

Рис. 3. Зміна напруги між точками D і F в часі, при пропусканні струму в різних напрямках

За такого наближення можна обчислити значення коефіцієнта ТЕРС - α – термопари, а також значення коефіцієнта Пельтьє - π – для температури - T – за формулою (1).

Вплив умов теплообміну на значення ТЕРС, що розвивається від ефекту Пельтьє (взявши до уваги, що в однакових умовах теплообміну нагрівання і охолодження робочого спаю при рівних значеннях струму, але різної полярності, приводить до рівного за

абсолютним значенням зміни температури) потрібно провадити за дещо іншою вимірювальною схемою.

Висновок. Наведений алгоритм дослідження ефекту Пельтьє дає можливість здійснювати ідентифікацію НСХ термоелектричних перетворювачів з відповідними умовами теплообміну.

1. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. *Енциклопедія термометрії*. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003. – 428 с.
2. Белевцев А., Богатов В., Коржавин А., Петров Д., Улановский А. *Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие*. <http://www.cta.ru>.
3. Луцик Я.Т., Гук О.П., Лах О.І., Стадник Б.І. *Вимірювання температури: теорія та практика*. – Львів: Бескид-Біт, 2006. – 580 с.
4. Баби́чев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др. *Физические величины. Справочник / Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 628 с.
5. <http://speedhardware.euro.ru/holod.htm>.

УДК 537.32

ПРИСТРІЙ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ВІЛЬНИХ КІНЦІВ ПЕРВИННИХ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

© Оксана Бойко¹, Зенон Готра^{2,3}, Олександра Готра¹, Наталія Костів³, 2010

¹ Львівський національний медичний університет ім. Д.Галицького, кафедра медичної інформатики, 79010, м. Львів, вул. Пекарська, 69

² Жешівська політехніка, республіка Польща

³ Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра електронних приладів, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано пристрій компенсації температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів з температурозалежним джерелом живлення.

Предложено устройство компенсации температуры свободных концов термоэлектрических преобразователей с температурозависимым источником питания.

Had offered the device of compensation temperature of the thermoelectric converters free terminals with temperature dependent power source.

Вступ. Температура є важливим параметром технологічних процесів у різних галузях промисловості. Функціонування таких галузей виробництва, як металургія, енергетика, авіаційна та космічна техніка, видобування та транспортування нафти й газу, експлуатація атомних та теплових електростанцій значною мірою

залежать від достовірного вимірювання температури. Від точності вимірювання і контролю температури істотно залежить якість продукції, що випускається, а також безпека роботи окремих енергетичних об'єктів. Для вимірювання і контролю температури широко використовують первинні термоелектричні перетворювачі.

Сучасне технологічне обладнання потребує постійного підвищення точності, тому точність вторинних приладів і систем вимірювання температури невинно росте [1, 2]. Однак сумарна похибка вимірювання температури практично не зменшується через те, що у вимірювальному каналі домінує похибка первинних термоелектричних перетворювачів [3, 4].

Точність вимірювання температури термоелектричними перетворювачами залежить значною мірою від точності компенсації температури вільних кінців [5].

Для компенсації впливу температури вільних кінців застосовують резистивні мостові схеми з термозалежними резисторами [6], вихідна компенсаційна напруга U_k яких визначається з формули

$$U_k = U_{ж} k(t), \quad (1)$$

де $U_{ж}$ – напруга живлення резистивної мостової схеми; $k(t)$ – коефіцієнт перетворення мостової схеми залежно від температури вільних кінців.

Однак резистивна мостова схема відтворює залежність термо-ЕРС термоелектричного перетворювача від температури вільних кінців з похибкою не менше ніж 1°C для окремих термопар в діапазоні температур $-10^\circ\text{C} \div +60^\circ\text{C}$.

Тому дослідження способів підвищення точності і розширення температурного діапазону схем компенсації впливу температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів є актуальним завданням в термометрії.

Мета роботи. Підвищити точність відтворення термо-ЕРС термоелектричних перетворювачів і збільшити температурний діапазон вільних кінців для різних типів термопар.

Проектування пристрою компенсації вільних кінців термоелектричних перетворювачів. Підвищення точності відтворення термо-ЕРС термоелектричних перетворювачів у широкому діапазоні зміни

температури вільних кінців можливе у разі використання температурозалежного джерела напруги, вихідна напруга якого описується виразом

$$U_{ж} = U_n + \Delta U_{t_b}, \quad (2)$$

де U_n – номінальне значення вихідної напруги при температурі вільних кінців $t_b = 0^\circ\text{C}$; ΔU_t – абсолютне значення зміни напруги при зміні температури вільних кінців на 1°C ; t_b – температура вільних кінців.

Значення компенсаційної напруги описується виразом

$$U_k = (U_n + \Delta U_t) k(t) = U_n k(t) + \Delta U_t k(t), \quad (3)$$

З аналізу цієї функції видно, що другий її член створює додаткову нелінійну складову компенсаційної функції порівняно з (1) і відповідно з вищою точністю може відтворювати значення термо-ЕРС термоелектричних перетворювачів при зміні температури вільних кінців.

На рис.1 наведено принципову електричну схему пристрою компенсації термо-ЕРС термоелектричних перетворювачів у разі зміни температури вільних кінців, яка складається з термозалежного гальванічного розв'язаного джерела живлення БЖ і компенсаційної резистивної мостової схеми КС.

Основним елементом блока живлення є стабілізатор, побудований на мікросхемі DA2 типу LM317AT, номінальне значення вихідної напруги якої дорівнює 1,2 В. Резистори R_1, R_2 використовуються для регулювання вихідної напруги стабілізатора так, щоб забезпечити необхідну точність формування компенсаційної напруги для різних типів термоелектричних перетворювачів.

Значення напруги на виході стабілізатора описується виразом.

$$U_{ст} = U_n + R_1 \left(I_0 + \frac{U_n}{R_2} \right), \quad (4)$$

де I_0 – значення стабілізованого струму мікросхеми DA2.

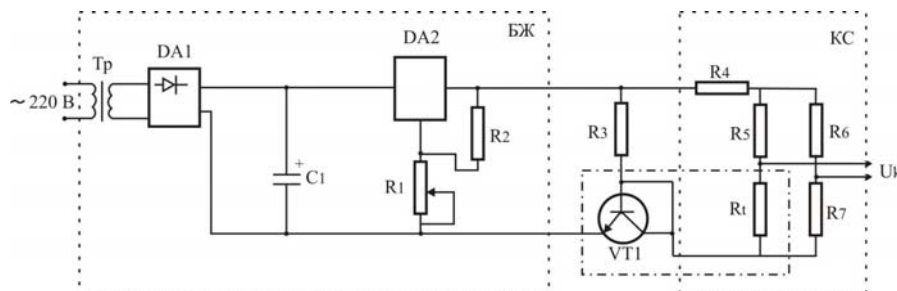


Рис.1. Принципова електрична схема пристрою компенсації температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів

Температурна залежність вихідної напруги блока живлення забезпечується температурною залежністю напруги база-емітер транзистора VT1. При цьому значення вихідної напруги описується виразом

$$U_{ж} = U_{ст} - U_{бе0} + \Delta U_t \cdot t, \quad (5)$$

де $U_{бе0}$ – значення напруги база-емітер транзистора VT1, при температурі 0°C; ΔU_t – значення зміни напруги база-емітер при зміні температури на 1°C.

Температурні залежності $U_{бе}(t)$ для напівпровідникового транзистора VT1 функціонально залежать від базового струму, який визначається значенням опору резистора R_3 . На рис. 2 наведено температурні залежності $U_{бе}(t)$ для напівпровідникового транзистора КТ3112 п-р-п типу для різних значень опору резистора R_3 .

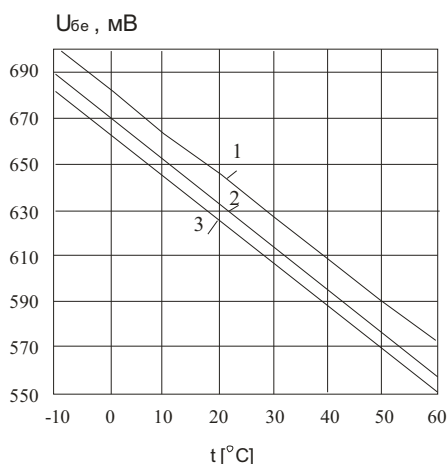


Рис. 2. Залежності напруги база-емітер транзистора VT1 від температури при:
1 - $R_3=500$ Ом, 2 - $R_3=990$ Ом, 3 - $R_3=1,5$ кОм

З отриманих даних видно, що при значенні опору резистора R_3 , що дорівнює 990 Ом $U_{бе0} = 669,5$ мВ при $t=0^\circ\text{C}$.

Усереднене значення зміни напруги база - емітер при зміні температури на 1°C описується виразом

$$\Delta U_t = \frac{U_{бе_{\max}} - U_{бе_{\min}}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (6)$$

і відповідно дорівнює 1,835 мВ/°C.

Компенсаційна схема КС побудована на термозалежному мості, що складається з прецизійних

резисторів R_5, R_6, R_7 , термозалежного резистора R_t , та послідовно увімкненого резистора R_4 .

Значення вихідної компенсаційної напруги U_k дорівнює

$$U_k = \frac{(U_{cm} - U_{бе0} + \Delta U_t \cdot t) - R_M}{R_4 + R_M} \times \left(\frac{R_t}{R_5 + R_t} - \frac{R_7}{R_6 + R_7} \right), \quad (7)$$

де $R_M = \frac{(R_5 + R_t)(R_6 + R_7)}{R_5 + R_6 + R_7 + R_t}$ – загальний опір резистивної мостової схеми.

Вибором значень $U_{ж}, U_{бе0}, \Delta U_t$ і R_4 досягається необхідна точність формування компенсаційної напруги.

Значення резисторів мостової схеми для різних термоелектричних перетворювачів вибиралися такими, що дорівнюють $R_5=R_6=R_7=R_0$, де R_0 – значення опору терморезистора при температурі 0°C. У компенсаційній схемі використовувався терморезистор R_t типу ТОМ 100 Ом з функціональною залежністю

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

де α – температурний коефіцієнт опору.

Формула (7) набуває вигляду

$$U_k = \frac{(E_{ж} + \Delta U \cdot t) \cdot \alpha t R}{R_4(4 + \alpha t) + 2R(2 + \alpha t)} \quad (8)$$

Оптимальною оцінкою ефективності компенсаційних схем є абсолютна похибка в градусах

$$\Delta_t = \frac{E(t_B) - U_k}{\Delta e_{сеп}} \quad (9)$$

де $E(t_B)$ – дійсне значення термо-ЕРС термоелектричного перетворювача при температурі вільних кінців t_B , яке визначається згідно з ДСТУ 2837-94 [7]

$$\Delta e_{сеп} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}}$$

Тоді

$$\Delta_t = \frac{(E(t_B) - U_k) \cdot (t_{\max} - t_{\min})}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (10)$$

Оптимальні значення напруги живлення стабілізатора і значення опору резистора R_4 для різних термоелектричних перетворювачів наведено в таблиці.

Тип термоелектричного перетворювача	хромель-копель (типу L)	хромель-алюмель (типу K)	платина-платинородій (типу R)	платина-платинородій (типу S)
$U_{ст}, \text{В}$	1,6	1,9	1,2	1,25
$R_4, \text{кОм}$	1,464	3,214	10,55	11,3

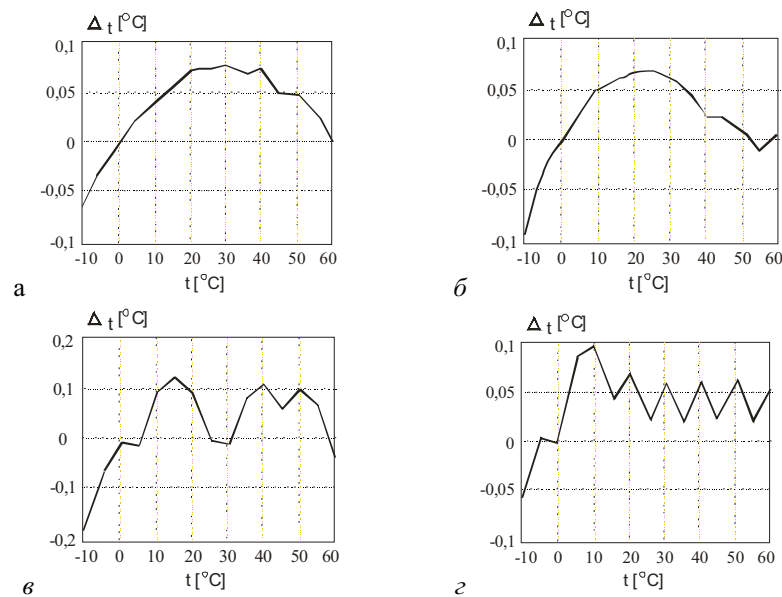


Рис.3. Залежності абсолютної похибки від температури для термоелектричних перетворювачів типу: а – хромель-копель (L); б – хромель-алюмель (K); в – платина-платинородій (R); г – платина-платинородій (S)

Графічні залежності абсолютної похибки компенсації температури вільних кінців при використанні різних термоелектричних перетворювачів наведено на рис. 3.

З аналізу графічних залежностей видно, що в спроектованій КС абсолютна похибка від впливу зміни температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів не перевищує 0,1 °С для термоелектричних перетворювачів типу хромель-копель (L), хромель-алюмель (K), платина-платинородій (S) і не перевищує 0,2 °С для термоелектричних перетворювачів типу платина-платинородій (R).

Точність відтворення U_k залежить від рівності температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів і температурозалежних елементів (напівпровідникового транзистора VT1 і резистора R_t).

Для забезпечення рівності температури VT1, R_t і контактних елементів K_1 і K_2 , до яких під'єднуються вільні кінці термоелектричних перетворювачів, їх розміщено на теплопровідному елементі TBE, який додатково розміщується у пасивному термостаті. Схема розміщення елементів і під'єднання термоелектричних перетворювачів показано на рис. 4.

Для збільшення теплового контакту можна використовувати безкорпусний транзистор VT1 і резистор R_t у плівковому виконанні, які можна розмістити безпосередньо на контактних елементах TBE.

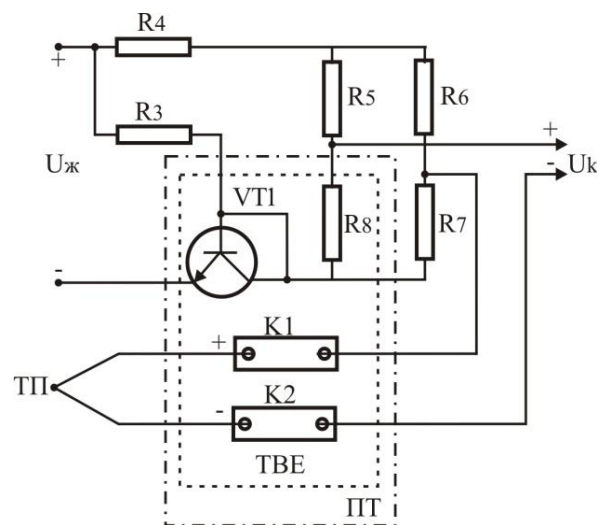


Рис. 4. Схема розміщення температурозалежних елементів і під'єднання термоелектричних перетворювачів

Висновки. Експериментальні дослідження спроектованої компенсаційної схеми підтвердили теоретичні розрахунки. Похибка компенсації впливу температури вільних кінців термоелектричних перетворювачів в обох випадках не перевищувала 0,1 °С для термоелектричних перетворювачів типу хромель-копель (L), хромель-алюмель (K), платина-платинородій (S).

1. <http://www.fluke-test.com.au/netdaq.htm>.
2. www.ther-mo-electra.com.
3. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: Дис. д-ра техн. наук: 05.11.16. – Ленинград, 1988. – 278 с.
4. Кочан Р. В. Вдосконалення компонентів прецизійних розподілених інформаційно-вимірювальних систем. Автореферат дис. к.т.н.: 05.11.16 – “Інформаційно-вимірювальні системи” – Львів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2005.
5. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка / За ред. проф. Є.С.Поліщука. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с.
6. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки / За ред. проф. Б.Стадника. – Львів: Видавництво Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2005. – Т.2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
7. ДСТУ 2837-94 Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статистичні характеристики перетворення.