

УДК681.586.69

DOI 10.52167/1609-1817-2023-129-6-224-232

Б.А. Брекешев, **Б.С. Байкенов**

Алматынський университет энергетіки і зв'язи імені Г. Даукеева, Алматы, Казахстан
E-mail: b.brekeshov@aues.kz

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАТИНОВЫХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Аннотация. Научная статья посвящена исследованию методов измерения температуры с использованием платиновых терморезисторов, с акцентом на термосопротивлениях РТ100 и РТ1000. В работе подробно рассматриваются принципы работы термосопротивлений, их важность в точных измерениях температуры, а также сравниваются с альтернативными методами измерения.

Основной фокус статьи уделен сравнительному анализу результатов, полученных с использованием термосопротивлений, с данными, полученными другими методами. Этот сравнительный подход выделяет превосходство термосопротивлений в точности и эффективности измерений температуры.

Полученные результаты исследования подчеркивают перспективы использования платиновых терморезисторов в различных областях, включая промышленность, медицину и научные исследования, предлагая высокоточный и надежный метод измерения температуры для разнообразных технических приложений.

Ключевые слова. Термосопротивления, платиновые терморезисторы, измерение температуры, микроконтроллеры, интегрированные цифровые датчики.

Введение.

Различные области науки и техники требуют точные и надежные методы измерения температуры. Одним из наиболее распространенных инструментов является платиновый терморезистивный преобразователь. Платиновые терморезисторы предоставляют уникальное сочетание высокой чувствительности, стабильности и широкого диапазона рабочих температур, что делает их предпочтительным выбором для точных измерений температуры в самых разнообразных условиях [1-4].

В данной работе исследуются методы измерения температуры с использованием платиновых терморезисторов, принципы их работы, а также практические аспекты применения. В контексте нарастающего интереса к прецизионным измерениям и растущему спросу в прикладных областях, понимание методов использования платиновых терморезисторов представляют собой актуальное исследовательское направление.

Основная цель данной статьи заключается в том, чтобы на практике предоставить глубокое понимание принципов работы и методов использования терморезистивных преобразователей. Точные измерения температуры играют критическую роль в различных областях науки, промышленности и в повседневной жизни.

Материалы и методы.

В данной главе представлена методология измерения температуры с использованием платиновых терморезисторов, имеющих номинальное сопротивление R_0 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, равное $1000\text{ }\Omega$. Для получения и перевода значения сопротивления в цифровой формат использован модуль на основе микросхемы MAX31865

РТ1000 это один из самых популярных и точных терморезистивных преобразователей. Он не только дает высокую точность измерения, а также отличную

стабильность и повторяемость, также датчики из платины устойчивы к электромагнитным помехам что дает возможность использования данного типа термопреобразователя в промышленной среде вблизи с электродвигателями, генераторами и другими высоковольтными устройствами [1].

Чувствительный элемент данного термометра сопротивления представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или пленки. Проволочное или намоточное строение дает больший диапазон измеряемых температур, но при этом большую стоимость. Тонкопленочное строение позволяет достичь минимального размера датчики, а также данное строение сокращает время отклика на изменения температуры.

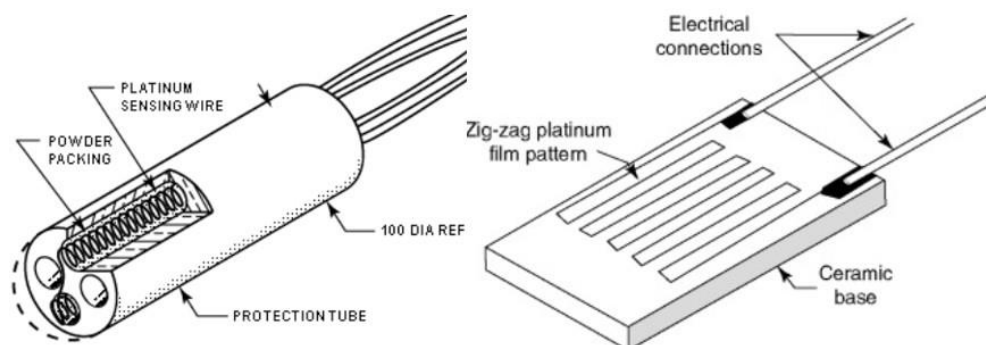


Рисунок 1 – Внутреннее строение датчика

Точность термосопротивления измеряется как степень отклонения зависимости сопротивления от температуры ($R(T)$) реального датчика от идеальной номинальной характеристики. Для выражения этой точности применяется понятие класса допуска, который также известен как класс точности [5-6].

Класс допуска определяет максимальное допустимое отклонение от номинальной характеристики, при этом задается как функция температуры. При нулевой температуре фиксируется наименьшее допустимое отклонение, а с увеличением или уменьшением температуры диапазон допустимых значений увеличивается. Таким образом, класс допуска предоставляет информацию о том, насколько точно термосопротивление соответствует заявленной номинальной характеристике в различных температурных условиях. Также стоит уточнить, что существует три варианта подключения внутренних проводов, а именно двухпроводное, трехпроводное и четырехпроводное. Трехпроводное и четырехпроводное подключение позволяет сократить влияние соединительных проводов на измерение. Для классов допуска AA и A не допускается использовать двухпроводное подключение [7-8].

Таблица 1 – Классы допуска для платиновых терморезисторов

| Класс допуска | Допуск, °C | Диапазон измерения °C | |
|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| | | Проволочные | Пленочные |
| AA | $\pm(0.1 + 0.0017 t)$ | От -50 до +250 | От 0 до +150 |
| A | $\pm(0.15 + 0.002 t)$ | От -100 до +450 | От -30 до +300 |
| B | $\pm(0.3 + 0.005 t)$ | От -196 до +660 | От -50 до +500 |
| C | $\pm(0.6 + 0.01 t)$ | От -196 до +660 | От -50 до +600 |

$|t|$ - абсолютное значение температуры

Результаты и обсуждения.

Основной характеристикой датчика является номинальной статической характеристике α , где R_{100} – сопротивление при 100°C и R_0 – номинальное сопротивление при 0°C .

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100^{\circ}\text{C}}. \quad (1)$$

Для платиновых термосопротивлений формата Pt100, Pt1000 разделяют $\alpha=0.00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ и $\alpha=0.00391^{\circ}\text{C}^{-1}$

Для перевода значения сопротивления в температуру используется уравнения Каллендара-Ван Дузена описывающее взаимосвязь между сопротивлением и температурой платиновых термометров сопротивления [8-10].

Для диапазона от -200°C до 0°C :

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + C(t - 100^{\circ}\text{C})t^3). \quad (2)$$

Для диапазона от 0°C до 850°C :

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2). \quad (3)$$

Таблица 2 - Коэффициенты для уравнения Каллендара-Ван Дузена

| Постоянная | $\alpha = 0,00385^{\circ}\text{C}^{-1}$ | $\alpha = 0,00391^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
|----------------|--|--|
| A | $3.9083 * 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ | $3.9690 * 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$ |
| B | $-5.775 * 10^{-7}^{\circ}\text{C}^{-2}$ | $-5.841 * 10^{-7}^{\circ}\text{C}^{-2}$ |
| C | $-4.183 * 10^{-12}^{\circ}\text{C}^{-4}$ | $-4.430 * 10^{-12}^{\circ}\text{C}^{-4}$ |
| D ₁ | 255.819°C | 251.903°C |
| D ₂ | 9.14550°C | 8.80035°C |
| D ₃ | -2.92363°C | -2.91506°C |
| D ₄ | 1.79090°C | 1.67611°C |

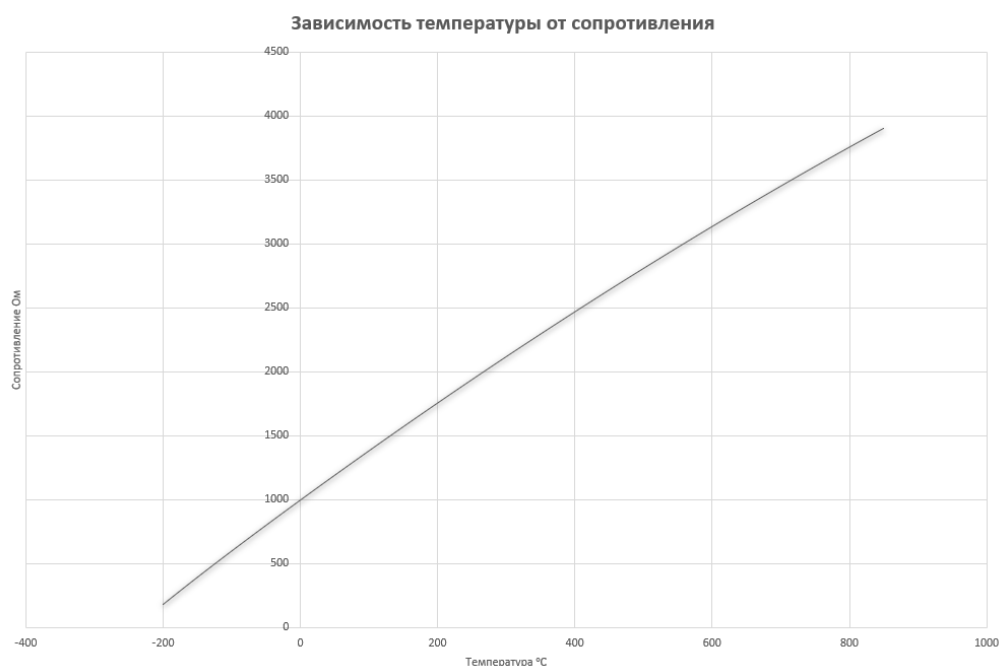


Рисунок 2 – Зависимость температуры от сопротивления

Для удобства расчета температуры также существует приближенная функция с точностью $\pm 0.0002^\circ\text{C}$

Для измеряемой температуры $t < 0$ или $R_t/R_0 < 1$

$$t = \sum_{i=1}^4 D_i \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right)^i \quad (4)$$

Для измеряемой температуры $t \geq 0$ или $R_t/R_0 \geq 1$

$$t = \frac{\sqrt{A^2 - 4B \left(1 - \frac{R_t}{R_0} \right)} - A}{2B} \quad (5)$$

Для измерения сопротивления термосопротивлений существуют готовые решения в виде микросхем, которые предоставляют удобные и эффективные способы преобразования изменений сопротивления в цифровой сигнал. Эти микросхемы обеспечивают точность измерений и удобство в использовании в различных приложениях и системах.

Микросхема MAX31865 представляет собой высокоточный 15-битный АЦП (аналого-цифровой преобразователь), разработанный специально для измерений температуры с использованием платиновых терморезисторов. Микросхема оснащена механизмами автоматической компенсации ошибок, что позволяет учесть и скорректировать возможные искажения сигнала, связанные с особенностями работы платиновых терморезисторов. Это легкий в использовании преобразователь сопротивления в цифровой сигнал, оптимизированный для работы с платиновыми терморезисторами. Данная микросхема может работать с двухпроводными, трёхпроводными и четырехпроводными видами соединения датчиков. Позволяет подключать платиновые термопреобразователи формата Pt1000 и Pt100. Точность составляет $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Интерфейс общения с микроконтроллером SPI. Время одного преобразования составляет 21мс.

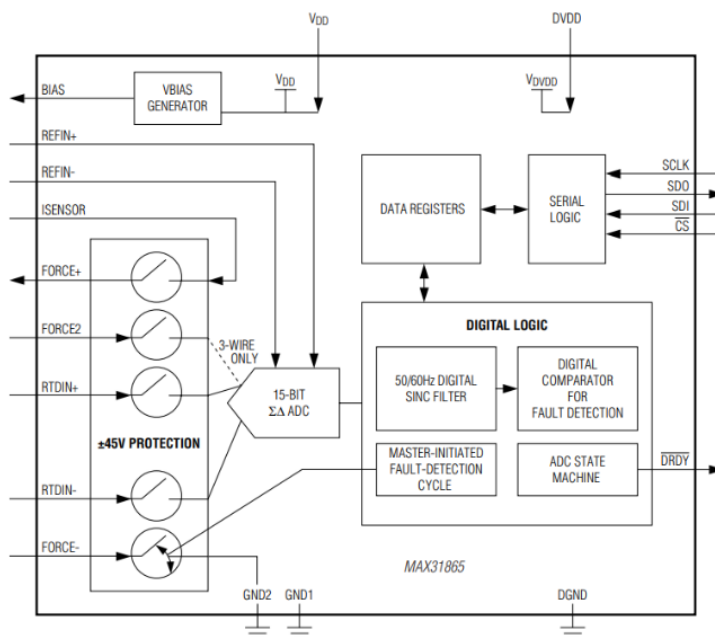


Рисунок 3 – Схема строения MAX31865

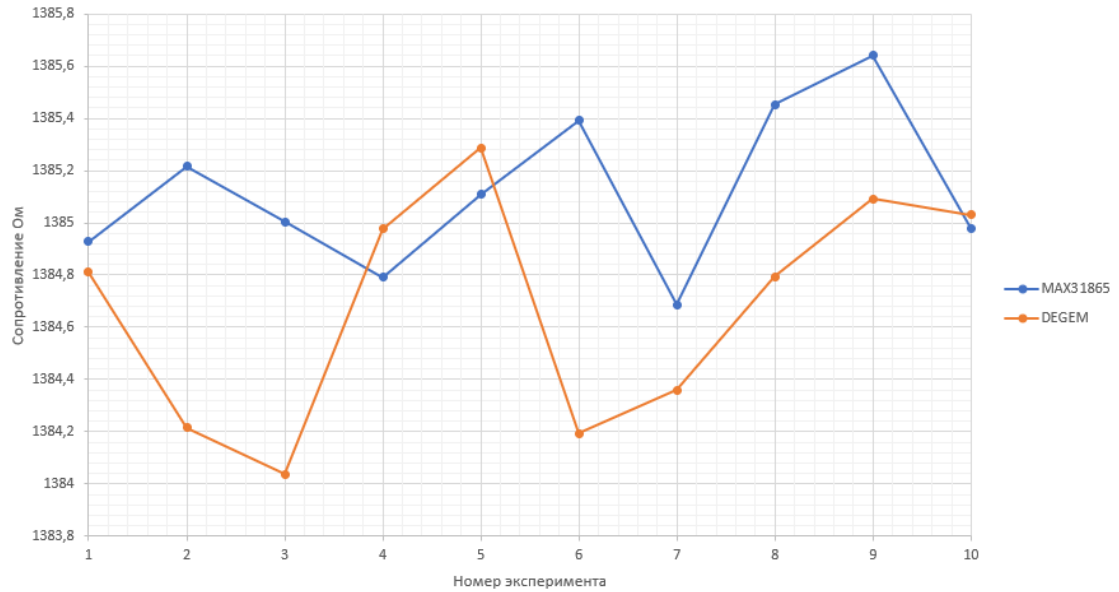


Рисунок 5 - Сравнение значений сопротивления

Результаты анализа показывают, что микросхема MAX31865, используемая для измерения сопротивления, обеспечивают высокую степень точности в пределах заявленных характеристик производителя. Погрешности измерений оказываются минимальными, что свидетельствует о надежности и эффективности применяемой методики.

Было проведено сравнение результатов, полученных при использовании термосопротивления, с данными, полученными с применением альтернативных методов измерения температуры, а именно с использованием термопары К типа.

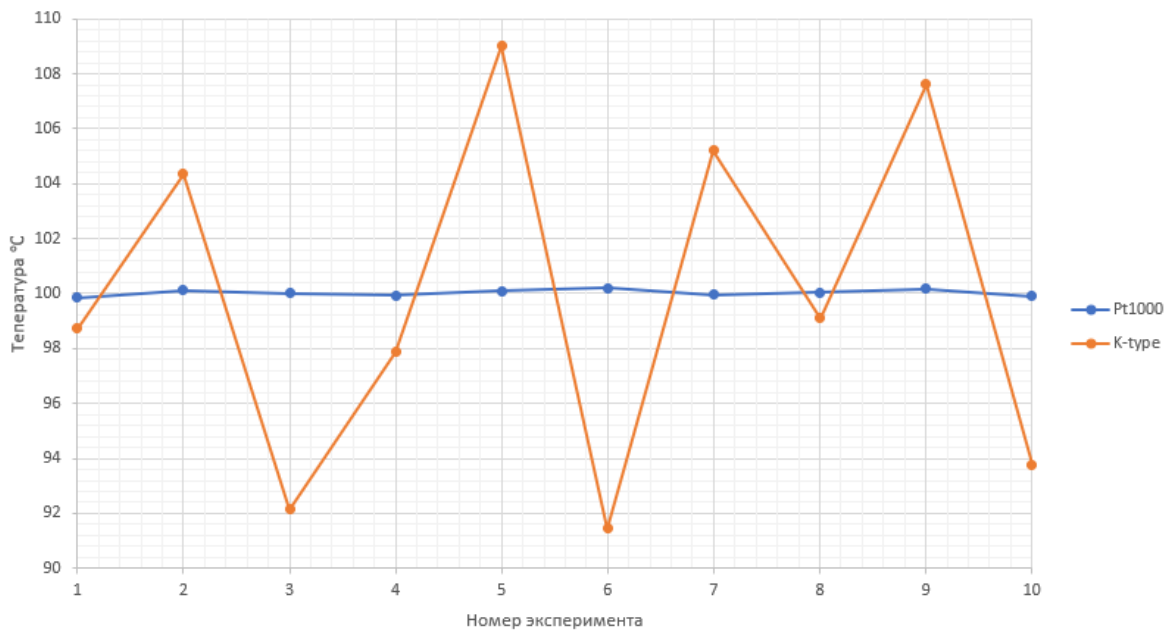


Рисунок 6 - Сравнение значений температуры

Проведенное сравнение результатов, полученных с использованием термосопротивления, с данными, полученными с использованием термопары, явно

демонстрирует превосходство термосопротивлений в плане точности. И можно с уверенностью сказать, что в своем рабочем диапазоне платиновые термосопротивления являются наиболее привлекательным выбором для промышленных, научных и технических приложений, где требуется надежное и стабильное измерение температуры.

Заключение.

В результате тщательного исследования методов измерения температуры, с акцентом на использовании платиновых терморезисторов, особенно термосопротивлений РТ1000, получены результаты, подтверждающие высокую точность и эффективность данного метода. Термосопротивления РТ1000 продемонстрировали выдающуюся точность, соответствуя заявленным характеристикам производителя, что укрепляет уверенность в их надежности в качестве средства измерения температуры.

Сравнительный анализ с альтернативными методами измерения температуры подчеркнул превосходство термосопротивлений РТ1000, подтверждая их сопоставимость с данными других методов и даже превосходство в некоторых случаях. Интеграция датчиков РТ1000 с микроконтроллером STM32 и модулем MAX31865 обеспечила высокую эффективность и автоматизацию процесса измерения температуры.

В итоге результаты исследования подчеркивают выдающиеся характеристики термосопротивлений РТ1000 и их важность в различных технических и научных областях. На основе полученных данных можно с уверенностью утверждать, что платиновые термосопротивления РТ1000 представляют собой высокоточный и эффективный метод измерения температуры с широкими перспективами применения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ 6651–2009 "Государственная система обеспечения единства измерений Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля." 5 – 20
- [2] Э.А.Иванов, Ш.А. Бахтаев, Е.О. Елеукулов (2012) "Методы и средства электрорадио-измерения" 241-260
- [3] John H. Moore, Christopher C. Davis Michael A. Coplan. (2012). "Measurement and control of temperature." Cambridge University Press. 40 - 60
- [4] Robert B. Northrop (2014). "Introduction to Measurement and Instrumentation." CRC Press.125 -180
- [5] Lipták, B. G. (2018). "Instrument Engineers' Handbook, Volume One: Process Measurement and Analysis." CRC Press. 561 - 709
- [6] Halit Eren. (2005). "Resistor Measurement." Wiley 1-10
- [7] Herold, K. E., & Howell, J. R. (1971). "Thermal Radiation Heat Transfer." NASA 60 - 120
- [8] Holman, J. P. (2010). "Experimental Methods for Engineers." McGraw-Hill Education. 381 - 444
- [9] Johnson, R. W. (2010). "Process Control Instrumentation Technology." Pearson. 553 - 606
- [10] Srivastava, A. K. (2012). "Sensors and Transducers." PHI Learning Pvt. Ltd. 87 - 116.

REFERENCES*

- [1] GOST 6651–2009 "Gosudarstvennaja sistema obespechenija edinstva izmerenij Termopreobrazovateli soprotivlenija iz platiny, medi i nikelja." 5 – 20

- [2] Je.A.Ivanov, Sh.A. Bahtaev, E.O. Eleukulov (2012) "Metody i sredstva jelektro-radio-izmereniya" 241-260
- [3] John H. Moore, Christopher C. Davis Michael A. Coplan. (2012)." Measurement and control of temperature." Cambridge University Press. 40 - 60
- [4] Robert B. Northrop (2014). "Introduction to Measurement and Instrumentation." CRC Press.125 -180
- [5] Lipták, B. G. (2018). "Instrument Engineers' Handbook, Volume One: Process Measurement and Analysis." CRC Press. 561 - 709
- [6] Halit Eren. (2005). "Resistor Measurement." Wiley 1-10
- [7] Herold, K. E., & Howell, J. R. (1971). "Thermal Radiation Heat Transfer." NASA 60 - 120
- [8] Holman, J. P. (2010). "Experimental Methods for Engineers." McGraw-Hill Education. 381 - 444
- [9] Johnson, R. W. (2010). "Process Control Instrumentation Technology." Pearson. 553 - 606
- [10] Srivastava, A. K. (2012). "Sensors and Transducers." PHI Learning Pvt. Ltd. 87 - 116.

Бақтияр Брекешев, студент, Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, b.brekeshov@aes.kz

Бахытжан Байкенов, т.ғ.к., доцент, Ғ.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан, b.baikenov@aes.kz

ПЛАТИНАЛЫҚ ТЕРМОРЕЗИСТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ТЕМПЕРАТУРАНЫ ӨЛШЕУ ӘДІСІ

Андатпа. Ғылыми мақала PT100 және PT1000 термисторларына баса назар аударып, платина термисторлары арқылы температураны өлшеу әдістерін зерттеуге арналған. Нақты термокедергілердің жұмыс істеу принциптері, олардың температураны дәл өлшеуді қарастырылады және альтернативты өлшеу әдістерімен салыстырылады.

Мақаланың негізгі бағыты жылу термокедергілерін қолдану арқылы алынған нәтижелерді басқа әдістермен салыстырмалы талдауға бағытталған. Бұл салыстырмалы тәсіл термокедергіні нақты өлшеу және температураны өлшеу дәлдігі мен тиімділігіндегі артықшылығын көрсетеді.

Алынған нәтижелер платина термисторларының әртүрлі қолданбалы салаларда, соның ішінде өнеркәсіптік, медициналық және ғылыми зерттеулерде қолданылуы мүмкін екендігін көрсетеді. Бұл әртүрлі инженерлік қолданбалар үшін жоғары дәл және сенімді температураны өлшеу әдісін ұсынады.

Түйінді сөздер. Термокедергілер, платиналық термисторлар, температураны өлшеу, микроконтроллерлер, біріктірілген цифрлық датчиктер.

Baktiyar Brekeshov, student, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, b.brekeshov@aes.kz

Bakhytzhан Baikenov, candidate of technical sciences, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeev, Almaty, Kazakhstan, b.baikenov@aes.kz

METHOD OF TEMPERATURE MEASUREMENT USING PLATINUM THERMORESISTORS

Abstract. The scientific article is devoted to the study of temperature measurement methods using platinum thermistors, with an emphasis on thermistors PT100 and PT1000. The paper discusses in detail the operating principles of thermal resistances, their importance in accurate temperature measurements, and compares them with alternative measurement methods.

The focus of the article is on a comparative analysis of the results obtained using thermal resistances with data obtained by other methods. This comparative approach highlights the superiority of RTDs in temperature measurement accuracy and efficiency.

The findings highlight the potential for platinum thermistors to be used in a variety of applications, including industrial, medical, and scientific research, offering a highly accurate and reliable temperature measurement method for a variety of engineering applications.

Keywords. Thermal resistances, platinum thermistors, temperature measurement, microcontrollers, integrated digital sensors.
