

УДК 614.842.47:678.5:621.319.2

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМОРФНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЯХ

Я. О. ШАБЛОВСКИЙ, кандидат физико-математических наук, доцент

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлены технические решения, позволяющие существенно повысить эффективность тепловых пожарных извещателей. Особое внимание обращено на нетрадиционные термосенсорные материалы. Указаны полиморфные материалы (полуметаллы), применение которых упрощает конструкцию извещателей и одновременно расширяет их возможности.

Ключевые слова: пожарный извещатель, тепловой извещатель, термосенсорные элементы.

Введение

Работа всех устройств обнаружения пожара основана на регистрации изменений параметров среды, обусловленных горением [1], [2]. Обычно возгорание сопровождается выделением дыма, поэтому наибольшее распространение получили дымовые пожарные извещатели [3]. Однако опыт показывает, что в полной мере себя оправдывают только дымовые извещатели особого назначения, а именно – радиоизотопные извещатели, используемые на специфических объектах (атомные электростанции, тоннели, кабельные коллекторы и т. п.), и линейные оптические извещатели, устанавливаемые в очень больших помещениях, в помещениях с ценным имуществом, стратегически значимым оборудованием и т. д. [4]. Применение же точечных оптических извещателей, доля которых на современном рынке пожарных извещателей доходит до 90 % [5], многие специалисты признают малоэффективным (см., например, [6]). В самом деле, из-за низкой помехоустойчивости точечных дымовых извещателей их использование чревато частыми ложными срабатываниями. Кроме того, в нормальном состоянии такой извещатель не вырабатывает никаких сигналов, что не позволяет отличить состояние «Норма» от состояния «Неисправность».

Под влиянием вышеназванных обстоятельств в последние годы возродился интерес к тепловым пожарным извещателям [7]. Известно [8], что среди устройств этого класса наибольшей эффективностью обладают извещатели максимально дифференциального типа. При их разработке основное внимание уделяется совершенствованию операционных, микропроцессорных и т. п. устройств, обрабатывающих первичный сигнал и формирующих сигнал оповещения и/или реагирования [5], [9], тогда как термосенсорные элементы, ответственные за формирование первичного сигнала, остаются в рамках стандартных схем [10]. Между тем недавно было наглядно продемонстрировано [11], что радикальная замена термосенсорного элемента позволяет существенно повысить эффективность теплового извещателя при минимальных схемотехнических затратах. В настоящей статье предложено два варианта исполнения тепловых извещателей максимально-дифференциального типа с термосенсорными элементами на основе полиморфных кристаллов.

Основная часть

Поскольку изменение температуры влияет на все без исключения свойства вещества, термосенсорный элемент, вообще говоря, может быть любым. В контексте пожарной автоматики безусловным преимуществом обладают терморезистивные элементы: такое исполнение термосенсора избавляет от необходимости преобразования первичного сигнала неэлектрической природы в электрический сигнал.

Работа сенсорного элемента терморезистивного извещателя максимально-дифференциального типа обычно основывается на различии температурных коэффициентов сопротивления двух терморезисторов [10]. Температурные коэффициенты сопротивления стандартных полупроводниковых терморезисторов различаются в 1,5–2 раза [12], поэтому эффективность такого извещателя недостаточно высока. Нами предлагается исполнение термосенсорного элемента в виде полупроводникового терморезистора, соединенного параллельно с терморезистором, изготовленным из материала, способного испытывать полиморфное превращение «изолятор–проводник».

Устройство извещателя предлагаемой конструкции поясняется на рисунке 1, где представлен вид спереди (в разрезе) и вид сверху (со снятой крышкой).

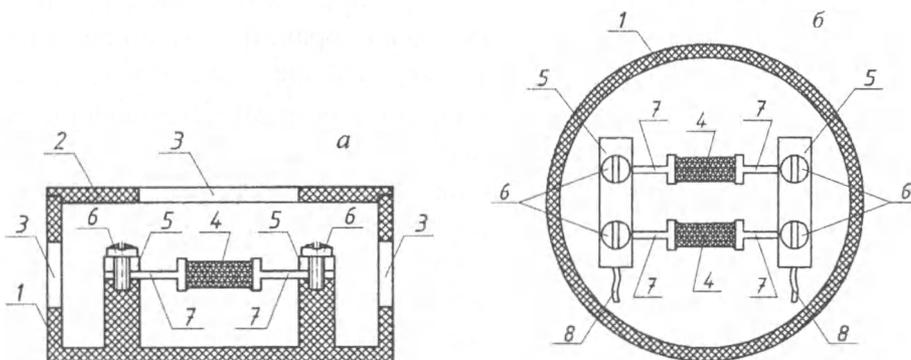


Рисунок 1 – Конструкция теплового пожарного извещателя с двумя терморезисторами: а – вид спереди (в разрезе); б – вид сверху (со снятой крышкой)

В защитном корпусе, состоящем из основания 1 и крышки 2, снабженных отверстиями 3, расположены два терморезистора 4, соединенных параллельно посредством металлических пластин 5, скрепленных с помощью винтов 6 с металлическими выводами 7 терморезисторов 4 и с проводниками 8 шлейфа сигнализации.

В качестве первого терморезистора использован кобальто-марганцевый терморезистор (например, КМТ-14 либо КМТ-17 [12]). Среди известных терморезисторов кобальто-марганцевые терморезисторы обладают наибольшим температурным коэффициентом сопротивления ($\sim -6\% / ^\circ\text{C}$). Это обеспечивает высокую чувствительность извещателя к изменениям температуры воздуха в охраняемом помещении.

Материалом второго терморезистора служит полуметалл – оксид $V_{1-x}Nb_xO_2$ при $0 \leq x \leq 0,014$. Отличительной особенностью полуметаллов является испытываемое ими при нагревании обратимое полиморфное превращение «изолятор–проводник». У оксида $V_{1-x}Nb_xO_2$ это превращение сопровождается скачкообразным безгистерезисным изменением электропроводности в 10^5 раз [13]. Варьирование содержания ниобия в этом оксиде позволяет варьировать температуру T^* указанного перехода. Выполненная нами обработка экспериментальных данных [14] показала, что с ростом содержания ниобия (т. е. с ростом x) в системе $V_{1-x}Nb_xO_2$ температура полиморфного превращения уменьшается по закону

$$T^*(x) = \frac{1000}{11x + 2,94} - 273,15$$

от $T^* = 68\text{ }^\circ\text{C}$ для чистого VO_2 до $T^* = 50\text{ }^\circ\text{C}$ для $\text{V}_{0,986}\text{Nb}_{0,014}\text{O}_2$.

Благодаря этому применение оксидной системы $\text{V}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$ при $0 \leq x \leq 0,014$ в качестве материала терморезистора позволяет создавать извещатели, срабатывающие при температурах от 50 до $68\text{ }^\circ\text{C}$, что обеспечивает возможность обнаружения пожара на ранней стадии.

Извещатель работает следующим образом. Пока температура T в помещении не превышает порогового значения T^* , электрическое сопротивление второго терморезистора очень велико, и общее сопротивление извещателя в основном определяется сопротивлением первого терморезистора. Если при этом скорость τ нарастания температуры также не превышает порогового значения ($\tau < \tau^*$), то сила тока в шлейфе сигнализации меняется слабо, оставаясь в области номинальных значений. Последнее свидетельствует о безопасной обстановке в охраняемом помещении.

При повышении температуры окружающего воздуха со скоростью, превосходящей пороговое значение ($\tau \geq \tau^*$), столь же быстрое уменьшение электрического сопротивления первого терморезистора вызовет ускоренное возрастание силы тока в шлейфе сигнализации, свидетельствующее о возможном возгорании в охраняемом помещении.

Дальнейшее повышение температуры окружающего воздуха в месте установки извещателя до порогового значения T^* приводит к резкому уменьшению сопротивления второго терморезистора, что, в свою очередь, вызывает скачкообразное возрастание силы тока в шлейфе и сигнализирует о пожаре в охраняемом помещении.

Для контроля скорости нарастания силы тока в шлейфе могут быть использованы различные схемотехнические приемы. Электрическая схема извещателя с простейшим вспомогательным устройством, позволяющим контролировать скорость нарастания силы тока в шлейфе, представлена на рисунке 2.

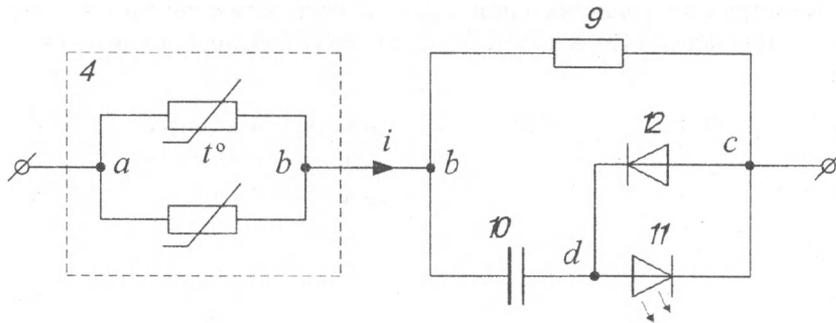


Рисунок 2 – Электрическая схема контроля скорости нарастания силы тока теплового пожарного извещателя с двумя терморезисторами

Поскольку извещатель питается постоянным напряжением, в отсутствие нарастания тока i в шлейфе этот ток протекает на участке $a-b-c$ через резистор 9, и светодиодная индикация отсутствует. Если же сила тока i в шлейфе увеличивается, то через светодиод 11 протекает ток $i^* \approx \tau RC \frac{di}{dT}$, где R – сопротивление резистора 9, C – емкость конденсатора 10. При этом вспомогательный диод 12 обеспечивает возможность разряда конденсатора 10 после прекращения нарастания силы тока в шлейфе для восстановления дежурного состояния извещателя.

Существуют полуметаллы, у которых полиморфный переход «изолятор–проводник» не скачкообразный, как у упомянутого выше оксида $\text{V}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$, а размы-

тый. Среди известных веществ такие полуметаллы обладают наибольшим температурным коэффициентом сопротивления [15]. Благодаря этому их применение позволяет осуществить одновременный контроль величины температуры в помещении и процесса ее изменения со временем при помощи единственного терморезистора. Электрическая схема соответствующего устройства представлена на рисунке 3.

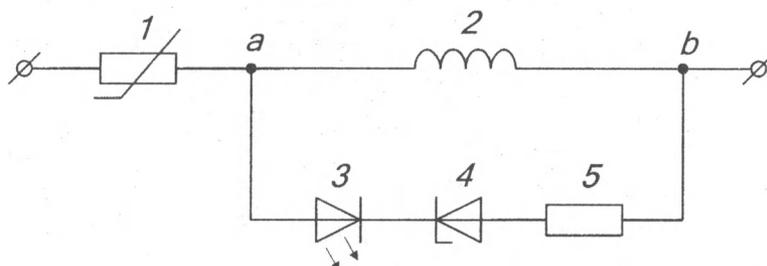


Рисунок 3 – Электрическая схема теплового пожарного извещателя с одним терморезистором

В защитном корпусе извещателя расположен терморезистор 1 , последовательно соединенный с индуктивной катушкой 2 , параллельно которой подключен индикатор превышения порогового напряжения. Простейший вариант такого индикатора – светодиод 3 , последовательно соединенный со стабилитроном 4 и резистором 5 .

Терморезистор 1 изготавливают из нестехиометрического полуметалла, например, $Nb_{0,5}V_{0,5}O_2$, $(Cr_xV_{1-x})_2O_3$ при $x \geq 0,04$, $Ni(S_{0,74}Se_{0,26})_2$, $Y_{0,8}Ca_{0,2}TiO_3$, $La_{0,95}Sr_{0,05}MnO_3$, $La_{1-x}Sr_{1+x}MnO_4$ при $x \geq 0,01$, $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$ при $x \geq 0,05$ либо $Sr_xLa_{2-x}NiO_4$ при $x \leq 0,05$.

Индуктивную катушку 2 изготавливают из провода с малым активным сопротивлением, например, из электролитической медной проволоки марки ММ. Включение этой катушки последовательно с терморезистором 1 позволяет количественно оценивать скорость изменения температуры и соответствующие термоиндуцированные изменения тока i , протекающего в шлейфе сигнализации, по величине напряжения $u_{ab} \cong L \frac{di}{dt}$ на зажимах катушки 2 , обладающей индуктивностью L .

Знак температурного коэффициента сопротивления терморезисторов, изготавливаемых из нестехиометрических полуметаллов, может быть как положительным, так и отрицательным. К нестехиометрическим полуметаллам с положительным температурным коэффициентом сопротивления относятся $Y_{0,8}Ca_{0,2}TiO_3$, $(Cr_xV_{1-x})_2O_3$ при $x \geq 0,04$, $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$ при $x \geq 0,05$ и др., а к полуметаллам с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления – $Nb_{0,5}V_{0,5}O_2$, $La_{0,95}Sr_{0,05}MnO_3$, $La_{1-x}Sr_{1+x}MnO_4$ при $x \geq 0,01$, $Ni(S_{0,74}Se_{0,26})_2$, $Sr_xLa_{2-x}NiO_4$ при $x \leq 0,05$ и др. [15]. Терморезистор из полуметалла с положительным температурным коэффициентом сопротивления применяют в извещателе, совмещаемом с пожарно-контрольным прибором, срабатывающим при уменьшении силы тока в шлейфе. Терморезистор из полуметалла с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления применяют в извещателе, совмещаемом с пожарно-контрольным прибором, срабатывающим при увеличении силы тока в шлейфе.

Извещатель, выполненный на основе терморезистора с положительным температурным коэффициентом сопротивления, работает следующим образом.

При нормальной температуре в помещении, не превышающей порогового значения T^* , электрическое сопротивление терморезистора 1 мало, так что ток в извещателе находится на номинальном уровне. Если при этом скорость τ нарастания температуры также не превышает порогового значения ($\tau < \tau^*$), то напряжение на межузловом

участке извещателя практически отсутствует. Как следствие, отсутствует индикация превышения порогового значения напряжения. Номинальное значение силы тока в шлейфе в сочетании с отсутствием индикации превышения порогового напряжения свидетельствует о безопасной обстановке в охраняемом помещении.

При повышении температуры окружающего воздуха со скоростью, превосходящей пороговое значение ($\tau \geq \tau^*$), столь же быстрое возрастание электрического сопротивления терморезистора I вызовет ускоренный спад тока в нем, в результате чего напряжение на междузловом участке извещателя возрастет до порогового значения, отвечающего срабатыванию индикатора, извещающего о пожароопасной обстановке в охраняемом помещении. При повышении температуры окружающего воздуха до порогового значения T^* сопротивление терморезистора I повышается до своего верхнего порогового значения, что, в свою очередь, приводит к уменьшению тока в шлейфе до нижнего порогового значения и сигнализирует о пожаре.

Извещатель, выполненный на основе терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления, работает следующим образом.

При нормальной температуре в помещении ($T < T^*$) электрическое сопротивление терморезистора I очень велико, так что ток в извещателе практически отсутствует. Если при этом скорость τ нарастания температуры также не превышает порогового значения ($\tau < \tau^*$), то и напряжение на междузловом участке извещателя практически отсутствует. Как следствие, отсутствует индикация превышения порогового значения напряжения. Отсутствие электрического тока в шлейфе в сочетании с отсутствием индикации превышения порогового напряжения свидетельствует о безопасной обстановке в охраняемом помещении.

При повышении температуры окружающего воздуха со скоростью, превосходящей пороговое значение ($\tau \geq \tau^*$), столь же быстрое уменьшение электрического сопротивления терморезистора I вызовет ускоренное возрастание силы тока в нем, в результате чего напряжение на междузловом участке извещателя возрастет до порогового значения, отвечающего срабатыванию индикатора, извещающего о пожароопасной обстановке в охраняемом помещении. При повышении температуры окружающего воздуха до порогового значения T^* сопротивление терморезистора I уменьшается до своего нижнего порогового значения, что, в свою очередь, приводит к возрастанию силы тока в шлейфе до верхнего порогового значения и сигнализирует о пожаре.

Заключение

Для повышения эффективности тепловых пожарных извещателей целесообразно использовать терморезистивные сенсорные элементы на основе полуметаллов $V_{1-x}Nb_xO_2$ при $0 \leq x \leq 0,014$, $Nb_{0,5}V_{0,5}O_2$, $(Cr_xV_{1-x})_2O_3$ при $x \geq 0,04$, $Ni(S_{0,74}Se_{0,26})_2$, $Y_{0,8}Ca_{0,2}TiO_3$, $La_{0,95}Sr_{0,05}MnO_3$, $La_{1-x}Sr_{1+x}MnO_4$ при $x \geq 0,01$, $Sr_xLa_{1-x}TiO_3$ при $x \geq 0,05$ и $Sr_xLa_{2-x}NiO_4$ при $x \leq 0,05$.

Предложенные конструкции пожарных извещателей обеспечивают возможность одновременного контроля величины температуры в помещении и процесса ее изменения с целью обнаружения пожара как по превышению определенного порогового значения допустимых температур воздуха, так и по превышению определенного порогового значения допустимых скоростей нарастания его температуры.

Литература

- 1 Шаровар, Ф. И. Принципы построения устройств и систем пожарной сигнализации / Ф. И. Шаровар. – М. : Стройиздат, 1983. – 335 с.
- 2 Новые методы и технические средства обнаружения пожара / А. Н. Членов [и др.]. – М. : Акад. ГПС МЧС РФ, 2007. – 175 с.
- 3 Синилов, В. Г. Системы охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации / В. Г. Синилов. – М. : Акад., 2010. – С. 83.
- 4 Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа: Рекомендации. – М. : ВНИИПО, 2004. – 96 с.
- 5 Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А. В. Федоров [и др.]. – М. : Акад. ГПС МЧС РФ, 2009. – 160 с.
- 6 Овчинников, В. В. Алгоритмы работы дымовых пожарных извещателей / В. В. Овчинников / Алгоритмы безопасности. – 2007. – № 6. – С. 8–12.
- 7 Членов, А. Н. Автоматические пожарные извещатели / А. Н. Членов. – М. : НИЦ «Охрана» ВНИИПО МВД РФ, 1997. – 51 с.
- 8 Баканов, В. В. Тепловые пожарные извещатели. Ч. 1 / В. В. Баканов, И. Г. Неплохов / Алгоритмы безопасности. – 2011. – № 5. – С. 24–27.
- 9 Топольский, Н. Г. Основы автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов / Н. Г. Топольский. – М. : МИПБ МВД РФ, 1997. – 164 с.
- 10 Шаровар, Ф. И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф. И. Шаровар. – М. : Стройиздат, 1983. – С. 117–124.
- 11 Электретный термочувствительный элемент для аналогового теплового пожарного извещателя : пат. 14161 Респ. Беларусь, МПК (2009) G 08 B 17/06, H 01 G 9/21 / И. М. Вертячих, Ю. А. Волков; заявитель ГИИ МЧС Респ. Беларусь. – № a20080840 ; заявл. 24.06.2008 ; опубл. 30.04.2011.
- 12 Зайцев, Ю. В. Полупроводниковые резисторы в технике / Ю. В. Зайцев, А. Н. Марченко, И. И. Ващенко. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – С. 8–10.
- 13 Мотт, Н. Ф. Переходы металл – изолятор / Н. Ф. Мотт. – М. : Наука, 1979. – 344 с.
- 14 Бугаев, А. А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение / А. А. Бугаев, Б. П. Захарченя, Ф. А. Чудновский. – Ленинград : Наука, 1979. – С. 32.
- 15 Imada, M. Metal-insulator transitions / M. Imada, A. Fujimori, Y. Tokura // Reviews of Modern Physics. – 1998. – Vol. 70, № 4. – P. 1039–1263.

Поступила в редакцию 22.03.2012

Ya. Shablovsky

APPLICATION OF POLYMORPHIC MATERIALS IN THERMAL FIRE ALARMS

Technical decisions enhancing efficiency of thermal fire alarms are presented. The special attention is paid to unusual thermosensor materials. Polymorphic materials (semimetals) enabling simultaneous simplification of the construction of thermal fire alarms and extension of their abilities are indicated.