

Аттестация и периодические поверки приборов моделей РАП осуществляются методом замещения энергии теплового излучения электрической энергией постоянной мощности, подведенной к калибровочному нагревателю с последующим расчётом нормированного значения поверхностной плотности теплового потока.

Базирующаяся на методе энергетического замещения методика метрологической аттестации реализована на экспериментальной установке, в состав которой входят высокоточные измерители силы и напряжения постоянного электрического тока от источника постоянной мощности.

Границы допускаемой основной относительной погрешности для поддиапазона измерения от 1 до

20 кВт/м<sup>2</sup> не превышают  $\pm 5\%$ , а для поддиапазона от 20 до 100 кВт/м<sup>2</sup> –  $\pm 3\%$ .

1. ДСТУ БВ.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97). Будівельні матеріали. Метод випробування на розповсюдження полум'я. 2. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартів безпеки праці. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. 3. Декуша Л.В., Грищенко Т.Г., Воробьёв Л.И.// Полостной приемник теплового излучения // Пром. теплотехника. – 2002 – т.24. – №4 – С.89 – 92. 4. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98). Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови.

## ВИКОРИСТАННЯ ПРЯМОГО p-n-ПЕРЕХОДУ ДЛЯ КОМПЕНСУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЛЮТІВ ПОРІВНЯННЯ ТЕРМОПАР

© Домінюк Тарас, Мікуліч Надія, 2008

Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна  
taras.dominuk@gmail.com

*Розглянуто можливість використання прямого p-n-переходу у схемах компенсації температури злутів порівняння (опорних злутів) термопар. Наведено теоретичні обґрунтування можливості використання прямого p-n-переходу у пристроях вимірювання температури. Результати моделювання в системі PSpice доводять правильність такого підходу.*

*Рассмотрена возможность использования прямого p-n-перехода в схемах компенсации температуры спаев сравнения (опорных спаев) термопары. Приведены теоретические обоснования возможности использования прямого p-n-перехода в устройствах измерения температуры. Результаты моделирования в системе Pspice показывают правильность такого подхода.*

*In work the opportunity of use of direct p-n-junction in compensation schemes of thermocouple cold end temperature (reference thermal junction) thermocouples is considered. Theoretical substantiations of an opportunity of use of direct p-n-transition in devices measurement of temperature are resulted. Results of the lead modelling in system Pspice show correctness of such approach.*

Одним зі способів урахування температури злутів порівняння термопар є вмикання у вимірювальне коло послідовно з термопарою джерела напруги, значення напруги якого буде таким самим, як і термо-ЕРС використовуваної термопарі від 0 °С до температури злутів порівняння термопарі. Наочніше це можна побачити на рис.1.

Отже, вихідний сигнал такої схеми не залежатиме від температури злутів порівняння термопарі.

Загальновідомим прикладом використання є схема, зображена на рис. 2 [1].

Ця схема являє собою мостове коло, яке складається з температуронезалежних манганінових опорів R1, R2, R3 і мідного опору R4, який має лінійну температурну залежність. Температурозалежний опір R4 повинен бути за такої температури, як і злоти порівняння термопарі.

Якщо температура термозалежного резистора, як і температура злутів порівняння термопарі, становитиме 0°С, то міст повинен перебувати у рівновазі. Тоді напруга між точками 1 і 2 дорівнюватиме 0 В.

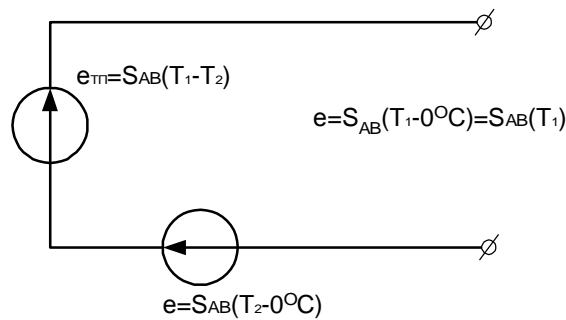


Рис. 1. Принцип введення поправки на температуру з'ютів порівняння.

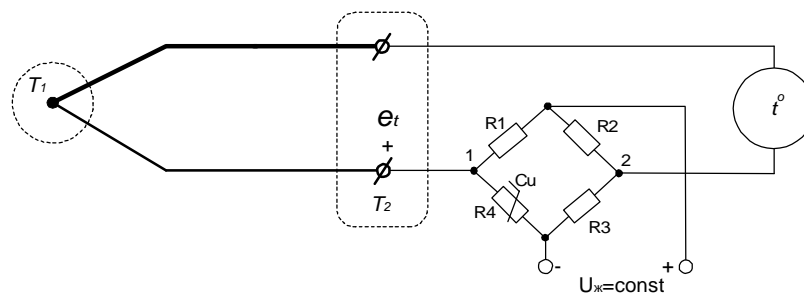


Рис. 2. Пристрій введення поправки на температуру з'ютів порівняння

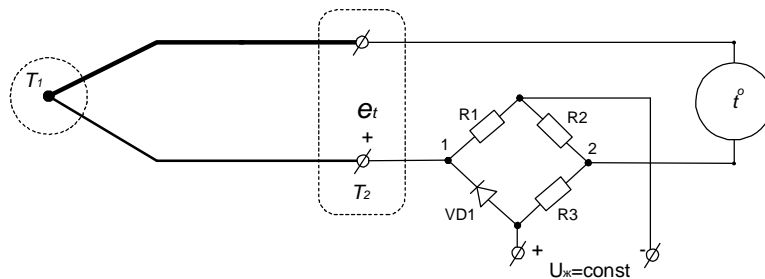


Рис. 3. Пристрій введення поправки на температуру з'ютів порівняння з використанням діода

У разі зміни температури з'ютів порівняння термопар, а відтак і температури температурозалежного опору  $R_4$  міст стає розбалансованим. Тобто напруга між точками 1 і 2 схеми вже не буде дорівнювати 0 В. Параметри цієї мостової схеми та напругу живлення моста вибирають так, щоб напруга розбалансу моста (напруга між точками 1 і 2 схеми) набувала таких значень, як і термо-ЕРС термопарі відносно  $0^{\circ}\text{C}$  в межах всього можливого діапазону значень температури з'ютів порівняння термопарі

(температур опору  $R_4$ ). Треба також врахувати, що при лінійній зміні опору  $R_4$  напруга розбалансу моста матиме нелінійний характер.

#### Переваги:

Вихідний сигнал такого кола пропорційний до вимірювальної температури і не залежить від температури з'ютів порівняння термопарі.

#### Недоліки:

Використання манганінових температурнезалежних опорів є доволі дорогим;

Ї дорогий мідний термоперетворювач опору (можна також використовувати нікелеві термоперетворювачі опору);

Ї великий діапазон зміни температури злютів порівняння термопари зумовлюватиме істотну нелінійність напруги поправки, що негативно впливатиме на точність вимірювання.

Враховуючи те, що для вимірювання температури можна використовувати р-п-перехід [6], реалізацією якого є діод, то варто розглянути можливість його використання у схемі внесення поправки на температуру злютів порівняння термопари.

Отже, для того, щоб однозначно можна було стверджувати про можливість реалізації схеми, поданої на рис.3, необхідно детально розглянути поведінку діода у прямому ввімкненні.

**Моделювання ВАХ діода при прямому ввімкненні.** Досліджуватимемо поведінку діода у прямому ввімкненні у програмі PSpice з пакета OrCAD 9.2. Програма PSpice стала стандартом де-факто для моделювання аналогових схем та вузлів.

Отже, на цьому етапі об'єктом дослідження є діод, а предметом дослідження є вольт-амперна характеристика діода у прямому ввімкненні при зміні температури та з'ясування робочої точки, у якій повинен працювати діод.

Схема для досліджень буде такою (рис. 4).

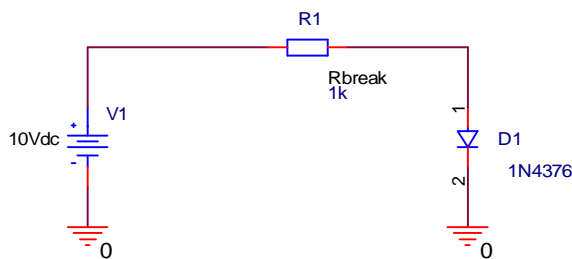


Рис. 4. Схема для дослідження вольт-амперних характеристик діода при прямому ввімкненні

модель резистора є такою:

```
.model Rbreak RES R=1
```

модель діода має такий вигляд:

```
.MODEL D1N4376 D
+ IS=857.8900E-12
+ N=1.88811
+ RS=2.53577
+ CJO=1.0000E-12
```

```
+ M=.3333
+ VJ=.75
+ ISR=40.817E-9
+ NR=6.32069
+ BV=20.375
+ IBV=10
+ TT=662.00E-12
```

Оскільки характеристики р-п-переходу описуються рівнянням [5],

$$I = I_s [\exp(eU / kT) - 1] \quad (1)$$

де  $I$  – струм через перехід,  $I_s$  – струм насичення, то поведінка будь-якого діода у прямому увімкненні буде відповідати цьому рівнянню. Тому на цьому етапі дослідження не є істотним вибір діода. А відтак для досліджень вибираємо діод 1N4376 з бібліотеки diode.

На графік виведено температурну залежність чутливості спаду напруги на діоді у прямому увімкненні при різних значеннях струму через діод (у цьому разі за різних значень напруги живлення).

За невеликих напруг живлення (до 0,9 В) відзначається як значна нелінійність температурної чутливості спаду напруги на діоді, так і порівняно великі її значення. При детальнішому огляді ближчі до осі  $y=0$  залежності мають вигляд, зображений на рис. 6.

Отже, для розв'язання поставленої задачі необхідно працювати на ВАХ діода зі струмами від 0,3мА.

Треба зауважити, що чим більший струм проходить через діод, тим меншою буде нелінійність температурної залежності спаду напруги на ньому. Так, для струму 0,3 мА вона становить 3 %, а для струму 4,2 мА вже 1,8 %. Проте тут є і інший бік: чим більший струм пропускати, тим більшим буде власне нагрівання діода, внаслідок чого змінюватиметься його температура. Тому у цій ситуації необхідно шукати компроміс між малою нелінійністю температурної залежності при порівняно великому значенні струму, та низьким значенням власного нагріву діода, яке забезпечується порівняно малим значенням струму. Так, для струму 0,3 мА розсіювана потужність лежатиме в межах від 0,157 мВт до 0,188 мВт, а для струму 4,2 мА – від 3 мВт до 3,3 мВт. Значення допустимої розсіюваної потужності для кожного типу діода буде різним і визначатиметься як геометричними розмірами, так і конструктивними особливостями.

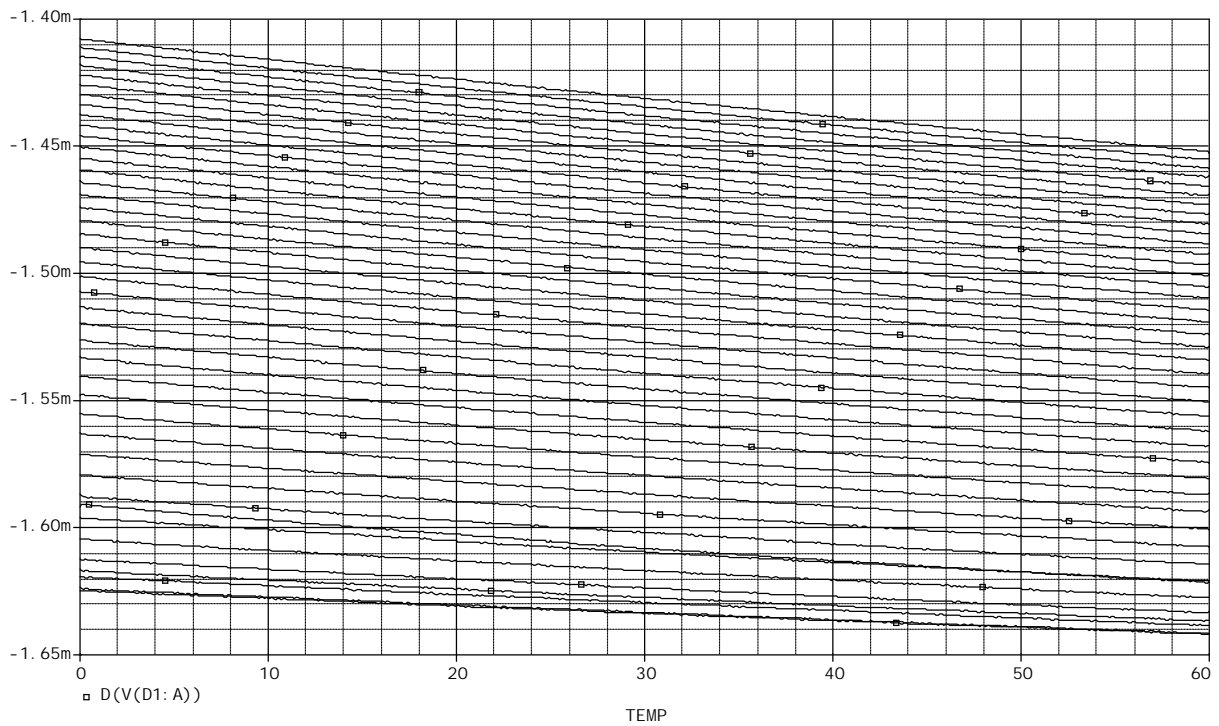


Рис. 5. Температурна залежність чутливості спаду напруги на діоді при прямому ввімкненні за різних значень струму через діод. Напруга джерела живлення VI у межах 0,9–5В

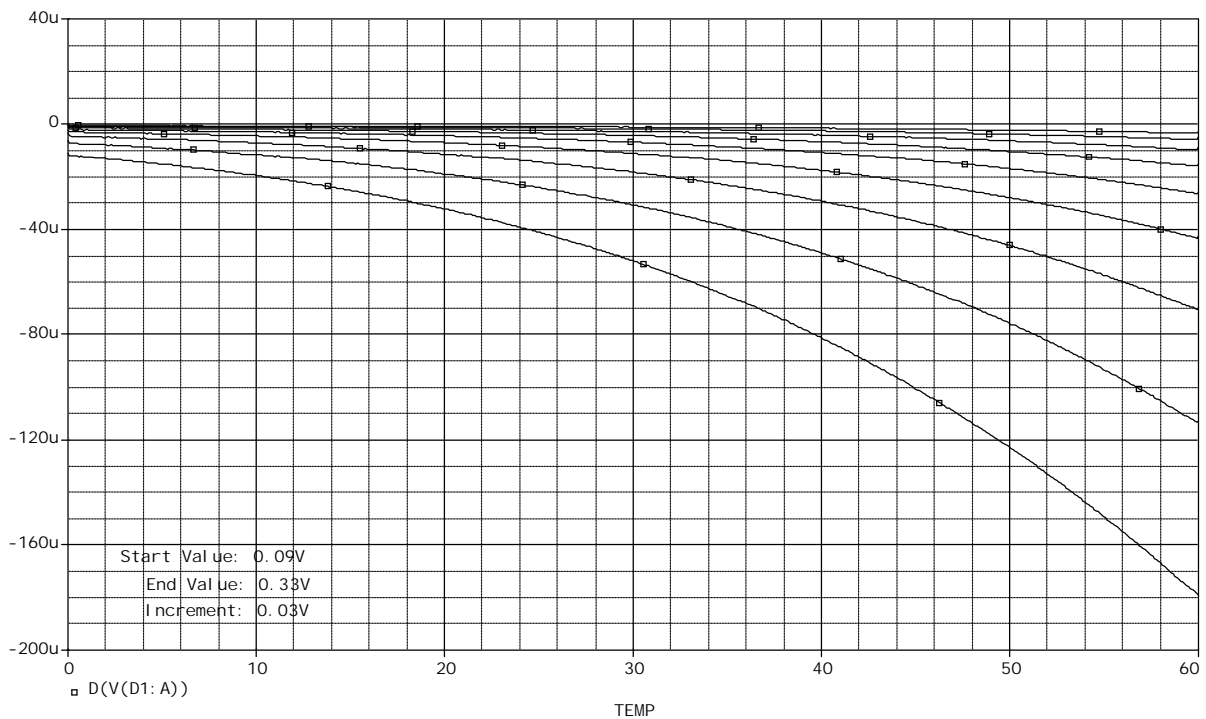


Рис. 6. Температурна залежність чутливості спаду напруги на діоді при прямому ввімкненні за різних значень струму через діод за низьких напруг джерела живлення VI

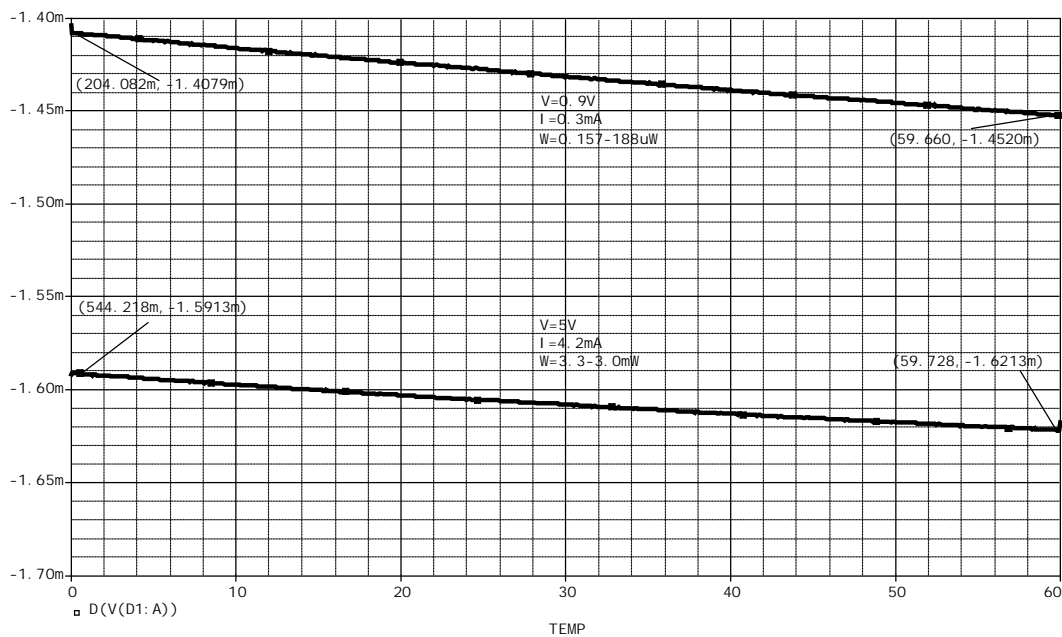


Рис. 7. Лінійна ділянка температурної залежності чутливості спаду напруги на діоді при прямому ввімкненні

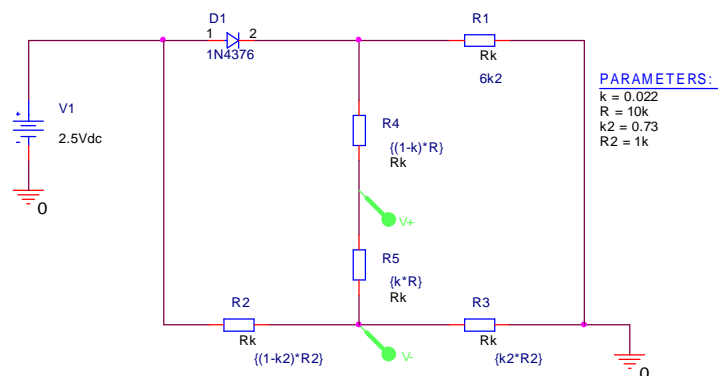


Рис. 8. Принципова електрична схема пристрою введення поправки на температуру з'ютів порівняння термопар

**Порівняння різних реалізацій пристроїв введення поправки на температуру з'ютів порівняння термопари.** Враховуючи те, що чутливість напруги діода до зміни температури у режимі з малою нелінійністю істотно перевищує чутливість термопари до зміни температури, то на виході мостової схеми необхідно поставити подільник напруги. Отже, схема набуде такого вигляду.

Підганянням плеч подільника напруги R2, R3 змінюється положення нуля, а підгоном R4, R5 – крутість вихідної характеристики. Параметри k, k2, R та R2 схеми використовуються для отримання необхідних вихідних характеристик.

Результатом моделювання цієї схеми буде залежність, зображена на рис. 9.

Чутливість вихідного сигналу до температури має вигляд, наведений на рис. 10.

Ламаний характер цієї залежності зумовлений неточностями розрахунків програмного пакета PSpice.

Для порівняння промодельємо класичну схему введення поправки на температуру з'ютів порівняння, яка ґрунтується на мостовій схемі з використанням мідного термоперетворювача опору та температуронезалежних манганінових опорів. Моделювання здійснюватимемо в середовищі PSpice.

Схема для досліджень зображена на рис. 11.

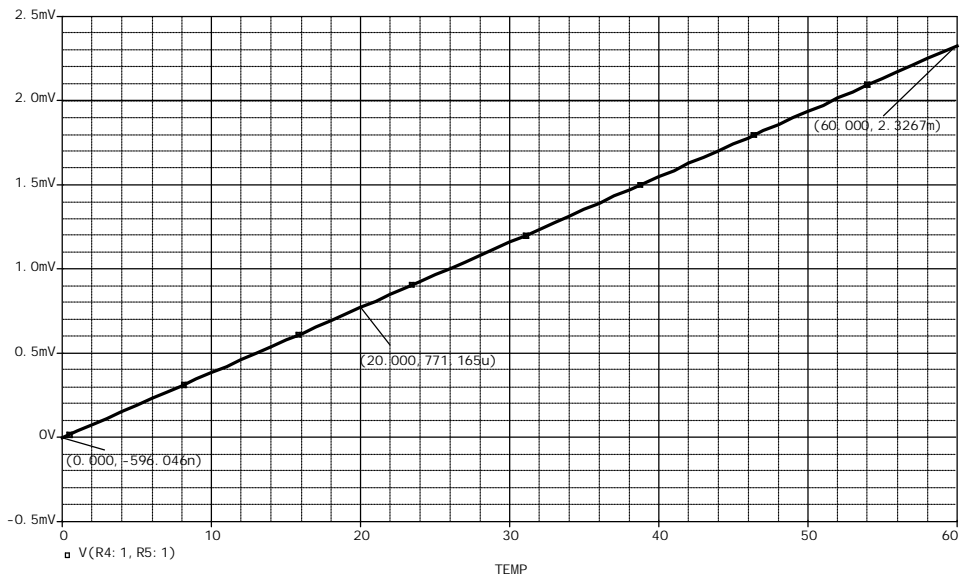


Рис. 9. Залежність вихідної напруги схеми від температури

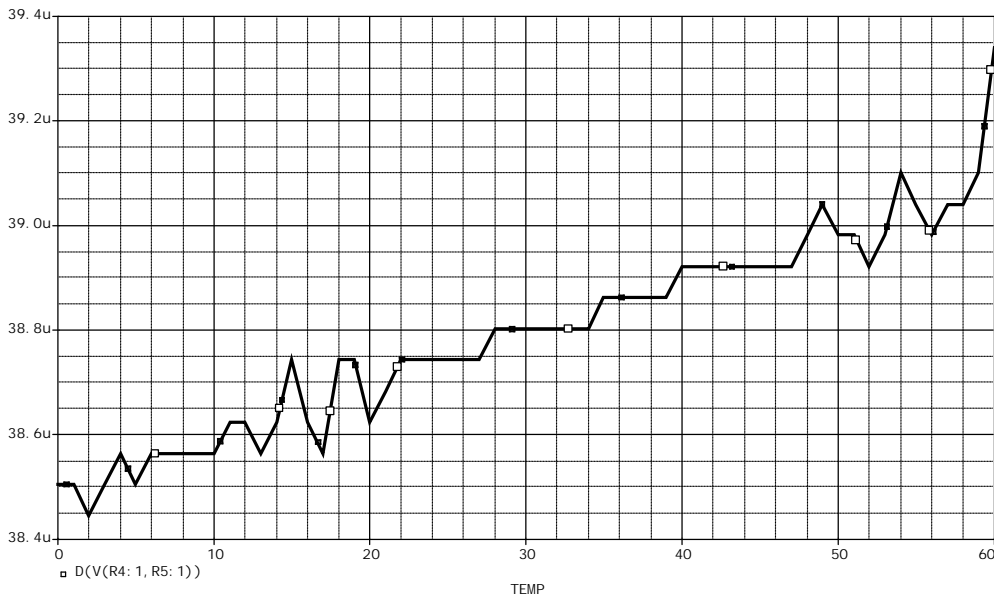


Рис. 10. Чутливість вихідної напруги схеми, зображеної на рис. 8, до зміни температури

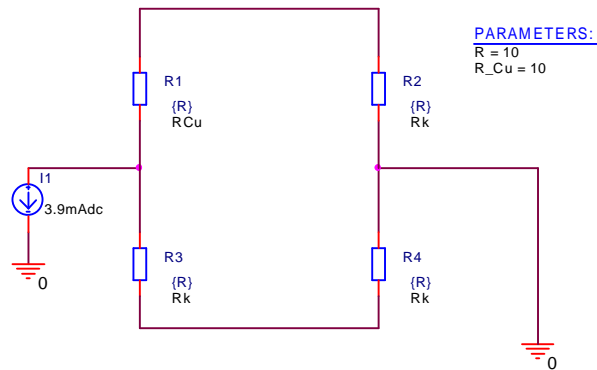


Рис. 11. Принципова електрична схема пристрою введення поправки на температуру злутів порівняння з використанням мідного термоперетворювача опору в незрівноваженому мості

Моделі RCu та Rk описуються так

.model RCu RES R=1 TC1 = 0.00425 T\_measured = 0

.model Rk RES R=1 TC1 = 100e-6 T\_measured = 20

У результаті моделювання отримується залежність напруги розбалансу моста від температури (рис. 12).

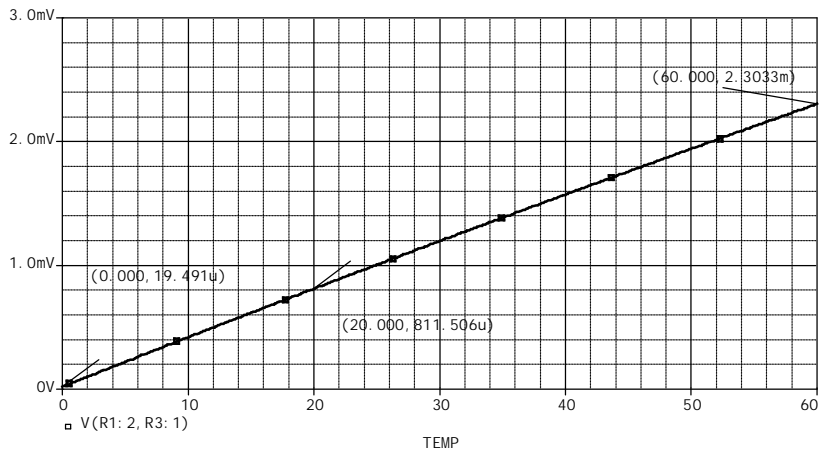


Рис. 12. Залежність вихідної напруги схеми, зображеної на рис. 11, від температури

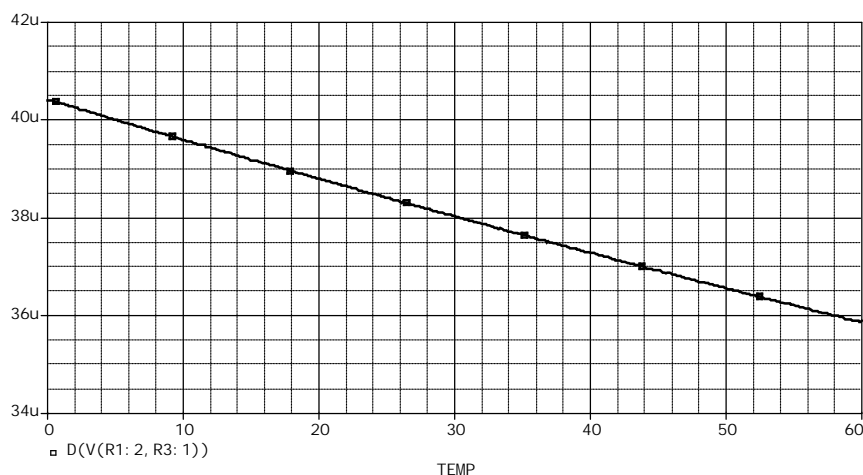


Рис. 13. Чутливість вихідної напруги схеми, зображеної на рис. 11, до зміни температури

А чутливість вихідного сигналу (напруги розбалансу моста) до температури зображено на рис. 13.

Порівняння цих двох аналогічних графіків показує, що для схеми з використанням мідного термоперетворювача опорів в діапазоні температур від 0 °С до 60 °С нелінійність становить приблизно 5 мкВ, а схема на основі діода за таких самих умов становить приблизно 0,8 мкВ. Це дає підстави стверджувати, що схема на основі діода має кращу лінійність.

**Висновки.** Реалізація пристрою введення поправки на температуру злутів порівняння терморпарі ХА (К) з використанням діода як температурочутливого елемента принципово можлива.

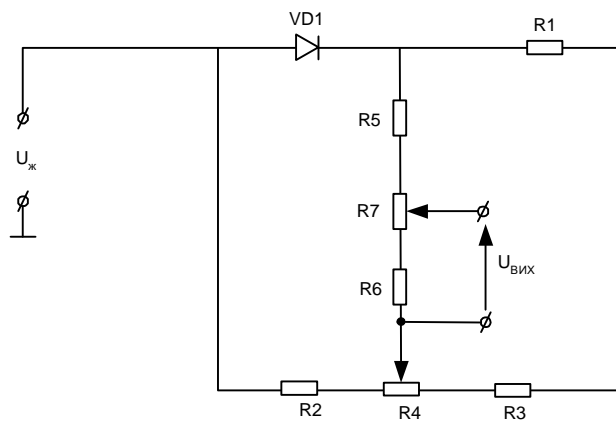


Рис. 14. Принципова схема пристрою

Принципова електрична схема такого пристрою може бути такою, як зображено на рис. 14.

Струм через діод доцільно вибрати в межах від 0,1 мА до 1 мА. Опір R1 має бути температурно-незалежним (щоб від його зміни не змінювався струм через діод). Резистори R2 – R7 можуть бути температурозалежними, проте їхні ТКО повинні бути однаковими. Резистором R4 виставляються  $U_{вих} = 0$  при температурі 0°C. Резистором R7 можна підрегулювати чутливість схеми до температури.

Реалізація такої схеми має кращу лінійність, ніж незрівноважена мостова схема з мідним термоперетворювачем опору.

Значний розкид параметрів діодів істотно ускладнює оцінювання похибок.

1. Поліщук Є.С., Дорожжовець М.М., Яцюк В.О., Ванько В.М. Бойко Т.Г. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник для студентів електротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Львів.: Бескид Біт, 2003. – 544 с. 2. Поліщук Є.С. Измерительные преобразователи. – К.: Вища школа, 1981. – 296 с. 3. Поліщук Є.С. Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин. – К.: Вища школа, 1979. – 352 с. 4. Петраков О.М., Создание аналогових PSPICE – моделей радиоэлементов. – М.: Радио Софт, 2004. – 208 с. 5. Электроника: Энциклопедический словарь / В.Г. Колесников. – М.: Сов. энциклопедия, 1991. – 688 с. 6. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. — М.: Мир, 1992. — 592 с.

УДК 536.532

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З КОРЕКЦІЄЮ ПОХИБКИ НЕОДНОРІДНОСТІ

© Кочан Орест, 2008

НДІ Інтелектуальних комп'ютерних систем Тернопільського національного економічного університету  
orest\_k@bigmir.net

*Запропоновано та обґрунтовано конструкцію нового термоелектричного перетворювача, який забезпечує відсутність впливу набутої під час експлуатації термоелектричної неоднорідності термопар, що входять до його складу, на результат вимірювання температури (відсутність впливу похибки неоднорідності).*

*Синтезовано систему вимірювання температури, яка взаємодіє з таким термоелектричним перетворювачем і оцінено сумарну похибку вимірювання температури за її допомогою.*

*Предложено и обосновано конструкцию нового термоэлектрического преобразователя, обеспечивающего отсутствие влияния приобретенной в ходе эксплуатации термоэлектрической неоднородности термопар, входящих в его состав, на результат измерения температуры (отсутствие влияния погрешности неоднородности). Синтезировано систему измерения температуры, взаимодействующую с таким термоэлектрическим преобразователем и произведена оценка суммарной погрешности измерения температуры с ее помощью.*

*It is proposed and substantiated the construction of new thermocouple in this paper. This thermocouple provides absence of influence of acquired during exploitation thermoelectric heterogeneity of thermoelectrodes on temperature measurement results (absence of heterogeneity error). Also there is synthesized temperature measurement system based on proposed thermocouple and evaluated error of temperature measurement results using this system.*

**Вступ.** Для вимірювання температури у діапазоні 500...1500°C в промисловості, наукових дослідженнях та інших галузях, широко використовують термоелектричні перетворювачі на базі термопар. Сучасне технологічне обладнання потребує високої точності, тому точність вторинних приладів і систем вимірю-

вання температури невпинно росте [1, 2]. Однак сумарна похибка вимірювання температури практично не зменшується через те, що у вимірювальному каналі похибка первинних перетворювачів – термопар – вона домінує [3, 4]. А їхня точність за останні десятиріччя практично не зростає [5]. Це пов'язано з порівняно