

### **Анализ прикладных путей повышения метрологической надежности измерительных преобразователей**

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы обеспечения метрологической надежности измерительных преобразователей физических величин. Намечены пути повышения качества физических измерений, связанные с выбором элементной базы, конкретизацией схмотехнических решений, организацией режима работы преобразователей.

**Ключевые слова:** сенсореистор, первичные преобразователи, пороговый переключатель, самонагрев, терморегулирование, сенситивный резистор, терморезистор

Качество физических измерений оценивается по степени присутствия в результатах измерений систематических погрешностей методического и инструментального происхождения.

Большинство применяемых в электронной сенсорике первичных преобразователей является сенситивными резисторами, то есть резисторами, активное сопротивление которых чувствительно к измеряемой физической величине какой-либо природы. Сенситивные резисторы включаются в цепь измерительного моста и по характеру изменения рабочего тока резистора, модулируемого воздействием физической величины, судят об этой величине. Физическим носителем измерительного сигнала является рабочий ток сенсореистора. Это приводит к выделению в преобразователе тепловой энергии, т.е. к его самонагреву и росту избыточной температуры. Фактор самонагрева особенно негативен в плане обеспечения качества метрологических характеристик и функциональной надежности измерительных преобразователей. Его последствия таковы:

- тепловая инерционность, то есть потребность в дополнительном времени выхода на установившийся тепловой режим работы преобразователя, соответствующий заданному уровню мощности измерительного сигнала;
- температурный «смаз» характеристики преобразования, то есть неуправляемый переход рабочей точки с одной характеристики

на другую в температурном семействе характеристик при изменении уровня (мощности) измерительного сигнала;

- повышение порога чувствительности и общей погрешности измерения вследствие увеличения тепловых и токовых шумов преобразователя;

- влияние повышенной (избыточной) температуры первичного преобразователя на температуру измеряемой среды или объекта в точке измерения, искажающее объективность показаний;

- ускорение процесса старения структуры первичного преобразователя, интенсификация отказов в его работе и общее снижение достоверности результатов измерений.

Перечисленные факторы приводят к определенным трудностям в развитии непосредственно сенсорных функций измерительных преобразователей и главной проблемой, препятствующей улучшению их метрологических характеристик, является фактор самонагрева первичного преобразователя рабочим, т.е. измерительным током.

В контексте данной проблемы эффективным представляется путь исключения систематических погрешностей измерений еще до начала измерений (в частности температурных, вызванных самонагревом), т.е. на этапе проектирования измерительных средств.

Для этого необходимо:

- отказаться от использования рабочего тока первичного преобразователя в качестве физического носителя измерительной информации, то есть в качестве информативного параметра измерительного сигнала;

- использовать в качестве информативного параметра измерительного сигнала преобразователя порогового потенциала переключения бистабильной полупроводниковой структуры из закрытого состояния в открытое.

- применить в качестве бистабильных полупроводниковых структур схемы негатронов с переключающей вольтамперной характеристикой S-типа (однопереходные транзисторы, S-диоды, тиристоры и схемы транзисторно-резисторных эквивалентов тиристора);

- исследовать зависимости порога переключения S-негатрона от воздействия физических величин различной природы и применить их для построения измерительных преобразователей;

– организовать импульсный режим измерения путем опроса состояния проводимости S-негатрона нарастающими по амплитуде счетными импульсами со стробированием по пороговой амплитуде.

Итак, для улучшения метрологических характеристик первичных преобразователей, прежде всего, необходимо насколько схемотехнически возможно минимизировать рабочий ток первичного преобразователя и отказаться от его использования в качестве физического носителя измерительной информации, то есть в качестве информативного параметра измерительного сигнала. В качестве информативного параметра измерительного сигнала целесообразно использовать пороговый потенциал переключения бистабильной полупроводниковой (п/п) структуры из закрытого состояния в открытое. При этом закрытое состояние как высокоомное (условно непроводящее) должно быть первичным, а открытое низкоомное – вторичным. В бинарном представлении это логические «0» и «1» (или наоборот) по аналогии с работой триггера или ключа напряжения.

Для реализации такого подхода необходимо решить три задачи:

– какую элементную базу использовать в качестве бистабильной полупроводниковой структуры?

– как придать бистабильной полупроводниковой структуре сенсорные свойства?

– как организовать режим ее работы и в каком схемотехническом исполнении?

Бистабильное состояние в работе присуще полупроводниковым приборам класса «негатрон», то есть приборам на вольтамперной характеристике (ВАХ) которых имеется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением [1]. Среди них различают Л-, N- и S-типы в зависимости от формы ВАХ. В качестве сенсорной бистабильной структуры целесообразно использовать S-негатроны, на ВАХ которых начальный участок высокоомный (соответствует закрытому состоянию) и протяженный.

К подклассу S-негатронов относятся S-диоды, однопереходные транзисторы (ОПТ), тиристоры и их транзисторно-резисторные аналоги. Традиционная область применения S-негатронов по их прямому функциональному назначению – построение разного рода генераторных схем, а также силовых переключателей на тиристорах

[2]. По этой причине разработчики аппаратуры применяли к ним всевозможные приемы температурной стабилизации характеристик и в первую очередь температурной стабилизации порогового потенциала переключения.

Однако, если вместо обеспечения температурной инвариантности, еще более активировать температурную зависимость порога переключения, то таким образом можно получить температурочувствительный порогово-переключательный первичный преобразователь. Его удобно и логично назвать «свитч-сенсор». Такого рода температурные и световые свитч-сенсоры были совместно разработаны московскими институтами ИПУ РАН и ГИРЕДМЕТ на базе технологии S-диода. Они обладают уникальной чувствительностью, в несколько раз превышающей чувствительность лучших аналогов (за это качество удостоены множества высших наград на международных форумах), и вполне могут быть применены для построения на их основе измерительных преобразователей нового типа.

Если на свитч-сенсор, измеряющий какую-либо физическую величину, подать от генератора питания нарастающее напряжение и прервать его в тот момент, когда оно достигнет порогового уровня, то по длительности сформировавшегося таким образом на выходе генератора, т.е. на входе свитч-сенсора, пилообразного импульса можно определить высоту порога и по ней установить значение измеряемой ФВ. При этом через структуру свитч-сенсора успеет пройти только один очень короткий импульс открытого состояния, длительность которого определяется временем срабатывания цепи обратной связи, прерывающей питание (порядка наносекунды).

Команду на самопрерывание целесообразно подавать по переднему фронту первого импульса, успевшего пройти на выход свитч-сенсора. Назовем этот импульс «строб-импульс отклика», а пилообразный импульс на входе свитч-сенсора – «импульс опроса». Соотношение длительностей этих импульсов определяет мощность самонагрева свитч-сенсора. Она может быть на много порядков меньше, чем в традиционном варианте. При этом крутизну переднего фронта импульса опроса можно использовать как параметр управления температурой самонагрева и таким образом свести ее к очень малому, практически не влияющему на результат измерения, значению. Непрерывно подавая импульсы

опроса на свитч-сенсор и измеряя их длительность числоимпульсным методом с использованием высокочастотных счетных импульсов заполнения, можно прецизионно измерять ФВ с частотой опроса в несколько сотен килогерц [3].

Для метрологического обеспечения измерений физических величин свитч-сенсорами по предлагаемой методике необходимо ввести новое понятие характеристики преобразования, где в качестве функции вместо параметра «ток на выходе сенсора» использовать параметр «пороговое напряжение на входе сенсора», и назвать ее «пороговая характеристика преобразования» (ПХП). То есть, ПХП отображает зависимость значений порогового напряжения переключения на входе свитч-сенсора от значений измеряемой физической величины. Пороговая характеристика преобразования для температурного свитч-сенсора изображена на рисунке 1.

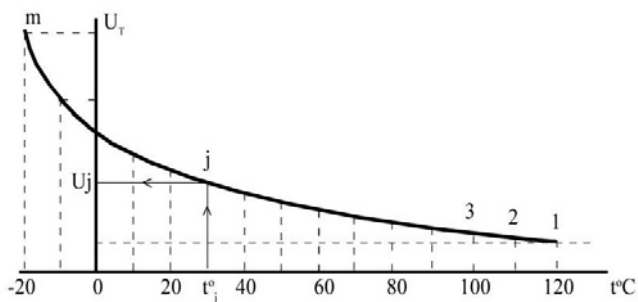


Рисунок 1 – Пороговая характеристика преобразования

Современные средства памяти и организации доступа к ней (например, флэш-память) позволяют запоминать координаты ПХП практически в любом объеме и с любым дискретом. Поэтому наряду с аналого-цифровым вариантом режима работы свитч-сенсора возможна реализация полностью цифрового варианта [4]. Для этого необходимо сформировать напряжение питания в виде непрерывно следующих серий (пачек) нарастающих по амплитуде очень коротких импульсов опроса, где все импульсы внутри пачки нумерованы. Тогда первый, прошедший через структуру свитч-сенсора импульс, то есть, пороговый импульс, сформирует

строб-импульс отклика, который укажет номер порогового импульса внутри пачки импульсов опроса и соответствующий координатный номер точки на ПХП (соответственно, значение измеряемой физической величины). Интервал времени открытого состояния S-мегатрона определяется длительностью открывающего импульса на уровне порога. При такой малой длительности открытого состояния свич-сенсора внутри измерительного цикла выделяемая в нем тепловая энергия и его самонагрев практически сводятся к нулю [5].

#### Литература:

1. *Дождиков В.Г., Лифанов Ю.С.* Энциклопедический словарь по радиоэлектронике, оптоэлектронике и гидроакустике. – М.: Энергия, 2008. – 612 с.
2. *Биберман Л.И.* Широкодиапазонные генераторы на негатронах. – М.: Радио и связь, 1982. – 88 с.
3. Патент РФ №2412429, Кравченко А.М. Датчик-измеритель физических величин. Бюл. № 5, 2011.
4. Патент РФ № 2344384, Кравченко А.М. Цифровой способ измерения температуры и устройство для его реализации. Бюл. №2, 2009.
5. *Кравченко А.М., Анохин А.М.* Новый подход к построению терморегуляторов на основе S-негатрона // Датчики и системы. – 2013. – №1. – С. 34-38.

---

#### Торгашев Р.Е.

#### **Комплексный геоэкологический мониторинг лесных геоэкосистем Московского столичного региона**

**Аннотация:** В работе изложено современное состояние геоэкологического мониторинга лесных геоэкосистем Московского столичного региона. Автором определено содержание программы мониторинга. Рассмотрен геоэкологический мониторинг отдельных природных сред с привлечением инструктивных материалов, методических рекомендаций. В работе кратко изложены виды исследований и аналитическое обеспечение при