

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Ю.Я. Матющенко, В.Н. Седалищев, Я.С. Сергеева

Алтайский государственный университет
г. Барнаул

В статье приведены результаты анализа термочувствительности диода при различных вариантах формирования выходного сигнала датчика. Рассмотрен вариант построения термодатчика, основанного на использовании в качестве выходного сигнала напряжения на добавочном резисторе при стабилизации напряжения на диоде позволяет обеспечивать высокую чувствительность процесса первичного измерительного преобразования.

Ключевые слова: Полупроводниковые термодатчики, моделирование, Mathcad, MicroCap.

Полупроводниковые термодатчики находят широкое применение в самых разнообразных областях практической деятельности человека: при автоматизации технологических процессов, при проведении научных исследований, в сельском хозяйстве, в медицине, в быту и т.д.

Для измерения температуры среднего диапазона широкое применение находят датчики параметрического типа - проводниковые и полупроводниковые терморезисторы. Как известно [1-5], проводниковые терморезисторы характеризуются линейностью выходной характеристики, но обладают низкой чувствительностью. Полупроводниковые терморезисторы (термисторы) имеют нелинейную температурную зависимость, но способны обеспечивать при определенных условиях более высокую чувствительность. С этой целью был произведен анализ влияния режимов работы, схемы включения и соотношения параметров термистора и дополнительного резистора на чувствительность термодатчика и его рабочий диапазон.

На рисунках 1-4 представлены результаты имитационного моделирования режимов работы термистора, выполненных с использованием программы Mathcad. Для сравнительной оценки чувствительности вариантов датчика использовался коэффициент относительной чувствительности (КОЧ):

$$K_x = \frac{\frac{\partial y}{\partial x} / y}{\frac{\partial x}{\partial x} / x} = \frac{\frac{\partial y}{\partial x} / y}{\frac{S_n}{S_d}}$$

На рисунках 1-2 приведены температурные зависимости КОЧ полупроводникового резистора при изменении сопротивления до-

бавочных резисторов (рисунок 1), величины энергетического коэффициента материала термодатчика (рисунок 2)) при использовании напряжения на термисторе в качестве выходного сигнала датчика.

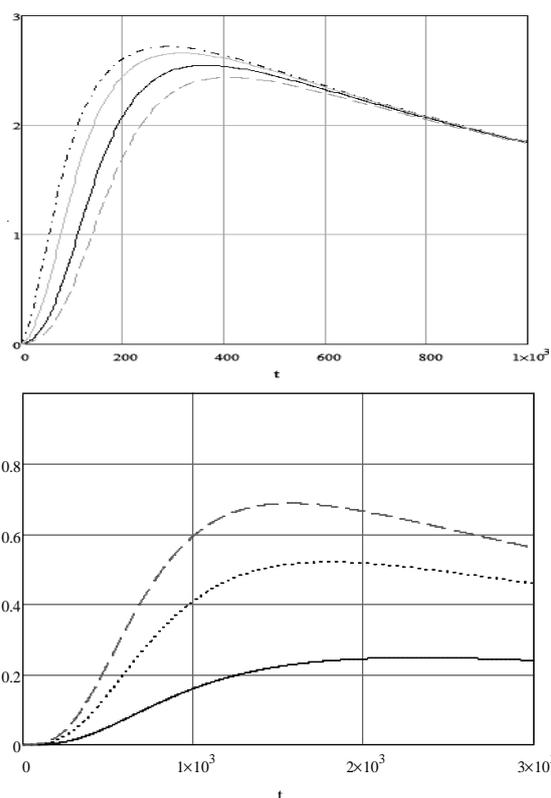


Рисунок 1 – Зависимости КОЧ от температуры для низкоомного (10 Ом) и высокоомного (1000 Ом) термистора при значениях добавочных резисторов: 5, 10, 30, 100 (кОм)

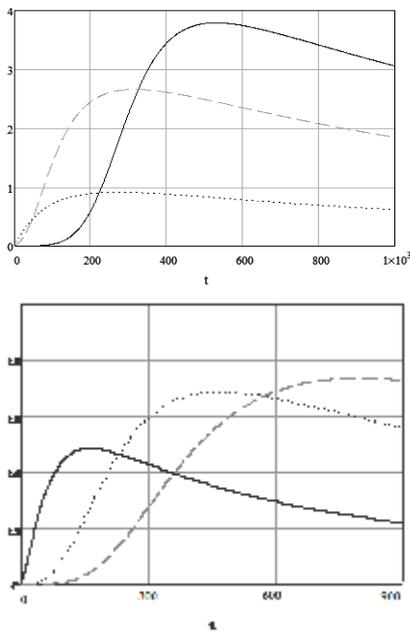


Рисунок 2 – Температурные зависимости КОЧ низкоомного (10 Ом) и высокоомного (100 Ом) термисторов при значениях энергетического коэффициента B ($B=1000\text{K}$ – сплошная линия, $B=3000\text{K}$ – точечный график, $B=5000\text{K}$ – пунктирная линия)

На рисунках 3-4 приведены зависимости для случая, когда в качестве выходного сигнала датчика используется падение напряжение на дополнительном резисторе.

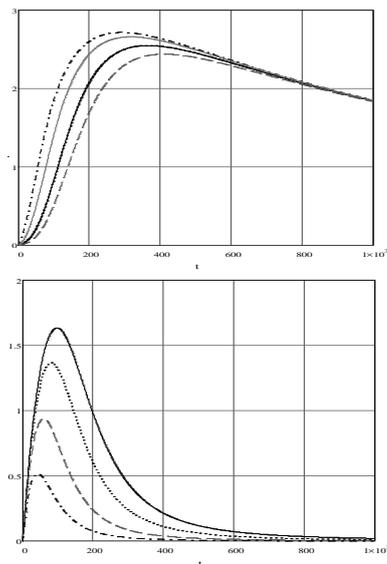


Рисунок 3 – Зависимости КОЧ от температуры для низкоомного (10 Ом) и высокоомного (1000 Ом) термисторов при значениях добавочных резисторов: 5, 10, 30, 100 (кОм)

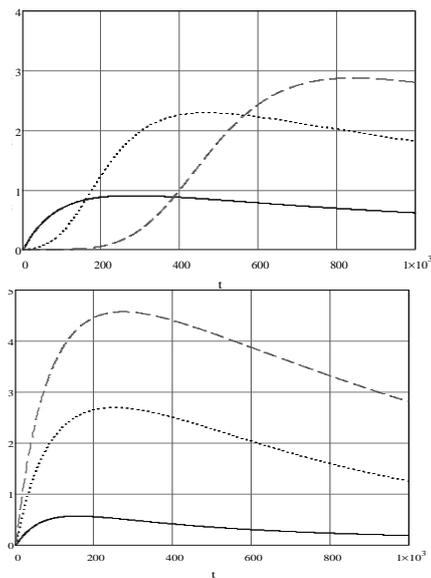


Рисунок 4 – Температурные зависимости КОЧ низкоомного и высокоомного термистора при значениях энергетического коэффициента ($B=1000\text{K}$, 3000K , 5000K)

Из приведенных графиков следует, что:

- с повышением собственного сопротивления термистора чувствительность датчика снижается, возрастает критическое значение температуры, при котором чувствительность достигает максимального значения;
- с увеличением величины добавочного сопротивления чувствительность датчика возрастает;
- величина энергетического коэффициента определяет значение критической температуры датчика, но слабо влияет на чувствительность датчика;
- использование схемы включения с выходом по напряжению с дополнительного резистора позволяет существенно снизить рабочую температуру термодатчика и повысить его чувствительность;
- при высоком значении собственного сопротивления термодатчика изменение величины добавочного резистора не оказывает существенного влияния на чувствительность термодатчика.

На основе этого можно предложить следующие рекомендации по повышению чувствительности полупроводниковых термодатчиков:

- в качестве выходного сигнала первичного преобразователя нужно использовать напряжение на добавочном резисторе;
- применение терморезистора с малым значением энергетического коэффициента

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

позволит использовать его для измерения более низких температур, но при этом снизится и чувствительность термодатчика;

- для низкоомного термистора при высокоомном добавочном резисторе чувствительность будет низкая, но при измерении напряжения на добавочном резисторе выходной сигнал будет больше по величине и максимум чувствительности достигается при более низкой температуре;

- при измерении напряжения на добавочном резисторе увеличение его сопротивления приводит к снижению чувствительности датчика, а при измерении напряжения на термисторе, наоборот, чувствительность возрастает.

Как известно [1-3], для обеспечения линейной зависимости выходного сигнала датчика от измеряемой температуры стабилизируют ток в измерительной цепи. При этом выходным сигналом датчика чаще всего является падение напряжения на полупроводниковом резисторе или р-п переходе, смещенном в прямом направлении. Использование такой схемы и режима работы обеспечивает линейность рабочей характеристики термодатчика, но при этом снижается его чувствительность. В связи с этим представляет интерес исследование возможностей повышения разрешающей способности полупроводникового термодатчика с р-п-переходом (при использовании диода или транзистора, включенного по схеме диода).

На рисунках 5-9 приведены результаты имитационного моделирования схем включения и режимов работы полупроводникового диода, используемого в качестве чувствительного элемента термодатчика [5].

На рисунке 5 представлены электрическая схема включения полупроводникового датчика температуры (а) и графики температурной зависимости ВАХ диода.

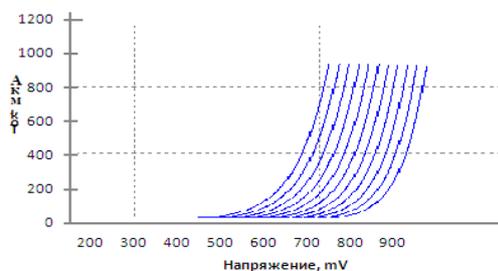


Рисунок 5 – Графики температурной зависимости ВАХ диода, температура изменяется в пределах от 0 до 100°C с шагом в 10°C

С использованием программы MicroCap были рассмотрены три режима работы измерительного преобразователя:

- при стабилизированном источнике питания и измерении напряжения на диоде и резисторе;

- при стабилизации напряжения на добавочном резисторе и измерении напряжения на диоде;

- при стабилизации напряжения на диоде и измерении напряжения на резисторе.

На рисунках 6 - 9 приведены температурные зависимости напряжения на диоде и на резисторе, сопротивления диода, чувствительности и коэффициента относительной чувствительности датчика.

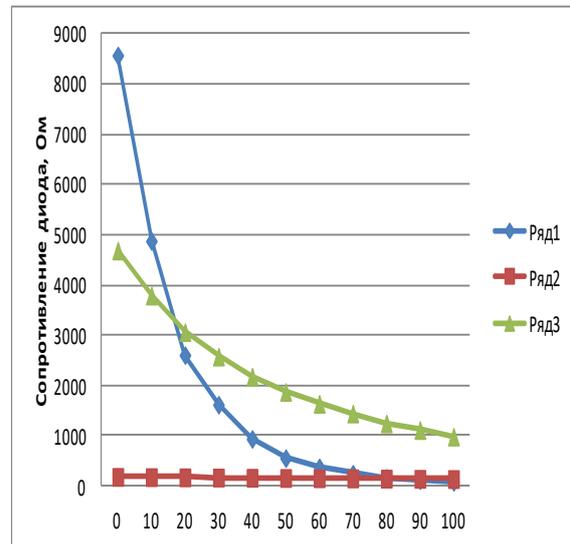


Рисунок 6 – Зависимость сопротивления диода от температуры при постоянном напряжении на диоде (ряд 1), на резисторе (ряд 2) и на источнике питания (ряд 3)

Как следует из представленных графиков, температурная зависимость сопротивления диода существенно зависит от режима работы датчика и определяет его чувствительность.

Ниже приведены результаты анализа термочувствительности диода при различных вариантах формирования выходного сигнала датчика.

Вариант 1. Измерение температуры осуществляется при стабилизации напряжения источника питания.

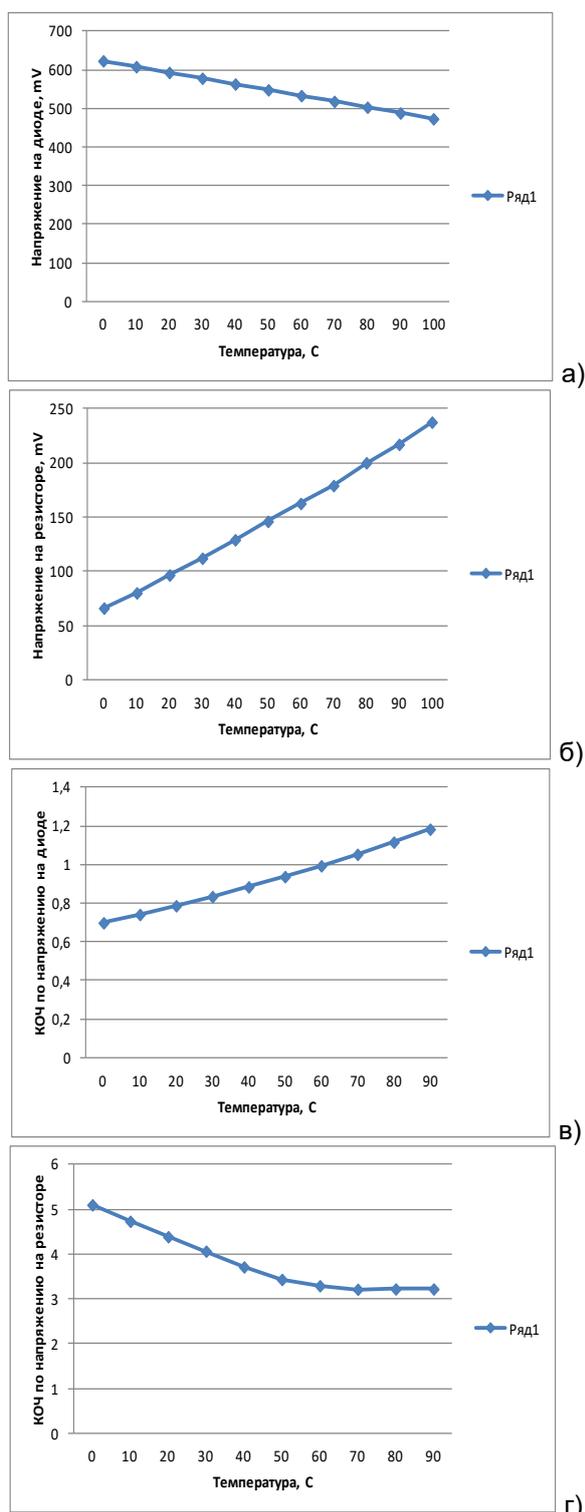


Рисунок 7 – Температурные зависимости напряжения на диоде (а) и резисторе (б), КОЧ измерения температуры по напряжению на диоде (в) и резисторе (г) при стабилизации напряжения на резисторе

Из приведенных графиков видно, что при стабилизации напряжения на диоде обеспечивается линейность выходной характеристики датчика при средней чувствительности (КОЧ находится в пределах единицы). Абсолютная чувствительность по температуре находится в пределах от 1,5-2mV на 1°C. Несколько более высокая чувствительность обеспечивается при стабилизации напряжения на резисторе и измерении напряжения на диоде.

Вариант 2. Стабилизируется падение напряжения на дополнительном резисторе, что соответствует стабилизации тока в цепи. Выходным сигналом датчика является напряжение на диоде.

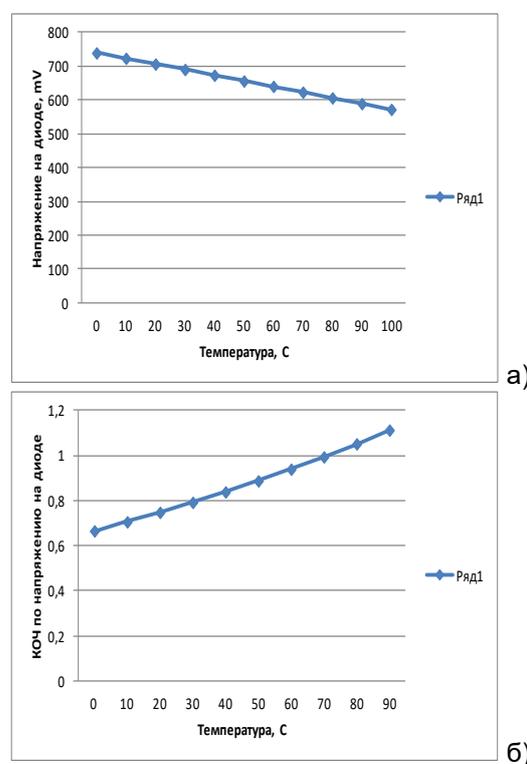


Рисунок 8 – Температурные зависимости напряжения на диоде (а), КОЧ измерения температуры по напряжению на диоде (б) при стабилизации напряжения на резисторе

Для данного варианта построения датчика так же обеспечивается достаточно хорошая линейность выходной характеристики, но абсолютная чувствительность по температуре датчика так же не высокая и находится в пределах от 1,5 - 2mV на 1°C.

Вариант 3. Стабилизируется напряжение на диоде, выходным сигналом датчика является напряжение на резисторе.

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

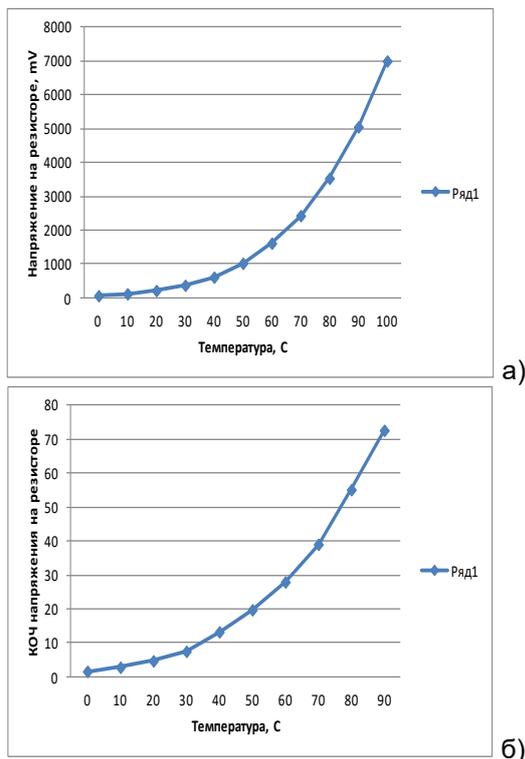


Рисунок 9 – Температурные зависимости напряжения на резисторе (а), КОЧ измерения температуры по напряжению на резисторе (б) при стабилизации напряжения на диоде

Как следует из приведенных графиков, относительная чувствительность измерительного процесса в конце рабочего диапазона датчика может быть на порядок выше, чем у всех рассмотренных выше вариантов построения датчика. Абсолютная чувствительность может достигать нескольких десятков mV на 1°C. При этом важно отметить, что величина сопротивления добавочного резистора слабо влияет на относительную чувствительность измерительного процесса, но сильно влияет на величину абсолютного значения чувствительности (чем больше сопротивление – тем выше значение абсолютной чувствительности).

Таким образом можно сделать вывод о том, что вариант построения термодатчика, основанного на использовании в качестве выходного сигнала напряжения на добавочном резисторе при стабилизации напряжения на диоде позволяет обеспечивать высокую

чувствительность процесса первичного измерительного преобразования. Данный вариант построения датчика, позволит регистрировать малые изменения температуры объекта (на порядок лучше, чем у существующих аналогов), отслеживать динамику изменения температуры объекта с более высоким разрешением. Недостатком такого подхода к повышению разрешающей способности термодатчиков является то, что чувствительность измерительного процесса зависит от измеряемой температуры, режим наиболее высокой чувствительности обеспечивается не во всем рабочем диапазоне, а только во второй его половине, при высоких значениях измеряемых температур. Выходная характеристика термодатчика сильно нелинейная, что потребует применения микропроцессорной техники при создании измерительных устройств такого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Датчики теплофизических и механических параметров. Справочник, т.1, кн.1/ Под общ.ред. Коптева Ю.Н., под ред. Багдатьяева Е.Е., Гориша А.В., Малкова Я.В. - М.: ИПЖР, 1998.
2. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992.
3. Велшек Я. Измерение низких температур электрическими методами. М.: Энергия, 1980.
4. Суханова Н.Н., Суханов В.И., Юровский А.Я. Полупроводниковые термопреобразователи с расширенным диапазоном рабочих температур. Датчики и системы, №7, 8, 1999.
5. Садыков А.А., Седалищев В.Н. Высокочувствительный микропроцессорный первичный преобразователь температуры // Многоядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов [Текст]: сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции / отв. ред. В.И. Иордан (Барнаул, 11-12 марта 2016 г.). – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2016. – 300 с. - С. 236-242.

Седалищев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор, тел.: (3852) 260492, (3852) 380-751, e-mail: sedalischew@mail.ru;

Матющенко Юрий Яковлевич – к.ф.-м.н., доцент;

Сергеева Яна Сергеевна – аспирант каф. ВТиЭ.