

УДК 623.004.6

А.Г. Твердохлібова

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ ПОХИБОК КОМПАРАТОРА

В статті проаналізовані похибки компаратора та від чого вони залежать, наведені розрахунки похибок від впливу опору нагрівачів від зміни напруги. Розробка повірочної установки, оцінка метрологічних характеристик установки і розробка методики повірки цифрових мультиметрів. Проведений аналіз можна використовувати при розробці випробувального устаткування вимірювально-інформаційних систем для промисловості народного господарства України.

Ключові слова: компаратори, похибки компаратора.

Вступ

Постановка задачі. У калібраторах змінного струму можуть застосовуватися термоелектричні компаратори. Термоелектричні компаратори характеризуються широкою незалежністю свідчень від частоти і здатністю вимірювати при стаціонарних процесах середньоквадратичні значення струмів і напруги незалежно від форми кривої вимірюваних сигналів. Тому питання аналізу похибок компаратора, яке розглядається у цій статті, є актуальним для покращення метрологічних характеристик компараторів.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1–3] розглянуті питання, пов'язані з визначенням похибок компаратора, розрахунків похибок.

Метою статті є аналіз методів повірки, розробка повірочної установки, оцінка метрологічних характеристик установки і розробка методики повірки цифрових мультиметрів.

Основний матеріал

Для думки про причини появи похибок компаратора звернемося до формули:

$$P_x = A(P_1 - P_1) = AI_D^2 r_H = APU,$$

логарифмуючи і диференціюючи яку, отримаємо:

$$P_x = A(P_1 - P_1) = AI_D^2 r_H = APU^2.$$

Переходячи від нескінченно малих величин до кінцевих приростів, знайдемо:

$$\gamma = \frac{dP_x}{P_x} = \frac{dA}{A} + \frac{dB}{B} + 2 \frac{dU_D}{U_D}$$

де γ – відносна похибка вимірювання.

З отриманого виразу виходить, що похибка вимірювання залежить від двох причин: 1) стабільності джерела допоміжної напруги; 2) стабільності опорів установки і опорів нагрівачів термометрувальних, під якою також розуміється незмінність опору із зміною частоти.

Стабільність допоміжного джерела живлення може бути зроблена достатньо високою, якщо як

джерело використовувати звичайну акумуляторну батарею.

Допустиму похибку γ_p приймемо рівною 0,05%. Стабільність джерела живлення в процесі вимірювання, тобто протягом 1–2 хв. можна вважати за рівну 0,001%; таким чином, похибкою від вимірювання напруги можна нехтувати.

Стабільність опорів установки в процесі вимірювання при відповідному їх виконанні буде вельми високою, в усякому разі в багато десятків разів вище за стабільність опору нагрівачів. Це пояснюється тим, що температура нагрівачів помітно змінюється в процесі роботи, а температурний коефіцієнт ніхрому або константану, з якого зазвичай виготовляють нагрівачі, складає

для ніхрому $\alpha = 0,015\%/град$;

для константану $\alpha_1 = 0,004\%/град$.

Розглянемо похибку від зміни опорів нагрівачів. Опір нагрівачів протягом проміжку часу між двома вимірюваннями, тобто протягом 1–2 хв., може практично змінитися тільки за рахунок зміни їх температури.

Температурна похибка обумовлена двома причинами:

1) зміною спільного струму, що протікає по нагрівачах $I_U + I_r$, при включенні компаратора в ланцюг постійного і змінного струмів; ця температурна похибка по-різному позначається для випадку нерівності напруги постійного і змінного струмів і для випадку коефіцієнта потужності, не рівного одиниці;

2) зміною температури навколишнього середовища.

Визначимо співвідношення між похибкою вимірювань і зміною температури нагрівачів. Розглянемо, як змінюються співмножники A і B при зміні опорів нагрівачів. Допустимо, що температура всіх нагрівачів змінилася на одну і ту ж величину, тобто

$$\frac{\delta R_H}{R_H} = \frac{\delta t_H}{t_H}$$

(у момент виміру температура всіх нагрівачів буде однаковою і дорівнюватиме температурі нагрівача

першого термоперетворювача, що виходить з самого методу вимірювання).

Логарифмуючи і диференціюючи

$$\frac{(2R_D + R_4 + R_H) \left[R_W R_4 + R_H (R_W + 2R_D) \right]}{4R_H R_W R_H} = A$$

по R_H , отримаємо:

$$\frac{dA}{A} = \frac{dR_H}{R_D + R_4 + R_H} + \frac{(R_W + 2R_D) dR_H}{R_W R_4 + R_H (R_W + 2R_4)} - \frac{dR_H}{R_H}$$

Враховуючи, що $R_D \gg R_H$, $2R_4 \gg R_W$ і $2R_H \gg R_W$, отриманий вираз можна привести до вигляду:

$$\frac{dA}{A} \approx \left(\frac{R_H}{2R_D + R_4} - \frac{R_W}{2R_H} \right) \frac{dR_H}{R_H} \quad (1)$$

Розглянемо, як зміниться співмножник B при зміні температури, тобто при зміні опору нагрівача.

Логарифмуючи і диференціюючи

$$\Gamma_H \left(\frac{r}{\Gamma_H \Gamma_D + r \Gamma_D + \Gamma_H r} \right)^2 = B \quad \text{по } \Gamma_H, \text{ отримаємо:}$$

$$\frac{dB}{B} = \frac{r \Gamma_D - \Gamma_H \Gamma_D - \Gamma_H r}{\Gamma_D + \Gamma_H \Gamma_D + \Gamma_H r} \cdot \frac{d\Gamma_H}{\Gamma_H} \quad (2)$$

Опір r виберемо рівним Γ_H . В цьому випадку вираз (2) прийме вигляд:

$$\left(\frac{dB}{B} \right) = - \frac{1}{1 + 2 \frac{\Gamma_D}{\Gamma_H}} \frac{d\Gamma_H}{\Gamma_H}$$

Таким чином, відносна похибка вимірювання складе:

$$\gamma \cong \left(\frac{R_H}{2R_D + R_4} - \frac{R_W}{2R_H} - \frac{1}{1 + 2 \frac{\Gamma_D}{\Gamma_H}} \right) \frac{\delta R_H}{R_H} \quad (3)$$

Проаналізуємо отримане рівняння відповідно до технічних умов, заданих при проектуванні установки.

Прийmemo $R_4 = 100$ Ом. Величина додаткового опору для $U_{\min} = 30$ В складе 1450 Ом, максимальна його величина – близько 15 000 Ом (оскільки $U = 300$ В).

Робочу довжину нагрівача підігрівного опору, тобто ту частку нагрівача, над якою розташована термопара, небажано робити менше 2,5 – 3 мм, оскільки інакше відношення робочої довжини нагрівача до всієї його довжини буде дуже мало. Тому при розрахунках прийmemo спільну довжину нагрівача рівною 4 мм.

Опір нагрівачів залежно від матеріалу і конструкції може змінюватися в широкому діапазоні. При розрахунку прийmemo, що опір нагрівачів з ні-

хрому лежить в межах 10÷30 Ом, а опір нагрівачів з константана – в межах 5÷15 Ом. Шунти в компараторі розраховані на струми від 100 мА до 10 А. Опір шунтів лежить в межах 5÷0,05 Ом. Якщо як джерело допоміжної напруги використовувати батарею з напругою 4 В, то, зазвичай, за цих умов максимальна похибка при застосуванні ніхромових нагрівачів складе:

$$\gamma_1 = -0.30 \frac{\delta R_4}{R_H},$$

а при застосуванні константанових нагрівачів

$$\gamma_2 = -0.55 \frac{\delta R_H}{R_H}.$$

Оскільки температурний коефіцієнт опору ніхрому $\alpha = 1,3 \times 10^{-4}$, то максимально допустима зміна температури нагрівача в процесі вимірювання складає $13^\circ / \gamma_{\text{доп}} = 5 \cdot 10^{-4}$.

Температурний коефіцієнт опору константана складає $\alpha = 4 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$. Звідси максимальна допустима зміна температури константанового нагрівача в процесі вимірювання складає 22°C .

Як було вказано вище, температурна похибка виникає при зміні змінної напруги, при коефіцієнті потужності, не рівному одиниці, а при зміні температури навколишнього середовища.

Похибка від зміни напруги. В процесі компарування вимірювані потужності змінного і постійного струмів рівні.

Вважаючи з $\varphi = 1,0$, маємо $I'_U I'_i = I_U I_i$, де I_U і I_i – складові постійного струму в нагрівачі, пропорційні відповідно вимірюваній напрузі і струму; I'_U і I'_i – аналогічні складові змінного струму в нагрівачі.

У момент вимірювання температури всіх нагрівачів рівні. При вимірюванні потужності змінного струму температура нагрівачів складає:

$$t' = c(I'^2_U + I'^2_i + 2I'_U I'_i),$$

де c – постійна.

При вимірюванні потужності постійного струму маємо $t = c(I^2_U + I^2_i + 2I_U I_i)$.

Ввівши позначення

$$\frac{I'_U}{I_U} = \frac{I_i}{I_i} = 1 + \delta u \frac{I_i}{I_U} = k,$$

отримаємо:

$$t' - t = c(I'^2_U + I'^2_U + 2I'_U I'_i). \quad (4)$$

Постійну c визначають з характеристики опору в нагрівачі.

З отриманого рівняння виходить, що температурна похибка, обумовлена зміною напруги, буде мінімальна, якщо складові струму I_U і I_i дорівнюють один одному.

Похибка від зміни $\cos \varphi$. Вважаючи $I_U' = I_U$, маємо:

$$t = c(I_U^2 + I_i^2 + 2I_U I_i),$$

звідки

$$t' - t = cI_i^2(1 - \cos^2 \varphi). \quad (5)$$

Похибка від зміни $\cos \varphi$ пропорційна квадрату і максимальна при $\cos \varphi \rightarrow 0$.

Як приклад визначимо похибку вимірювання від зміни напруги і від $\cos \varphi$ при застосуванні ніхромових нагрівачів діаметром 20 мк, завдовжки 4 мм.

а) Для номінального значення вимірюваної потужності при $\cos \varphi = 1,0$, $I = 10,0$ мА, $U = 0,5$ В, $R_H =$

$$= 14,0 \text{ Ом} \text{ отримуємо: } I_i = \frac{U}{2(R_H + R_{пр})} = 14,5 \text{ мА},$$

де $R_{пр}$ – опір запобіжника; $R_{пр} = 1/5 R_H$.

Для ніхромового нагрівача діаметром 20 мк при $I = 10$ мА.

Згідно (4), при $\delta = \pm 0,1$ зміна температури нагрівача складе:

$$t' - t = 2cI_U^2(1 - k^2) = +2 \cdot 0,1 \cdot 6(1 - 2,1) = \pm 1,3^\circ.$$

б) Маємо $\cos \varphi \rightarrow 0$, $I_U = 10$ мА, $I_i = 14,5$ мА.

Для ніхромового нагрівача діаметром 20 мк при $I = 4,5$ мА $cI^2 \cong 12^\circ$.

Завдяки масивному латунному ковпаку, що зменшує вплив різких змін температури навколишнього середовища, температура підігрівного опору за проміжок часу між двома вимірюваннями, рівний 1 хв. зміниться не більше ніж на $0,1^\circ$.

Максимальна зміна температури ніхромового нагрівача в процесі вимірювання складає 12° , що відповідає відносній зміні опору нагрівача

$$\frac{\delta R_H}{R_H} = 0,16\% \text{ і відносній похибці вимірювання } \gamma = 0,05\%.$$

Виходячи з допустимої похибки вимірювання, згідно розрахунку, діаметр ніхромового нагрівача довжиною $l = 3 \div 5$ мм не повинен перевищувати 16 – 20 мк, а діаметр константанового нагрівача тієї ж довжини не повинен перевищувати 25 \div 30 мк.

Слід рекомендувати виготовлення нагрівача з ніхрому діаметром 10 – 20 мк, завдовжки 3 \div 5 мм або з константана діаметром 20 \div 30 мк тієї ж довжини. Ніхромовий нагрівач має перевагу, зважаючи на більшу переважувальну здатність.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані існуючі похибки компаратора.
2. Наведені розрахунки похибок від впливу опору нагрівачів, від зміни напруги.
3. Проведений аналіз можна використовувати при розробці випробувального устаткування вимірювально-інформаційних систем для промисловості народного господарства України.

Список літератури

1. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 596 с.
2. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник / В.М. Чинков. – Х.: ХВУ, 2001. – 345 с.
3. Толстиков В.Ф. Аналоговые методы и средства измерений электрических и магнитных величин. Часть 1 / В.Ф. Толстиков. – Х., 1991. – 405 с.

Надійшла до редколегії 15.06.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ КОМПАРАТОРА

А.Г. Твердохлебова

В статье проанализированы погрешности компаратора и от чего они зависят, приведены расчеты погрешностей от влияния сопротивления нагревателей, от смены напряжения. Разработана поверочная установка, оценены метрологические характеристики установки, разработана методика проверки цифровых мультимеров. Проведенный анализ можно использовать при разработке испытательного оборудования измерительно-информационных систем для промышленности народного хозяйства Украины.

Ключевые слова: компараторы, погрешности компаратора.

ANALYSIS OF INACCURACY OF THE COMPARER

A.G. Tverdohlebova

In the articles analysed of error of comparators and what they depend on, the calculations of errors are resulted from influence of resistance of heaters, from the change of tension. Development of the setting, estimation of metrology descriptions of setting and development of check of digital. The conducted analysis can be used for development of proof-of-concept equipment of the systems for national economy of Ukraine.

Keywords: comparers, inaccuracy of the comparer.