

Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимость частоты генерации F_0 от давления

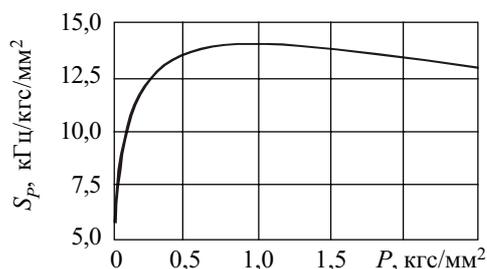


Рис. 5. Зависимость чувствительности S_p от давления

На рис. 5 представлена зависимость чувствительности от давления. Чувствительность преобразователя давления составляет $13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$ при давлении более чем $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

Выводы

На основе нелинейной эквивалентной схемы преобразователя давления, работа которого описывается при помощи уравнений Кирхгофа, получена функция преобразования и уравнение чувствительности.

Наибольшее ($13,75 \text{ кГц/кгс/мм}^2$) значение чувствительности лежит в диапазоне давлений, превышающих $0,5 \text{ кгс/мм}^2$.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Новицкий П. В., Кноринг В. Г., Гутников В. С. Цифровые приборы с частотными датчиками.— Л.: Энергия, 1970.
2. Бабичев Г. Г., Козловский С. И., Романов В. А., Шаран Н. Н. Кремниевый однопереходный тензотранзистор // Журнал технической физики.— 2002.— Т. 72, вып. 4.— С. 66—71.
3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором.— Вінниця: Універсум-Вінниця, 2000.
4. Пат. 2104619 России. Электростатический микрофон / В. С. Осадчук, Е. В. Осадчук, А. В. Осадчук.— 1998.— Бюл. № 4.
5. Пат. 40237 А України. Мікроелектронний пристрій для виміру тиску / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук.— 2001.— Бюл. № 6.
6. Пат. 41666 А України. Мікроелектронний вимірювач тиску / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук.— 2001.— Бюл. № 8.
7. Осадчук В. С., Осадчук О. В., Білоконь Н. Л. Дослідження тензочутливого елемента на основі біполярного транзистора // Вісник Технологічного університету Поділля. Част. 1.— 2004.— Т. 1, № 2.— С. 115—121.
8. Разевиг В. Д. Применение программ P-CAD и P-Spice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ.— Вып. 3. Моделирование аналоговых устройств.— М.: Радио и связь, 1992.
9. Березин А. С., Мочалкина О. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем.— М.: Радио и связь, 1992.

Н. В. КАПИТАНОВ, А. И. КОПЫЛ, С. И. КОСОБУЦКИЙ,
к. ф.-м. н. В. В. РАЗИНЬКОВ, к. ф.-м. н. А. И. СЕРЕДЮК

Украина, г. Черновцы, СКБ “Электронмаш”, Институт термоэлектричества; г. Киев, Институт проблем материаловедения
E-mail: vikhor@ukr.net

Дата поступления в редакцию
25.05 2004 г.

Оппонент д. т. н. А. Л. ВАЙНЕП
(НИИ “Шторм”, г. Одесса)

УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОЧНЫХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Пленочные термоэлектрические преобразователи представляют вполне пригодными для разработки и создания приборов дистанционного измерения температуры в различных областях.

Мировая и отечественная технология изготовления чувствительных элементов и схемотехника их применения насчитывает много примеров реализации дистанционных методов измерения температуры с помощью различного рода ИК-сенсоров [1]. В большинстве случаев в качестве чувствительного элемента-сенсора использовались изделия спецтехники в виде гомо- или гетероструктур на основе узкозонных полупроводников — халькогенидов свинца, твердых растворов типа Cd-Hg-Te, Pb-Sn-Te и др.

Попытки реализации ИК-радиометра на основе таких изделий показали (кроме значительной себестоимости) чувствительность к наводкам, ненадежность в работе вследствие температурной нестабильности, деградации параметров сенсора. Кроме того, применение подобных высокочувствительных сенсоров обычно требует низкочастотной модуляции радиационного потока и низкотемпературного термостатирования. Применение сенсоров на основе указанных структур имеет также ограниченный спектральный диапазон чувствительности, обусловленный шириной запрещенной зоны полупроводников.

Приведенные обстоятельства заставили обратиться к относительно “простым” и надежным термоэлектрическим сенсорам с низким выходным сопротивлением и высокой стабильностью во времени, в част-

ности к термоэлектрическим пленочным преобразователям ТД-505. Последний представляет собой пленочную гетероструктуру на основе узкозонных полупроводников-полуметаллов.

Существенным достоинством термоэлектрических приемников является их неселективность к падающему излучению, т. е. возможность работы в широком спектральном диапазоне (от ИК до УФ) и отсутствие жестких требований к термостатированию устройства. Применение, например, в термоэлектрическом приемнике ТД-505 фторида бария в качестве входного окна и соответствующих интерференционных светофильтров разрешает роботу устройства в УФ-диапазоне, видимом спектре, ближнем ИК и "втором атмосферном окне" (8—14 мкм).

Целью настоящей работы является разработка ряда устройств на основе термоэлектрических сенсоров типа ТД-505, исследование их характеристик в различных областях применения, реализация относительно простых и доступных приборов для регистрации локального изменения температуры в радиоэлектронной аппаратуре, в области энергетики, технологических процессов, пожарной и охранной техники, медико-биологических исследований, агрономии, ветеринарии.

Основные критерии выбора чувствительного элемента, комплектующих элементов, блока питания и измерительной части заключались в обеспечении необходимой чувствительности (не хуже $\pm 0,1^\circ\text{C}$ при расстоянии от объекта порядка 1 м), воспроизводимости результатов измерений, минимального тока потребления, простоты в эксплуатации.

Конструктивно подобные приборы традиционно выполняются по оптической схеме зеркального отражателя с помещенным в фокусе сенсором [1, 2]. Подобные решения имеют резон для значительных дистанций измерения (например, для измерения температур высоковольтных линий электропередачи [3]), однако для небольших расстояний и при условии, что важно не абсолютное значение температуры объекта, а лишь аномалии, применение сравнительно габаритной зеркально-оптической схемы, по-видимому, нецелесообразно.

На рис. 1 приведена конструкция термоэлектрического сенсора ТД-505. Данные сенсоры обладают значительной стабильностью во временном и температурном интервалах. На протяжении нескольких лет эксплуатации не наблюдалось существенного изменения характеристик.

Следует отметить, что при выполнении данной работы авторы отдавали себе отчет в том, что свойства

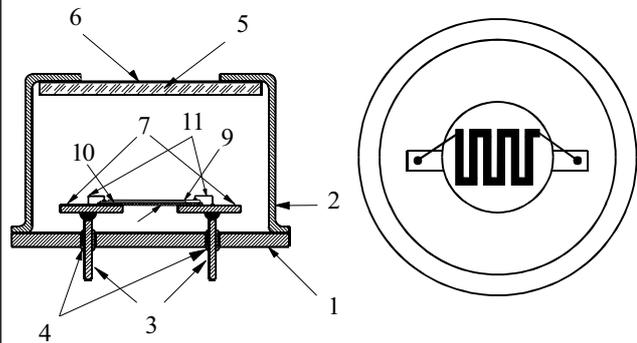


Рис. 1. Структура термоэлектрического сенсора ТД-505: 1 — основа; 2 — корпус; 3 — выводы; 4 — стеклоспаи; 5 — окно (BaF₂); 6 — интерференционный фильтр; 7 — контактные площадки; 8 — полиамидная пленка; 9, 10 — гетероструктура; 11 — контакты

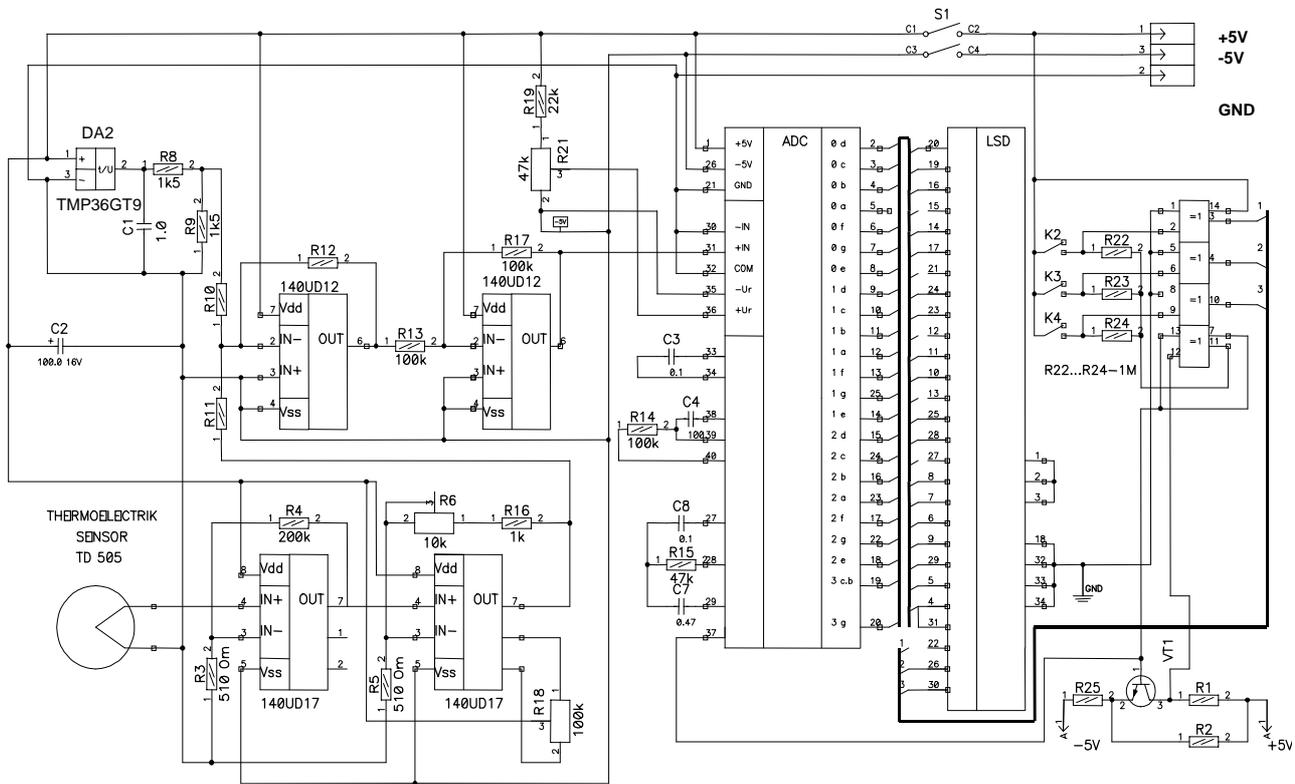


Рис. 2

(коэффициент “черноты” — альbedo) объектов существенно различаются [1], поэтому путем параллельных экспериментальных исследований для каждого конкретного направления были разработаны соответствующие методики применения.

На рис. 2 представлена принципиальная электрическая схема ИК-радиометра с малым током потребления (до 10 мА) и цифровой индикацией. Особенностями данного решения является использование микромощных и прецизионных операционных усилителей, усилителей постоянного тока, широтно-импульсного двухполярного автономного блока питания [3], наличие двух сенсоров измерительных каналов — радиационного потока и собственной температуры прибора.

Как видно из схемы, радиационный измерительный канал представляет собой двухкаскадный прецизионный усилитель постоянного тока с соответствующими цепями коррекции. Применение именно такого принципа приема и обработки сигнала обусловлено оптимальным соотношением между выходным сопротивлением сенсора, его сравнительно невысоким быстродействием ($t_{0,98}=0,5$ с) и др.

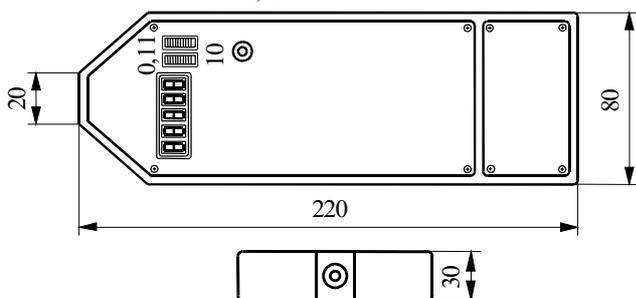


Рис. 3

“Термический” измерительный канал выполнен с использованием температурного сенсора TMP-36

с чувствительностью 10 мВ/°С. Сигналы из термического и радиационного канала приходят на вход сумматора, выполненного на микромощном усилителе DA1, и через повторитель на микросхеме DA2 обрабатываются по стандартной методике [4] с помощью АЦП КР572ПВ5.

Внешний вид автономного прибора, разработанного для медицинского, ветеринарного и агрономического применения, представлен на рис. 3.

Методики использования данного прибора были разработаны для гаммы объектов: в области медицины (в частности, ранней диагностики онкологических и внутренних заболеваний желудочно-кишечного тракта с верификацией на базе параллельных эндоскопических, гистологических и патологоанатомических исследований в ряде клиник), ветеринарии, агрономии, пожарной и охранной технике.

В области медицины апробация прибора проходила в поиске температурных аномалий в человеческом организме: локальное повышение температуры может быть связано с различного рода воспалительными процессами; снижение температуры, по сравнению с фоновой по организму, может свидетельствовать об онкологических заболеваниях на средних и поздних стадиях.

В области медицины, в животноводстве и агротехнологиях сравнительные исследования показали достоверность методик диагностики не хуже 75—80%, что делает возможным использование данного устройства и разработанных методик в практической работе медицинского, ветеринарного и агрономического персонала. Применение этого типа устройств возможно и в других областях.

Следует указать, что данное техническое решение не претендует на приоритет в сравнении с тепловизио-

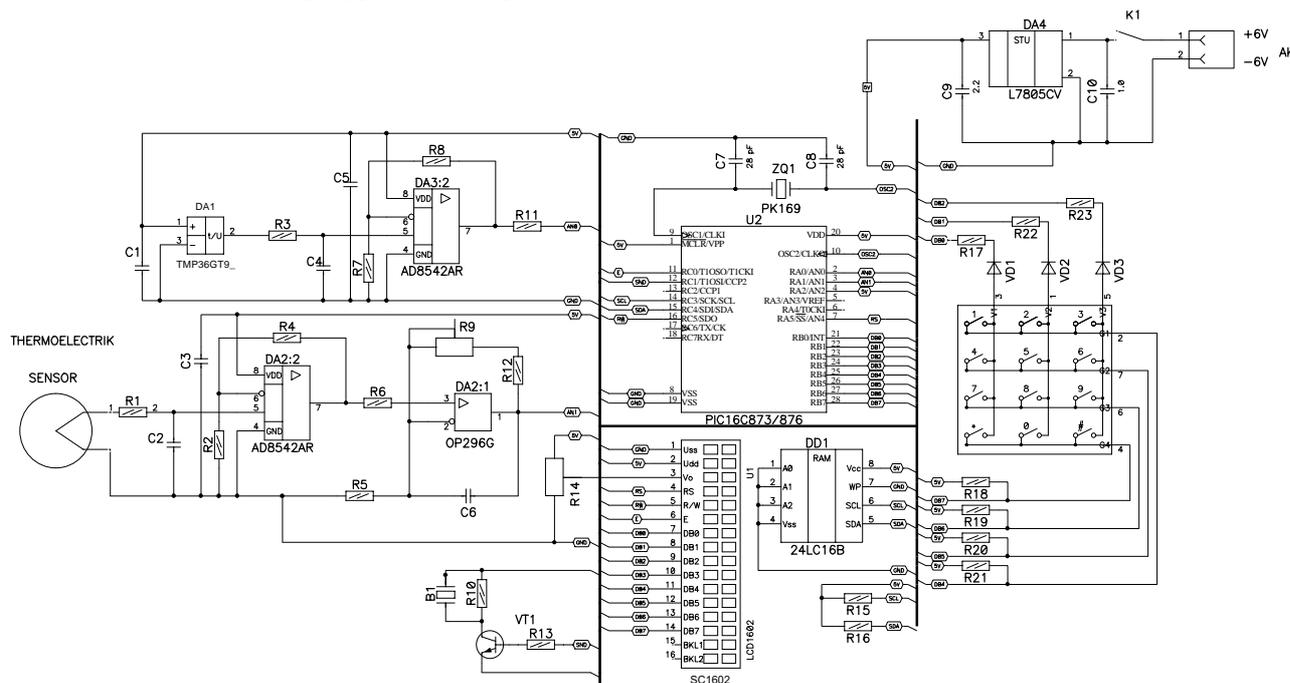


Рис. 4

рами ведущих зарубежных производителей. Целью работы было показать, что на основе разработанных отечественных термоэлектрических сенсоров и сравнительно несложной схемотехники возможно производство надежных и простых в эксплуатации автономных приборов с характеристиками не хуже зарубежных аналогов [1], но на 1,5—2 порядка дешевле.

Дальнейшая работа над устройством заключалась в «осовременивании» элементной базы, расширении возможностей дистанционного локального измерения температуры разного рода объектов, в повышении помехозащищенности, верификации и архивации данных исследований.

На рис. 4 приведена принципиальная электрическая схема прибора на основе программируемых микроконтроллеров серии PIC (Microchip). Хотя приведенная схема прибора в значительной мере повторяет рис. 2 и не настолько очевидна с точки зрения принципа действия, однако значительно более адаптирована к функциональному и информативному расширению, вполне пригодна для SMD-исполнения. Существенное преимущество данного решения усматривается также в том, что микроконтроллер может быть относительно легко перепрограммирован на другие объекты, допускает до десятков алгоритмов работы с внешним устройством памяти, архивацию данных измерений и др.

Следующим этапом работы была разработка дистанционного устройства извещения о локальном повышении температуры различного рода объектов. Для простоты изложения остановимся лишь на одном возможном применении — извещателе пожарном дистанционном объемном. (Такое название в некоторой мере условно, поскольку в нормативных документах Украины такой класс приборов, в отличие от мировых стандартов, пока не предусмотрен [5].)

Принцип действия данного извещателя заключается в регистрации некоторого порогового значения электромагнитного излучения (ИК-, УФ- или видимого спектра), что позволяет фиксировать повышение температуры или открытое пламя. На рис. 5 приведена принципиальная электрическая схема пожарного извещателя. Извещение о локальном повышении температуры реализуется, в данном случае, аналоговым (безадресным) путем увеличения тока в шлейфе.

Изготовленные опытные образцы извещателей показали чувствительность не хуже $\pm 3^\circ\text{C}$ в границах телесного угла 1 ср на расстоянии до 5 м. Чувстви-

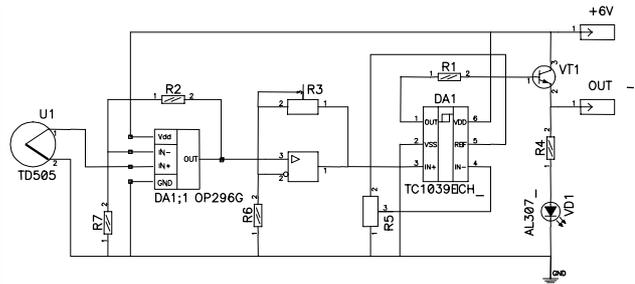


Рис. 5

тельность устройства обеспечивает возможность его применения в пожарной и охранной технике согласно существующим мировым требованиям.

Очевидно, что представленные схемотехнические решения представляют собой иллюстративный вариант: разработаны устройства, которые включают процессоры с соответствующей защитой от электрических наводок, верификацией и архивацией данных. Отметим только, что ток потребления в дежурном режиме не превышает 200 мкА, а в режиме срабатывания составляет до 20 мА. Такое изменение тока в шлейфах может быть надежно зафиксировано центральным пультом.

Выводы

Пленочные термоэлектрические преобразователи представляются вполне пригодными для разработки и создания приборов дистанционного измерения температуры в различных областях и имеют преимущества по сравнению с традиционными устройствами. Неселективность приемников, низкое выходное сопротивление, воспроизводимость характеристик, сравнительно невысокая себестоимость определяют конкурентоспособность таких устройств.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. The infrared temperature / Handbook, Omega Engineering Inc.— North American Edition, 1994.
2. Фигурнов Э., Мрыхин С. Инфракрасный термометр // Радио.— 1981.— Вып. 5.— С. 18—20.
3. Бирюков С. Применение АЦП КР572ПВ5 // Радио.— 1998.— Вып. 8.— С. 62.
4. Кушнерев А. Микро мощный стабилизированный преобразователь напряжения // Радио.— 1989.— Вып. 5.— С. 74.
5. ДБН В.2.5-13—98. Гос. строит. нормы Украины. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Пожарная автоматика зданий и сооружений.— Киев: Гос. комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 1999.

ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ В 2005 ГОДУ

- 18 апреля — 50 лет со дня смерти А. Эйнштейна (1879—1955), физика-теоретика, одного из основателей современной физики, лауреата Нобелевской премии.
- 23 апреля — 40 лет со дня запуска (1965) первого отечественного автоматического спутника космической системы связи "Молния-1".
- 28 июля — 90 лет со дня рождения (1915) Ч.-Х. Таунса, американского физика, одного из основателей квантовой электроники, лауреата Нобелевской премии.
- 4 августа — 75 лет назад (1930) советский ученый Л. А. Кубецкий подал авторскую заявку на изобретен-

- ный им фотоэлектронный умножитель, ставший родоначальником нового класса электронных приборов.
- 18 сентября — 70 лет со дня рождения (1935) Ю. В. Гуляева, ученого в области радиофизики, электроники, акустики.
- 22 октября — 30 лет назад (1975) выведен на орбиту первый искусственный спутник планеты Венера, который передал на Землю первое телевизионное изображение ее поверхности.
- 29 октября — 125 лет со дня рождения А. Ф. Иоффе (1880—1960), ученого-физика, создателя отечественной физической школы, пионера исследования полупроводников.