

КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕРМОМЕТРА ІЗ ВБУДОВАНИМ РЕПЕРНИМ КАЛІБРАТОРОМ І ВТОРИННИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ СЕНСОРОМ

© Стадник Б.^{1,3}, Дорожжовець М.^{1,3}, Бернгард Ф.², Кулик О.¹, 2003

¹Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Технічний університет Льменау, Льменау, Німеччина

³Ряшівська політехніка, вул. В. Поля, 235-959, Ряшів, Польща

Розглянуто принцип дії реперних елементів і термометрів з вбудованим реперним калібратором.

Рассматривают принцип действия реперных элементов и термометров со встроенным реперным калибратором.

Principle of action of fixed-point cells and thermometers with the built-in fixed-point calibrator are examined in this article.

Вступ. У багатьох галузях сучасної технології: хімії, машинобудуванні, авіації, електронній промисловості, металургії тощо, вимоги до точності вимірювання температури дуже високі. Так, наприклад, термообробка алюмінієвих і магнієвих конструкційних та ливарних сплавів відбувається в діапазоні 300 – 500°C з допустимим відхиленням температури ± 3 °C; гартування інструментів з легованих сталей вимагає стабілізації температури у межах ± 5 °C в діапазоні 1000–1200 °C. Температура розливу деяких сучасних легованих сталей становить 1400–1500 °C з допустимим відхиленням ± 2.5 °C; у виробництві феритів необхідно підтримувати температуру в межах ± 1 °C в діапазоні 1000–1100 °C, а у виробництві інтегральних мікросхем – навіть $\pm 0,5$ °C в діапазоні 900–1300 °C. Така точність не може бути досягнена з використанням традиційних засобів вимірювань і перетворювачів температури.

Відомо, що найвищої точності вимірювань можна досягти, застосовуючи метод безпосереднього порівняння з мірою[1]. Однак температура як фізична величина не має властивості адитивності, тому міру температури, в тому сенсі, як для електричних величин, створити неможливо. Але, незважаючи на це, існують різноманітні пристрої, які дають змогу відтворювати еталонні значення температури з достатньо високою точністю. У всіх цих пристроях використовується незмінність температури фазового переходу чистих металів. Цю температуру називають реперною, а пристрої – реперними елементами або калібраторами.

Якщо в лабораторних умовах значення температури, наприклад, в калібрувальній печі, можна від-

творити в широкому діапазоні і, разом з тим, можна викликати перетворення фаз всередині мініатюрного реперного елемента, то в промислових умовах це практично неможливо. Так само за межами лабораторії практично виключена можливість зміни реперного елемента і, відповідно, реперного матеріалу і, як наслідок, – зміни реперної температури. Тобто калібрування для промислових температурних сенсорів можливе лише на одній реперній температурі. Для вимірювання температури технологічного процесу під час калібрування термоелемента з вбудованим реперним калібратором, застосовують вторинний температурний сенсор, що розташований на певній відстані від зовнішнього мініатюрного тигля (рис. 1).

Для розтоплення і відповідно застигання реперного матеріалу використовують невеликі коливання температури вимірювального середовища. Трохи більші зміни температури реперного елемента можна отримати за допомогою інтеграції нагрівних або охолоджувальних елементів в термометр.

Ефективність використання термометра з вбудованим реперним калібратором і вторинним температурним сенсором пояснюється такими чинниками:

- Застосовують звичайні, серійні перетворювачі температури; метрологічна перевірка перетворювачів здійснюється за реперними точками при температурах фазових переходів чистих металів.

- Перетворювачі калібрують в температурному полі експлуатації, тому термоелектрична неоднорідність їх термоелектродів не впливає на точність метрологічної перевірки.

•Метрологічній перевірці підлягає не лише перетворювач, а й і лінія зв'язку, а в багатьох випадках і вторинна апаратура [1].

•Термометр може калібруватись одночасно з вимірювальним процесом; для цього використовують сигнал вторинного температурного сенсора.

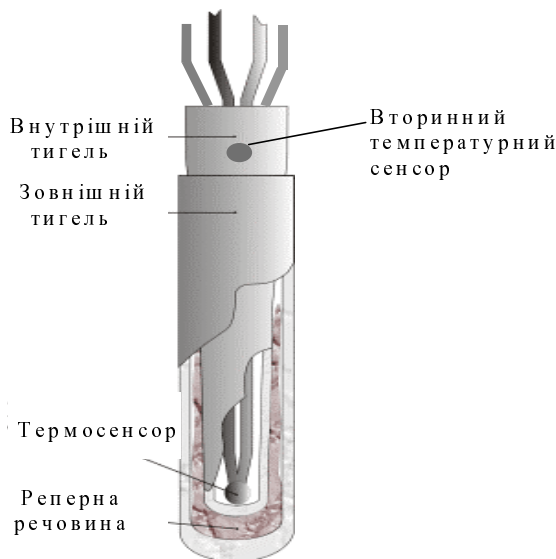


Рис. 1. Термоелемент з вбудованим реперним калібратором

Поряд з перевагами, використання термометра з вбудованим реперним калібратором та вторинним температурним сенсором має і певні недоліки.

Ще одним таким недоліком є те, що для досягнення фазового переходу реперного матеріалу необхідний вбудований нагрівний елемент. А внаслідок нагрівання реперного калібратора спотворюється сигнал вторинного температурного сенсора, тобто виникає похибка. Можливість усунення цієї похибки було основною метою при дослідженні цього термометра. Наведені нижче результати були отримані під час досліджень, виконаних в Технічному університеті Ільменау (Німеччина).

Дослідження сигналу обох сенсорів залежно від їх місцезнаходження і підведеної потужності. Для зменшення похибки, що виникає під час нагрівання за допомогою вбудованого мініатюрного нагрівача, дуже важливим є вибір відповідної позиції вторинного температурного сенсора.

Для цього дослідження використовували такі конструктивні варіанти:

1. Відстань від зовнішнього мініатюрного тигля до вторинного сенсора температури становить 1.5 см.

2. Другий (вторинний) термоелемент має контакт з керамічною поверхнею внутрішнього тигля, а відстань до цього термоелемента від мініатюрного тигля становить 3 см.

3. Другий термоелемент розміщений на тій самій відстані від керамічного тигля, що і в другій конструктивній формі, також дотикається до керамічної поверхні, але знаходиться дещо глибше в капілярі.

4. Другий термоелемент розташований на відстані 3 см від керамічного тигля, але не дотикається до керамічної поверхні.

Ці дослідження здійснюють за таких умов:

1. Вимірювальне середовище – вода і повітря.
2. Температура вимірювального середовища – 50 °С, 100 °С, 200 °С, 300 °С, 400 °С, 500 °С.
3. Значення потужності, що була підведена до мініатюрного нагрівача, становить 0.5–2.5 Вт.

На рис. 2 показано залежність температури обидвох сенсорів температури від часу при нагріванні першого термоелемента за допомогою мініатюрного нагрівача різної потужності.

При конкретній температурі залежність нагрівання від підведеної потужності є лінійною. Вона залежить також і від вимірювального середовища. Це твердження підтверджує рис. 3 (графік побудовано за результатами досліджень).

Метою досліджень було знайти відповідне розташування другого термоелемента, за якого вплив від потужності є найменшим (якомога наблизити пряму до осі абсцис). Результати цієї серії досліджень графічно зображені на рисунку (рис. 4). З рис. 4 чітко видно, що четверта конструктивна форма краща від форм 1–3.

4. Компенсація впливу нагрівання. Повністю усунути вплив від нагрівного елемента, вибравши місцезнаходження вторинного сенсора, не вдалось. Подальше зростання відстані між вторинними температурним сенсором і мініатюрним тиглем веде до збільшення глибини занурення.

Нагрівання вторинного сенсора можна описати за допомогою лінійної залежності:

$$\Delta T = k \cdot P,$$

де ΔT – нагрів вторинного термоелемента, °С; P – підведена потужність, Вт; k – коефіцієнт, що залежить від вимірювального середовища, його температури і від теплообміну між робочим і вторинним сенсорами. У такому разі коефіцієнт k визначали експериментально.

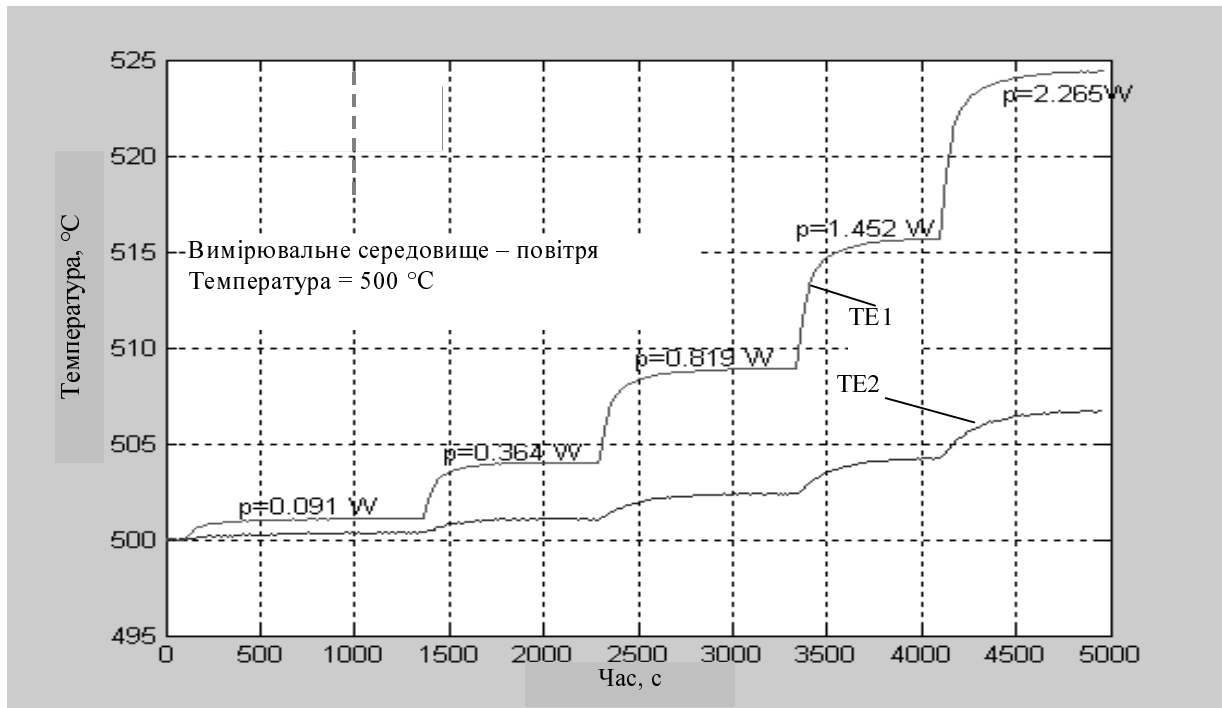


Рис. 2. Залежність температури обидвох сенсорів в часі при нагріванні першого сенсора нагрівним елементом при різній потужності

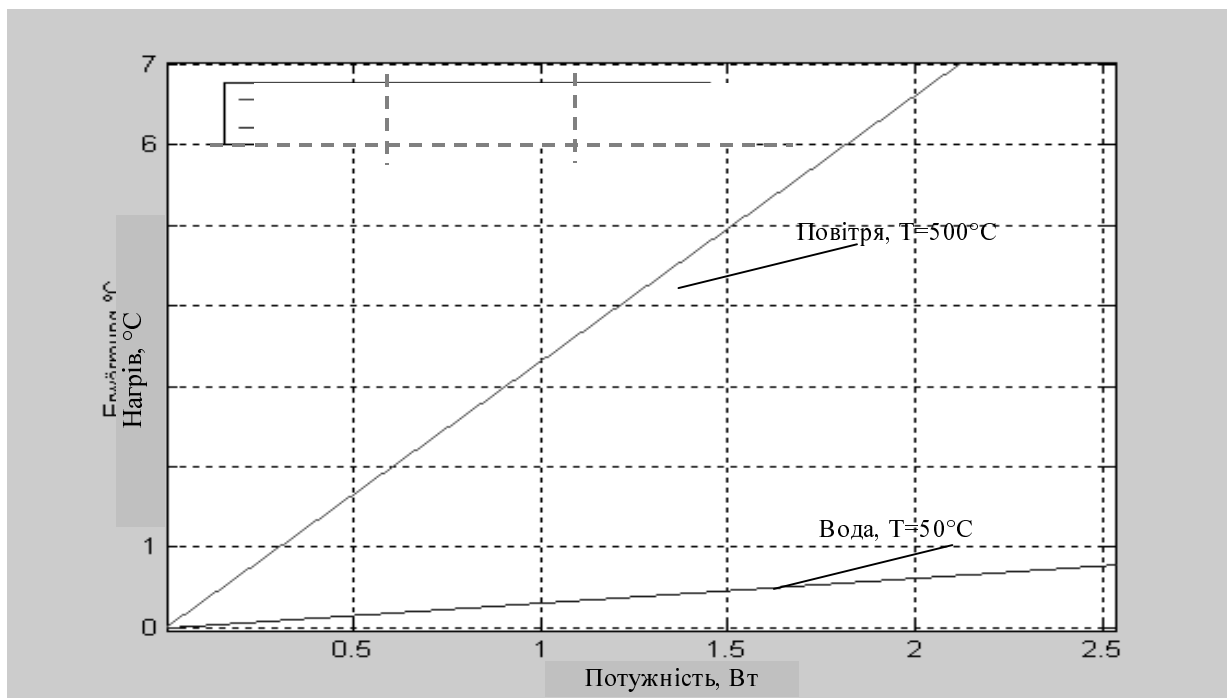


Рис. 3. Нагрів вторинного термоелемента залежно від вимірювального середовища

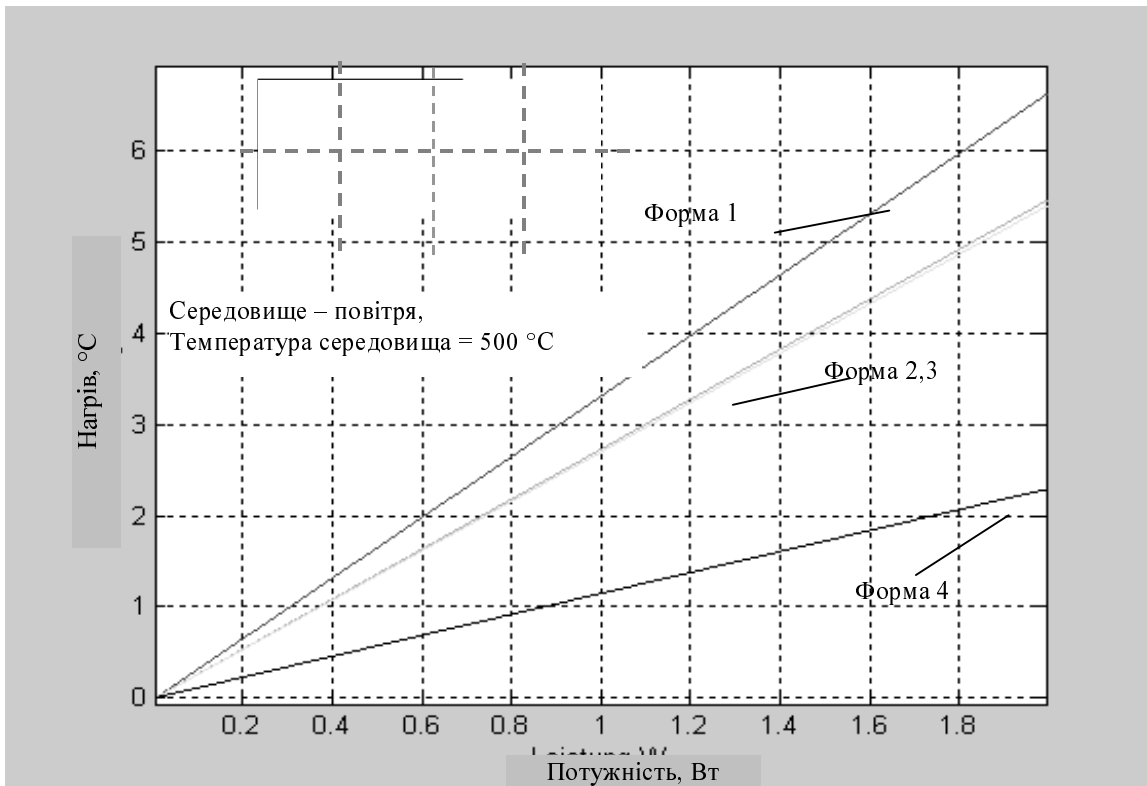


Рис. 4. Нагрівання вторинного термоелемента від підведеної потужності для різних конструктивних форм

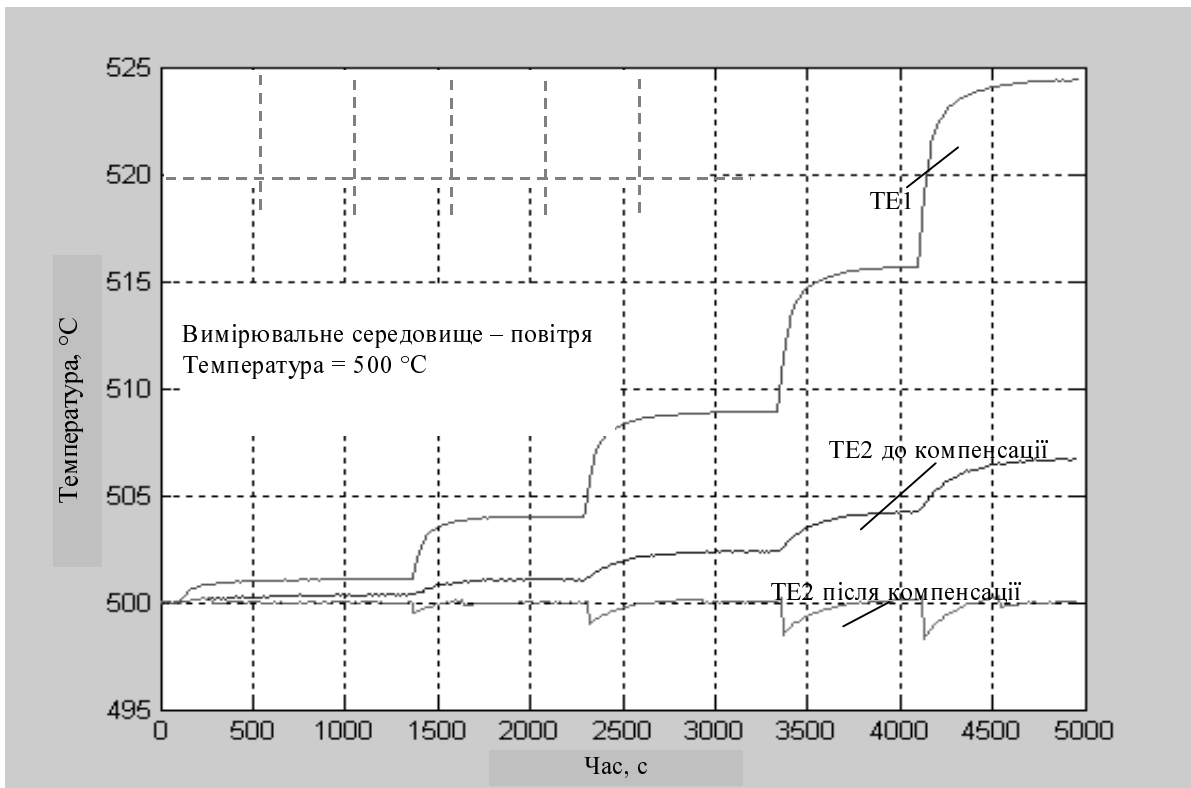


Рис. 5. Приклад реалізації компенсації

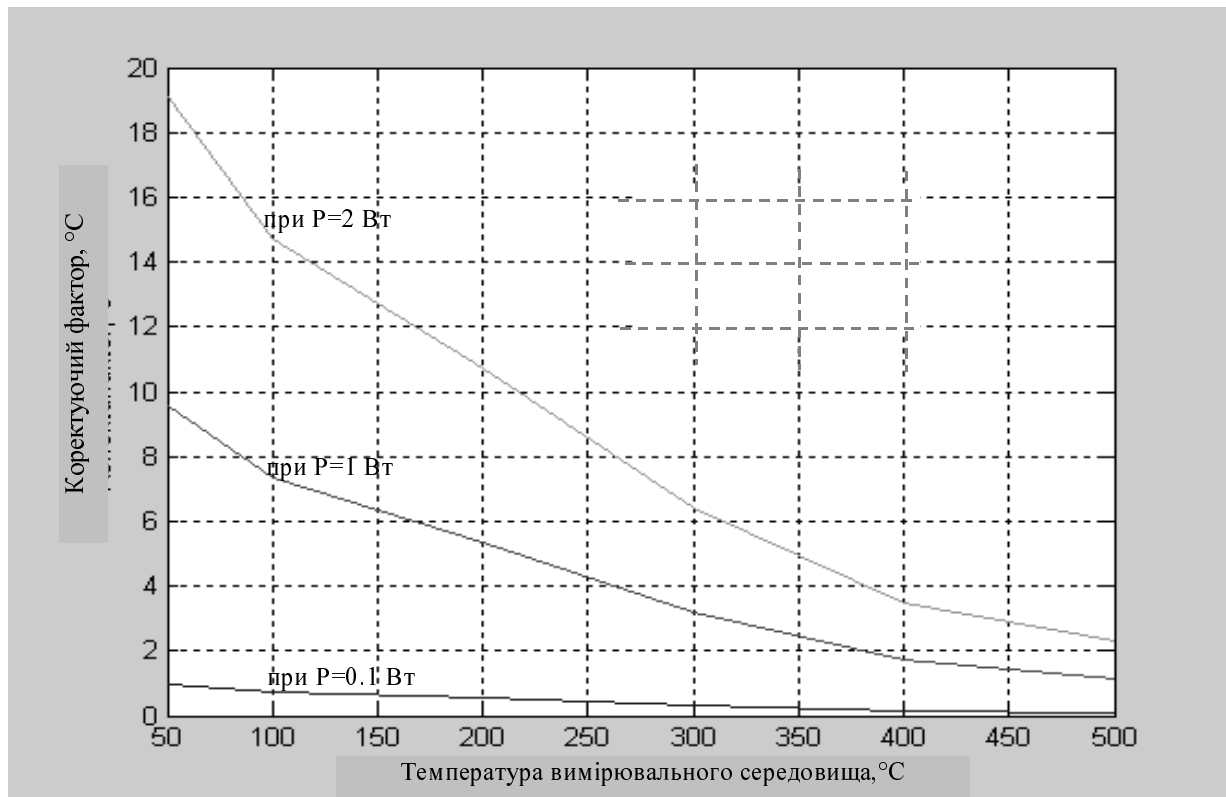


Рис. 6. Залежність коригувального значення від температури середовища

Залежність нагріву вторинного сенсора від підведеної потужності можна також подати таблично.

Математичну модель описують за допомогою системи таких рівнянь:

- залежність ЕРС обох сенсорів від температури;
- рівняння теплообміну між реперним елементом і робочим сенсором;
- рівняння теплообміну між робочим і вторинним сенсорами;
- рівняння теплового балансу.

Аналітичне розв'язання такої системи диференційних рівнянь дуже складне. Спроби авторів[1] не дали необхідних результатів. Дещо простіше вказану задачу можна розв'язати методом числового моделювання. Зважаючи на вищесказане, необхідні коригувальні чинники ми визначали експериментально.

Приклад результату реалізованої компенсації подано на рис. 5.

Для конкретної підведеної потужності можна, за результатами експериментів, визначити характер залежності коригувального значення від температури. Графічне зображення цієї залежності подано на рис. 6.

З рис. 6 зрозуміло, що чим вищою є температура середовища, тим меншим є коригувальне значення. Коригувальне значення також обернено пропорційно

залежить від підведеної потужності. За допомогою лінійної апроксимації можна визначити коригувальне значення для будь-якої температури при певній підведеній потужності.

Висновки. Отже, в результаті досліджень:

- було знайдене найоптимальніше місцезнаходження вторинного температурного сенсора, при якому вплив нагрівного елемента на його сигнал є мінімальним;
- були обчислені необхідні коригувальні чинники для цього термометра з вбудованим реперним калібратором і вторинним температурним сенсором.

1. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. – М., 1986. 2. Boguhn D. et al. Miniaturfixpunktzellen und ihre Integration in selbstkalibrierende Thermoelmente“, vorgestellt auf der Temperatur '98. Berlin, 1998. 3. Lehmann H. und Bernhard F. Selbstkalibrierende Thermoelmente, Technische Universität Ilmenau, Institut für Prozessmess- und Sensortechnik, Schlussbericht AiF- Thema 1996. 4. Preston-Thomas H. The International Temperature Scale of 1990(ITS-90). Metrologia. 1990. 5. Lehmann H. und Bernhard F. Long term and high temperature behaviour of miniature fixed-point thermocouples, vorgestellt auf der XIII IMEKO World Congress. Torino. 1994. 6. Lehmann H. und Bernhard F. Thermoelmente mit integrierter Fixpunktzelle. Sensor Report. 1995. <http://www.elektrotherm.de/miniaturfixpunktzelle.html>