконалістю ознакового опису мовних сигналів та методів прийняття рішень, впливають завади технічної природи. Більшість з цих завод є невіддільною складовою процесу функціонування складових електроакустичного тракту ІВС АРГ, який складається з таких обов'язкових компонентів, як мікрофон, з'єднувальний кабель, попередній підсилювач та аналого-цифровий перетворювач. Враховуючи, що систему автоматизованого розпізнавання голосів відносять до класу інформаційно-вимірювальних систем, дослідження її метрологічних характеристик можна проводити за розробленою методикою [1—3].

Отже, метою роботи є визначення метрологічних характеристик вказаних складових електроакустичного тракту ІВС АРГ, оцінювання їх впливу на якість роботи системи в цілому та формування рекомендацій щодо вибору відповідних складових з урахуванням адаптованого узагальненого функціонально-статистичного критерію.

### Формалізація та розв'язання задачі

Для використання в ІВС для розпізнавання голосу за своїми конструктивними особливостями найпридатнішим є конденсаторний мікрофон [4]. З коливаннями мембрани такого мікрофону під впливом змінного звукового тиску ємність вбудованого конденсатора змінюється, що приводить до появи в електричному колі мікрофону змінного струму тієї ж частоти, а на опорі навантаження виникає падіння напруги, що є вихідним сигналом мікрофону. Вихідна напруга мікрофону, який буде використовуватися на незначній відстані від джерела акустичних коливань ( $r \ll \left(\frac{c}{\omega}\right)$ , де  $r$  — відстань між джерелом акустичних коливань та площиною діафрагми,  $c = 343$  м/с — швидкість звуку в повітрі при 20 °С) визначається таким рівнянням:

$$U_{\text{вих}} = \frac{E}{d} x \frac{R_{\text{н}}}{C_{\text{м}} + R_{\text{н}}} = \frac{E}{d} \frac{F}{\omega z_{\text{м}}} \frac{R_{\text{н}}}{C_{\text{м}} + R_{\text{н}}} = E \frac{p_0 S}{r \omega z_{\text{м}}} \frac{R_{\text{н}}}{C_{\text{м}} + R_{\text{н}}}, \quad (1)$$

де  $F$  — діюча на діафрагму мікрофону результуюча сила звукового тиску;  $\omega$  — частота коливань мембрани під дією звукового тиску;  $z_{\text{м}}$  — механічний опір акустико-механічної системи мікрофону;  $C_{\text{м}}$  — внутрішній ємнісний опір мікрофону;  $d$  — відстань між діафрагмою та нерухомим електродом за відсутності коливань;  $S$  — площа діафрагми мікрофону;  $p_0$  — звуковий тиск, що діє на діафрагму мікрофону.

У зв'язку з конструктивними особливостями у всіх сучасних конденсаторних мікрофонів передбачено присутність конструктивно пов'язаного з самим мікрофоном підсилювача, який має малий коефіцієнт підсилення (порядку одиниці), високий вхідний та низький вихідний опори.

Отже, еквівалентну електричну схему апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу зображено на рис. 1. Вона містить мікрофон (М), з'єднувальний кабель (ЗК), попередній підсилювач (ПП), пристрій для здійснення аналого-цифрового перетворення (АЦП).

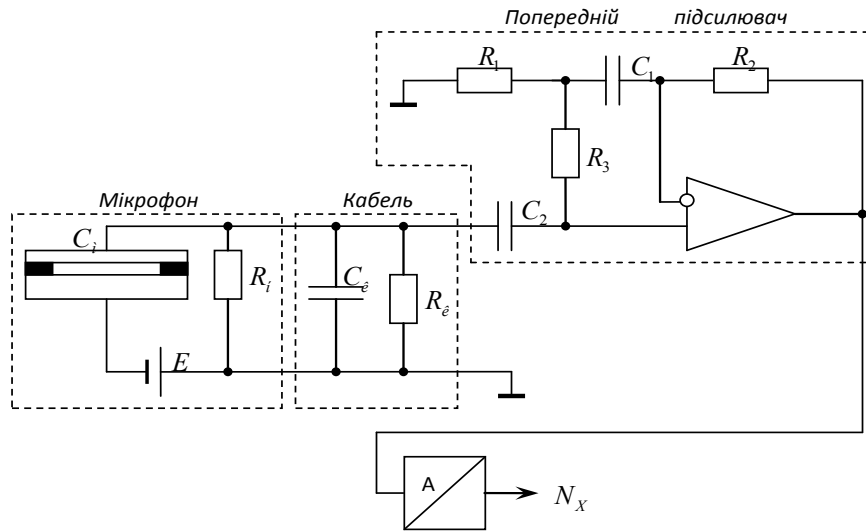


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема інструментальної частини ІВС для розпізнавання голосу:

$C_m$  — ємнісний опір конденсаторного мікрофону;  $R_m$  — опір навантаження;  $E$  — джерело постійного струму;  $C_c$  — ємність з'єднувального кабелю і відповідних з'єднань,  $R_c$  — опір з'єднувального кабелю і відповідних з'єднань;  $R_1, R_2, R_3$  — активні опори диференційного підсилювача змінної напруги;  $C_1, C_2$  — реактивні опори диференційного підсилювача змінної напруги;  $N_x$  — бінарний код на виході АЦП

Використання диференціального попереднього підсилювача напруги, як вказано вище, зумовлено конструктивними особливостями конденсаторного мікрофону.

Вихідна напруга конденсаторного мікрофону  $U_m$ , згідно з рівнянням (1), пропорційна величині  $C_m$  та величині  $x$ , що пов'язує частоту коливань рухомої обкладинки конденсатора з тиском звукової хвилі, що на неї діє.

Враховуючи, що довжина з'єднувального кабелю не перевищує 3...5 м, можна знехтувати впливом його активного та реактивного опору на значення змінної напруги на вході попереднього підсилювача.

Вихідна напруга попереднього підсилювача в загальному вигляді визначається співвідношенням [5]

$$U_{\text{вих ПП}}(\omega) = U_{\text{вх ПП}}(\omega) K_{\text{ПП}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{ПП}}$  — коефіцієнт підсилення попереднього підсилювача,

$$U_{\text{вх ПП}}(\omega) = U_m(\omega) = \frac{E}{d} x \frac{\omega R_m C_m}{1 + \omega R_m C_m} \text{ — вхідна напруга попереднього підсилювача.}$$

Для диференційного підсилювача напруги коефіцієнт підсилення має визначатися з рівняння

$$K_{\text{ПП}} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}}. \quad (3)$$

Отже, враховуючи рівняння (2), (3), вихідна напруга попереднього підсилювача має вигляд

$$U_{\text{ПП}} = U_{\text{вх ПП}} \cdot K_{\text{ПП}} = \frac{E}{d} x \frac{\omega R_m C_m}{1 + \omega R_m C_m} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}}. \quad (4)$$

Відповідно еквівалентній електричній схемі апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу, напруга з виходу попереднього підсилювача подається на вхід АЦП, де перетворюється на бінарний код  $N_X$  відповідно рівняння

$$N_X = 2^n \cdot Ent\left(\frac{U_{\text{ин}}}{U_o}\right), \quad (5)$$

де  $n$  — розрядність АЦП;  $U_o$  — опорна напруга АЦП.

Отже, враховуючи рівняння (1), (2), (4), (5), рівняння перетворення апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу матиме такий вигляд:

$$N_X = \frac{2^n}{U_o} \frac{E}{d} x \frac{\omega R_H C_M}{1 + \omega R_H C_M} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}}, \quad (6)$$

а функція перетворення матиме вигляд, показаний на рис. 2.

Функція перетворення є основою для отримання аналітичних залежностей оцінювання таких статичних метрологічних характеристик, як номінальна функція перетворення, чутливість, адитивна і мультиплікативні похибки [6—8].

Рівняння перетворення (6) апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу є основою для отримання таких статичних метрологічних характеристик, як номінальна функція перетворення, чутливість, адитивна і мультиплікативні складові похибок.

Номінальний коефіцієнт перетворення або чутливість апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу має вигляд

$$S_x = \frac{\partial N_x}{\partial x} = \frac{2^n}{U_o} \frac{E}{d} \frac{\omega R_H C_M}{1 + \omega R_H C_M} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}}. \quad (7)$$

Коефіцієнти впливу змінної величини  $C_M$  на вихідний бінарний код АЦП  $N_x$  розраховують з таких співвідношень:

$$\beta_{0C_M} = \frac{\partial N_x}{\partial C_M} = \frac{2^n}{U_o} \frac{E}{d} \frac{\omega R_H}{1 + \omega R_H C_M} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}} - \frac{2^n}{U_o} \frac{E^2}{d} \frac{\omega^2 R_H^2 C_M}{(1 + \omega R_H C_M)^2} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3}}{1 + \frac{\omega C_1}{R_1} + \frac{\omega C_1}{R_3} + \frac{\omega^2 C_1 C_2}{R_1 R_3}}; \quad (8)$$

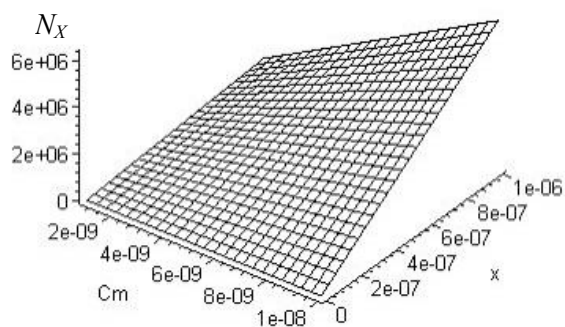


Рис. 2. Функція перетворення апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу

$$\beta_{0C_M}' = \frac{\partial^2 N_x}{2 \cdot \partial C_M^2} = -\frac{2^n E x}{U_o d} \frac{\omega^2 R_H^2}{(1 + \omega R_H C_M)^2} \frac{1 + R_2/R_1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3}{1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3 + \omega^2 C_1 C_2 / R_1 R_3} +$$

$$+ \frac{2^n E x}{U_o d} \frac{\omega^3 R_H^3 C_M}{(1 + \omega R_H C_M)^3} \frac{1 + R_2/R_1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3}{1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3 + \omega^2 C_1 C_2 / R_1 R_3}. \quad (9)$$

Коефіцієнт спільного впливу параметра  $x$  та величини  $C_M$  на номінальну чутливість  $S_x$  апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу визначається як

$$\alpha_{0C_M} = \frac{\partial^2 N_x}{\partial X_s \partial C_M} = \frac{2^n E}{U_o d} \frac{\omega R_H}{(1 + \omega R_H C_M)} \frac{1 + R_2/R_1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3}{1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3 + \omega^2 C_1 C_2 / R_1 R_3} -$$

$$- \frac{2^n E}{U_o d} \frac{\omega^2 R_H^2 C_M}{(1 + \omega R_H C_M)^2} \frac{1 + R_2/R_1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3}{1 + \omega C_1/R_1 + \omega C_1/R_3 + \omega^2 C_1 C_2 / R_1 R_3}. \quad (10)$$

Номінальну функцію перетворення визначимо за допомогою розкладу рівняння перетворення апаратної частини ІВС розпізнавання голосу в ряд Тейлора з урахуванням рівняння (7):

$$N_H = S_x x. \quad (11)$$

Відносну похибку  $\delta_H$  номінальної функції перетворення (11) визначимо за формулою

$$\delta_H = \frac{\Delta N_H}{S_x \Delta x}. \quad (12)$$

Абсолютну мультиплікативну похибку перетворення  $\Delta N_M$  за зміни ємності мікрофону на величину  $\Delta C_M = C_M - C_{MH}$  визначимо з рівняння

$$\Delta N_M = \alpha_{0C_M} \cdot x \cdot \Delta C_M. \quad (13)$$

Абсолютна адитивна похибка перетворення  $\Delta N_a$  при зміні ємності конденсатора на величину  $\Delta C_M$  визначимо з рівняння

$$\Delta N_a = \beta_{0C_M} \cdot \Delta C_M + \beta'_{0C_M} \cdot \Delta C_M^2. \quad (14)$$

Аналіз емпіричних результатів оцінювання статичних метрологічних характеристик АЧ ІВС для розпізнавання голосу показує, що адитивна та мультиплікативна складові похибок зменшуються при зменшенні механічних переміщень мембрани мікрофону.

Для розрахунку похибок реальної апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу, перш за все необхідно врахувати загальну зведену похибку мікрофону, яка відповідно паспортним даним, не перевищує  $\gamma_M \leq 0,63\%$ .

Оскільки вимірювання здійснюється в температурному діапазоні 20...30 °С, а дрейф нуля попереднього підсилювача становить 0,1 нВ/°С, то напруга зміщення попереднього підсилювача становить  $U_{ЗМ\text{III}} = (20...30) \cdot 0,1 \approx 2,5$  нВ. З відомим коефіцієнтом підсилення попереднього підсилювача напруги  $K = 20^5$ , знайдемо максимальну напругу зміщення  $U_{ЗМ\text{max}} = U_{ЗМ\text{III}} \cdot K = 0,5$  мВ. Знаючи максимальну вихідну напругу попереднього підсилювача  $U_{\text{вих III}} = \pm 0,5$  В, максимальна відносна похибка вимірювання ОП становить

$$\delta_{\text{III}} = \frac{U_{ЗМ\text{max}}}{2U_{\text{вих III}}} \cdot 100\% = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,5} \cdot 100\% = 0,05\%. \quad (15)$$

Відносна похибка 16-ти розрядного АЦП, враховуючи те, що його максимальна вхідна напруга становить  $U_{\text{АЦПmax}} = 3 \text{ В}$ , а опорна  $U_o = 1,02 \text{ В}$ , складає

$$\delta_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{\text{АЦПmax}}}{2^m U_o} 100 \% = \frac{3}{2 \cdot 65536 \cdot 1,02} 100 \% = 7,5 \cdot 10^{-6} \% . \quad (16)$$

Отже, сумарна відносна похибка апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу становить

$$\delta_{\text{анІВС}} = \sqrt{\delta_{\text{м}}^2 + \delta_{\text{пн}}^2 + \delta_{\text{АЦП}}^2} = \sqrt{0,63^2 + 0,05^2 + 7,5^2 \cdot 10^{-12}} \approx 0,7 \% . \quad (17)$$

Приймаючи закон розподілу похибок нормальним (тому, що кількість факторів які впливають на апаратну частину ІВС для розпізнавання голосу більше 5), розрахуємо відповідні СКВ загальної зведеної похибки мікрофону:

$$\sigma_{\text{м}} = \gamma_{\text{м}} / \sqrt{3} = 0,63 / 1,732 \approx 0,364 \% ;$$

відносної похибки попереднього підсилювача напруги

$$\sigma_{\text{пн}} = \delta_{\text{пн}} / \sqrt{3} = 0,03 / 1,732 = 0,029 \% ;$$

відносної похибки АЦП

$$\sigma_{\text{АЦП}} = \delta_{\text{АЦП}} / \sqrt{3} = 7,5 \cdot 10^{-6} / 1,732 = 4,3 \cdot 10^{-6} \% .$$

Таким чином, загальне СКВ відносної похибки апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу становить

$$\sigma_{\text{анІВС}} = \sqrt{\sigma_{\text{м}}^2 + \sigma_{\text{пн}}^2 + \sigma_{\text{АЦП}}^2} = \sqrt{0,364^2 + 0,029^2 + 4,3 \cdot 10^{-12}} = 0,364 \% . \quad (18)$$

### Висновки

Значення СКВ похибки апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу становить 0,364 %. Сумарна відносна похибка не перевищує 0,7 %. Таким чином, можна стверджувати, що апаратна частина незначно впливає на метрологічні показники роботи ІВС розпізнавання голосу.

Потрібно також наголосити, що значення похибки апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу та її СКВ розраховано за умови, що в ІВС як датчик використано конденсаторний мікрофон першого класу, отже, у разі виникнення потреби, похибку апаратної частини ІВС для розпізнавання голосу можна зменшити, використавши конденсаторний мікрофон нульового класу, що протече, призведе до збільшення вартості ІВС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поджаренко В. О. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності / В. О. Поджаренко, О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук : навч. посіб. — Вінниця : ВНТУ, 2008. — 128 с.
2. Васілевський О. М. Метрологічний нагляд та контроль / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко : навч. посіб. — Вінниця : ВНТУ, 2007. — 162 с.
3. Поджаренко В. О. Опрацювання результатів вимірювань : метод. вказівки щодо виконання курсових робіт з дисципліни «Основи метрології та вимірювальної техніки» для студентів напрямку підготовки 0913 — «Метрологія та вимірювальна техніка» / В. О. Поджаренко, О. М. Васілевський, О. П. Войтович. — Вінниця : ВНТУ, 2007. — 38 с.
4. Шебалин О. Д. Физические основы механики и акустики / О. Д. Шебалин. — М. : Высш. школа, 1981. — 263 с.
5. Федорков Б. Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б. Г. Федорков, В. А. Теллец. — М. : Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.
6. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю / [Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк] — Вінниця : Велес, 2001. — 219 с.
7. Метрологія. Терміни та визначення : ДСТУ 2681 — 94. [Чинний від 26-07-94]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 68 с.
8. Метрологічне забезпечення. Основні положення : ДСТУ 2682 — 94. — К. : Держстандарт України, 1994. — 15 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 20.05.11  
Рекомендована до друку 9.06.11

**Биков Микола Максимович** — професор, **Ковтун В'ячеслав Васильович** — доцент, **Савінова Наталія Геннадіївна** — аспірантка.

