

А. И. ШАПИРО, Т. Ю. НИКОЛАЕНКО

Украина, Киевский естественно-научный лицей № 145

Дата поступления в редакцию
21.09 2001 г.Оппонент
к. т. н. В. Е. ТРОФИМОВ (ОНПУ, г. Одесса)

РАЗОМКНУТАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНОГО ТРАНЗИСТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАВЯЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ

Плавающие вещества (воск, парафин) могут быть использованы для термостабилизации тепловыделяющих элементов кратковременно работающей РЭА.

С целью снижения массы и габаритных размеров, улучшения эксплуатационных характеристик систем охлаждения в радиоэлектронной аппаратуре (РЭА), работающей в импульсном режиме, широкое применение получили замкнутые системы охлаждения с использованием плавящихся веществ [1]. Радиоэлементы, выделяющие во время импульса большое количество теплоты, помещают внутри или снаружи герметичной тонкостенной оболочки из теплопроводного материала, внутренняя полость которой заполнена рабочим веществом. В качестве рабочего вещества наиболее часто используются воск, парафин, стеариновая кислота, гидрат окиси бария, нафталин, кристаллический углекислый натрий, сплав Вуда и др. Выделившаяся во время импульса теплота поглощается при плавлении рабочего вещества. В отсутствие импульса расплавленное вещество кристаллизуется и отдает приобретенную теплоту оболочке и — далее — в окружающую среду.

Главным недостатком такого способа охлаждения является необходимость периодического охлаждения рабочего вещества. Процесс этот при высокой температуре окружающей среды, при слабой конвекции окружающей оболочку среды или при отсутствии конвекции (например, в космических условиях) может происходить довольно долго, что приводит к недопустимому росту температуры оболочки и охлаждаемого радиоэлемента. Поэтому замкнутые системы охлаждения с использованием плавящихся веществ мало пригодны для применения в аппаратуре, где длительность импульса значительно превышает длительность паузы.

Наиболее простым представляется использование в этих случаях *разомкнутой системы охлаждения*, когда расплавленное рабочее вещество удаляется с поверхности нагрева, а на его место поступает новая порция рабочего вещества в твердой фазе. При этом достигается комбинация двух способов охлаждения: плавлением рабочего вещества и конвекцией его расплава. Кроме того, постоянство температуры плавления рабочего вещества позволяет обеспечить темпе-

ратурную стабилизацию корпуса тепловыделяющего радиоэлемента, что в ряде случаев желательно.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование эффективности разомкнутой системы охлаждения плавящимися веществами применительно к охлаждению мощного радиоэлемента (транзистора 2Т808А).

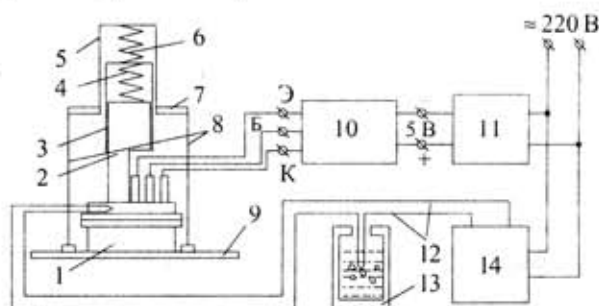


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1 — транзистор 2Т808А; 2 — парафиновый стержень; 3 — подвижный держатель парафинового стержня; 4, 6 — пружины; 5 — неподвижная направляющая; 7 — скоба крепления неподвижной направляющей; 8 — винты; 9 — основание; 10 — схема обеспечения режимов работы транзистора; 11 — блок питания; 12 — дифференциальный ТЭП; 13 — термос с плавящимся льдом и водой; 14 — милливольтметр ЦШ 68000

Для проведения исследований была разработана экспериментальная установка, блок-схема которой изображена на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из рабочего участка, схемы обеспечения режимов работы транзистора, блока питания, дифференциального термоэлектрического преобразователя (ТЭП), милливольтметра для измерения термоЭДС ТЭП.

Основным элементом рабочего участка является мощный транзистор 2Т808А. Для сравнения эффективности охлаждения транзистора с помощью плавящихся веществ и с помощью традиционных способов (естественное воздушное охлаждение транзистора без радиатора и с установкой транзистора на радиатор) рабочий участок имел четыре варианта исполнения (см. рис. 2).

В варианте а транзистор был расположен наиболее нагретой зоной своего корпуса (основанием) и выводами вверх (вариант естественной конвекции воздуха без применения радиатора). В варианте б транзистор устанавливался на ребристый радиатор с

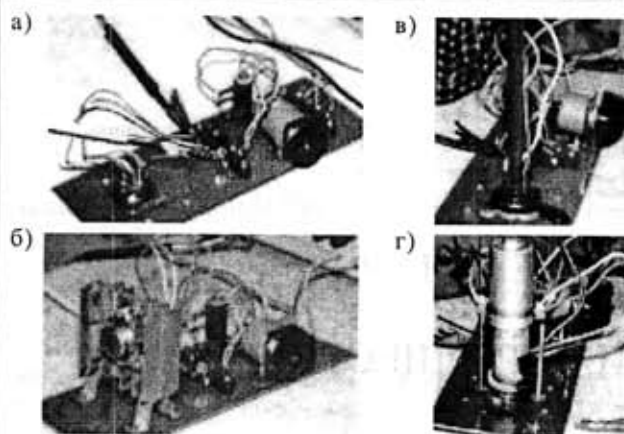


Рис. 2. Рабочий участок экспериментальной установки: а — при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора; б — то же — с радиатором; в — при охлаждении транзистора с ручной подачей плавящегося рабочего вещества; г — при охлаждении транзистора плавлением рабочего вещества, подаваемого в зону нагрева механически

площадью поверхности 100 см^2 , который охлаждался естественной конвекцией воздуха. Вариант в повторял первый, но на наиболее нагретую зону корпуса транзистора сверху устанавливался вертикально и поддерживался восковой стержень (рабочее вещество) диаметром 9 мм и длиной 220 мм. Вариант г предполагает механическую подачу парафинового или воскового стержня диаметром 20 мм в зону охлаждения. Механизм подачи поясняется схемой рис. 1. К тепловыделяющей области основания транзистора 1 прижат парафиновый стержень 2. В качестве подвижного держателя 3 парафинового стержня и неподвижной направляющей 5 использованы алюминиевые стаканы с пружинами 4 и 6, соответственно. Направляющая 5 закреплена с помощью скобы 7 на симметричных винтах 8, которые вторыми своими концами закреплены в основании 9, т. е. крепят механизм подачи к основанию.

Устройство работает следующим образом. До включения питания установки пружины 4 и 6 сжаты, благодаря чему парафиновый стержень 2 своим нижним торцом опирается на основание корпуса транзистора 1. После включения питания транзистор начинает нагреваться. По достижении температуры плавления парафина последний начинает плавиться, охлаждая транзистор и перемещаясь вниз под действием пружин 4 и 6. Процесс продолжается до тех пор, пока не расплавится стержень.

Для измерения температуры корпуса транзистора использовался оттарированный дифференциальный ТЭП, изготовленный из медь-константановых электродов диаметром 0,16 мм. Нулевой спай ТЭП был погружен в термос со смесью воды и льда (температура смеси 0°C), второй спай ТЭП был зачеканен в корпусе транзистора напротив места установки полупроводникового кристалла.

В ходе исследования в экспериментах с включенным питанием через каждые 15 с измерялась температура корпуса транзистора, ток коллектора и напряжение на участке «коллектор—эмиттер». После отключения источника питания измерялась только температура корпуса.

Ток коллектора измерялся с помощью авометра ДТ-830В, включенного в режим измерения тока с пределом измерения 10 А и точностью 10 мА. Для измерения напряжения на участке «коллектор—эмиттер» был использован комбинированный прибор Ц 437 с пределами измерения напряжения 10 и 50 В, ценой деления 0,5 и 1 В, соответственно.

Исследовалось изменение температуры корпуса транзистора без радиатора при естественном воздушном охлаждении в зависимости от времени при включенном, а затем при выключенном питании установки. Те же измерения проводились на транзисторе с радиатором при значениях мощности 6,3 и 10,0 Вт. Затем исследовалось охлаждение транзистора с помощью предложенной разомкнутой системы охлаждения плавлением воска и парафина. Рабочее плавящееся вещество (восковой или парафиновый стержень) подавалось непосредственно на транзистор: стержень диаметром 9 мм — под собственным весом, парафиновый стержень диаметром 20 мм — под действием пружин.

Результаты экспериментального исследования. На графике рис. 3 показано изменение температуры корпуса транзистора в процессе его нагревания при естественном воздушном охлаждении и при охлаждении с помощью радиатора. По мере нагревания транзистора при естественном воздушном охлаждении ток коллектора изменялся от 1,11 до 1,86 А, что при постоянном напряжении на участке «коллектор—эмиттер» 3,8 В эквивалентно изменению мощности транзистора от 4,2 до 7,1 Вт. Температура корпуса транзистора, установленного на радиаторе, определялась при двух режимах работы. Изменение тока коллектора

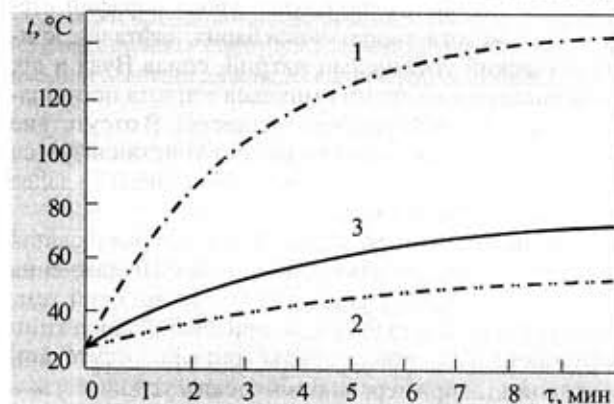


Рис. 3. Зависимость температуры t корпуса транзистора от времени τ :

1 — при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора ($I_k=1,11-1,86 \text{ А}$, $U_{кэ}=3,8 \text{ В}$); 2 — то же — с радиатором ($I_k=1,16-1,44 \text{ А}$, $U_{кэ}=4,4 \text{ В}$); 3 — то же с радиатором при увеличенном токе коллектора ($I_k=2,3-2,62 \text{ А}$, $U_{кэ}=3,8 \text{ В}$)

в первом режиме было в пределах от 1,16 до 1,44 А при напряжении «коллектор—эмиттер» 4,4 В, во втором режиме — от 2,3 до 2,62 А при 3,8 В, что эквивалентно изменению мощности транзистора в пределах от 5,1 до 6,3 Вт и от 8,7 до 10,0 Вт, соответственно. На графике рис. 4 показано изменение температуры транзистора при его нагревании в случае естественного воздушного охлаждения и при охлаждении с помощью плавящихся веществ (воска и пара-

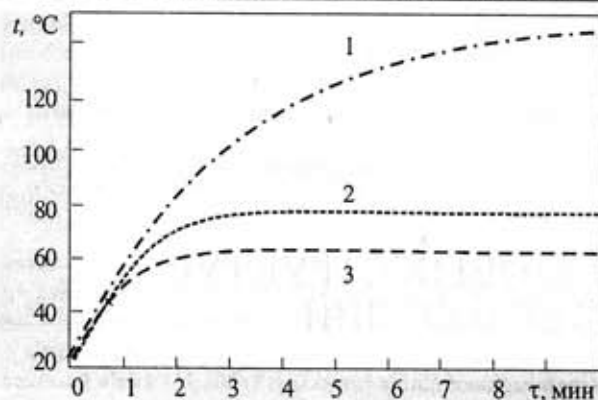


Рис. 4. Зависимость температуры корпуса транзистора от времени:

1 — при естественном воздушном охлаждении транзистора без радиатора ($I_K=1,11-1,86$ А, $U_{K3}=3,8$ В); 2 — при охлаждении транзистора плавлением воска ($I_K=1,28-1,64$ А, $U_{K3}=4,4$ В); 3 — то же — плавлением парафина ($I_K=1,21-1,51$ А, $U_{K3}=4,4$ В)

фина). Изменение тока коллектора при охлаждении транзистора плавлением воска составило от 1,28 до 1,64 А при напряжении 4,4 В (мощность от 5,6 до 7,2 Вт), при охлаждении плавлением парафина — от 5,3 до 6,6 А при напряжении 4,4 В (мощность от 5,3 до 6,6 Вт). На графике рис. 5 показан процесс остывания транзистора после отключения тока питания при всех рассмотренных способах охлаждения.

Из полученных результатов можно определить эффективность охлаждения транзистора при использовании каждого способа охлаждения.

Эффективность первого способа — естественного воздушного охлаждения без применения радиатора — достаточно низкая. При мощности тепловыделения 7,1 Вт по мере нагревания транзистора за 10 мин работы ток коллектора достиг значения 1,86 А и продолжал увеличиваться. При этом значение температуры корпуса транзистора составило 143,1°C. Рост тока коллектора приводит к еще большему разогреву транзистора, что, в свою очередь, снова приводит к увеличению тока коллектора и т. д. и, в конечном счете, к отказу транзистора.

Охлаждение транзистора с помощью радиатора при естественной конвекции окружающего воздуха более эффективно. Значение температуры корпуса транзистора за 10 мин работы составило 54,6 и 70,1°C в первом и втором режимах, соответственно, что в 2,6 и в 2,0 раза меньше, чем при естественном воздушном охлаждении без радиатора. Однако использование радиаторов не всегда эффективно и не всегда возможно. Например, в космических условиях, где отсутствует конвекция воздуха, для обеспечения эффективного сброса теплоты излучением требуется большая температура радиатора и большая площадь его поверхности.

Последним исследовался способ охлаждения транзистора с помощью разомкнутой системы охлаждения с использованием плавления рабочего вещества — воска и парафина. При использовании воскового стержня его плавление началось через 2 мин после включения тока питания. Вследствие этого температура корпуса транзистора и ток коллектора стали стабильными — $t = 75^\circ\text{C}$, $I_K = 1,64$ А. За 5 мин плав-

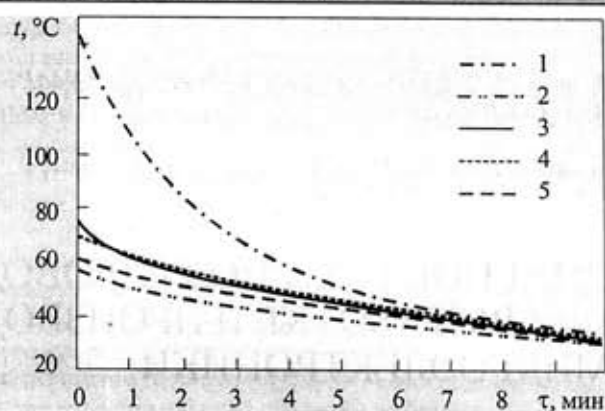


Рис. 5. Зависимость температуры корпуса транзистора от времени после выключения напряжения:

1 — для нагретого транзистора без радиатора ($I_K=1,86$ А, $U_{K3}=3,8$ В); 2 — то же — с радиатором ($I_K=1,44$ А, $U_{K3}=4,4$ В); 3 — то же — с радиатором при повышенном токе коллектора ($I_K=2,62$ А, $U_{K3}=3,8$ В); 4 — для транзистора, который охлаждался плавлением воска ($I_K=1,64$ А, $U_{K3}=4,4$ В); 5 — для транзистора, который охлаждался плавлением парафина ($I_K=1,51$ А, $U_{K3}=4,4$ В)

ления воскового стержня диаметром 9 мм его длина сократилась на 7 см. При использовании парафинового стержня (диаметр 20 мм, половина стержня по толщине была срезана, чтобы обеспечить доступ к корпусу транзистора возле его выводов) были получены еще лучшие результаты. Плавление парафина начиналось через 1,25 мин после включения тока питания; температура корпуса транзистора и ток коллектора также стали стабильными, но на более низком уровне: $t = 62^\circ\text{C}$, $I_K = 1,51$ А.

Таким образом, по сравнению с естественным воздушным охлаждением охлаждение плавящимся воском позволило снизить температуру корпуса транзистора в 1,9 раза, а при охлаждении плавящимся парафином — в 2,3 раза (при соизмеримых значениях мощности транзистора).

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили возможность и эффективность использования разомкнутой системы охлаждения с использованием плавящихся веществ (воска и парафина) для охлаждения и термостабилизации тепловыделяющих мощных элементов кратковременно работающих радиоэлектронной аппаратуры.

Наиболее эффективным (среди испытанных) является способ охлаждения с помощью плавления парафинового стержня. Во-первых, очень быстро (за 1,25 мин) система охлаждения выходит на режим. Во-вторых, стабилизируются температура корпуса элемента и ток коллектора транзистора. В-третьих, что также важно, температура корпуса транзистора стабилизируется на более низком уровне.

Разомкнутую систему охлаждения с помощью плавящихся веществ можно использовать в ракетно-космической аппаратуре, где время работы мощных элементов может быть незначительным.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Алексеев В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ. — М.: Энергия, 1975.