

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Шут В. Н., Гаврилов А.В.

*Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси
г. Витебск, Республика Беларусь, shut@vitebsk.by*

Введение. В электротехнике и радиоэлектронике широко применяются терморезисторы с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС) на основе керамики титаната бария, легированной редкоземельными элементами [1]. Физической основой возникновения ПТКС эффекта в таких материалах является изменение высоты зернограничных барьеров Шоттки при фазовом переходе. Наиболее важную группу ПТКС-терморезисторов (позисторов) составляют силовые элементы (работающие в цепях со значительными величинами токовых нагрузок и высокими электрическими напряжениями), к которым относятся: нагревательные и пусковые позисторы, элементы схем защиты от перегрузок по току и напряжению и др. Однако при воздействии больших токовых нагрузок терморезисторы могут разрушаться по механизму расслоения на две практически равные половинки в плоскости параллельной электродам [2]. Большие токи вызывают неравномерный разогрев позистора. Причем наибольшие градиенты температур (более 40 градусов) реализуются по толщине керамического элемента (вдоль линии тока) и обусловлены аномальным изменением теплоемкости и электросопротивления материала при фазовом переходе, т.е. имеют фундаментальный характер [3]. Большие перепады температур приводят к возникновению термоупругих растягивающих напряжений. Величины этих напряжений могут достигать 50-80 МПа [4], что соизмеримо с пределом прочности полупроводниковой керамики на основе титаната бария 50-100 МПа [5].

В связи с этим, особый интерес вызывает разработка методов уменьшения температурных напряжений в ПТКС терморезисторах при воздействии токовых нагрузок [6, 7]. В данной работе рассмотрен метод коррекции температурных полей и снижения термоупругих напряжений, основанный на изменении формы керамического позисторного элемента.

Результаты и их обсуждение. Распределение температуры в позисторных элементах рассчитывалось путем совместного решения уравнений теплопроводности и электропроводности [6, 7]. Для расчетов температурных напряжений решалась квазистатическая задача термоупругости. Зависимости удельного сопротивления от температуры и напряженности электрического поля были получены экспериментально. Исследовались защитные терморезисторы, выпускаемые предприятием РУП «Витебский завод радиодеталей «МОНОЛИТ»» (температура переключения $T_C = 87^\circ\text{C}$, удельное сопротивление при 25°C $\rho_{25} = 0.31 \text{ Ом}\cdot\text{м}$).

Сечения терморезисторов, исследованных в настоящей работе, приведены на рисунке 1. Исследовались два типа терморезисторов. Первый имеет форму цилиндра с прямоугольным сечением ОМAB – классический типоразмер; второй представляет собой совокупность цилиндра и двух усеченных конусов (со скошенной острой кромкой), с сечением ОМСDB – модифицированный типоразмер.

На рис. 2а. приведено распределение температур для классического терморезистора в момент времени, когда достигаются максимальные растягивающие напряжения (для компоненты тензора напряжений τ_z). Процесс нагрева происходит следующим образом. В начальный момент времени происходит быстрый разогрев позистора. Так как температура центральной области превышает температуру на границах,

переключение в центре происходит раньше. Экспоненциальная зависимость сопротивления от температуры способствует максимальной теплогенерации в центре элемента, при этом имеет место интенсивный отток тепла из керамики в электрод, что обуславливает формирование высокого температурного градиента ($\Delta T \sim 75^\circ\text{C}$). В дальнейшем, с ростом сопротивления керамики, генерируемая мощность уменьшается, электрод прогревается, и температурное поле по толщине терморезистора выравнивается.

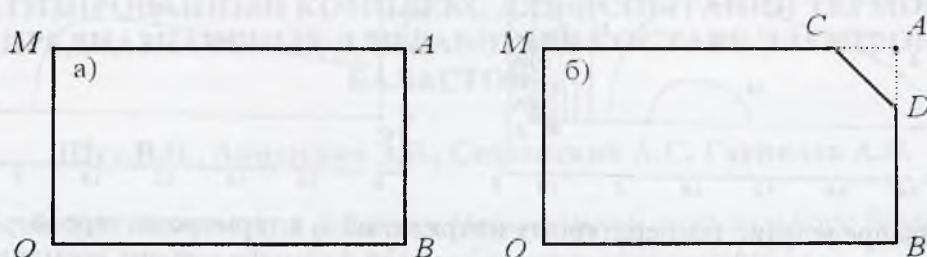


Рис. 1. Вид сечений терморезисторов (а – классический вариант, б – термистор модифицированной формы)

В модифицированном варианте терморезистора за счет уменьшения площади сечения позисторного керамического элемента в приэлектродных областях плотность электрического тока больше. Теплогенерация в приэлектродных областях в процессе разогрева повышается. Вследствие этого характер температурных полей изменяется, а максимальный перепад температур по толщине снижается до $\Delta T \sim 50^\circ\text{C}$. Это приводит к снижению максимальных напряжений в центре боковой поверхности.

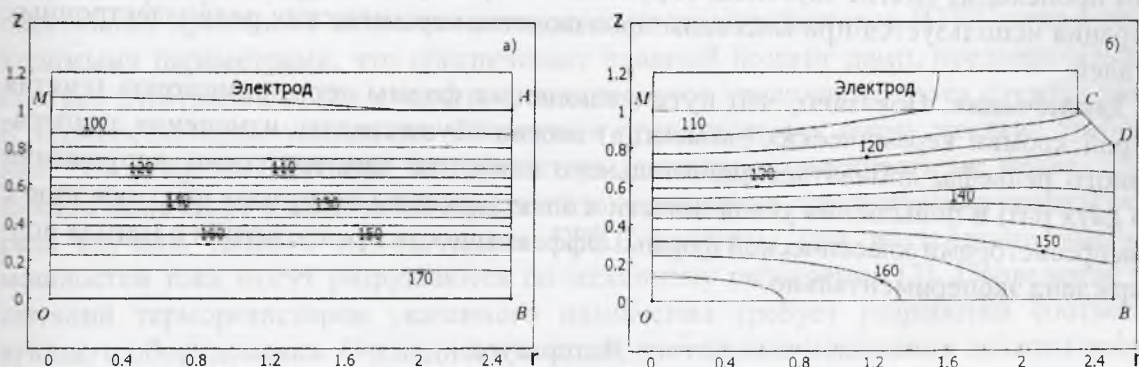


Рис. 2. Распределение температуры T в терморезисторе (а – классический вариант, б – термистор модифицированной формы) в момент времени $t = 0.255$ с после приложения напряжения, цифры у изотерм – значения T , $^\circ\text{C}$. z , мм; r , мм.

Распределение компоненты тензора напряжений τ_z для двух типов терморезисторов (для моментов времени, когда величины τ_z максимальны) приведены на рис. 3. Из рисунков видно, что в терморезисторах со скошенной острой кромкой растягивающие напряжения существенно снижаются. Температурным рельефом и соответственно термоупругими напряжениями можно эффективно управлять за счет величины скоса острой кромки. Обозначим $AC = AD = h$. Величина максимальных растягивающих напряжений при $h = 200$ мкм уменьшается в два раза (до 41 МПа) по

сравнению с терморезисторами стандартной формы и не превышает предела прочности керамики указанного типа.

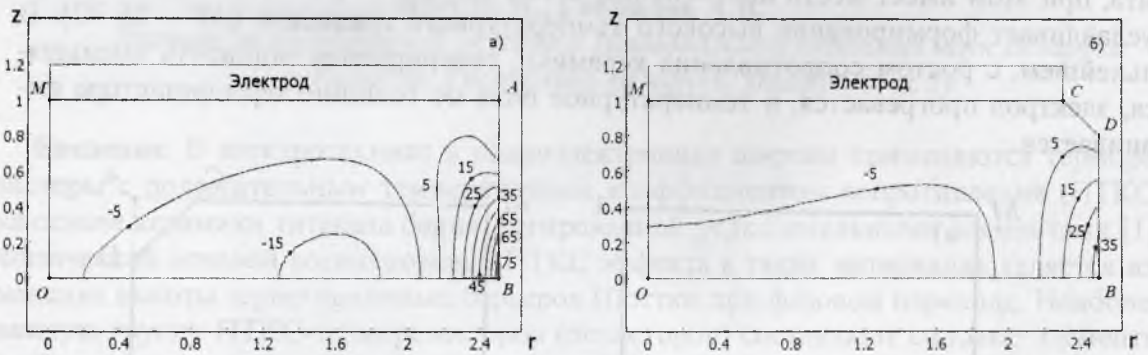


Рис. 3. Распределение температурных напряжений τ_z в терморезисторе (а – классический вариант, б – термистор модифицированной формы) в момент времени $t = 0.255$ с после приложения напряжения, цифры у линий – значения τ_z , МПа. z , мм; r , мм.

Отметим, что в каждом конкретном случае (номинал терморезистора, величина нагрузочного сопротивления, условия теплообмена и т.д.) возможно оптимизировать типоразмер терморезистора, обеспечивающий более чем двухкратное снижение напряжений.

Предложенный принцип уменьшения напряжений может быть достаточно легко реализован на практике с помощью технологической операции «галтовка»: вынужденное перемещение изделий (в нашем случае керамических элементов) относительно друг друга (иногда в присутствии абразивных частиц, мелющих тел и т.д.). При этом происходит снятие заусенцев, округление острых углов и ребер изделий. Данная операция используется при массовом производстве керамических радиоэлектронных деталей.

Заключение. Показано, что путем изменения формы терморезисторов (снятия острой кромки керамических элементов) можно осуществлять изменения температурного рельефа, добиваться значительного снижения температурных напряжений (до двух раз) и повышения устойчивости к электрическим нагрузкам по сравнению с терморезисторами классической формы. Эффективность предложенного метода подтверждена экспериментально

Литература

1. Шефтель И. Т. Терморезисторы. М.: «Наука», 1973.
2. Dewitte C., Elst R., and Delannay F. On the mechanism of delamination fracture of BaTiO₃-based PTC thermistors// J. European Ceramic Society. 1994. Vol. 14. Pp. 481-492.
3. Shut V. N., Syrtsov S. R., Gavrilenko E. L., Gavrilov A. V. Temperature fields in temperature-sensitive resistors on basis of barium titanate// Science of materials. 2005. № 2. Pp. 12-16.
4. Шут В. Н., Гаврилов А. В. Температурные напряжения в полупроводниковой керамике на основе титаната бария // ИФЖ. 2008. Т. 81, № 3. С. 596–601.
5. Blamey J. M and Parry T. V. The effect of processing variables on the mechanical and electrical properties of barium titanate positive temperature coefficient of resistance ceramics. I. Additives and processing prior to sintering // J. Mater. Sci. 1993. Vol. 28. Pp. 4311–4316.

6. Шут В. Н., Гаврилов А. В. Температурные напряжения в неоднородных терморезисторах на основе титаната бария // ИФЖ. 2009. Т. 82, № 5. С. 981–983.
7. Shut V. N., Gavrilov A. V. Thermal Stresses in Layered Barium Titanate-Based Semiconductor Ceramic // Technical Physics. 2008, Vol. 53, № 11, Pp. 1508–1512.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОННЫХ БАЛАСТОВ

Шут В.Н., Анищенко Э.В., Седловский А.С., Гаврилов А.В.

*Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси
г. Витебск, Республика Беларусь, shut@vitebsk.by*

Совершенствование светотехнической аппаратуры на основе люминесцентных ламп связано с использованием электронных пуско-регулирующих аппаратов (ЭПРА), обеспечивающих работу ламп на частотах выше 20 кГц. Применение ЭПРА обеспечивает: экономию электроэнергии до 25% за счет меньших потерь в ЭПРА и увеличения светового КПД лампы, высокий коэффициент мощности, отсутствие пульсаций светового потока, уменьшение массы светильников, отсутствие акустического шума, широкий диапазон рабочих температур и входных напряжений, увеличение срока службы ламп [1, 2].

В настоящее время разработан и реализован ряд принципов (схемных решений) электронного управления люминесцентными лампами. Одним из наиболее перспективных принципов является использование терморезисторов ПТКС типа с необходимыми параметрами, что обеспечивает плавный поджиг ламп, предварительный прогрев электродов и, как следствие, значительное увеличение срока службы ламп. К терморезисторам указанного назначения предъявляются очень жесткие требования. Этот обусловлено тем, что позисторы должны выдерживать не менее 10000 циклов включение-выключение при достаточно высоких электрических нагрузках. В ряде случаев, широко используемые ПТКС-элементы при воздействии высоких мощностей тока могут разрушаться по механизму расслоения [3]. Проведение испытаний терморезисторов указанного назначения требует разработки соответствующего оборудования. Очевидно, что столь длительные испытания должны проводиться в автоматическом режиме с непрерывным контролем характеристик позисторов. Оборудование такого назначения в мире не производится. В настоящей работе описан прибор (стенд) для проведения испытаний на срок службы терморезисторов (позисторов) типа РТС-Л сопротивлением 84-195 Ом, работающих в составе пуско-регулирующих аппаратов экономичных источников освещения на частоте (30 – 40) кГц.

Стенд обеспечивает подачу на испытуемые образцы импульсов специальной формы, имитирующих работу позисторов при поджиге люминесцентных ламп (рис.1), а также выбраковывать терморезисторы при их отказе. Испытательный импульс состоит из периода подачи испытательного напряжения U_1 с пиковым размахом (130 ± 30) В, периода подъема испытательного напряжения от значения U_1 до значения U_2 по экспоненциальному закону и периода подачи испытательного напряжения U_3 с пиковым размахом (250 ± 15) В. Диапазон пиковых значений испытательного напряжения U_2 дискретно задается оператором стенда и может изменяться от 600 В