

В. В. Чернецкий, Т. В. Ишина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОННОГО ТЕРМОМЕТРА

Аннотация. В данной работе была разработана принципиальная схема электронного термометра, который может применяться при измерении температуры воздуха на улице и в помещении. Данный термометр имеет диапазон температур от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$. По разработанной схеме изготовлена печатная плата, написана программа. Предложена методика калибровки для электронного термометра. Проведены измерения, по итогам которых определены абсолютная погрешность и неопределённость по типу В. Результаты расчётов показывают, что абсолютная погрешность сконструированного термометра составляет не более $0,2^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: электронный термометр, принципиальная электрическая схема, печатная плата, калибровка, методика калибровки, абсолютная погрешность, неопределённость по типу В.

V. V. Chernetsky, T. V. Ishina

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

DEVELOPMENT OF A CALIBRATION TECHNIQUE FOR DETERMINING THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF A CONSTRUCTED ELECTRONIC THERMOMETER

Abstract. In this work, a schematic diagram of an electronic thermometer has been developed, which can be used to measure the temperature of the air outside and indoors. This thermometer has a temperature range from -30°C to $+40^{\circ}\text{C}$. According to the developed scheme, a printed circuit board is made, a program is written. A calibration technique for an electronic thermometer is proposed. Measurements were carried out, according to the results of which the absolute error and uncertainty of type B were determined. The calculation results show that the absolute error of the constructed thermometer is no more than $0,2^{\circ}\text{C}$.

Keywords: electronic thermometer, circuit diagram, printed circuit board, calibration, calibration procedure, absolute error, type B uncertainty.

Введение

Электронные термометры актуальны в быту и на производстве для непрерывного и быстрого определения температуры окружающего воздуха. Кроме этого, они обладают многими полезными функциями, недоступными для других видов термометров. В состав электронного термометра входит выносной температурный датчик, который включает в себя термопару – чувствительный элемент, приспособленный к изменению температуры окружающей среды. Наличие выносного устройства расширяет возможности прибора.

Как правило, для каждого электронного термометра необходимо знать его метрологические характеристики, определяемые различными методиками калибровки. Для решения этого вопроса были поставлены следующие задачи:

- сконструировать электронный термометр,
- разработать методику калибровки.

Конструирование термометра

Для конструирования электронного термометра необходимо составить принципиальную схему [1], показанную на рисунке 1.

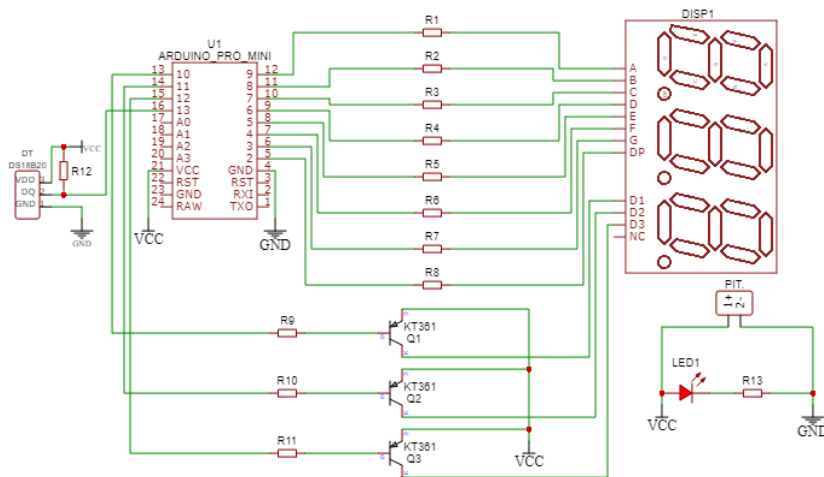


Рис. 1. Принципиальная схема электронного термометра

На рисунке 2 представлена печатная плата [2], разработанная для указанной принципиальной схемы.

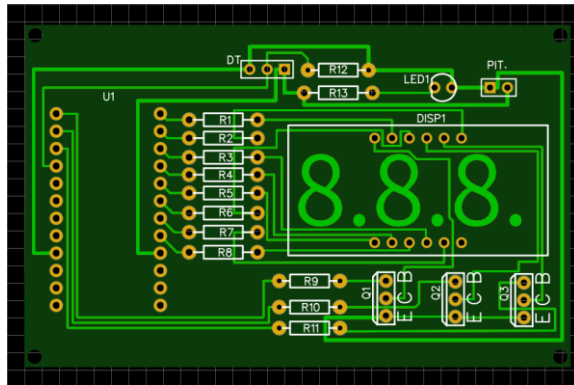


Рис. 2. Печатная плата электронного термометра

В результате моделирования была изготовлена плата, изображённая на рисунке 3.

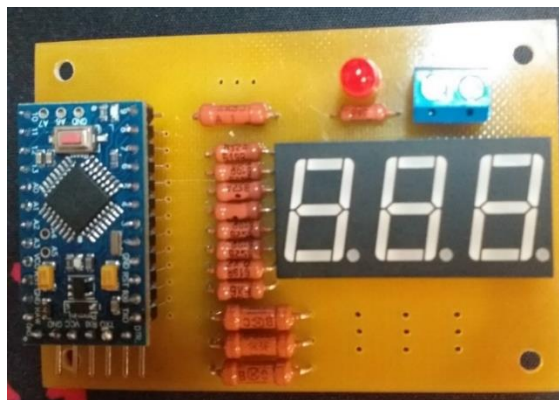


Рис. 3. Плата по результатам моделирования

Программирование термометра

Первая часть программы была написана для датчика DS18B20 для вывода данных с него на экран монитора. Код программы представлен на рисунке 4.

```

1 #include <OneWire.h>
2 OneWire ds(13);
3
4 void setup(void) {
5   Serial.begin(9600);
6 }
7 void loop(void) {
8   byte i; //для проверки датчика
9   byte data[12]; //для проверки датчика
10  byte addr[8]; //для проверки датчика
11  float celsius; //для проверки датчика
12
13  ds.reset();
14  ds.write(0xCC);
15  ds.write(0x44);
16      delay(1000); //для проверки датчика
17  ds.reset(); //для проверки датчика
18  ds.write(0xCC); //для проверки датчика
19  ds.write(0xBE); //для проверки датчика
20
21  for ( i = 0; i < 2; i++) { //для проверки датчика
22    data[i] = ds.read(); //для проверки датчика
23  }
24  int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0]; //для проверки датчика
25  celsius = (float)raw / 16.0; //для проверки датчика
26  Serial.println(celsius); //для проверки датчика
27
28  ds.reset();
29  ds.write(0xCC);
30  ds.write(0xBE);
31  int temp=ds.read();
32  temp = (ds.read()<<8) | temp;
33  temp = (temp*10) >> 4;
34  Serial.println(temp);
35 }

```

Рис. 4. Программный код для датчика DS18B20

Вторая часть программы была написана для дисплея, для вывода числа, указанного в программе. Код представлен на рисунке 5.

```

1 #include "SevSeg.h"
2 SevSeg sevseg;
3
4 void setup(){
5   byte numDigits = 3;
6   byte digitPins[] = {10,11,12};
7   byte segmentPins[] = {9,8,7,6,5,4,3,2};
8   bool resistorsOnSegments = true;
9   bool updateWithDelaysIn = true;
10  byte hardwareConfig = P_TRANSISTORS;
11  sevseg.begin(hardwareConfig, numDigits, digitPins, segmentPins, resistorsOnSegments);
12  sevseg.setBrightness(50);
13 }
14
15 void loop(){
16  sevseg.setNumber(112,1);
17  sevseg.refreshDisplay();
18 }

```

Рис. 5. Программный код для дисплея

В итоге обе части были соединены в одну общую программу, которая была зашита на микроконтроллер. Код программы представлен на рисунке 6.

```

1 #include <OneWire.h>
2 OneWire ds(13); // Датчик подключён к 13 пину Arduino
3
4 #include "SevSeg.h"
5 SevSeg sevseg;
6
7 void setup(void) {
8     Serial.begin(9600);
9
10    byte numDigits = 3;
11    byte digitPins[] = {10,11,12};
12    byte segmentPins[] = {9,8,7,6,5,4,3,2};
13    bool resistorsOnSegments = true;
14    bool updateWithDelaysIn = true;
15    byte hardwareConfig = P_TRANSISTORS;
16    sevseg.begin(hardwareConfig, numDigits, digitPins, segmentPins, resistorsOnSegments);
17    sevseg.setBrightness(50);
18 }
19
20 void loop(void) {
21
22     ds.reset();
23     ds.write(0xCC);
24     ds.write(0x44);
25
26     ds.reset();
27     ds.write(0xCC);
28     ds.write(0xBE);
29
30     int temp=ds.read();
31     temp = (ds.read()<<8) | temp;
32     temp = (temp*10) >> 4;
33     sevseg.setNumber(temp,1);
34     sevseg.refreshDisplay();
35 }

```

Рис. 6. Код программы для электронного термометра

Разработка методики калибровки для определения метрологических характеристик сконструированного термометра

Так как сконструированный термометр является неутверждённым в госреестре, то для определения метрологических характеристик термометра необходимо было разработать методику калибровки [3].

Для этого необходимо определить основные пункты методики калибровки, выбрать эталонное средство калибровки и методы обработки результатов измерений, а также составить саму методику калибровки.

Предложенная методика распространяется на измеритель температуры модели Терм-ВВ (далее – Термометр) и предназначена для проведения первичных и периодических калибровок. В общем случае межкалибровочный интервал составляет два года, однако средство измерения (СИ) подлежит внеочередной калибровке после ремонта.

В настоящей методике калибровки применены следующие термины с соответствующими определениями [4]:

– неопределённость измерения – параметр, относящийся к результату измерений и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обосновано приписаны измеряемой величине [5];

– средство измерения – техническое средство, предназначенное для измерений;

– калибратор – измерительный прибор, предназначенный для воспроизведения температуры;

– прослеживаемость – свойство эталона единицы величины, средства измерения или результата измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном или национальным первичным эталоном иностранного государства соответствующей единицы величины посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений [6].

При проведении калибровки необходимо выполнять операции и применять оборудование, указанные в таблице № 1.

Таблица 1

Наименование операции	Средства калибровки и их характеристики	Обязательность проведения при калибровке	
		Первичной и после ремонта	Периодический
Внешний осмотр	Визуально	Да	Да
Опробование	Визуально	Да	Да
Определение диапазона измерения температуры	Калибратор температуры RTC - 159	Да	Да
Определение абсолютной погрешности и неопределенности измерения температуры	Калибратор температуры RTC - 159	Да	Да

Примечание: допускается применять другое оборудование, обеспечивающее требуемую точность измерений. При эксплуатации калибратора необходимо опираться на «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденные Госэлектроннадзором.

При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °C 20 ± 5
- относительная влажность, % 65 ± 15
- атмосферное давление, мм рт. ст. 720 ± 30

К проведению измерений при калибровке должны быть допущены лица, аттестованные в качестве калибровщиков в порядке, установленном законодательством РФ.

При проведении внешнего осмотра измерителя температуры должны быть подтверждены комплектность и отсутствие механических повреждений.

При проведении калибровки после включения термометра в сеть на дисплее должно высветиться показание температуры окружающей среды. Определение диапазона измерения температуры термометра проводят с помощью эталонного калибратора температуры. В металлический блок калибратора устанавливают датчик температуры термометра. На панели управления калибратора температуры задают нижние значения температурного диапазона измерения, а затем верхние значение диапазона измерения. После выхода термостата на температурный режим снимают показания и сравнивают измеренные значение с заданными значениями.

Определение абсолютной погрешности измерения температуры измерителя температуры проводилось при девяти значениях температуры: -10, -9, 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 °C.

На дно металлического блока эталонного калибратора был установлен датчик температуры термометра. После выхода эталонного калибратора на выставленный температурный режим, были сняты показания с эталонного калибратора и показания с дисплея термометра. В течение 15 минут для каждого температурного режима было проведено 10 измерений.

При обработке результатов измерений стандартную неопределенность по типу А не оценивают. Стандартную неопределенность по типу В оценивают, предполагая равномерное распределение, по формуле (1):

$$u_B(X_i) = \frac{\Delta_p}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где Δ_p – основная абсолютная погрешность калибруемого прибора;
и по формуле (2):

$$u_B(X_{эт}) = \frac{\Delta_{эт}}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{ЭТ}}$ – основная абсолютная погрешность образцового СИ (основная абсолютная погрешность термостата $\pm 0,06$ °С).

Коррелированные величины отсутствуют, дополнительный анализ и расчет не требуется. Суммарную неопределенность результата измерений определяют по формуле (3):

$$U_{\text{сум}}(X_i) = \sqrt{u_B(X_i)^2 + u_B(X_{\text{ЭТ}})^2}. \quad (3)$$

Расширенную неопределенность рассчитывают для вероятности охвата 0,95 по формуле (4). Коэффициент охвата для указанной вероятности равен 2:

$$U = U_{\text{сум}}(X_i) \cdot K. \quad (4)$$

В таблице № 2 для примера приведены результаты измерений и расчёта метрологических характеристик термометра для температур: -10°С и -9°С.

Таблица 2

Точка калибровки	Измеренное значение температуры термометром Терм-ВВ, °С	Заданное значение температуры термостатом RTC-159, °С	Абсолютная погрешность (для каждого измерения), °С	Абсолютная погрешность, °С	Неопределенность			
					Вклад в стандартную неопределенность образцового СИ $u_B(X_{\text{ЭТ}})$	Вклад в стандартную неопределенность калибруемого СИ $u_B(X_i)$	Неопределенность измерения по типу В	Расширенная неопределенность для вероятности охвата 0,95
-10	-9,8	-10,00	0,20	0,2	0,03	0,12	0,12	0,24
	-9,7		0,30					
	-9,9		0,10					
	-9,8		0,20					
	-9,8		0,20					
	-9,7		0,30					
	-9,9		0,10					
	-9,9		0,10					
	-9,7		0,30					
	-9,8		0,20					
-9	-8,8	-9,00	0,20	0,19	0,03	0,11	0,12	0,23
	-8,9		0,10					
	-8,7		0,30					
	-8,8		0,20					
	-8,9		0,10					
	-8,7		0,30					
	-8,8		0,20					
	-8,9		0,10					
	-8,9		0,10					
	-8,7		0,30					

Аналогичные измерения и расчёты были проведены для температур: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30°С.

Оформление результатов калибровки

Результаты калибровки заносятся в протокол [3].

После проведения калибровки на термометр выдают сертификат о калибровке с указанием всех величин, проверяемых в процессе калибровки согласно РД РСК 02-2014 «Порядок организации деятельности Российской системы калибровки».

Заключение

В результате выполнения работы был сконструирован электронный термометр Терм-ВВ. Для термометра была разработана и использована методика калибровки. В результате проведения калибровки была определена величина абсолютной погрешности и

неопределённость по типу В. Данная методика может применяться для самодельных электронных термометров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Камнев В. Н. Чтение схем и чертежей электроустановок. Второе издание //Москва «Высшая школа». 1990. С. 49–71.
2. Махмудов М. Механическая обработка печатных плат. // Изд. «Радио и связь». 1986. С. 4–13.
3. Р РСК 002-06 «Рекомендация РСК Основные требования к методикам калибровки, применяемым в российской системе калибровки».
4. РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
5. ГОСТ Р 54500.1-2011. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.
6. Федеральный Закон РФ от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

REFERENCES

1. Kamnev V.N., Chtenie shem i chertegei electroustanovok [Reading diagrams and drawings of electrical installations]. Vtoroe izdanie //Moskva «Vishaya shkola» [Second edition //Moscow «High School»]. 1990, pp. 49-71.
2. Makhmudov M. Mehanicheskaya obrabotka pechatnyih plat [Mechanical processing of printed circuit boards]. //Izd. «Radio i svyaz'» [Ed. "Radio and communications"]. 1986, pp. 4-13.
3. R RSK 002-06 «RSK Recommendation Basic requirements for calibration methods used in the Russian calibration system» (in Russian).
4. RMG 29-2013 «GSI. Metrology. Basic terms and definitions» (in Russian).
5. GOST R 54500.1-2011. Measurement uncertainty. Part 1. Introduction to Measurement Uncertainty Guidelines (in Russian).
6. Federal Law of the Russian Federation No. 102-FZ of 26.06.2008 «On ensuring the uniformity of measurements» (in Russian).

Информация об авторах

Чернецкий Виталий Владимирович – обучающийся кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ChVitalya2804@yandex.ru

Ишина Татьяна Витальевна – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика транспорта», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: t.v.ishina@yandex.ru

Information about the authors

Chernetsky Vitaly Vladimirovich – student of the Department of "Physics of Mechanics and Instrumentation", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ChVitalya2804@yandex.ru

Ishina Tatiana Vitalievna – Senior Lecturer of the Department of "Electric Power Engineering of Transport", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: t.v.ishina@yandex.ru