

3. *Иванов, С. Г.* Сочетание дискуссии с экспериментом на уроке математики / С. Г. Иванов. Текст: непосредственный // Компьютерные инструменты в школе. 2009. № 2. С. 66–72.

УДК 378.162.33:536.5

Исаков Н. Н., Федоров Д. С., Бояринцев А. И., Хохлов К. О.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ДЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

Николай Николаевич Исаков

nnisakovlife@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Федоров

ddtzamen@yandex.ru

Александр Игоревич Бояринцев

ассистент

boyarincev.alex@gmail.com

Константин Олегович Хохлов

к.ф.-м.н., доцент

k.o.khokhlov@urfu.ru

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»,

Россия, г. Екатеринбург

LABORATORY PRACTICE FOR TEMPERATURE MEASUREMENTS

Nikolay Nikolaevich Isakov

Dmitry Sergeevich Fedorov

Alexander Igorevich Boyarintsev

Konstantin Olegovich Khokhlov

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education

«Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin»

***Аннотация.** В статье рассматриваются новые лабораторные стенды, предназначенные для проведения температурных измерений с помощью термопар и терморезисторов. Разработанные стенды планируется использовать в лабораторных работах кафедры экспериментальной физики Уральского Федерального Университета.*

***Abstract.** The article discusses new laboratory stands designed for temperature measurements using thermocouples and thermistors. The developed stands are planned to be used in laboratory practical work of the Department of Experimental Physics of the Ural Federal University.*

***Ключевые слова:** термопара; терморезистор; микроконтроллер; нагреватель; измерение температуры.*

***Keywords:** thermocouple; thermistor; microcontroller; heater; temperature measurement.*

Введение

В течение учебного процесса на кафедре экспериментальной физики (ЭФ) Физико-технологического института студенты проходят обучение по курсу «Измерительные методы и техника физических установок». В программе данного курса предусматривается проведение лабораторного практикума. В настоящее время необходимо создать несколько лабораторных стендов для практического обеспечения практикума. В частности, необходимы стенды для изучения температурных измерений с помощью различных датчиков температуры.

В статье рассматриваются стенды, разработанные для изучения принципов работы и основных характеристик термопар и терморезисторов — одних из наиболее применяемых на практике для измерения температуры устройств. Общая структурная схема стендов представлена на Рисунке 1.

Для каждого измерительного устройства: термопары или терморезистора, подобран ряд схем, рассматриваемых ниже, а также выбрана эталонная схема измерения температуры, чтобы учащиеся могли проводить сравнения и

анализировать успешность использования того или иного технического решения. Кроме того, студентам наглядно демонстрируется, каким образом информацию о температуре физического объекта можно преобразовать в цифровой вид для последующей обработки.

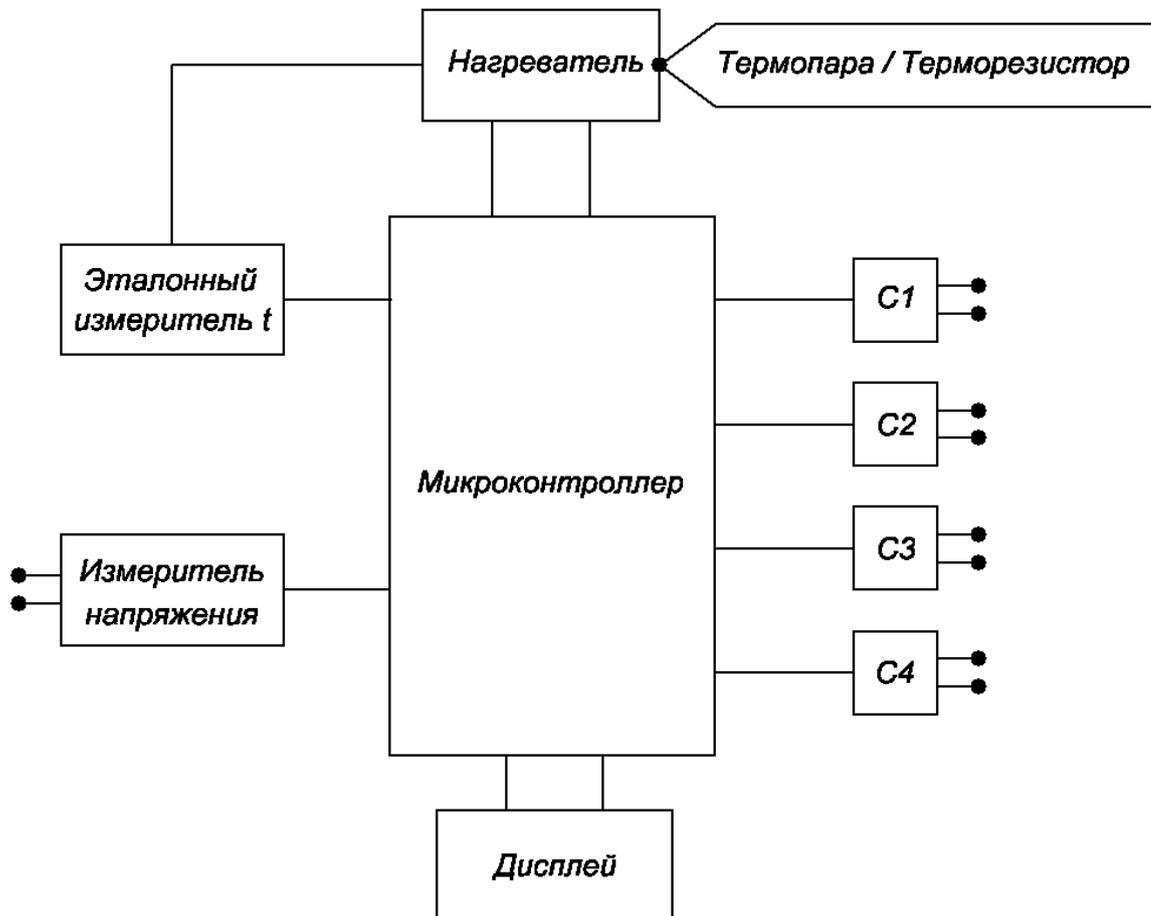


Рисунок 1 — Общая структурная схема лабораторного стенда

Оба стенда будут состоять из нескольких блоков. При этом некоторые блоки стендов будут идентичны. Ниже приведено описание каждого блока. Сначала приводятся одинаковые для обоих стендов решения, а затем их принципиальные различия.

1. **Микроконтроллер (МК).** Является главным управляющим элементом стенда, предназначен для задания температуры нагревателя, преобразования напряжения со схем измерений температуры в цифровой код и вывода необходимых данных на дисплей. Выбран микроконтроллер STM32F411CEU6,

который имеет встроенный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), аппаратную поддержку интерфейсов и другую периферию.

2. **Нагреватель.** Основная задача — обеспечивать необходимую температуру для её последующего измерения. Нагреватель реализован в виде двух параллельно соединенных цементных резисторов. Диапазон регулировки температуры нагревателя 25°C — 150°C . Регулировка температуры осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Сигнал с микроконтроллера подаётся на вход оптопары, посредством которой управляется ключ на полевом транзисторе. Чем больше коэффициент заполнения управляющего сигнала, тем выше температура нагревателя. Применение оптопары также обеспечивает гальваническую развязку между измерительными и силовыми цепями стенда.

3. **Эталонный измеритель температуры.** Измеритель, предназначенный для получения точных данных о температуре для последующего анализа значений, полученных с усилителей термодатчиков. Реализован по мостовой схеме на основе платинового термосопротивления Pt100, имеющего сопротивление $100\ \text{Ом}$ при температуре 0°C . Выбор этого элемента осуществлён в связи с его линейной зависимостью сопротивления от температуры, что позволяет добиться высокой точности температурных измерений.

4. **Измеритель напряжения с термопары.** Данный блок предназначен для измерения входного напряжения с измерительного элемента — термопары. Так как амплитуда сигнала с термопары небольшая (доли — десятки мВ), то для корректного измерения его необходимо усилить. Выбрана схема на основе дифференциального усилителя с коэффициентом усиления равным 100, для удобства последующих преобразований.

5. **Дисплей.** Индикатор, предназначенный для отображения необходимых данных о температуре, напряжении, а так же используемой в данный момент схемы включения измерительного устройства.

6. Схемы включения основных измерительных устройств (С1, С2, С3, С4). Каждая из схем обладает уникальным набором элементов и характеристик, а так же принципиально отличается методом измерения температуры и последующим преобразованием полученного сигнала в цифровой вид. Ниже приведено более подробное описание каждой из схем для термопарного и терморезисторного стенда.

Стенд температурных измерений с термопарами

Термопара в данном стенде является главным измерительным элементом, сигнал с которого будет подаваться на различные схемы включения для их последующего анализа. В выполняемой лабораторной работе будет использоваться термопара типа К (хромель-алюмель). Данная термопара обладает хорошей чувствительностью, а также её коэффициент Зеебека, равный приблизительно $41 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$, изменяется почти линейно в заданном диапазоне температур $25\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$ [1].

Ниже рассмотрены схемы включения для термопарного стенда.

С1. В первой схеме в качестве усилителя сигнала термопары используется операционный усилитель (ОУ) LM258. Данный ОУ имеет большое напряжение смещения по входу, высокий температурный дрейф входного напряжения смещения. В данной схеме отсутствует компенсация холодного спая и подстройка коэффициента усиления. Всё это ведет к тому, что при небольших колебаниях температуры окружающей среды измеренная температура с помощью этой схемы будет сильно отличаться от реальной. Данная схема показывает насколько внимательно нужно относиться к выбору ОУ и к компенсации холодного спая.

С2. В качестве второй схемы включения термопары используется схема с аппаратной компенсацией холодного спая с помощью температурного датчика TMP36. Резистивный делитель, расположенный после датчика, рассчитан таким образом, чтобы ввести компенсирующий коэффициент температуры холодного спая $\approx -41 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$. Для усиления сигнала с термопары используется ОУ AD8552, который имеет малое напряжение смещения по входу и низкий

температурный дрейф входного напряжения смещения. Также имеется подстройка коэффициента усиления для получения требуемой характеристики преобразования.

С3. Третья схема основана на применении термопарного усилителя AD8495. Данная микросхема содержит в себе температурный датчик для компенсации изменения температуры окружающей среды, а так же усилитель с коэффициентом усиления 122. Заявленная выходная чувствительность AD8495—5 мВ/°С для используемой термопары типа К. Преимущества такой микросхемы — минимальное использование внешних компонентов.

С4. В последней схеме включения термопары используется специализированная микросхема MAX31855 с компенсацией температуры холодного спая. Она содержит локальный датчик температуры, прецизионный усилитель, 14-разрядный АЦП и источник опорного напряжения. Выходные данные о температуре передаются уже в цифровом виде по интерфейсу SPI. Данное устройство может работать с термопарами К, J, N, Т типов и измеряет температуру с разрешением 0,25 °С.

Рекомендуемый порядок работы:

1. Изучить электрическую схему.
2. Измерить зависимость входного напряжения с термопары от температуры с помощью схемы измерителя напряжения. Рассчитать коэффициент преобразования мкВ/°С.
3. Измерить и построить зависимость выходного напряжения для каждой из схем от температуры. Рассчитать коэффициент преобразования В/°С.
4. Построить зависимость выходного напряжения для каждой из схем от входного напряжения. Рассчитать коэффициент усиления, оценить линейность преобразования.

Стенд температурных измерений с терморезисторами.

Измерение температуры с помощью терморезисторов производится благодаря способности последних менять своё сопротивление в зависимости от

температуры окружающей среды [2]. Были подобраны несколько схем с помощью которых мы пытаемся добиться максимальной точности проводимых измерений [3]. Для каждой схемы измеряется выходное напряжение с помощью АЦП и выводится на экран.

С1. Первая схема измерения представляет собой резистивный делитель напряжения, в нижнее плечо которого включен NTC-термистор. Она является наиболее простым вариантом подключения. При выборе номинала резистора примерно равным сопротивлению термистора в районе измеряемых температур, значения напряжения будут изменяться ближе к линейным.

С2. Схема повторяет предыдущую, но термистор шунтирован постоянным резистором. Шунтирование термистора дает следующие изменения: уменьшение мощности, рассеиваемой на термисторе; улучшение линейности; несколько ухудшается чувствительность измерений.

С3. Третья схема является модификацией первой схемы и представляет собой двухдиапазонное измерение температуры посредством переключения резисторов в делителе напряжения. При низких температурах используется делитель с высокоомным резистором, при высоких температурах с резистором, сопротивление которого сравнимо с сопротивлением термистора. Переключение происходит с помощью микроконтроллера. Число диапазонов можно увеличить, используя другие выходные выводы портов МК.

С4. В последней схеме используется РТС термистор, который включен в верхнее плечо резистивного делителя напряжения. Данную схему необходимо сравнить с первой схемой и сделать вывод о преимуществах и недостатках каждой из схем.

Рекомендуемый порядок работы:

1. Изучить электрическую схему.
2. Измерить зависимость сопротивления термистора от температуры с помощью измерителя сопротивления.
3. Измерить и построить зависимость выходного напряжения для каждой из схем от температуры. Оценить линейность каждой схемы.

4. Сделать вывод о том, какой температурный диапазон применим для каждой схемы.

Заключение

Представленные лабораторные стенды, предназначенные для использования в лабораторном практикуме «Измерительные методы и техника физических установок». В данном лабораторном практикуме студенты изучат особенности методик и технику температурных измерений, характеристики температурных датчиков, схемы обработки сигнала с датчиков и последующее преобразование информации о температуре в цифровой вид.

Список литературы

1. *Клаасен, К.* Основы измерений. Датчики и электронные приборы // К. Клаасен; пер. с англ. Е. В. Воронова, А. Л. Ларина. 4-е изд. Долгопрудный (Московская обл.): Интеллект, 2012. 350 с. Текст: непосредственный.

2. *Воронов, К. Е.* Исследование датчиков температуры: методические указания / К. Е. Воронов. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. 18 с. Текст: непосредственный.

3. *Температурные датчики.* Терморезисторы в схемах на МК. Текст: электронный // Nauchebe.net. Техника и Программы. URL: <http://nauchebe.net/2011/04/temperaturnye-datchiki-termorezistory-v-sxemaх-na-mk>. Текст. Изображение: электронные.