

№ 630 Кабінету Міністрів України “Про затвердження Правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення та типового договору про надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення”. 3. Назаренко А.А., Бельх В.В., Слипущенко В.П. К вопросу создания эталона количества тепла // Збірник матер. міжнарод. наук.-техн. конф. “Метрологія та вимірювальна техніка”, МВТ-99. – Харків. – Т. 2. – 1999. – С. 21–25. 4. Засименко В.М., Яцук В.О. Якісна оцінка метрологічних характеристик температурних каналів індивідуальних теплотільників // Вісник НУ “Львівська політехніка”, “Автоматика, вимірювання,

керування”, № 445, 2002. – С.155–160. 5. Столярчук П.Г., Яцук В.О., Здеб В.Б., Голюка Б.М. Система обліку спожитої теплової енергії на опалення // Методи та прилади контролю якості. – Вип. 15. – Івано-Франківськ. – 2005. – С. 15–19. 6. Столярчук П., Яцук В., Лозбін В., Голюка Б. Проблеми обліку теплової енергії індивідуальними споживачами // Стандартизація, сертифікація, якість. – № 1. – Харків. – 2006. – С. 43–50. 7. Бараннік В.О., Земляний М.Г. Енергозбереження – пріоритетний напрямок енергетичної політики та підвищення енергетичної безпеки України // Виступ на Міжнародній науково-практичній конференції “Енергоефективність – 2004”. – Одеса 13–16 жовтня 2004 року.

УДК 621.32; 536.2

ШЛЯХИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОБОЧИХ МІСЦЬ З ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОБЧИСЛЮВАЧІВ ЗАГАЛЬНОБУДИНКОВИХ ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ

© Роман Дяк², Василь Яцук¹, Петро Столярчук¹, 2009

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Лабораторія вимірювальної техніки ЛКП “Залізничтеплоенерго”, вул. Петлюри, 4А, Львів, Україна;

Проаналізовано шляхи автоматизації робочих місць з випробувань теплообчислювачів загальнобудинкових теплотільників. Для імітації сигналів терморезистивних перетворювачів запропоновано використовувати чотиридротові імітатори електричного опору з потенціально-струмовим під’єднанням до пари вхідних клем теплообчислювачів. Запропоновано та проаналізовано алгоритм та структуру з почерговим відтворенням імітатором різних значень електричного опору та подальшим запам’ятовуванням його вихідних сигналів у різних каналах пристроями вибірки–зберігання.

Проанализированы пути автоматизации рабочих мест для испытаний тепловычислителей общедедомовых теплосчётчиков. Для имитации сигналов терморезистивных преобразователей предложено использовать четырёхпроводные имитаторы электрического сопротивления с потенциально-токовым подсоединением к паре входных клем тепловычислителя. Предложены и проанализированы алгоритм и структура с поочерёдным воспроизведением имитатором различных значений электрического сопротивления и дальнейшим запоминанием его выходных сигналов в разных каналах устройствами выборки–запоминания.

The automatization properties of working place for thermal calculators testing of collective thermal counters are analyzed in this paper. The four terminal electric resistance imitators with a potential and current connection to enter pair pins of thermal calculators are proposed. The algorithm and scheme of resistance imitator by turn various values of electric resistance and following recollection their output signals at each of both channels of random and hold units are proposed and analyzed in this paper too.

Вступ. В умовах зростання цін на енергоносії одним з найефективніших стимулів до усебічної економії є їх об’єктивний облік. Особливої важливості це питання набуває з обліком теплової енергії. Масове

використання загальнобудинкових теплотільників потребує автоматизації їхньої метрологічної перевірки [1]. У лабораторії засобів обліку ЛКП «Залізничтеплоенерго» (м. Львів) розроблено і впроваджено

низку приладів та засобів для автоматизації процесу метрологічної перевірки теплолічильників. Першим кроком на шляху до автоматизації стало запровадження електронних паспортів на усі вузли обліку теплоти на Львівщині та автоматизована база даних теплолічильників [1]. Підвищено також точність напів-автоматизованого робочого місця для метрологічної перевірки витратомірів теплолічильників [2]. Розроблено і впроваджено прецизійні рідинні термостати серії ТСП-0105, призначені для автоматизації метрологічної перевірки засобів вимірювання температури з використанням вбудованих цифрових регуляторів-вимірювачів температури РТ-0102 [3, 4]. Однак робоче місце з випробувань теплообчислювача сьогодні побудоване з використанням магазинів опору з ручним керуванням і тому не може бути автоматизоване.

Постановка задачі досліджень. Метою цієї статті є аналіз можливостей автоматизації процесів визначення метрологічних параметрів теплообчислювача під час вимірювання вхідних сигналів об'єму, маси, температури та кількості теплоти у процесі метрологічної перевірки загальнобудинкових теплолічильників.

Шляхи автоматизації робочих місць з випробувань теплообчислювачів. Для автоматизації процесу визначення метрологічних характеристик теплообчислювачів під час обчислення об'єму теплоносія необхідно використовувати генератор та лічильник імпульсів системного призначення. Для автоматизації процесу визначення метрологічних характеристик під час перетворення вхідних сигналів термоперетворювачів опору (ТО) слід використати кодокеровані міри опору системного призначення.

Відомо, що прецизійні кодокеровані міри електричного опору можуть бути реалізовані на базі імітаторів опору (ІО) [5–9]. Принциповими перевагами таких мір є незалежність відтворюваного опору від значень залишкових параметрів комутаційних елементів та опорів з'єднувальних ліній. При цьому кодокеровані міри опору або провідності матимуть комплекс гірших метрологічних характеристик порівняно з імітатором опору [10] через необхідність використання в них дискретних вагових резисторів, значення опорів яких під час зміни умов довкілля можуть істотно змінюватись [6, 7]. В імітаторах електричного опору метрологічні характеристики істотно покращуються завдяки заміні операції квантування опору операцією

квантування напруги з використанням ЦАП, зокрема й інтегральних. Відомо, що коефіцієнт перетворення інтегральних помножувальних ЦАП має незначну температурну залежність, що уможливорює побудову кодокерованих прецизійних мір електричного опору.

Для автоматизованої метрологічної перевірки теплообчислювачів під час перетворення різниць температур подавального та зворотного трубопроводів, на перший погляд, потрібно використати два ІО. Зазвичай межа допустимих значень похибки вимірювання різниці температур не перевищує $\pm 0,1$ К, а під час метрологічної перевірки межа допустимих значень похибки робочих еталонів не повинна перевищувати $\pm(0,02\dots 0,03)$ К, або $\pm(0,04\dots 0,1)$ Ом. Такі високі метрологічні вимоги істотно утруднюватимуть реалізацію ІО. Якщо кожен з ІО відтворює такі значення опорів

$$R_{N1} = R_{N0}(1 + \delta_1)[1 + \alpha_H(1 + \delta_{\alpha 1})\theta]\mu_1(1 + \delta_{\mu 1}) + R_{\alpha 1}, \quad (1)$$

$$R_{N2} = R_{N0}(1 + \delta_2)[1 + \alpha_H(1 + \delta_{\alpha 2})\theta]\mu_2(1 + \delta_{\mu 2}) + R_{\alpha 2}, \quad (2)$$

де R_{N1} , R_{N2} – значення відтворюваних першим ІО1 та ІО2 опорів; δ_1 , δ_2 – відповідно, номінальне значення та відносні похибки опорів масштабувальних резисторів ІО1, ІО2; α_H , $\delta_{\alpha 1}$, $\delta_{\alpha 2}$ – відповідно, номінальне значення та відносні похибки температурного коефіцієнта опору (ТКО) опорів масштабувальних резисторів; μ_1 , μ_2 , $\delta_{\mu 1}$, $\delta_{\mu 2}$ – відповідно, номінальні значення кодів та їх відносні похибки кодокерованих подільників напруги (КПН) обох ІО; $\theta = t - t_0$ – відхилення температури довкілля t від нормального значення t_0 ($t_0=20$ °С); $R_{\alpha 1}$, $R_{\alpha 2}$ – адитивні складові похибки (АСП) відтворення опорів R_{N1} та R_{N2} за допомогою активних ІО.

Тоді з точністю до величин другого порядку малості вхідний сигнал для теплообчислювача під час перетворення різниці опорів ІО подамо таким виразом:

$$\begin{aligned} \Delta R_N = R_{N1} - R_{N2} = & R_{N0}(1 + \alpha_N\theta)(\mu_1 - \mu_2) + \\ & + (\Delta N_1\mu_1 - \Delta N_2\mu_2)(1 + \alpha_N\theta) + \\ & + R_{N0}\alpha_N\theta(\delta_{\alpha 1}\mu_1 - \delta_{\alpha 2}\mu_2) + \\ & + R_{N0}(\Delta\mu_1 - \Delta\mu_2)(1 + \alpha_N\theta) + (R_{\alpha 1} - R_{\alpha 2}) \end{aligned}, \quad (3)$$

де $\Delta N_1=R_{N0}\delta_1$, $\Delta N_2=R_{N0}\delta_2$ – абсолютні похибки опорів масштабувальних резисторів; $\Delta\mu_1=\mu_1\delta_{\mu 1}$, $\Delta\mu_2=\mu_2\delta_{\mu 2}$ – абсолютні похибки КПН під час відтворення кодів управління μ_1 та μ_2 .

Під час використання двох різних ІО в процесі випробування теплообчислювача граничне значення похибки відтворення різниці опорів активними ІО становитиме

$$\begin{aligned} \Delta R_{N\phi} = & R_{NO}\alpha_N\theta(\mu_1 - \mu_2) + (\Delta_{N1}\mu_1 + \Delta_{N2}\mu_2)(1 + \alpha_N\theta) + \\ & + R_{NO}\alpha_N\theta \times (\delta_{\alpha 1}\mu_1 + \delta_{\alpha 1}\mu_1) + \\ & + R_{NO}(\Delta\mu_1 + \Delta\mu_2)(1 + \alpha_N\theta) + (R_{\alpha 1} + R_{\alpha 2}) \end{aligned} \quad (4)$$

Аналіз показує, що під час реалізації активних ІО, та для встановлених для них вище метрологічних вимог межі допустимих значень похибки їх основних компонентів будуть на рівні тисячних відсотка, а складові похибки, спричинені неідеальностями активних компонентів, повинні бути ще меншими.

Істотно зменшити метрологічні вимоги можна з використанням єдиного активного ІО, який за командами контролера по чергово під'єднується до обох каналів теплообчислювача. Такий ІО необхідно під'єднувати до обох входів теплообчислювача потенціально-струмовим комутатором (рис. 1). У такому разі, як показує аналіз виразу (3), істотно зменшується значення похибки відтворюваної різниці опорів

$$\Delta R_N = [R_{NO}(1 + \alpha\theta) + \Delta N(1 + \alpha\theta)](\mu_1 - \mu_2) + R_{NO}(1 + \alpha_N\theta)(\Delta\mu_1 - \Delta\mu_2) + R_{NO}\alpha_N\theta\delta(\mu_1 - \mu_2) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Delta R_N = & R_{NO}(1 + \alpha_N\theta)(\mu_1 - \mu_2) \cdot \\ & \cdot \left(1 + \delta_N + \frac{\Delta\mu_1 - \Delta\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} + \frac{\alpha_N\theta\delta_\alpha}{1 + \alpha_N\theta} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

де $\Delta N = \delta_N R_{NO}$, δ_N – абсолютна та відносна похибка масштабувального резистора ІО; δ_α – межа допустимих значень розкиду ТКО масштабувального резистора.

З аналізу виразу:

$$\begin{aligned} \Delta R_N = & R_{NO}(1 + \alpha_N\theta) \left[(1 + \delta_N)(\mu_1 - \mu_2) + \right. \\ & \left. + (\Delta\mu_1 - \Delta\mu_2) + \frac{\alpha_N\theta\delta_\alpha(\mu_1 - \mu_2)}{1 + \alpha_N\theta} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Можна зробити висновок, що абсолютна похибка відтворення різниці опорів практично визначатиметься лише інструментальною та температурною складовими похибки масштабувального резистора та різницею абсолютних похибок за різних значень μ_1 та μ_2 кодів управління КПН. Під час відтворення невеликих значень різниці опорів ТО значення різниці абсолютних похибок за різних, але близьких значень μ_1 та μ_2 кодів управління КПН буде набагато меншим від межі доступних значень похибки КПН. Для зменшення впливу ТКО масштабувальний резистор треба вибирати з потрібним невеликим значенням ТКО і або термостатувати його, або вимірювати значення його температури та вносити поправку в пристрій керування (ПК) автоматизованої метрологічної устави під час обчислення значень відтворюваних (імітованих) різниць температури. Імітатори електричного опору в структурі за рис. 1 можуть бути реалізовані за схемами, описаними в [8, 9], а структури пристроїв вибірки-зберігання ПВЗ є загальновідомими.

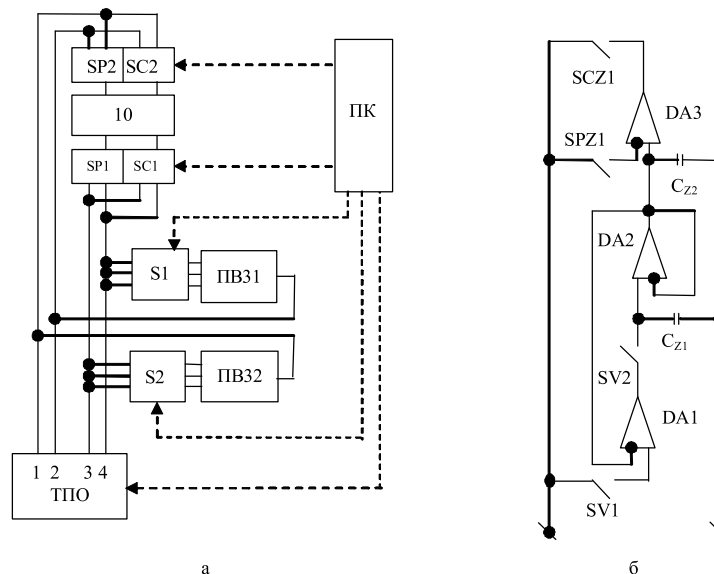


Схема автоматизованого пристрою для випробувань теплообчислювачів:

а – функціональна схема; б – структура ПВЗ: ТПО – теплообчислювач; SP1, SP2, SC1, SC2 – відповідно, перший та другий потенціальний і струмовий комутатори; ІО – імітатор електричного опору; ПВ31, ПВ32, S1, S2 – відповідно перший і другий пристрій вибірки-зберігання та їх триполюсні комутатори; ПК – пристрій керування

Пристрій керування, наприклад, персональний комп'ютер або однокристальна мікро-ЕОМ, здійснює керування усіма режимами роботи автоматизованого пристрою для випробувань теплообчислювачів ТПО. Коди μ_1 , μ_2 необхідних значень відтворюваних опорів подаються до ІО, який під'єднується до відповідних пар 1,3 і 2,4 ТПО по чергово за допомогою першого і другого потенціальних SP1, SP2 та струмових комутаторів SC1, SC2. Після встановлення вихідних сигналів ІО спад напруги між вихідними клемми ІО за відповідними сигналами вибірки (ключі SV1, SV2, рис. 1, б) запам'ятовуються в певному блоці ПБ31 або ПБ32. Після цього усі комутатори ІО SP1, SP2, SC1, SC2 розмикаються і одночасно розмикається пара струмового SCZ та потенціального SPZ комутаторів пристроїв ПБ31 або ПБ32. Паралельно в ІО завантажуються нове значення коду і замикаються ключі комутаторів SP1, SP2, SC1, SC2, що під'єднують вихід ІО до іншої пари виходів ТПО. Після встановлення вихідних сигналів ІО спад напруги на його клеммах запам'ятовується в іншому пристрої ПБ3. Усі ці процеси періодичного під'єднання до відповідних пар вхідних клем ТПО відбуваються у межах проміжку часу, за який значення вихідних напруг ПБ3 лежать у межах допустимих значень.

АСП операційних підсилювачів (ОП) призводять до появи додаткових похибок під час відтворення опорів за допомогою ПБ3. Однак сучасні ОП у мікроелектронному виконанні з періодичною корекцією дрейфу уможливають зменшення цієї похибки до значень, набагато менших від межі допустимих значень. Наприклад, за значень вихідних напруг ТПО лише 50 мВ та умови використання прецизійного ОП типу LT 1050, напруга зміщення якого не перевищує 0,5 мкВ та її дрейф становить 0,01 мкВ/К, відносна похибка, зумовлена АСП ПБ3, не перевищуватиме декількох тисячних відсотка [11].

Висновки. Результати теоретичних досліджень показують, що:

1. Для автоматизації процесу випробувань теплообчислювачів під час метрологічної перевірки загальнобудинкових лічильників (процедури вимірювання вхідних сигналів температури та кількості теплоти) найдоцільніше використовувати активні імітатори електричного опору. Двозатискачова структура з парами потенціально-струмових комутаторів дасть змогу практично усунути вплив залишкових параметрів

ключів під'єднань до вихідних клем теплообчислювача.

2. З метою зменшення вимог до метрологічних характеристик запропоновано використовувати єдину кодокеровану міру – імітатор електричного опору, яка по чергово та періодично під'єднується до вхідних клем теплообчислювача, які сприймають сигнали температури подавального та зворотного трубопроводів, із запам'ятовуванням вихідних сигналів імітаторів опору пристроями вибірки-зберігання.

3. Показано, що на основі сучасної мікроелектронної бази можна побудувати пристрої для автоматизації випробувань теплообчислювача під час метрологічної перевірки загальнобудинкових теплолічильників.

1. Дяк Р.П., Терех М.В., Коваленко В.І. Обробка результатів вимірювань теплолічильників за методикою повірки Р081/24 59-99. – Наукові праці VI МНТК «Метрологія-2008» в 2-х томах. – Т. 1. – Харків, ННЦ «Інститут метрології». – 2008. – С. 355–357. 2. Дружок В.М., Дяк Р.П., Земба Ю.А. Термостати рідинні серії ТСП-0105, характеристики та результати досліджень / Метрологія та прилади. – № 2. – 2008. – С. 31–32. 3. Дяк Р.П., Терех М.В. Повірка термopетворювачів опору з використанням прецизійного термостата ТСП -0105 НО. Матеріали VI МНПК «Тепловодооблік-2008». Київ, «Укрметртест-стандарт». – 2008. – С. 216–220. 4. Яцук В.О. Принципи побудови кодокерованих мір опору // Вимірювальна техніка та метрологія. – 1999. – № 55. – С. 35–43. 5. Яцук В.О. Кодокеровані міри електричного опору // Праці II МНТК «Метрологічне забезпечення в галузі електричних, магнітних та радіовимірювань» (Метрологія в електроніці-97). – Харків, НВО «Метрологія». – 1997. – Т.1. – С. 111–113. 6. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. Кодокерована міра провідності // Вісник Держ. ун-ту «Львівська політехніка». – Вип.366. – «Автоматика, вимірювання та керування». – 1999. – С.167–170. 7. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. Імітатори опору, інваріантні до впливу опорів ліній зв'язку // Вимірювальна техніка та метрологія. – № 57. – 2000. – С. 43–46. 8. Бойко О.В., Столярчук П.Г., Яцук В.О. Калібратори для повірки перетворювачів з уніфікованими вихідними сигналами // Вимірювальна техніка та метрологія. – № 64. – 2003. – С. 32–36. 9. Современные линейные интегральные микросхемы и их применение: Пер. с англ. / Под редакцией М.В. Гальперина. – М.: Энергия, 1980. – 272 с. 11. www.ffa.com.