

Є.Я. Швець, перший проректор, к.т.н., професор

Є.М. Кісельов, доцент, к.т.н.

Л.Л. Верьовкін, доцент

## КОРЕГУВАННЯ НЕЛІНІЙНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ КОМБІНОВАНИХ ПІРОЕЛЕКТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ КОНТРОЛЮ ПОТУЖНОСТІ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

*Запорозька державна інженерна академія*

Представлены результаты исследований нелинейности преобразования выходного сигнала датчиков контроля мощности теплового излучения. Предложена система коррекции погрешности преобразования, которая позволяет обеспечить погрешность определения мощности излучения не более 0,106 % в диапазоне от 0,1 до 1,2 Вт. Результаты исследований могут быть использованы при разработке систем контроля и управления температурными режимами в металлургическом производстве.

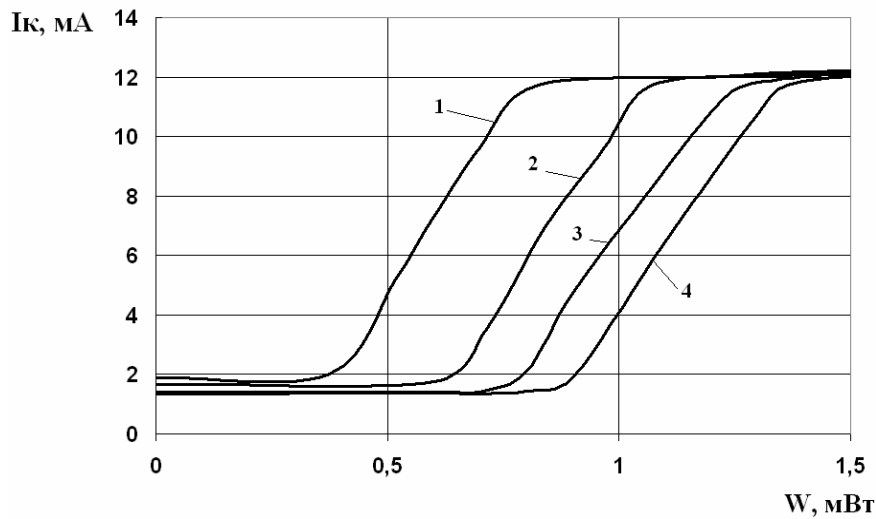
Наведено результати досліджень нелінійності перетворення вихідного сигналу піроелектричних датчиків контролю потужності теплового випромінювання. Запропоновано систему корегування, що дозволяє забезпечити похибку визначення потужності випромінювання не більше ніж 0,106 % у діапазоні від 0,1 до 1,2 Вт. Результати досліджень можуть бути використані під час розробки систем контролю й управління температурними режимами у металургійному виробництві.

*Вступ.* Широке розповсюдження методів контролю й управління у сучасній металургії спричинює необхідність розробки та впровадження нових типів датчиків, зокрема датчиків потужності теплового випромінювання. При цьому актуальними залишаються роботи щодо створення високнадійних датчиків на основі твердотільних напівпровідникових приладових структур, виготовлених з використанням мікроелектронної технології, що дозволяє реалізувати функції адаптивного настроювання, до яких відносять біполярний транзистор з польовим управлінням. Існують декілька видів конструктивно-технологічного виконання датчиків зазначеного типу [1]: з чутливим (ЧЕ) і перетворюючим (ПЕ) елементом (шаром піроелектрика) у колах затвору (варіант I), колектора (варіант II) та бази (варіант III) біполярного транзистора з польовим управлінням.

*Постановка завдання дослідження.* Результати досліджень датчика потужності теплового випромінювання (варіант III) у системі «МАЕС-П» (рис. 1) показують, що положення квазілінійних ділянок передавальної характеристики (вихідного сигналу) залежить від струму бази транзистора з польовим управлінням, що входить до складу датчика. Отже, під час вимірювань можливим є адаптивне настроювання характеристики перетворення, так, щоб реєстроване значення потужності знаходилося у межах лінійної ділянки.

Виходячи з вищесказаного, раціональним представляється вирішення наступних завдань:

– дослідження нелінійності перетворення вихідного сигналу датчика потужності теплового випромінювання (варіанти I і III);



1 - 100 мкА; 2 - 50 мкА; 3 - 20 мкА; 4 - 0 мкА

**Рисунок 1** – Передавальна характеристика датчика потужності випромінювання за струмом бази, що дорівнює:

– синтез кола корегування вихідного сигналу вказаного датчика та дослідження його корегуючої ланки.

*Оцінка нелінійності перетворення датчиків.* Для оцінки погрішності перетворення проводили апроксимацію робочих ділянок вихідного сигналу датчика (рис. 2,а). Набуті значення коефіцієнтів змішаної кореляції  $R_2$  [2] (не менше 0,9978) дозволяє забезпечувати високу точність вимірювань (0,22 % у діапазоні від 0,4 до 1,4 мВт) під час реалізації функцій адаптивного регулювання. Також датчик можна використовувати як пороговий елемент, що реєструє перевищення потужності контрольованого випромінювання над заданим значенням, яке визначають струмом бази біполярного транзистора з польовим управлінням.

Також проводили дослідження датчика з підключенням підсистеми «ЧЕ-ПЕ» за варіантом III для вищезгаданого транзистора [3]. Для обробки вихідного імпульсного сигналу датчика використовували амплітудний детектор. У такому разі робочі ділянки вихідного сигналу системи «датчик–детектор» мають вигляд, що подано на рис. 2,б.

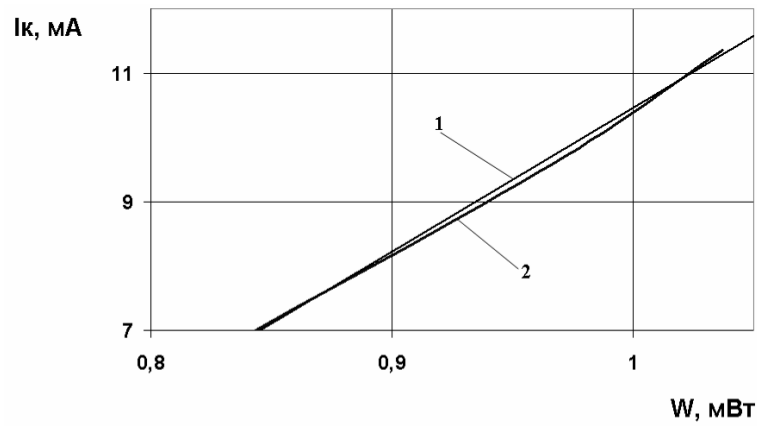
Результати регресійного аналізу показують, що для передавальної характеристики  $I_K = f(W)$  є аналітична залежність

$$I_K = 92,887 \cdot \ln W + 355,43, \quad (1)$$

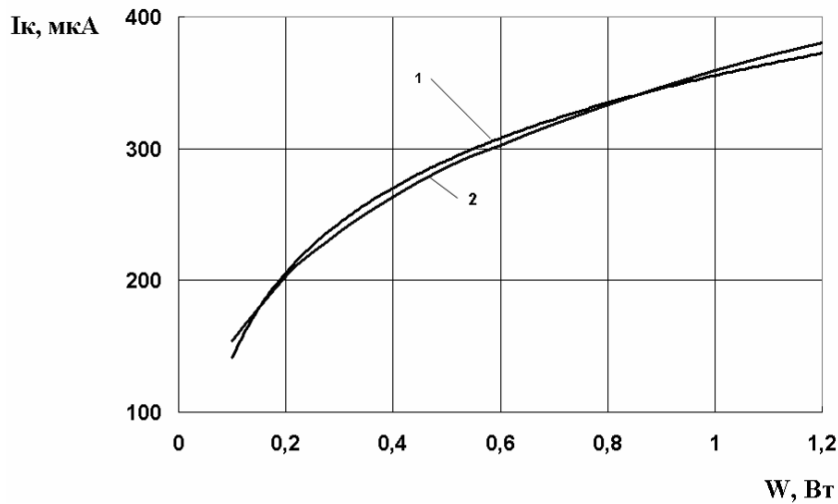
де  $I_K$  – вихідний струм датчика, мкА;  $W$  – потужність випромінювання, Вт.

Аналіз точності апроксимації показує, що величина коефіцієнта змішаної кореляції ( $R^2 = 0,9919$ ), яка є максимально досяжною, забезпечується за допомогою залежності (1). Таким чином, погрішність визначення потужності теплового випромінювання датчиками за варіантом III складає 0,81 % у діапазоні від 0,1 до 1,2 Вт.

*Дослідження корегуючої ланки датчика.* У автоматичних системах управління та вимірювальній техніці використовують корегуючі ланки різного призначення для лінеаризації характеристик датчиків [4]. Логарифмічний характер залежності  $I_K(W)$  обумовлює використання антилогарифмічного підсилювача (експандера) [5] для підвищення ступеня лінійності вихідного сигналу датчиків потужності теплового випромінювання.



*a*



*б*

*a* - варіант I; *б* - варіант III

**Рисунок 2** – Результати апроксимації вихідного сигналу датчиків:

Вихідну напругу такого корегуючого кола визначають як

$$U = -I_S \cdot R_2 \cdot \exp\left(\frac{U_{ax}}{\varphi}\right), \quad (2)$$

де  $I_S$  – зворотний струм діоду, що виконує експоненціальне перетворення вихідного сигналу, А;  $R_2$  – опір резистора у колі зворотного зв'язку операційного підсилювача,  $R_2 = 1$  МОм;  $U_{ax}$  – вхідна напруга експандера, В;  $\varphi$  – температурний потенціал вище зазначеного діоду, В.

Дослідження датчика потужності теплового випромінювання з ланкою лінеаризації проводили шляхом моделювання у системі «MultiSim», при цьому датчик замінюють нелінійним джерелом, величину вихідного струму якого визначають з використанням рівняння (1). Генератор пилкоподібної напруги, підключений до входу джерела, задає змінювання струму датчика за часом для одержання передавальної характеристики (вихідного сигналу). Таким чином, генератор здійснює заміну лінійного змінювання потужності випромінювання, що фіксує датчик, на пропорційне змінювання напруги. Як результат, на резисторі навантаження діє напруга, що змінюється за логарифмічним законом у межах наростання імпульсів пилкоподібної напруги функціонального генератора

Ступінь лінійності скорегованого вихідного сигналу оцінювали за допомогою регресійного аналізу результатів моделювання. При цьому за кількісну характеристику ступеня відхилення вихідного сигналу ланки корегування від апроксимуючої залежності використовували коефіцієнт змішаної кореляції (рис. 3).

Таким чином, загальна погрішність вимірювання потужності теплового випромінювання датчиком з амплітудним детектором і ланкою корегування нелінійності може бути визначена як сума погрішності апроксимації вихідного сигналу логарифмічною залежністю (0,091 %) та погрішності лінеаризації корегуючою ланкою (0,015 %).

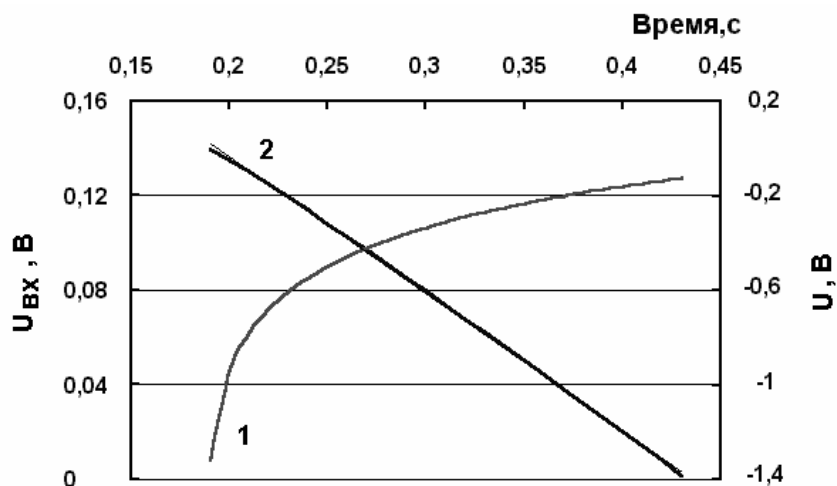


Рисунок 3 – Апроксимація лінеаризованого вихідного сигналу датчика

*Висновки.* Запропоновано систему корегування нелінійності перетворення вихідного сигналу датчика потужності теплового випромінювання на основі біполярного транзистора з польовим управлінням, що містить амплітудний детектор, експандер і характеризується визначенням потужності випромінювання у діапазоні від 0,1 до 1,2 Вт з погрішністю не більше ніж 0,106 %. Результати досліджень можуть бути використаними під час розробки систем контролю й управління температурними режимами в металургійному виробництві, а також під час розробки елементів тепло- та енергозберігаючих систем.

#### ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Киселев Е. Н. Дистанционное измерение тепловых потоков малой мощности / Е. Н. Киселев, В. Л. Костенко // Состояние, проблемы и направления развития производства цветных металлов в Украине: сб. науч. тр. ЗГИА. – Запорожье: ЗГИА, 2001. – С. 352-357.
2. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel: учебное издание / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. – Киев: Морион, 2001. – 408 с.
3. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур: монография / В. Л. Костенко, Е. Я. Швец, Е. Н. Киселев, Н. А. Омельчук. – Запорожье: ЗГИА, 2001. – 101 с.
4. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC: программа Electronics Workbench и ее применение / В. И. Карлащук. – М.: Солон-Р, 2001. – 736 с.
5. Како Н. Датчики и микро-ЭВМ / Н. Како, Я. Яманэ. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 120 с.

Стаття надійшла до редакції 16.10.2010 р.  
Рецензент, проф. В.М. Михайлін