

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени С.П.КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОТВОДА (РАДИАТОРА)
ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5
(специальность 0701)

Составитель: В.А.Христок

КУЙБЫШЕВ 1987

Исследование характеристики теплоотвода (радиатора) для охлаждения полупроводниковых приборов

Цель работы — экспериментальная проверка радиатора охлаждения полупроводниковых приборов.

1. Теоретические основы

1.1. Влияние температуры на электрические параметры элементов РЭА

Изменение температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов и элементов, что вызывает изменение электрических и механических параметров РЭА:

Изменение температуры электроизоляционных материалов приводит к изменению следующих основных электрических характеристик: диэлектрической проницаемости, удельного, объемного и поверхностного сопротивлений, угла диэлектрических потерь и электрической прочности. Одновременно изменяются и их механические свойства. Зависимость величины удельного сопротивления диэлектрика определяется по формуле

$$\rho = \rho_0 e^{B/T} [Ом \cdot см],$$

где ρ_0 и B — постоянные величины, характерные для данного диэлектрика; T — абсолютная температура.

Зависимость $\tan \delta$ от температуры определяется по формуле

$$\tan \delta = \frac{4\pi \cdot 10^{-9}}{\epsilon \cdot f} \gamma_0 \cdot e^{-A/T},$$

где f — частота, Гц; γ_0 — удельная объемная проводимость 10 мк $см^{-1}$ при нормальной температуре; A — постоянная величина, характерная для данного диэлектрика.

Величина пробивного напряжения в зависимости от температуры изменяется по экспоненциальному закону

$$U_{пр} = k e^{-a/t},$$

где k — постоянная величина, характеризующая свойство данного диэлектрика при определенной частоте подводимого напряжения;

α - температурный коэффициент электрической проводимости;

d - толщина диэлектрика;

t - температура, С.

Изменение температуры металлов также приводит к изменению их электрических и физических параметров. Известно, что повышение температуры вызывает увеличение их сопротивления.

Зависимость величины удельного сопротивления от температуры можно выразить следующим уравнением:

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

где ρ_t и ρ_0 - величины удельных сопротивлений при температурах t и t_0 соответственно; величина α является температурным коэффициентом удельного сопротивления.

Очень сильно изменяется электропроводность полупроводниковых материалов при температурных изменениях.

Изменение параметров диэлектриков, проводников и полупроводников приводит к изменению параметров элементов конструкции РЭА, из которых они изготовлены, а следовательно, к изменению выходных параметров самой РЭА.

1.2. Влияние температуры на конструктивные элементы РЭА

Различие температурных коэффициентов расширения различных материалов, применяемых в РЭА, приводит к деформации деталей и узлов аппаратуры, растрескиванию, обрывам электрических цепей, появлению каналов проникновения влаги в материалы и приборы, образованию на границе раздела разнородных металлов интерметаллических соединений, разрушению изоляции и т.п.

Повышение и понижение температуры среды влияет на механическую прочность большинства материалов. Элементы и аппаратура становятся уязвимыми к воздействию механических факторов внешней среды.

В условиях высокой температуры форсируется развитие ряда

структурных и кристаллографических дефектов в металлах, понижающих прочность соединений и конструкций, ускоряется процесс старения РЭА.

Понижение температуры отрицательно влияет на паяные соединения и швы. Обычная модификация олова: белое олово устойчиво при температурах $-13...+100^{\circ}\text{C}$. При температурах ниже -13°C белое олово медленно переходит в серое. По мере снижения температуры до -50°C скорость разрушения олова возрастает. Это явление часто называют "оловянной чумой". В процессе перехода белого олова в серое металл увеличивается в объеме и в местах появления серого олова происходит образование кристаллической структуры, сопровождающееся его разрушением. Низкие температуры приводят к загустеванию смазки, увеличивают пусковые моменты двигателей и сельсинов, ухудшаются контакты колец токосъемников из-за их обледенения.

При циклических изменениях окружающей температуры на поверхности и внутри РЭА конденсируется влага, которая, абсорбируясь через микротрещины, поры и зазоры между деталями, проникает в РЭА. Термоциклирование сопровождается разрушением паяных, сварных, клепаных и других соединений, отслоением и расслоением покрытий, появлением утечки наполнителей.

Увеличение температуры различных механизмов вызывает уменьшение вязкости смазок и одновременное расширение металлов, что приводит к перегреву механизмов элементов, заклиниванию и застыванию подвижных частей, выходу из строя подшипников и т.д.

1.3. Теплообмен при охлаждении полупроводниковых приборов

Полупроводниковые приборы большой мощности охлаждаются за счет отвода тепла естественной конвекцией и луче испусканием в окружающее пространство. Для этого необходимо применением специальных радиаторов увеличить площадь поверхности, на которую пере-

дается тепло полупроводникового прибора и обеспечить малое тепловое сопротивление между прибором и рассеивающей тепло поверхностью. Одна из типовых конструкций радиатора показана на Рис.1.

При применении радиаторов температура переходов полупроводниковых приборов определяется выражением вида:

$$t_{пер} = t_c + t_p + \Delta t_k + \Delta t_{nk}$$

где t_p - температура радиатора в точке крепления транзистора (полупроводникового прибора);

t_c - температура окружающей среды (воздуха);

Δt_k - перегрев контактной поверхности полупроводникового прибора относительно контактной поверхности радиатора;

Δt_{nk} - перегрев $p-n$ перехода полупроводникового прибора относительно его корпуса.

Средняя температура радиатора ниже температуры, в точке крепления прибора. Это объясняется тем, что тепловой поток, проходя по радиатору от полупроводникового прибора, по пути рассеивается в окружающую среду так, что в точках, удаленных от плоскости крепления полупроводникового прибора, его удельная величина уменьшается.

Перегрев контактной поверхности полупроводникового прибора относительно контактной поверхности радиатора возникает вследствие наличия неровностей и неплоскостности контактирующих поверхностей.

На практике $\Delta t_k = 0,5 \dots 1,5^\circ$.

Перегрев перехода полупроводникового прибора относительно его корпуса зависит от конструкции прибора и выделяемой на переходе мощности.

Перегрев зависит от габаритов радиатора (чем больше радиатор, тем меньше его температура); межреберного расстояния, толщины ребер, расположения радиатора в пространстве, материала и покрытия; величины мощности, рассеиваемой радиатором.

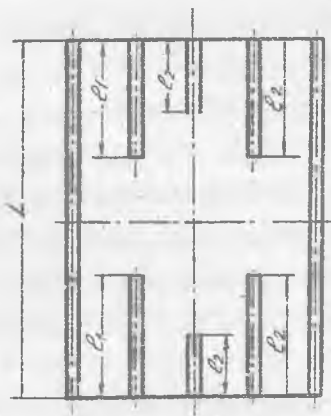
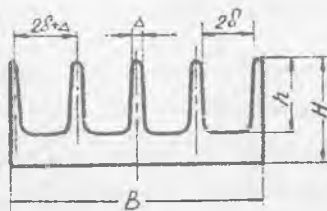


Рис. I. Чертеж исследуемого радиатора.

При отводе тепла от полупроводниковых приборов одновременно действуют три основных разновидности теплопередачи: теплопроводность, конвекция, излучение. Теплоотдача теплопроводностью имеет незначительную величину при установке радиатора на опорах из изоляционного материала.

При всех способах теплопередачи тепловой поток возрастает с увеличением разности температур между охлаждаемым радиатором и охлаждающим воздухом /жидкостью/. Чем ниже температура охлаждающего воздуха и больше теплоотдающая поверхность, тем ниже /при постоянном потоке/ установившаяся температура охлаждаемого тела.

Теплопередача посредством теплопроводности определяется законом Фурье, являющимся обобщением опытных данных:

$$\rho = -\lambda \operatorname{grad} t = -\lambda n_0 \frac{\partial t}{\partial n} ; \quad (3)$$

где λ - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности;

$\frac{\partial t}{\partial n}$ - градиент температур - в направлении нормали n ,

ρ - плотность теплового потока.

Коэффициент пропорциональности λ равен количеству тепла, протекающему в единицу времени через единицу поверхности при передаче температур на единицу длины нормали, равном одному градусу.

Теплопередача конвекцией определяется законом Ньютона

$$\rho = \alpha_k (t - t_c) F ,$$

где ρ - количество тепла, переносимого в единицу времени от твердого тела к воздуху;

t - температура поверхности твердого тела,

α_k - коэффициент теплоотдачи конвекцией;

t_c - температура среды /охлаждающей жидкости или газа/;

F - площадь поверхности теплообмена.

Коэффициент теплоотдачи конвекцией численно характеризует мощность, которую рассеивает или воспринимает единица поверхнос-

ти твердого тела путем конвекции при разности температур между твердым телом и средой в один градус. Он зависит от характера потока, которым обтекается поверхность.

Теплоотдача излучением определяется законом Стефана-Больцмана

$$P = \epsilon_0 C_0 \left[\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] \cdot F,$$

где P — мощность теплового потока;

ϵ_0 — степень черноты охлаждаемого тела;

$C_0 = 4,9 \frac{\text{ккал}}{\text{к}^2 \cdot \text{град}}$ — коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела;

T — абсолютная температура поверхности охлаждаемого тела.

$$T = T_0 + t_p \quad (T_0 = 273,2^\circ)$$

В практических расчетах разделение сложных процессов теплообмена на простые не всегда возможно. Результат одновременного действия основных видов теплообмена для радиатора, установленного на изоляторах с небольшой площадью соприкосновения, может быть выражен в форме закона Ньютона:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t,$$

$$\Delta t = t_p - t_c,$$

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_n,$$

$$Q = Q_k + Q_n = (\alpha_k + \alpha_n)(t_p - t_c) \cdot F, \quad (1)$$

В формуле (1) предполагается, что передача тепла теплопроводностью отстывает.

Подставляя в нее значение Q_k и Q_n получим

$$Q = \alpha_k (t_p - t_c) \cdot F + F \cdot C_0 \cdot \epsilon_0 \left[\left(\frac{t_p + 273,2}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_c + 273,2}{100} \right)^4 \right] / t - t_c.$$

Решить аналитически последнее уравнение относительно t_p не представляется возможным, т.к. его члены содержат t_p в различных степенях и, кроме того, коэффициент α_k в свою очередь нелинейно зависит от температуры.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка для исследования тепловых характеристик полупроводниковых приборов состоит из двух блоков: измерительного, к выходу которого подключается прибор для измерения э.д.с. термопар и специального стабилизированного источника питания, температурный режим транзисторов с радиаторами которого исследуется в работе.

Измерительная установка позволяет измерить падение напряжения между коллекторами и базами транзисторов (Рис. 2). Зная ток, протекающий через них можно вычислить рассеиваемую мощность. На каждом из исследуемых радиаторов закреплено по несколько термопар.

Схема расположения термопар показана в лабораторной установке. Кроме того по одной термопаре прикреплено на корпус транзисторов, для измерения их температуры. В измерительном блоке смонтирована нагрузка в виде резистора с переменным сопротивлением. Величина нагрузки источника может быть в небольших пределах изменена, чем достигается и изменение величины токов, протекающих через транзисторы, а следовательно, мощности, выделяемой в них.

На передней панели прибора установлены стрелочные приборы для измерения токов и напряжений на входе и выходе источника питания, а также переключатель для поочередного переключения цепей холодных и горячих спаев термопар. Холодный спай находится в специальной банке, заполненной трансформаторным маслом.

3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить инструкцию к лабораторной работе.

2. Ознакомиться с лабораторной установкой, а также с методикой измерения на ней, с конструкцией исследуемых радиаторов. Путем осмотра проверить установку термопар. Включить установку, предварительно ознакомившись с правилами эксплуатации измерительных при-

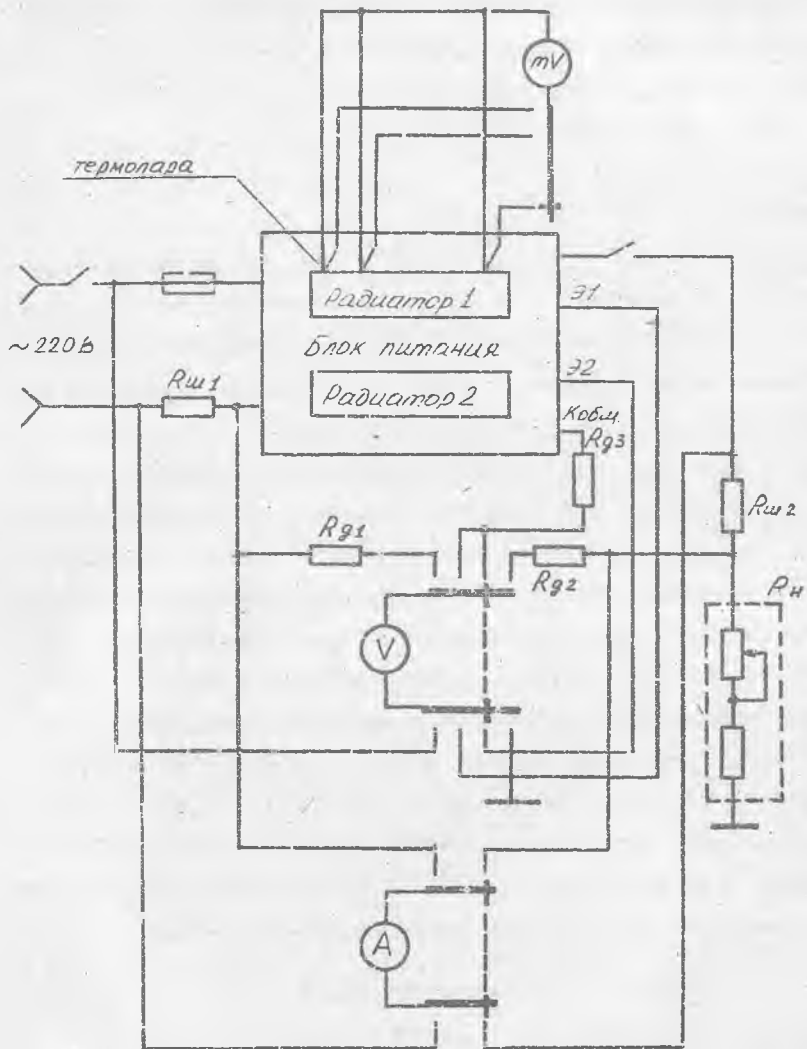


Рис.2. Электрическая схема измерительной установки.

боров.

3. По истечении 5 минут после включения измерять температуру в различных точках радиатора и на транзисторе. Измерение температуры производится с интервалом в 10 минут до установления стационарного теплового режима радиаторов. Результаты измерения занести в таблицу.

Таблица №

№ пп	Номера термопар			
	Время (мин).	1	2	...
1	5			
2	10			
3	15			
4	20			

Примечание. Измерение температур производится на двух транзисторах и радиаторах.

Измеренную по показаниям ЭДС термопар при помощи графика Рис. 3 перевести в температуру перегрева радиатора.

4. Вычислить среднюю температуру основания радиатора

$$t_{\text{оср}} = \left(\sum_{i=1}^n t_{i0} \right) / n_0$$

где n_0 - количество точек основания, в которых производится измерение температуры.

5. Вычислить среднюю температуру вершин ребер радиатора

$$t_{\text{оср}} = \left(\sum_{j=1}^m t_j \right) / m_0$$

где m_0 - количество точек на ребрах, в которых производится измерение температуры.

6. Вычислить средние коэффициенты равномерности температуры основания и вершин ребер радиатора:

$$K_{\text{оср}} = \frac{t_{\text{max.в}}}{t_{\text{оср}}}$$

$$K_{\text{оср}} = \frac{t_{\text{max.в}}}{t_{\text{оср}}}$$

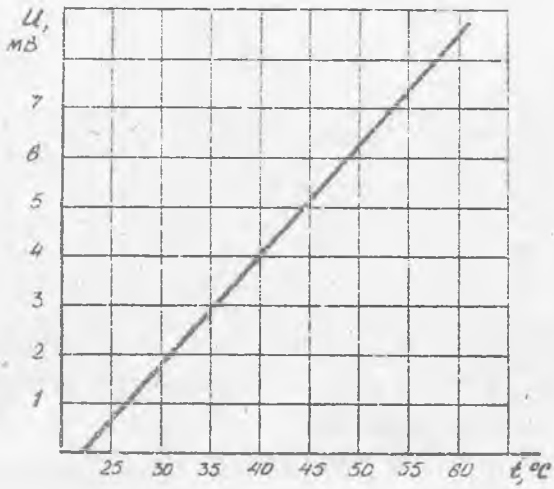


Рис.3. Градуировочный график термопары

7. Вычислить среднюю температуру радиатора и средний коэффициент неравномерности температуры радиатора:

$$t_{cp} = \frac{t_{ocp} + t_{scp}}{2}$$

$$K_T = \frac{t_{max}}{t_{cp}}$$

8. Построить характеристику $t_{cp} = f(t)$,

где t - время измерения.

3. Контрольные вопросы

1. Как влияют изменения температуры на электроизоляционные материалы ?

2. Как влияют изменения температуры на электропроводные материалы ?

3. Как влияют изменения температуры на конструктивные элементы РЭА ?

4. Как влияет понижение температуры на паяные соединения ?

5. Как предохраняются полупроводниковые приборы от перегрева?

6. От чего зависит перегрев перехода полупроводникового прибора ?

7. Какие разновидности теплопередачи вам известны ?

8. В чем физическая сущность теплопередачи посредством теплопроводности ? Каким законом определяется плотность теплового потока при передаче тепла посредством теплопроводности ?

9. В чем физическая сущность теплопередачи посредством конвекции ? Каким законом определяется количество тепла переносимого от нагретого тела посредством конвекции ?

10. В чем физическая сущность теплопередачи посредством излучения ? Каким законом определяется мощность теплового потока при передаче тепла посредством излучения ?

11. Что представляет собой лабораторная установка ?
 12. Каков порядок проведения лабораторной работы ?

4. Содержание отчета

1. Цель и краткое содержание работы.
2. Описание лабораторной установки.
3. Экспериментальные результаты работы.
4. Тепловые характеристики.
5. Выводы.

Подписано в печать 24.08.87. Формат 60x84/1/16.

Бумага оберточная белая. Оперативная печать. Усл.п.л. 0,93.

Уч. изд. л. 0,9. Т. 100. Запас № 414. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Косовова.

Участок оперативной полиграфии, КуАИ, г.Куйбышев,
 ул.Ульяновская, 18.