

СЕНЗОРЕН МОДУЛ ЗА ВКЛЮЧВАНЕ НА ТЕРМИСТОРИ

*Звездица Ненова*¹⁾, *Недю Недев*²⁾, *Стефан Иванов*³⁾

¹⁾ ТУ-Габрово, ул. „Х.Димитър“ 4, гр.Габрово, *z_nenova@yahoo.com*

²⁾ ТУ-Габрово, ул. „Х.Димитър“ 4, гр.Габрово, *nedyu.nedev@gmail.com*

³⁾ ТУ-Габрово, ул. „Х.Димитър“ 4, гр. Габрово, *st_ivanov@abv.bg*

Резюме: Измерването на температурата е важна задача в индустрията, селското стопанство, медицината, контрола на параметрите на околната среда, бита и др. В настоящата работа се предлага сензорен модул за включване на термистори на основата на таймер 555 и микроконтролер Pic16F1825. Модулът има честотен изход за директно включване към измервателни системи, използващи USB-модул за събиране на данни и два изхода към него от микроконтролера, където може да се извърши предварителна обработка на честотния сигнал. Извършена е корекция на нелинейността чрез подбор на времезадаващите параметри на таймерната схема. Представена е структура на компютърно базирана система за измерване на температура на основата на разработения сензорен модул и виртуален инструмент за управление на работата ѝ.

Ключови думи: термистор, температура, сензорен модул, корекция на нелинейността

1. Въведение

Температурата на околната среда е важен физически фактор, който създава в човешкия организъм усещането за топлина и студ. Тя е параметър на микроклимата на работната среда, подлежащ на нормативен контрол. Оказва също влияние върху скоростта на протичане на редица химически и физически процеси и върху свойствата на веществата [1, 2]. Поради големия брой физически явления, както и многообразието от вещества (метали и неметали), променящи свойствата си при изменение на температурата, се прилагат различни методи и сензори за нейното измерване [3-5]. Въпреки голямото разнообразие на температурни сензори, най-широко приложение са намерили термоелектрическият тип сензори (термодвойките) и терморезисторите – метални или полупроводникови (термистори) [4, 6]. От термисторите за целите на измерването най-често се използват тези с отрицателен температурен коефициент на съпротивление (NTC).

В настоящата работа е представен сензорен модул за включване на NTC-термистори, позволяващ свързване към USB-модули за събиране на данни и управление с корекция на нелинейността на сензорните характеристики.

2. Схема на Сензорния Модул

При използване на термисторите за измерване на температура, те се включват в съответни измервателни схеми - най-често делители на напрежение или мостови схеми. Друга група схеми на включване на термисторите са тези с честотен изход, характеризиращи се с по-висока

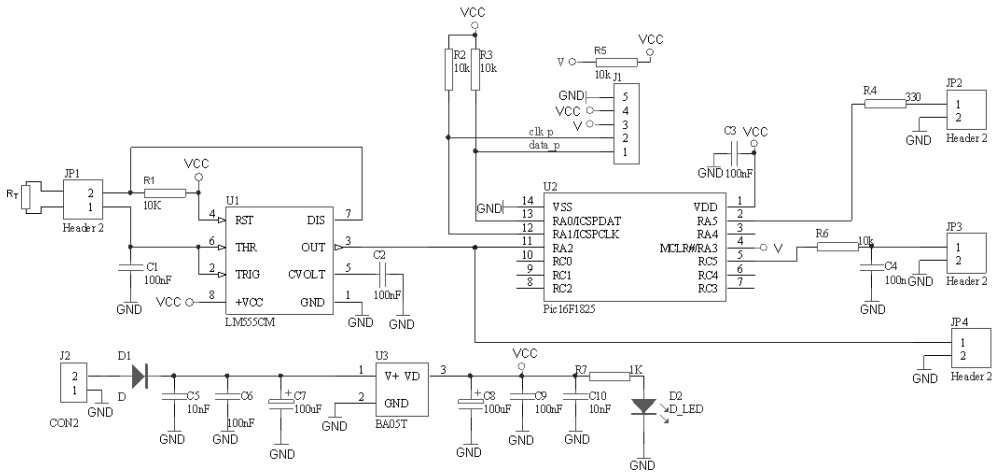
шумоустойчивост, характерна за честотната модулация [7]. Поради силно изразената нелинейност на характеристиката на NTC-термисторите, която е от експоненциален тип, се прилагат различни методи за корекция на нелинейността. Изхождайки от предимствата на схемите с честотен изход за включване на термистори, както и възможността за корекция на нелинейността с помощта на подбор на параметрите на времезадаващите им елементи, в разработения сензорен модул е използвана измервателна схема на основата на таймер 555 [8]. Схемата на сензорния модул е представена на фиг. 1.

Съответният термистор R_T се включва във времезадаващата верига на таймер 555 (U_1), който работи в мултивибраторен режим. Изходната честота на таймера при това се определя със зависимостта [8, 9]

$$f = \frac{1.4}{(R_1 + 2R_T)C_1}, \quad (1)$$

където R_T е съпротивлението на термистора, а R_1 и C_1 са параметрите на другите времезадаващи елементи от схемата.

Изходният честотен сигнал от таймера от една страна се извежда като изходен сигнал на сензорния модул, а от друга страна се подава на входа на микроконтролер Pic16F1825 (U_2), от който се извеждат широчинно-импулсно модулиран и напреженов сигнали. Сензорният модул може да се включи към измервателни системи посредством USB-модул за събиране на данни и управление (DAQ USB-модул). Чрез подходящ подбор на



Фиг.1. Принципно електрическа схема на сензорния модул

параметрите на времезадаващите елементи може да се извърши корекция на нелинейността на сензорната характеристика и директно да се използва изходът от таймерната схема. Ако такава линеаризация не се извършва или е необходима допълнителна корекция на нелинейността, тогава се използват изходите от микроконтролера, които дават възможност за допълнителна софтуерна линеаризация.

В сензорния модул се използва еднополярна схема за формиране на захранващото напрежение, изградена на основата на интегрален стабилизатор BA05T (U3).

3. Корекция на Нелинейността на Сензорните Характеристики

Съпротивлението R^T на термисторите в зависимост от изменението на температурата се описва с уравнението

$$R_T = A e^{B/T}, \quad (2)$$

където A е константа, съответстваща на съпротивлението на термистора при $T \rightarrow \infty$ ($1/T \rightarrow 0$), B е константата на материала в K (най-често това е стойността B_{25-85}), T е температурата в K .

Това съпротивление може да се представи като [6, 8]

$$R_T = R_{T25} e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)}, \quad (3)$$

където R_{T25} е съпротивлението на термистора

при $25^\circ C$ (298 K).

Функцията (1) се характеризира с инфлексна точка [8], около която скоростта на изменение на изходната величина спрямо входната се променя най-малко и характеристиката на измервателната схема може да се разглежда като линеаризирана в този участък. Корекцията на нелинейността на характеристиката на схемата в значителна степен може да се постигне чрез подбор на стойностите на времезадаващ елемент R_1 в съответствие с предложения в [8] подход. На негова основа, за конкретен термистор, в зависимост от параметрите му B , R_{T25} и съотношението $k = R_{T25}/R_1$ може да се управлява положението на инфлексната точка на характеристиката на таймерната схема и следователно - и положението на линеаризирания участък. Стойността на другия времезадаващ елемент C_1 влияе само върху стръмността на характеристиката, т.е. чрез подбора на C_1 може да се изменя изходният диапазон на честотата на сензорния модул.

Корекцията на нелинейността е извършена за термисторите, чиито параметри са представени в табл.1.

Термисторът Ther_1 е изготвен по зол-гел технология на основата на V_2O_5 [10]. Слойт V_2O_5 е нанесен върху подложки от Al_2O_3 с размери $15 \times 9 \times 1$ mm със сребърно-паладиеви паралелни електроди и след това е синтерован при $600^\circ C$.

Таблица 1. Параметри на термисторите

Термистор	Тип	R_{T25} , k Ω	B , K
Ther_1	Тънкслоен термистор	23.5	2166
Ther_2	NJ28MA0302	3	3960
Ther_3	NJ28MA0503	50	4250

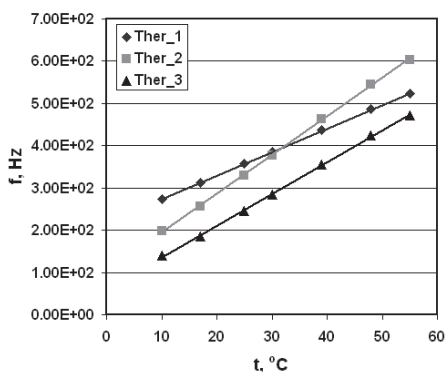
В съответствие с указания подход, при $k=R_{T25}/R_f=1$ температурата, при която се намира инфлексната точка t_{inf} на характеристиката (за краткост – температура на инфлексната точка) практически не се влияе от стойността на B на термисторите и е приблизително при 35°C (308K). Както беше отбелязано, около инфлексната точка се намира участъкът с най-голяма линейност на характеристиката.

Таблица 2. Номинали на съпротивлението на времезаваящия параметър R_f

Термистор	R_f , k Ω
Ther_1	25
Ther_2	3.3
Ther_3	51

В зависимост от стойностите на съпротивлението R_{T25} на термисторите при 25°C , приведени в табл.1, за указаната стойност на параметъра $k=1$ са получени стойности на времезаваящия параметър R_f и са подбрани номинали на съпротивлението му, представени в табл.2.

На фиг.2 са представени характеристиките на таймерната схема при стойности на параметъра R_f в съответствие с табл.2 и стойности на C_f съответно $1nF$, $2.2nF$ и $30pF$ за термисторите Ther_1, Ther_2 и Ther_3, в температурния диапазон $10...55^\circ\text{C}$ като t е температурата в $^\circ\text{C}$. В този диапазон при $t_{inf}=35^\circ\text{C}$ нелинейността на тези характеристики не превишава $\pm 1\%$.



Фиг.2. Характеристики $f = F(t)$ на таймерната схема

На основата на получените резултати и за трите типа термистори за диапазона $10...55^\circ\text{C}$ по метода на най-малките квадрати са получени регресионни модели $t = F_1(f)$ съответно за Ther_1, Ther_2 и Ther_3

$$t = 0.1795 f - 39,123, R = 0.9999 \quad (4)$$

$$t = 0.1099 f - 11,608, R = 0.9995 \quad (5)$$

$$t = 0,1336 f - 8,2675, R = 0.9992 \quad (6)$$

Високият коефициент на детерминираност R^2 показва доброто описание на функциите на преобразуване на схемата и в трите случая с линейна зависимост.

При необходимост от допълнителна корекция на нелинейността за по-широк температурен диапазон може да се извърши допълнителна софтуерна линеаризация чрез микроконтролера в сензорния модул

4. Компютърно Базирана Система за Измерване на Температура

Структурна схема на компютърно базирана система на основата на сензорния модул е представена на фиг.3.

Освен съответния термистор и разработения сензорен модул тя включва DAQ модул NI USB-6008 за събиране на данни и управление. Модулът NI USB-6008 дава възможност за реализиране на 8 единични (SE) (с обхват $\pm 10V$) или 4 диференциални (DI) аналогови входа с честота на дискретизация 10 kHz ; 12 цифрови входа/изхода; 2 аналогови изхода и 1 броячен вход.



Фиг.3. Структурна схема на DAQ-система на основата на сензорния модул

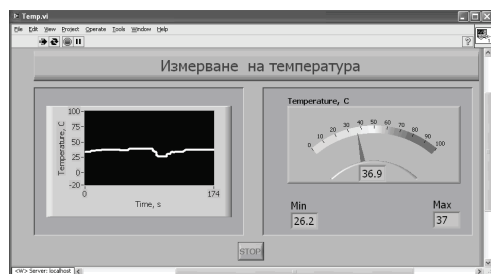
За измерване на температурата и обработка на резултатите, в програмна среда LabVIEW е разработен виртуален инструмент Temp.vi.

Предният панел на виртуалния инструмент (ВИ) е представен на фиг.4.

Стойността на измерената температура се визуализира посредством аналогов и цифров индикатор, а изменението ѝ във времето - чрез

виртуален осцилоскоп.

При реализирането на ВИ са използвани получените регресионни модели, които се въвеждат посредством експресния виртуален инструмент Formula на Express VI. Това дава възможност входният честотен сигнал да се преобразува и представи като съответна температура. ВИ Temp.vi позволява също така да се извършва следене на минималната и максимална стойност на измерената температура.



Фиг. 4. Преден панел на ВИ Temp.vi

5. Заключение

Разработеният сензорен модул дава възможност за включване на различен тип термистори и реализирането на компютърно базирани системи за измерване на температура чрез свързване с DAQ USB-модули. Сензорният модул позволява да се извършва схема корекция на нелинейността чрез подбор на времезадаващите параметри на таймерната схема, както и допълнителна софтуерна линеаризация на сензорната характеристика посредством използване на възможностите на микроконтролера в него. Предлаганият виртуален инструмент позволява измерване на температура при включване на различни термистори към входа на сензорния модул.

Литература

[1] Meng Li, Hui Wu, Yan Huang, and Zhaohui Su, Effects of Temperature and Template Surface on Crystallization of Syndiotactic Polystyrene in Cylindrical Nanopores, *Macromolecules*, 2012, 45 (12), pp.5196–5200.

[2] Mao-Sheng Cao, Wei-Li Song, Zhi-Ling Hou, Bo Wen, Jie Yuan, The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites, *Carbon*, Vol. 48, Issue 3, March 2010, pp.788–796.

[3] З.Ненова, С. Иванов, Т.Ненов *Сензори*

в индустриалната автоматизация. Екс-Прес, Габрово, 2011.

[4] Р.Г.Джексон, *Новейшие датчики*, Москва, Техносфера, 2007, 384с.

[5] Ж.Аш с соавтоторами., *Датчики измерительных систем*, Москва, Мир, Кн.1, 1992., 480с.

[6] Э. Д.Маклин *Терморезисторы*. Пер. с англ., Радио и связь, Москва, 1983.

[7] П.В.Новицкий, В.Г. Кнорринг, В.С. Гутников. *Цифровые приборы с частотными датчиками*. Ленинград, "Энергия", 1970.

[8] Z.Nenova, T.Nenov. Linearization Circuit of the Thermistor Connection. *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, 2009, Vol. 58, No 2, pp.441–449.

[9] M.Tooley, *Practical digital electronics handbook*. PC Publishing, London, 1988.

[10] C. J. Fontenot, J. W. Wiench, M. Pruski, G. L. Schrader. Vanadia Gel Synthesis via Peroxovanadate Precursors. 2. *Characterization of the Gels*. *J. Phys. Chem. B*, 2001, 105 (43), pp. 10496–10504.

Данни за авторите:

Звездица Петрова Ненова Маг. инж. специалност „Информационно-измервателна техника“ (1983г.), Доктор (1990 г.), Доцент (1999г.), Професор (2013г.) катедра „Основи на електротехниката и електроенергетиката“, факултет „Електротехника и електроника“, ТУ-Габрово. Научни интереси: Електроизмервателна техника; Методи и средства за измерване на температура, влажност и концентрация на газове; Компютърно базирани системи за измерване; Виртуален инструментариум.

Недю Дянов Недев Маг. инж. специалност „Комуникационна техника и технологии“ (2001г.), Доктор (2014г.), Главен асистент (2015г.) катедра „Основи на електротехниката и електроенергетиката“, факултет „Електротехника и електроника“, ТУ-Габрово. Научни интереси: Методи и средства за измерване на температура и влажност; Виртуален инструментариум.

Стефан Иванов Иванов Маг. инж. специалност „Компютърни системи и технологии“ (2002г.), Доктор (2008г.), Доцент (2011г.), катедра „Автоматика, информационна и управляваща техника“, факултет „Електротехника и електроника“, ТУ-Габрово. Научни интереси: Интелигентни сензори и системи; Приложение на изкуствени невронни мрежи при обработка на информация от мултисензорни системи.

SENSOR MODULE FOR THERMISTORS' CONNECTION

Zvezditsa Nenova¹⁾, Nedyu Nedev²⁾, Stefan Ivanov³⁾

¹⁾ TU-Gabrovo, H.Dimitar 4 Str., Gabrovo, *z_nenova@yahoo.com*

²⁾ TU-Gabrovo, H.Dimitar 4 Str., Gabrovo, *nedyu.nedev@gmail.com*

³⁾ TU-Gabrovo, H.Dimitar 4 Str., Gabrovo, *st_ivanov@abv.bg*

Abstract: The temperature measurement is an important task in industry, agriculture, medicine, control of environmental parameters, lifestyle, etc. The present work proposes a sensor module for thermistors' connection based on 555 timer and Pic16F1825 microcontroller. The sensor module has frequency output for direct connection to measuring systems using USB-module for data acquisition and control and two outputs to it from the microcontroller, where a preprocessing of frequency signal can be carried out. Nonlinearity correction by selection of timer circuit parameters is made. Structure of a computer-based system for temperature measurement based on the developed sensor module and virtual instrument for its control are presented.

Key-Words: thermistor, temperature sensor, sensor module, correction of nonlinearity

References

- [1] Meng Li, Hui Wu, Yan Huang, and Zhao-hui Su, Effects of Temperature and Template Surface on Crystallization of Syndiotactic Polystyrene in Cylindrical Nanopores, *Macromolecules*, 2012, 45 (12), pp.5196–5200
- [2] Mao-Sheng Cao, Wei-Li Song, Zhi-Ling Hou, Bo Wen, Jie Yuan, The effects of temperature and frequency on the dielectric properties, electromagnetic interference shielding and microwave-absorption of short carbon fiber/silica composites, *Carbon*, Volume 48, Issue 3, March 2010, pp.788–796.
- [3] Z.Nenova, S. Ivanov, T.Nenov. *Ssnzori v industrialnata avtomatizacija*. Eks-Pres, Gabrovo, 2011.
- [4] R.G. Djakson, *Noveishie datchiki*, Moskva, Tehnosfera, 2007.- 384c.
- [5] G. Asch s soavtorami, *Datchiki izmeritelnih sistem*, Moskva, Mir, vol.1, 1992., 480c.
- [6] E.D. Maclin *Termistori*. per.s angl., Radio i svyazi, Moskva, 1983.
- [7] P.V.Novichkii, V.G. Knorring, V.S. Gutnikov. *Cifrovie pribori s chestotnimi datchikami*. Leningad, "Energiya", 1970.
- [8] Z.Nenova, T.Nenov. Linearization Circuit of the Thermistor Connection. *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, 2009, Vol. 58, No 2, pp.441-449.
- [9] M.Tooley, *Practical digital electronics handbook*. PC Publishing, London, 1988.
- [10] C. J. Fontenot, J. W. Wiench, M. Pruski, G. L. Schrader. Vanadia Gel Synthesis via Peroxovanadate Precursors. 2. *Characterization of the Gels*. *J. Phys. Chem. B*, 2001, 105 (43), pp. 10496–10504.

СЕНСОРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТЕРМИСТОРОВ

Звездича Ненова¹⁾, Недю Недев²⁾, Стефан Иванов³⁾

¹⁾ ТУ-Габрово, ул. "Х.Димитър" 4, гр. Габрово, *z_nenova@yahoo.com*

²⁾ ТУ-Габрово, ул. "Х.Димитър" 4, гр. Габрово, *nedyu.nedev@gmail.com*

³⁾ ТУ-Габрово, ул. "Х.Димитър" 4, гр. Габрово, *st_ivanov@abv.bg*

Резюме: Измерение температуры является важной задачей в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, при контроле параметров окружающей среды, в быту и др. В настоящей работе представлен сенсорный модуль на основе таймера 555 и микроконтроллера Pic16F1825. Устройство имеет частотный выход для прямого подключения к измерительным системам с использованием USB-модуля для сбора данных и два выхода к нему от микроконтроллера, с помощью которого можно сделать предварительную обработку частотного сигнала. Реализована коррекция нелинейности путем выбора параметров времязадающих элементов таймерной схемы. Представлены структура компьютерной системы для измерения температуры на базе разработанного сенсорного модуля и виртуальный инструмент для управления ее работой.

Ключевые слова: термистор, температура, сенсорный модуль, коррекция нелинейности.