

Раздел 1. ХОЛОД

УДК 621.362: 537.322

О термостабилизации нескольких объектов на разных температурных уровнях

Д-р техн. наук, проф., академик МАХ Т.А. ИСМАИЛОВ, канд. техн. наук О.В. ЕВДУЛОВ
Дагестанский государственный технический университет

In the present work the system thermostabilisation elements of the radio-electronic equipment, based on sharing thermostabilisation the substances having stable temperature of fusion and thermoelectric batteries is offered to consideration.

В процессе эксплуатации электронных комплексов довольно часто возникает необходимость одновременной термостабилизации нескольких элементов на разных температурных уровнях (например, лазерных диодов), что наиболее просто и эффективно осуществить посредством термоэлектрических, термостабилизирующих приборов, имеющих небольшие габаритные размеры и высокую надежность работы.

Одним из способов одновременной термостабилизации нескольких электронных объектов на разных температурных уровнях является тепловое сопряжение последних с термоэлектрическими охлаждающими элементами (термоэлектрическими батареями). При этом термоэлектрические батареи подбирают таким образом, чтобы каждая из них обеспечивала заданный температурный режим работы электронного элемента, приведенного с ней в тепловой контакт. Каждая термоэлектрическая батарея снабжается системой регулирования, состоящей из блока управления и связанных с ним источников электрической энергии и датчиков температуры, установленных на объекте термостабилизации. Температура электронного элемента регулируется путем изменения величины и полярности тока питания соответствующей термоэлектрической батареи посредством блока управления в соответствии с сигналом, поступающим с датчика температуры.

Такая температурная стабилизация электронных объектов имеет определенные недостатки, связанные, прежде всего со сложностью и с громоздкостью системы регулирования температуры и наличием многоканального источника электрической энергии с числом каналов, равным числу объектов термостабилизации (или же использованием нескольких одноканальных источников электрической энергии по числу объектов термостабилизации).

Устранить указанные недостатки, на наш взгляд, можно при некоторой модификации рассмотренного выше способа стабилизации температуры [2].

Модифицированная схема термостабилизирующей

системы приведена на рис. 1 (на рис. 1,а изображена конструкция, а на рис. 1,б – блок-схема термостабилизирующего устройства).

Система состоит из основных термоэлектрических батарей 1, обеспечивающих при заданных тепловых нагрузках требуемые рабочие температуры электронных объектов 2, установленных на их холодных спаях. Горячими спаями термоэлектрические батареи 1 приведены в тепловой контакт с кожухом 3, заполненным термостабилизирующим веществом 4, температура плавления которого совпадает с температурой термостабилизации горячих спаев основных термоэлектрических батарей 1. Здесь же установлен датчик температуры 5, соединенный с входом регулятора тока 6.

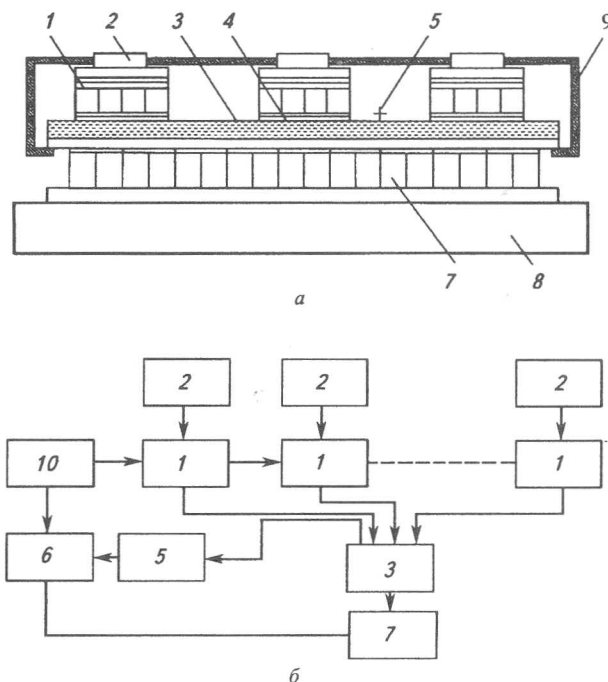


Рис. 1. Модифицированная схема термостабилизирующей системы (а – конструкция; б – блок-схема устройства для термостабилизации радиоэлектронных объектов на разных температурных уровнях)

Кожух 3 с термостабилизирующим веществом 4 размещен на холодных спах дополнительной термоэлектрической батареи 7, горячие спаи которой находятся в тепловом контакте с теплообменником 8. Теплозащитный экран 9 предназначен для уменьшения до минимума влияния колебаний температуры окружающей среды, а источник электрической энергии 10 питает термоэлектрические батареи 1 и 7 постоянным электрическим током.

Введение в систему кожуха с термостабилизирующим веществом и дополнительной термоэлектрической батареи, стабилизирующих температуру горячих спаев основных термоэлектрических батарей, позволяет осуществить одновременную термостабилизацию нескольких электронных объектов, работающих при различных температурах без дополнительных регулирующих элементов, так как система регулирования температуры управляет током только дополнительной термоэлектрической батареи, а через основные термоэлектрические батареи протекает постоянный по величине и направлению ток. Кроме того, термостабилизация горячих спаев основных термоэлектрических батарей, осуществляемая в предлагаемом устройстве, позволяет повысить точность термостатирования электронных элементов. Это обусловлено характером зависимости температуры холодных спаев термоэлектрических батарей от температуры горячих спаев. Для однокаскадной термоэлектрической батареи температура холодных спаев T_x при заданной температуре горячих спаев T_r

$$T_x = \frac{\frac{Q_x + kT_r + \frac{1}{2}I^2R}{n}}{\alpha I + k},$$

где Q_x – холодопроизводительность термоэлектрической батареи;

k – теплопроводность термоэлементов в термоэлектрической батарее;

I – величина тока, протекающего через термоэлектрическую батарею;

R – электрическое сопротивление термоэлементов;

α – коэффициент термо-ЭДС термоэлементов;

n – число термоэлементов в термоэлектрической батарее.

Из этого соотношения следует, что, в частности, для области температур (300 ± 50) К изменение температуры холодных спаев термоэлектрической батареи составляет примерно половину отклонения температуры горячих спаев, т.е. $\Delta T_x \approx 0,5 T_r$. Таким образом, если температура горячих спаев поддерживается с точностью до 1 %, то холодных – до 0,5 %. Введение в устройство кожуха с термостабилизирующим веществом позволяет стабилизировать температуру горячих спаев основных термоэлектрических батарей 1 в пределах 0,014 К, а электронных объектов – в пределах 0,007 К

(столь высокая точность стабилизации температуры объясняется ее неизменностью при фазовом переходе вещества и соблюдении определенных мер – максимальном оребрении кожуха, применении веществ с развитой естественной конвекцией в жидкой фазе [1]). Использование дополнительной термоэлектрической батареи необходимо для поддержания термостабилизирующего вещества в состоянии плавления на протяжении всего цикла работы электронных элементов.

Оценка продолжительности стабильной работы рассмотренной системы и, следовательно, продолжительности функционирования термостабилизируемых объектов при необходимом тепловом режиме может быть произведена по формуле [3]:

$$\tau = \frac{q\rho V}{\bar{Q}_{г.осн} - Q_{х.доп}}, \quad (1)$$

где τ – время стабильной работы термостабилизирующей системы;

q – скрытая теплота плавления термостабилизирующего вещества;

ρ – плотность термостабилизирующего вещества;

V – объем, занимаемый термостабилизирующим веществом;

$\bar{Q}_{г.осн}$ – количество теплоты, выделяемое в единицу времени на горячих спах всех основных термоэлектрических батарей (общая теплопроизводительность основных термоэлектрических батарей);

$Q_{х.доп}$ – количество теплоты, поглощаемое в единицу времени на холодном спае дополнительной термоэлектрической батареи (холодопроизводительность дополнительной термоэлектрической батареи).

Как следует из рассмотренного выражения, для работы термостабилизирующей системы в нормальном режиме сколь угодно длительное время необходимо выполнение условия $\bar{Q}_{г.осн} \leq Q_{х.доп}$. Это означает, что холодопроизводительность дополнительной термоэлектрической батареи должна быть равна или же превосходить теплопроизводительность всех основных термоэлектрических батарей. При стабилизации температуры достаточно большого количества радиоэлектронных объектов данное требование приводит к увеличению размеров и мощности дополнительной термоэлектрической батареи, что в некоторых случаях, когда величина ее холодопроизводительности ограничена, является неприемлемым. В связи с этим целесообразно определить промежуток времени, в течение которого нужно поддерживать температуру радиоэлектронных элементов на заданном уровне и, исходя из него, по выражению (1) найти оптимальное соотношение между количеством термостабилизирующего вещества и мощностью термоэлектрической батареи.

Кроме того, если диапазон температур статирования радиоэлектронных объектов лежит выше температуры окружающей среды, можно вообще отказаться от применения основных термоэлектрических батарей. В этом

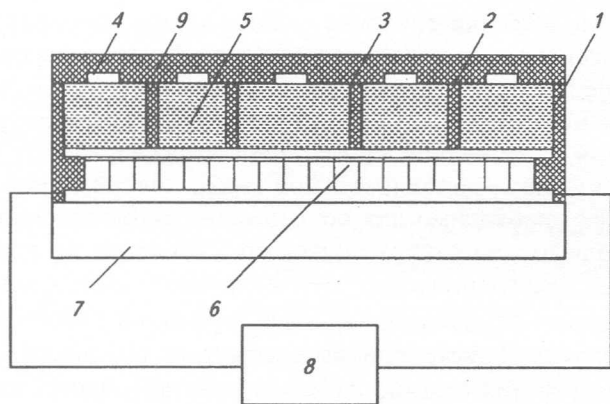


Рис. 2. Конструкция системы для термостабилизации радиоэлектронных объектов на разных температурных уровнях без использования основных термоэлектрических батарей

случае может быть использована конструкция термостабилизирующей системы, приведенная на рис. 2.

Данная система содержит тонкостенный металлический кожух 1, разделенный в горизонтальной плоскости перегородками 2 из теплоизоляционного материала на изолированные отсеки 3 по числу радиоэлектронных объектов термостабилизации 4, заполненные термостабилизирующими веществами 5, температуры плавления которых совпадают с оптимальными рабочими температурами объектов термостабилизации 4. Объекты термостабилизации 4 установлены на верхней поверхности отсеков 3, причем таким образом, чтобы оптимальная рабочая температура каждого объекта термостабилизации 4 совпадала с температурой плавления термостабилизирующего вещества 5, заполняющего данный отсек 3. К нижней поверхности отсеков 3 (противоположной размещению объектов термостабилизации 4) присоединена холодными спаями термоэлектрическая батарея 6, приведенная горячими спаями в тепловой контакт с теплообменником 7 и питаемая электрическим током от источника электрической энергии 8. Теплоизоляция 9 предназначена для устранения теплопритоков среды.

Для обеспечения в течение определенного промежутка времени оптимальной рабочей температуры каждого из радиоэлектронных элементов необходимо, чтобы объем соответствующего отсека с термостабилизирующим веществом примерно соответствовал величине

$$V_i = \frac{\tau \left(P_i - \frac{S_i}{S} Q_x \right)}{q_i \rho_i}, \quad (2)$$

где V_i – объем i -го отсека, заполненного i -м термостабилизирующим веществом;

P_i – мощность тепловыделений i -го объекта термостабилизации;

S_i – площадь нижней поверхности i -го отсека, за-

полненного i -м термостабилизирующим веществом; S – площадь нижней поверхности всего металлического кожуха;

q_i – скрытая теплота плавления i -го термостабилизирующего вещества;

ρ_i – плотность i -го термостабилизирующего вещества.

Такое конструктивное исполнение термостабилизирующей системы позволит также устранить недостаток рассмотренного ранее прибора (см. рис. 1), связанный с наличием большого количества разнотипных термоэлектрических батарей, необходимых для организации теплового режима термостабилизируемых радиоэлектронных элементов. Это обстоятельство усложняет организацию оптимального по энергетическим параметрам режима работы термоэлектрических батарей (трудность реализации для большого количества термоэлектрических батарей режима максимального холодильного коэффициента), а также изготовление термостабилизирующей системы. Однако подбор термостабилизирующих веществ, имеющих различную температуру плавления, соответствующую температуре стабилизации радиоэлектронных элементов, также затруднителен. Поэтому целесообразным будет применение конструкции, в которой термостабилизация одних радиоэлектронных элементов осуществляется при непосредственном сопряжении их с отсеками, заполненными термостабилизирующими веществами, а остальных – термоэлектрическими батареями, рассчитанными на соответствующий уровень стабилизации температуры.

В заключение необходимо отметить, что выражения (1), (2) носят приближенный характер. Основываясь на них, можно провести лишь оценочный расчет термостабилизирующих систем. Для более точного определения параметров рассмотренных приборов могут использоваться соотношения, приведенные в [4].

Список литературы

1. Алексеев В.А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. – М.: Энергия, 1975.
2. Исмаилов Т.А., Евдулов О.В. Полупроводниковое термоэлектрическое охлаждающее устройство // Термоэлектрики и их применение: Материалы докл. VII Межгос. семинара. – Санкт-Петербург: ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 2000.
3. Коленко Е.А. Термоэлектрические охлаждающие приборы. – Л.: Наука, 1967.
4. Термостабилизирующие устройства для радиоэлектронной аппаратуры / Т.А. Исмаилов, О.В. Евдулов, Ш.А. Юсуфов, Г.И. Аминов // Вестник МАХ. 2002. № 3.