

УДК 536.51.083: 621.375.132.9

Назафат Уллах

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

Выбор датчика для быстродействующего высококочувствительного медицинского термометра

Обоснована необходимость использования быстродействующих термометров с высокой разрешающей способностью в области биотермометрии. Приведен обзор современных серийных интегральных и электронных медицинских термометров. Показано, что рассмотренные термометры не обеспечивают необходимые параметры регистрации температуры в диапазоне температур 20...40 °С. Проанализированы причины таких ограничений у серийных приборов. Предложен новый подход к построению полупроводниковых термометров на основе бескорпусных диодов, работающих в режиме стабилизации прямого напряжения, обеспечивающий повышение быстродействия и разрешающей способности.

Биомедицинская термометрия, полупроводниковые термометры, быстродействующие термометры, высокое разрешение

Биотермометрия представляет собой специфический раздел термометрии, связанный с измерением температур живых объектов. И хотя в настоящее время биотермометрия воспринимается как традиционный элемент диагностики, её применение ограничено, в частности, тем, что большинство существующих термометров (кроме инфракрасных) предназначены для измерения установившейся, т. е. статической температуры с достаточно длительным циклом измерения. При этом многие функции организма человека связаны с относительно быстрыми колебаниями температуры тела и его поверхности в узком диапазоне. Таким образом, разработка средств для мониторинга пульсаций температуры представляется актуальной.

Особенно перспективно применение термометрии для мониторинга параметров капиллярного кровотока [1]. Существующие приборы близкого назначения на основе ультразвуковых, лазерных, фотоплетизмографических, вискозиметрических методов используются только для оценки параметров кровотока в крупных и мелких сосудах, а вискозиметрия – для оценки реологических свойств (вязкости) крови, и не предназначены для мониторинга мелких сосудов.

Технические параметры термометров для измерения температурных колебаний на поверхности тела связаны с двумя основными условиями.

Во-первых, постоянная тепловая времени термодатчика (τ) не должна превышать 0.3 с. Это вызвано тем, что параметры микроциркуляции крови во многом определяются частотой сердечных сокращений.

Во-вторых, поскольку поверхностные процессы теплообмена, связанные с пульсациями крови, сопровождаются незначительными изменениями температуры, то требуется термометр с высоким значением разрешающей способности, не менее 0.01 °С.

В одном из первых исследований, посвящённых регистрации поверхностной температуры были получены следующие результаты [2]:

- диапазон измерений температуры – 20...40 °С;
- разрешение по температуре (12-битный АЦП) – 0.006 °С;
- постоянная времени термистора в качестве термодатчика с постоянной времени – 1 с;
- частотный диапазон – до 10 Гц.

Часто в качестве датчиков использовались термисторы или платиновые терморезисторы с низким коэффициентом преобразования. Для получения высокого разрешения применялся цифровой метод обработки выходного сигнала датчика.

Рассмотрим существующие серийные термометры с точки зрения их пригодности для мониторинга температурных колебаний на поверхности биологического объекта. Проведем анализ их технических параметров – быстродействия и разрешающей способности. Важнейшие качественные

Таблица 1

Вид датчика	Параметры термометров в узком температурном диапазоне (20...40 °С)						
	Быстродействие	Разрешение	Точность	Чувствительность	Линейность	Стабильность	
Термистор	+++	+	++	+++	+	+++	
Пирометр	+++	+++	+	++	++	++	
Термометр сопротивления	++	++	+	++	+++	+++	
Термопара	+++	+	+	++	++	+++	
Диоды	корпусные	++	+++	++	++	+++	++
	бескорпусные	+++	+++	++	+++	+++	++

показатели различных термодатчиков с учетом их использования в узком температурном диапазоне приведены в табл. 1, где символ «+++» обозначает высокий уровень пригодности по данному параметру, «++» и «+» – соответственно, средний и низкий.

Из сопоставления приведенных параметров датчиков можно заключить, что для указанных целей лучше всего подходят полупроводниковые диодные датчики в бескорпусном исполнении, поскольку они обладают более высоким быстродействием. Следует отметить, что пирометры также обладают высоким быстродействием, но к их недостаткам можно отнести низкую чувствительность и высокую стоимость [3].

Разрешающая способность термометра (крутизна) связана с его коэффициентом передачи, выражаемым в вольтах на градус Цельсия, поскольку выходное напряжение операционного усилителя ограничено диапазоном 3...10 В и является постоянной величиной. Расширение диапазона измеряемых температур приводит к снижению коэффициента передачи, и наоборот, снижение диапазона приводит к увеличению крутизны во столько же раз.

Крутизна, мВ/°С

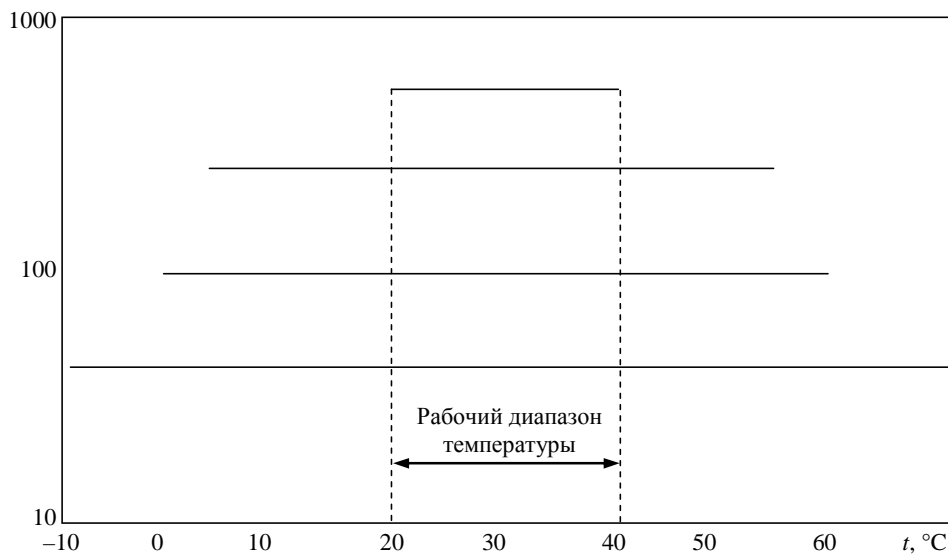


Рис. 1

Важно отметить, что при ограниченном максимальном выходном напряжении термометра существует постоянство произведения диапазона контролируемых температур Δt на коэффициент преобразования температуры в напряжение. Указанная зависимость крутизны характеристики для различных диапазонов температур приведена на рис. 1 при $U_{\text{вых max}} = 10 \text{ В}$.

Выходные сигналы термодатчиков отличаются по их функции преобразования: термопара преобразует температуру в напряжение, терморезистивные датчики меняют свое сопротивление при изменении температуры. Имеется два вида терморезисторов – с положительным и отрицательным температурными коэффициентами сопротивления. Полупроводниковые диодные датчики характеризуются снижением прямого напряжения при повышении температуры. В табл. 2 предлагается оценка информативности преобразования температуры контактных термодатчиков.

Из таблицы следует, что информативность преобразования физической величины (температуры) в электрический параметр у полупроводниковых диодов больше, что приводит к повышению разрешающей способности датчика.

Таблица 2

Тип датчика	Температурный коэффициент преобразования	Информативность выходного параметра в температурном диапазоне 20...40 °С, %
Термопара (К)	41 мкВ/°С	0.0082
Термопара (J)	55.2 мкВ/°С	0.011
Термопара (E)	68 мкВ/°С	0.0136
Терморезистор (pt100)	0.38 Ом/°С	0.076
Полупроводниковый диод	2.5 мВ/°С	0.50

Быстродействие термометра определяется массой датчика, поскольку она задается значением тепловой постоянной времени. Области, иллюстрирующие эту связь для некоторых типов датчиков в корпусах различных исполнений, например преобразователь «температура – напряжение» (ТС1047) фирмы «Microchip» в корпусе SOT23, термодатчик (SMT16030) фирмы «Smartec» в корпусе TO18, термистор (203JG1F) фирмы «NTC» в корпусе DO35, (LM19) фирмы «National Semiconductor» в корпусе TO92, и (TSIC306) фирмы «Hygrosens» в корпусе SO8 [4]–[9], а также тепловые постоянные времени при неподвижном воздухе для корпусов полупроводниковых датчиков в зависимости от их массы приведены на рис. 2.

Для быстродействующей биотермометрии необходимо использовать датчики с минимальной массой, в частности бескорпусные полупроводниковые диоды и транзисторы.

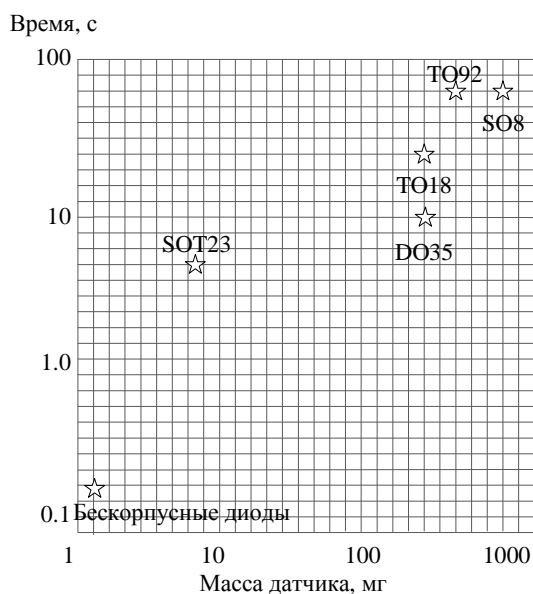


Рис. 2

Вторым важным фактором, характеризующим влияние на внутренний саморазогрев датчика, является тепловое сопротивление.

Тепловое сопротивление корпусов полупроводниковых датчиков находится делением разницы между температурами перехода (junction temperature) и окружающей среды:

$$R_{th} = (t_j - t_a) / P,$$

где R_{th} – тепловое сопротивление на участке тепловой цепи, °С/Вт; t_j – температура перехода, °С; t_a – температура окружающей среды, °С; P – рассеиваемая на переходе мощность, Вт.

На рис. 3 приведены данные о связи массы и теплового сопротивления нескольких распространенных типов корпусов интегральных схем.

Из рассмотрения рис. 3 следует, что для мониторинга температурных осцилляций поверхности тела наиболее подходящими являются бескорпусные полупроводниковые диодные и транзисторные (в диодном включении) датчики температуры.

Такие датчики обеспечивают:

- быстродействие, малое время отклика на температурное воздействие;
- работу в режиме микротоков, максимально уменьшающую саморазогрев датчика;
- высокую чувствительность, хорошую линейность в заданном диапазоне температур (25...40 °С);
- стабильность электрических параметров;
- невысокую цену.

Для создания быстродействующих медицинских термометров следует использовать в качестве датчиков бескорпусные диоды и транзисторы в диодном включении с тепловой постоянной времени в диапазоне единиц миллисекунд и с тепловым сопротивлением 2...5 °С/мВт.

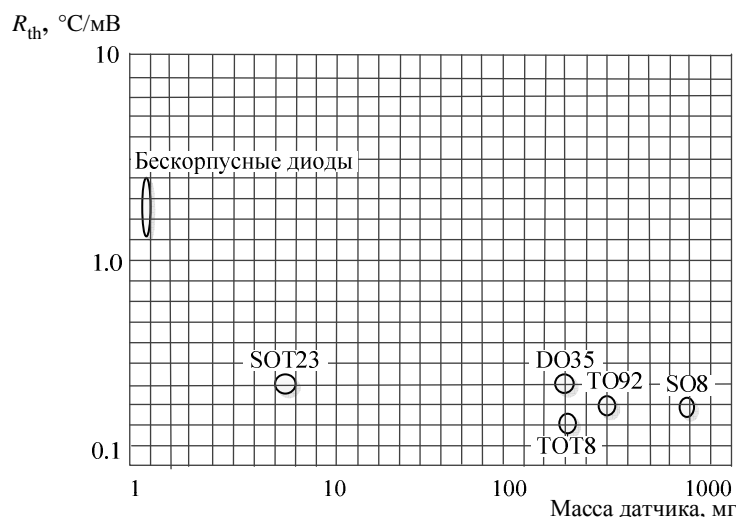


Рис. 3

Для обеспечения высокой чувствительности в диапазоне температур 20...40 °С следует использовать диодный датчик в режиме работы с постоянным напряжением $U_{пр}$ при выходном температурозависимом параметре прямом токе диода. Указан-

ный режим питания диода обеспечивает температурную чувствительность датчика в 5 раз больше, чем при питании диода постоянным током и выходным параметром в виде прямого напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shusterman V., Anderson K. P., Barnea O. Spontaneous temperature oscillations in normal human subjects // *Am. J. regul. integr. comp. physiol.* 1997. Vol. 273. P. 1173–1181.
2. Observing temperature fluctuations in humans using infrared imaging / W. Liu, J. Meyer, C. Scully et al. // *QIRT J.* Vol. 8, № 1. P. 21–36.
3. Долгова И. А. Быстродействующие термометры для систем мониторинга параметров человеческого организма: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза, 2008.
4. Электронный каталог Microchip USA. URL: www.microchip.com/TC1047.
5. Электронный каталог Smartec Нидерланды. URL: www.smartec.nl/pdf/DSSMT16030.PDF.
6. Электронный каталог US Sensors corp. США. URL: <http://www.ussensor.com/do-35-standard-glass-encapsulated-thermistors>.
7. Электронный каталог Texas Instruments США URL: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm19.pdf.
8. Электронный каталог ZMD Germany. URL: www6.in.tum.de/pub/Main/TSic-Datasheet.pdf.
9. Электронный каталог ELREHA Germany. URL: http://www.elreha.de/welcome/pdf/5320009_0008e.pdf.

Nazafat Ullah

Saint-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

SELECTION OF SENSOR FOR FAST RESPONSE, HIGH SENSITIVE MEDICAL THERMOMETER

The necessity of using fast response thermometers with high resolution in the field of biomedical engineering has proved. Provided an overview of modern commercial and integrated electronic medical thermometers. It is shown that discussed thermometers do not provide the necessary parameters for recording the temperature in the range about 20...40 °C. The reasons of such restrictions in serial devices are analyzed. A new approach to construction of semiconductor thermometers based on silicon chip diodes, operated by stabilized forward voltage providing fast response and resolution is proposed.

Biomedical thermometry, semiconductor thermometers, fast response thermometers, high resolution