

Дослідження невизначеності вимірювання концентрації іонів під час використання засобу вимірювання побудованого за принципом аналого-цифрового перетворення

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В даній роботі описується алгоритм оцінювання невизначеностей вимірювання складових елементів гумусу засобом вимірювання концентрації іонів який побудований на базі аналогово-цифрового перетворювача та детально описані розрахунки параметрів АЦП та його похибки.

Ключові слова:

рівняння перетворення, концентрація іонів, стандартна невизначеність, засіб вимірювання, іоноселективний перетворювач.

Abstract

The paper represents an algorithm of evaluating of uncertainty measurement of components of humus by mean of measurement of ions concentration which based on analog-digital converter. Calculation of ADC characteristics are described in details such as its errors.

Keywords:

converter equation, ions activity, standard uncertainty, means of measurement, ion-selective transmitter

Алгоритм оцінювання невизначеностей складових елементів ЗВ концентрації іонів. Рівняння перетворення іоно-селективного перетворювача має вигляд [1]

$$\Delta U = U_0 + \frac{2,3RT}{n_A F} \lg(a_A + K_c (a_B)^{n_A/n_B}), \quad (1)$$

де ΔU – різниця потенціалів на виході перетворювача; U_0 – стандартний постійний потенціал чутливого елемента (електрода порівняння $U_0 = 201 \pm 3$ мВ); R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура досліджуваної концентрації; F – число Фарадея; n_A , n_B – заряди іонів А і В, відповідно; a_A – активність іонів А, яку потрібно визначити; a_B – активність іонів В, які заважають визначенню іонів А; K_c – коефіцієнт селективності (максимально можливе значення 10^{-1} при визначенні активності іонів фториду).

Оскільки при вимірюванні концентрації іонів гумусового стану ґрунтів необхідно визначати вміст таких одновалентних речовин як фторид, нітратний азот, амонійний азот, калій, то в рівнянні (1) відношення $\frac{2,3RT}{n_A F}$ є постійною величиною, що відображає чутливість іоноселективних електродів по відношенню до іонів А, що дорівнює $S=59,16$ мВ при температурі калібрування 25 °С.

Зміна активності іонів призводить до зміни різниці потенціалів. Для подальшого посилення малих різниць потенціалів використовується вимірювальний підсилювач, який повинен задовольнити наступні вимоги:

- диференційний вхід для зменшення дії синфазної перешкоди;
- низький рівень нульового сигналу;
- великий коефіцієнт послаблення синфазної перешкоди.

Після посилення вимірювальний сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де перетворюється в двійковий код N.

Таким чином, з огляду на складові елементи вторинного засобу вимірювання рівняння перетворення (1) набуде вигляду:

$$N = [U_0 + S \lg(a_A + 0,1a_B)] \frac{K2^m}{U_{оп}}, \quad (2)$$

де $U_{оп}$ – опорна напруга АЦП (5 В); m – розрядність АЦП ($m=16$); K – коефіцієнт підсилення вимірювального підсилювача.

З даних попередніх досліджень відомо, що границі невиключених залишків систематичних похибок такі:

- стандартного потенціалу U_0 чутливого елемента $\theta_{U_0} = \pm 3$ мВ;
- значення абсолютної похибки вимірювання активності іонів $\theta_a = 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{ДМ}^3}$;
- максимальний температурний коефіцієнт зсуву вимірювального підсилювача становить $0,25 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$;
- температурний коефіцієнт опорної напруги АЦП становить $k_t = 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
- відхилення опорного напруги від номінального значення не перевищує $\theta_{U_{оп}} = \pm 0,02$ В.

У припущенні про рівномірний закон розподілу [2, 3] стандартну невизначеність потенціалу чутливого елемента, визначимо, як

$$u_{U_0} = \frac{\theta_{U_0}}{\sqrt{3}} \approx 1,73 \text{ мВ}. \quad (3)$$

Стандартну невизначеність, яка обумовлена абсолютною похибкою вимірювання концентрації іонів в припущенні про нормальний закон розподілу похибки всередині границь [2, 3] обчислюємо за формулою

$$u_a = \frac{\theta_a}{k} \approx 2,55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ММОЛЬ}}{\text{ДМ}^3}, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт охоплення для нормального розподілу, який рівний 1,96 для ймовірності 95% [3].

Сумарну стандартну невизначеність, яка вноситься Іоноселективні електродами u_{ITs} , обчислену по типу В, з урахуванням рівнянь (3) и (4), визначимо за формулою

$$u_{ITs}^2 = \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial U_0} \right)^2 u_{U_0}^2 + \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial a_A} \right)^2 u_a^2 + \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial a_B} \right)^2 u_a^2, \quad (5)$$

де $\frac{\partial \Delta U}{\partial U_0} = 1$ – коефіцієнт чутливості стандартного потенціалу; $\frac{\partial \Delta U}{\partial a_A} = \frac{S}{2,3(a_A + K_c a_B)}$ – коефіцієнт чутливості вимірюваної активності іонів А, який на нижньому діапазоні вимірювань ($D_{\min} = 10^{-6} \text{ моль}/\text{дм}^3$) дорівнює $23383,4 \text{ Вдм}^3/\text{моль}$; $\frac{\partial \Delta U}{\partial a_B} = \frac{K_c S}{2,3(a_A + K_c a_B)}$ – коефіцієнт чутливості активності іонів В, що заважають визначенню вимірюваних іонів А, який на нижньому діапазоні вимірювань ($D_{\min} = 10^{-6} \text{ моль}/\text{дм}^3$) дорівнює $2338,34 \text{ Вдм}^3/\text{моль}$.

Підставляючи розраховані значення коефіцієнтів чутливості в рівняння (5) сумарна стандартна невизначеність, яка вноситься іоноселективними електродами складе $u_{ITs} \approx 60$ мВ.

Оскільки вимірювання можуть проводитися при зміні температури навколишнього середовища від 5 до 40 °С, максимальна зміна температури при цьому становить $\Delta t = 35^\circ\text{C}$, то враховуючи температурний коефіцієнт зсуву підсилювача $0,25 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$, напруги зсуву складе $U_{см} = 35^\circ\text{C} \cdot 0,25 \text{ мВ}/^\circ\text{C} = 8,75$ мВ. При відомому коефіцієнті посилення $K=10$, максимальна напруга зміщення буде рівним $U_{см\max} = U_{см} \cdot K = 87,5$ мВ. З огляду на максимальну вихідну напруги підсилювача $U_{\text{вих}} = \pm 5$ В, його максимальну відносну похибку можна розрахувати за формулою

$$\delta_K = \frac{U_{см\max}}{2U_{\text{вих}}} = 8,75 \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

Розрахувавши максимальну відносну похибку підсилювача, стандартну невизначеність, яка вноситься підсилювачем при вимірюванні концентрації іонів в припущенні про нормальний закон розподілу, розрахуємо за формулою:

$$u_K = \frac{\Delta U_{\max} \delta_K}{k} \approx 0,83 \text{ мВ}, \quad (7)$$

де ΔU_{\max} - максимальна різниця потенціалів, яка відповідає максимальній активності іонів нітратного азоту (максимальний діапазон виміру $D_{\max}=0,5$ моль/дм³) при максимально можливої активності іонів, що заважають В.

Невизначеність $u_{OP}(\Delta t)$, обумовлена змінами опорної напруги джерела при зміні температури навколишнього середовища від 25 °С (температура калібрування джерела опорної напруги АЦП t_1) до 35 °С (максимально можлива зміна температури навколишнього середовища Δt), обчислена через температурний коефіцієнт, в припущенні про рівномірний розподіл границь, буде рівною

$$u_{OP}(\Delta t) = \frac{k_t(\Delta t - t_1)}{\sqrt{3}} U_{OP} \approx 0,43 \text{ мВ}. \quad (8)$$

Невизначеність $u_{OP}(\theta)$, обумовлена відхиленням опорної напруги від номінального значення, в припущенні про рівномірний розподіл, буде рівною

$$u_{UO} = \frac{\theta U_{OP}}{\sqrt{3}} \approx 11,55 \text{ мВ}. \quad (9)$$

Таким чином, сумарна стандартна невизначеність джерела опорної напруги АЦП, яка складається з невизначеностей розрахованих за формулами (8) і (9), буде рівною

$$u_{OPs} = \sqrt{(u_{OP}(t))^2 + (u_{UO})^2} \approx 11,56 \text{ мВ}. \quad (10)$$

Стандартну невизначеність u_h , яка вноситься процесом квантування напруги, що надходить на вхід АЦП, в припущенні про рівномірний закон розподілу, визначимо так

$$u_h = \frac{h}{\sqrt{3}} = \frac{U_{OP}}{2^m \sqrt{3}} \approx 44,05 \text{ мкВ}. \quad (11)$$

З огляду на розраховані за формулами (5), (7), (10) і (11) стандартні невизначеності, на кожному з етапів перетворення, сумарну стандартну невизначеність типу В обчислимо за формулою

$$u_S = \sqrt{u_{IPs}^2 + u_K^2 + u_{OPs}^2 + u_h^2} \approx 61,11 \text{ мВ}. \quad (12)$$

Таким чином, аналізуючи отримані результати видно, що максимальна невизначеність 60 мВ вноситься первинним іоноселективний перетворювачем, а сумарна невизначеності типу В не перевищує 61,11 мВ.

Висновки. На підставі довідкових даних і даних попередніх досліджень, запропоновано методику оцінювання невизначеності, що вноситься СІ концентрації іонів, яка в діапазоні вимірювання від 10^{-6} до $5 \cdot 10^{-1}$ моль/дм³ складає 61,11 мВ при максимальній активності іонів, що заважають.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васілевський О.М. Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю : [монографія] / О.М. Васілевський, В.М. Дідич. - Вінниця: ВНТУ. - 2013. - 176 с.
2. Васілевський О.М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О.М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - № 3 (7). - 2006. - С. 147-151.
3. Васілевський О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань : [підручник] / О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський. - Вінниця: ВНТУ, 2015. - 229 с. - ISBN 978-966-641-632-5.

Автори

1. Васілевський Олександр Миколайович д.т.н., доцент, професор кафедри метрології і промислової автоматики Вінницького національного технічного університету;
2. Данилюк Євгеній Олексійович студент кафедри метрології і промислової автоматики Вінницького національного технічного університету.

Contributors

1. Vasilevskyy O. DSc, professor of department of metrology and industrial automatics of Vinnytsya national technical university;
2. Danylyuk Y. student of department of metrology and industrial automatics of Vinnytsya national technical university.