

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

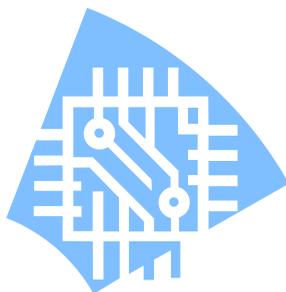
377-2014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОТВОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе

по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах»,
«Теплофизические процессы в электронных средствах»
для студентов направлений 200100.62 «Приборостроение»
(профиль «Приборостроение»), 211000.62 «Конструирование
и технология электронных средств» (профиль «Проектирова-
ние и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной
форм обучения



Воронеж 2014

Составитель канд. техн. наук Н.В. Ципина

УДК 621.3

Исследование влияния конструктивных особенностей теплоотводов на эффективность охлаждения полупроводниковых приборов: методические указания к лабораторной работе по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов направлений 200100.62 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной форм обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет; сост. Н.В. Ципина. Воронеж, 2014. 18 с.

В лабораторной работе приводятся краткие теоретические сведения конструктивных особенностей теплоотводов.

Методические указания снабжены рекомендуемой литературой.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2007 и содержатся в файле ТПЛ_радиатор.doc.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. О.Ю. Макаров

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

©ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОТВОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

1.1. Цель работы - Исследование влияния конструктивных особенностей теплоотводов на эффективность охлаждения полупроводниковых приборов с использованием специализированного лабораторного стенда.

1.2. Содержание работы

Лабораторная работа состоит из домашнего и лабораторного заданий. Домашнее задание заключается в изучении конструкций теплоотводов, материалов применяемых для изготовления теплоотводов, методов и средств для повышения эффективности отвода тепла. При выполнении лабораторного задания проводится исследование теплоотводов при естественном и принудительном охлаждении.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Для выполнения задания необходимо проработать материал, изложенный в [4] и в данном разделе.

Основными вопросами, требующими проработки, являются: методы отвода тепла для теплонагруженного элемента, эффективность применения радиаторов, влияние шероховатости на эффективность охлаждения, материалы, используемые при производстве радиаторов.

Во время работы мощные полупроводниковые приборы выделяют в окружающую среду некоторое количество тепла. Если не позаботиться об их охлаждении, транзисторы и диоды могут выйти из строя из-за перегрева рабочего кристалла. Обес-

печение нормального теплового режима транзисторов и диодов - одна из важных задач. Для правильного решения этой задачи нужно иметь представление о работе радиатора и технически грамотном его конструировании.

Как известно, любой нагретый предмет, охлаждаясь, отдает тепло окружающей среде. Пока количество тепла, выделяющегося в транзисторе, больше отдаваемого им среде - температура корпуса транзистора будет непрерывно возрастать. При некотором ее значении наступает так называемый тепловой баланс, то есть равенство количеств рассеиваемого и выделяемого тепла. Если температура теплового баланса меньше максимально допустимой для транзистора - он будет надежно работать. Если эта температура выше допустимой максимальной температуры - транзистор выйдет из строя. Для того, чтобы тепловой баланс наступал при более низкой температуре, необходимо увеличить теплоотдачу транзистора.

Известны три способа передачи тепла: теплопроводность, тепловое излучение и конвекция [1]. Теплопроводность воздуха обычно мала - этим значением при расчете радиатора можно пренебречь. Доля тепла, рассеиваемая лучеиспусканием значительна лишь при высоких температурах (несколько сотен градусов по Цельсию), поэтому этой величиной при относительно низких температурах работы транзисторов (не более 60-80 градусов) также можно пренебречь. Конвекция - это движение воздуха в зоне нагретого тела, обусловленное разностью температур воздуха и тела. Количество тепла, отдаваемого нагретым предметом, пропорционально разности температур предмета и воздуха, площади поверхности и скорости воздушного потока, омывающего тело.

Для обеспечения эффективного отвода тепла от кристалла полупроводника применяют теплоотводы (радиаторы).

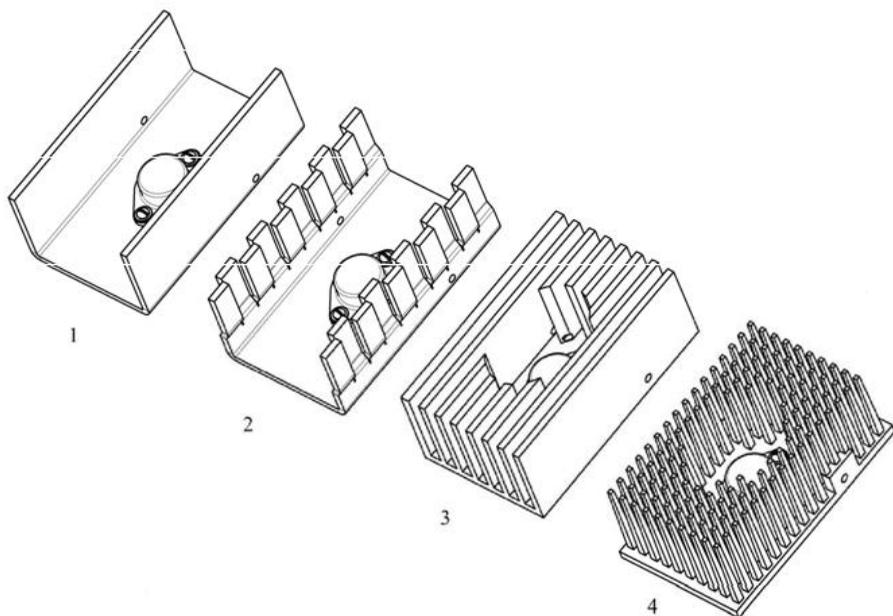


Рис. 1. Радиаторы различных конструкций: 1, 2 – пластинчатый, 3 – оребренный, 4 – игольчатый

Простейшим из них является пластинчатый радиатор. Площадь его поверхности равна сумме площадей двух сторон. Идеальной формой такого тепловода является круг, далее идут квадрат и прямоугольник. Пластинчатый радиатор целесообразно применять при небольших мощностях рассеивания. Устанавливаться такой радиатор должен вертикально, в противном случае - эффективная площадь рассеяния снижается.

Для изготовления пластинчатых радиаторов следует использовать пластины с толщиной не менее 1,5 мм.

Оребренный радиатор - обычно цельнолитой, либо фрезерованный - может быть с одно или двухсторонним оребрением. Двухстороннее оребрение позволяет увеличить площадь по-

верхности. Площадь поверхности такого теплоотвода равна сумме площадей поверхности всех пластин и сумме площади поверхности основного тела радиатора.

Самым эффективным является штыревой (или игольчатый) радиатор. При минимальном объеме такой радиатор имеет максимальную эффективную площадь рассеивания. Площадь поверхности такого теплоотвода равна сумме площадей каждого штырька и площади основного тела.

Материалом для радиаторов обычно служит алюминий и его сплавы. Лучшей эффективностью обладают теплоотводы, выполненные из меди, но вес и стоимость таких радиаторов выше, чем у алюминиевых [2].

Полупроводниковый прибор крепится на теплоотвод при помощи специальных фланцев. Если необходимо изолировать прибор от радиатора - применяются различные изоляционные прокладки. Применение прокладок снижает эффективность передачи тепла от кристалла, поэтому, если есть возможность - лучше изолировать теплоотвод от шасси конструкции. Для более эффективного отвода тепла поверхность, которая соприкасается с полупроводниковым прибором, должна быть ровной и гладкой. Для повышения эффективности применяют специальные термопасты (например "КПТ-8"). Применение термопаст способствует уменьшению теплового сопротивления участка "корпус - теплоотвод" и позволяет несколько понизить температуру кристалла. В качестве прокладок используют слюду, различные пленки из пластмассы, керамику. Некоторые зарубежные мощные транзисторы выпускаются в изолированном корпусе - такой транзистор можно крепить непосредственно к теплоотводу без применения каких либо прокладок (но это не исключает применения термопаст).

Источником тепла в системе транзистор-радиатор-охлаждающая среда является коллекторный P-N переход. Весь путь тепла в этой системе можно разделить на три участка: переход - корпус транзистора, корпус транзистора - теплоотвод,

теплоотвод - окружающая среда. Вследствие неидеальности передачи тепла, температуры перехода, корпуса транзистора и окружающей среды существенно отличаются. Это происходит потому, что тепло на своем пути встречает некоторое сопротивление, называемое тепловым сопротивлением. Это сопротивление равно отношению разности температур на границах участка к рассеиваемой мощности. Наличие теплового сопротивления радиатора является причиной существенного различия температуры его участков, равноудаленных от места установки транзистора. Это означает, что в активной отдаче тепла участвует не вся поверхность радиатора, а лишь часть ее, которая имеет наиболее высокую температуру и поэтому наилучшим образом омывается воздухом. Эта часть и называется эффективной поверхностью радиатора. Она будет тем больше, чем выше теплопроводящая способность радиатора. Теплопроводящая способность радиатора зависит от свойств материала из которого изготовлен теплоотвод и его толщины. Вот поэтому для изготовления теплоотводов используют медь или алюминий.

Полный расчет радиатора - очень трудоемкий процесс. Для грубого расчета можно использовать следующие данные: для рассеивания 1 Вт тепла, выделяемого полупроводниковым прибором, достаточно использовать площадь теплоотвода, равную 30 см^2 [3].

3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1.1 Общие сведения

Лабораторный стенд предназначен для:

- исследования влияния конструктивных особенностей теплоотводов на эффективность охлаждения полупроводниковых приборов;
- исследования влияния ориентации теплоотвода в пространстве относительно охлаждающего потока воздуха на теп-

ловой режим полупроводникового прибора;

- исследования сравнительных характеристик эффективности охлаждения пластинчатых, ребристых и игольчато-штыревых конструкций теплоотводов;

- изучения методики экспериментального определения тепловых характеристик полупроводниковых приборов, установленных на теплоотводах.

Функциональные возможности стенда:

- двухканальное измерение температуры;
- подключение выносного датчика температуры;
- удержание показаний на дисплеях термометра;
- поворот радиаторов в вертикальной плоскости;
- включение принудительного обдува;
- световая сигнализация перегрева и автоматическое отключение нагрева. Достаточно широкий спектр применения и функциональных возможностей



Рис. 1. Лабораторный стенд исследования влияния конструктивных особенностей теплоотводов на эффективность охлаждения ПП

3.1.2. Принцип работы лабораторного стенда

Принцип работы основан на нагреве транзисторов при пропускании через них прямого тока. Роль этих транзисторов на схеме выполняют транзисторы VT8 - VT11. Выбор транзистора осуществляется переключателем SA4.2 Постоянный ток от источника питания через вставку плавкую FU2 течет сквозь один из транзисторов VT8 – VT11 и токовый шунт из параллельно соединенных резисторов R22, R29. Величина тока, а следовательно, и рассеиваемой мощности задается напряжением на базе транзисторов, формируемым схемой на элементах DA2, R19-R35, C7, C8, SA5. Данная схема предназначена для стабилизации тока через транзистор. Так как сопротивление перехода транзистора сильно меняется в зависимости от его температуры, ток через него самопроизвольно возрастает с повышением температуры, что может вызвать пробой транзистора. Поэтому необходима стабилизация тока.

Напряжение, снимаемое с шунта R22, R29, усиливается усилителем на элементах DA2.1, R19-R21, C7, через резистор R23 подается на положительный вход компаратора, собранного на элементах DA2.2, R30, C8. Данное напряжение сравнивается с опорным, формирующимся резистивным делителем на резисторе R28 и одном из резисторов R24-R27, который выбирается переключателем SA4. На выходе DA2.2 формируется разность этих двух напряжений, управляющая транзистором VT12, корректирующим напряжение на базе одного из транзисторов VT8-VT11 в зависимости от протекающего через него тока.

На элементах DD5, VT2-VT7, R2, R4-R17, HG1, HG2 собран двухканальный цифровой термометр. Цифровые датчики температуры DD1-DD4, DD6-DD10 подключаются к нему по однопроводной шине данных 1-Wire через переключатель SA4.1, и разъем XP1 (выносной датчик DD8).

На элементах VT1, R3, VD3, HL2, R18, K1 организован узел защиты транзисторов от перегрева. При температуре 70 °С, микроконтроллер DD5 генерирует лог. 1 на выводе 12, транзистор VT1 открывается и переключается реле K1, отключая питание нагревателя и включая принудительный обдув автоматически. О перегреве сигнализирует единичный индикатор HL2.

Принудительный обдув радиатора обеспечивается вентиляторами M1 - M4 по сигналу с переключателя SA3. Индикация включенного обдува осуществляется единичным индикатором HL3.

Для удобства фиксации температуры предусмотрено включение режима ручного обновления показаний переключателем SA2. Обновление осуществляется по нажатию кнопки SB1.

Элементы DA1, C1-C5 составляют стабилизатор напряжения питания микроконтроллера DD5. Диод VD1 служит для обеспечения защиты микроконтроллера от переплюсовки питающего напряжения.

3.1.3. Расчет параметров теплоотводящего радиатора

В разрабатываемом лабораторном стенде в качестве нагревателей исследуемых теплоотводов предполагается использовать мощные составные биполярные транзисторы КТ825Д. Для изготовления или выбора покупных радиаторов необходимо рассчитать минимальную площадь теплоотвода для охлаждения транзисторов. В дальнейшем, после изготовления стенда, вычисленные результаты можно будет сопоставить с полученными экспериментально. В таблице приведены исходные данные для проведения расчета.

Таблица 1

Исходные данные для проведения расчета

Параметр	Обозначение	Значение
Мощность, рассеиваемая транзистором, Вт	P	40
Температура окружающей среды, °С	T _с	25
Предельная температура перехода, °С	T _п	150
Тепловое сопротивление переход-корпус, °С / Вт	R _{пк}	2
Тепловое контактное сопротивление корпус-теплоотвод,	R _{кр}	0,5

Необходимо сопоставить максимальную мощность рассеяния транзистора P_{\max} , Вт с заданной мощностью транзистора [4].

$$P_{\max} = (T_{\text{п}} - T_{\text{с}}) / R_{\text{пк}}, \quad (1.1)$$

где $T_{\text{п}}$ - допустимая температура p-n перехода, °С;

$T_{\text{с}}$ - температура среды, °С;

$R_{\text{пк}}$ - тепловое контактное сопротивление, °С / Вт.

$$P_{\max} = (150 - 25) / 2 = 62,5 \text{ Вт.}$$

Если заданная мощность P превышает P_{\max} , то данный транзистор применять нельзя.

Тепловое сопротивление радиатора $R_{\text{р исх}}$, °С / Вт рассчитывается по формуле

$$R_{\text{р исх}} = q \cdot [(T_{\text{п}} - T_{\text{с}}) - P (R_{\text{пк}} + R_{\text{кр}})] / P, \quad (1.2)$$

где q – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение температуры по теплоотводу ($q = 0,96$);

$R_{\text{кр}}$ – тепловое контактное сопротивление между корпусом и радиатором, °С / Вт.

$$R_{p \text{ исх}} = 0,96 \cdot [(150 - 25) - 40 (2 + 0,5)] / 40 = 0,6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

Средняя поверхностная температура радиатора T_p , $^\circ\text{C}$ вычисляется по формуле

$$T_p = P \cdot R_{p \text{ исх}} + T_c. \quad (1.3)$$

$$T_p = 40 \cdot 0,6 + 25 = 49 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Радиатор задан:

- толщина ребра $d = 0,003 \text{ м}$;
- толщина плиты теплоотвода $\delta = 0,004 \text{ м}$;
- расстояние между рёбрами $b = 0,003 \text{ м}$;
- высота ребра $h = 0,036 \text{ м}$;
- протяжённость ребра $L = 0,1 \text{ м}$;
- число рёбер $n = 8 \text{ шт.}$

Необходимо определить площадь гладкой (неоребреной) поверхности радиатора, $S_{\text{гл}}$, м^2 .

$$S_{\text{гл}} = L \cdot (n \cdot d + (n-1) \cdot b). \quad (1.4)$$

$$S_{\text{гл}} = 0,1 \cdot 0,04 = 0,004 \text{ м}^2.$$

Площадь оребреной поверхности одностороннего оребреного радиатора при креплении полупроводникового прибора

с гладкой стороны, S_{op} , m^2 определяется по формуле:

$$S_{op} = S_1 + S_2 + S_3, \quad (1.5)$$

где S_1 – площадь основания радиатора в промежутках между ребрами, m^2 ; S_2 – площадь боковых поверхностей ребер, m^2 ;

S_3 – площадь торцов, m^2 ;

$$S_1 = (n - 1) \cdot L \cdot b, \quad (1.6)$$

$$S_2 = (\delta + 2 \cdot h) \cdot L \cdot n + 2 \cdot l \cdot \delta, \quad (1.7)$$

$$S_3 = 2 \cdot n \cdot \delta \cdot h. \quad (1.8)$$

$$S_1 = (8 - 1) \cdot 0,1 \cdot 0,003 = 0,0021 \text{ м}^2,$$

$$S_2 = (0,004 + 2 \cdot 0,036) \cdot 0,1 \cdot 8 + 2 \cdot 0,04 \cdot 0,004 = 0,06 \text{ м}^2,$$

$$S_3 = 2 \cdot 8 \cdot 0,004 \cdot 0,036 = 0,0023 \text{ м}^2,$$

$$S_{op} = 0,0021 + 0,06 + 0,0023 = 0,0644 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией для гладкой поверхности радиатора, $k_{гл}$, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$ определяется по формуле (1.9).

$$k = A \cdot T_M^{1/4}, \quad (1.9)$$

$$A = 1,42 - 2,51 \cdot 10^{-3} \cdot T_M + 1,10 \cdot 10^{-5} \cdot T_M^2 - 1,30 \cdot 10^{-9} \cdot T_M^3, \quad (1.10)$$

$$T_M = (T_p + T_c) / 2. \quad (1.11)$$

$$T_M = 37 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$A1 = 1,42 - 0,09 + 0,015 - 6,6 \cdot 10^{-5} = 1,347,$$

$$k_{\text{гл}} = 2,5 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплоотдачи излучения для гладкой поверхности радиатора, $_{\text{л.гл}}$, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ определяется по формуле

$$_{\text{л.гл}} = \varepsilon \cdot \varphi \cdot F(T_p, T_c), \quad (1.12)$$

где ε – степень черноты тела (для Д16 $\varepsilon = 0,4$); φ – коэффициент облучённости (для гладкой поверхности $\varphi = 1$); $F(T_p, T_c)$ – рассчитывается по формуле (1.13).

$$F(T_p, T_c) = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot [(T_p + 267)^4 - (T_c + 267)^4] / (T_p - T_c). \quad (1.13)$$

$$F(T_p, T_c) = 6,38,$$

$$_{\text{л.гл}} = 0,4 \cdot 6,38 = 2,55 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}.$$

Эффективный коэффициент теплоотдачи гладкой поверхности радиатора, $_{\text{гл}}$, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$ определяется по формуле (1.14).

$$_{\text{гл}} = k_{\text{гл}} + _{\text{л.гл}}. \quad (1.14)$$

$_{\text{гл}} = 2,5 + 2,552 = 5,052 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$. Мощность, рассеиваемая гладкой поверхностью радиатора, определяется по формуле

$$P_{\text{гл}}, P_{\text{гл}} = _{\text{гл}} \cdot S_{\text{гл}} \cdot (T_p - T_c). \text{Вт}$$

$$P_{\text{гл}} = 5,052 \cdot 0,004 \cdot 24 = 4,85 \text{ Вт}.$$

Тепловое сопротивление гладкой поверхности радиатора, $R_{\text{гл}}$, °C / Вт определяется по формуле

$$R_{\text{гл}} = 1 / (\alpha_{\text{гл}} \cdot S_{\text{гл}}). \quad (1.15)$$

$$R_{\text{гл}} = 1 / (5,052 \cdot 0,004) = 49,48 \text{ °C / Вт.}$$

Мощность, рассеиваемая оребрённой поверхностью радиатора, $P_{\text{ор}}$, Вт определяется по формуле

$$P_{\text{ор}} = S_{\text{ор}} \cdot (\alpha_{\text{к.ор}} + \alpha_{\text{л.ор}}) \cdot (T_{\text{п}} - T_{\text{с1}}). \quad (1.16)$$

$$P_{\text{ор}} = 0,0644 (2,5 + 2,552) \cdot (49 - 25) = 37,73 \text{ Вт.}$$

Тепловое сопротивление оребрённой поверхности радиатора, $R_{\text{ор}}$, °C / Вт определяется по формуле

$$R_{\text{ор}} = (T_{\text{п}} - T_{\text{с1}}) / P_{\text{ор}}, \quad (1.17)$$

$$R_{\text{ор}} = (150 - 25) / 37,73 = 3,31.$$

Общее расчётное тепловое сопротивление радиатора, $R_{\text{расч}}$, °C / Вт определяется по формуле

$$R_{\text{расч}} = (R_{\text{гл}} \cdot R_{\text{ор}}) / (R_{\text{гл}} + R_{\text{ор}}). \quad (1.18)$$

$$R_{\text{расч}} = (49,48 \cdot 3,31) / (49,48 + 3,31) = 3,1.$$

Мощность, рассеиваемая радиатором, P_p , Вт определяется по формуле (1.19).

$$P_p = P_{\text{гл}} + P_{\text{ор}}. \quad (1.19)$$

$$P_p = 4,85 + 37,73 = 42,58.$$

Для проверки правильности расчёта должны соблюдаться условия (1.20), (1.21).

$$R_{\text{расч}} \leq R_{\text{исх}}. \quad (1.20)$$

$$3,31 \leq 6,00.$$

$$P_p \geq P. \quad (1.21)$$

$$42,58 > 40.$$

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Практическая часть работы выполняется в следующем порядке.

4.1. Студент должен получить у преподавателя задание и материальную часть для исследований, которая включает в себя исследуемый транзистор и радиатор. Кроме того, преподаватель должен указать мощность рассеивания на транзисторе, при которой будут проходить исследования.

4.2. В зависимости от типа радиатора в соответствии с пп.1.2 необходимо измерить конструктивные параметры радиатора.

4.3. По справочнику определить основные тепловые ха-

рактеристики транзистора: переходное тепловое сопротивление кристалл-корпус и корпус-радиатор, площадь теплоотводящей поверхности транзистора, максимальную температуру кристалла и корпуса, максимальную рассеиваемую мощность.

4.4. Включить стенд и сразу же зафиксировать показания датчиков температуры, которые должны быть одинаковы. Это значение принимается за значение температуры окружающей среды.

4.5. Выставить с помощью переключателя значение выделяемой мощности, заданное преподавателем.

4.6. Через 15 минут зафиксировать значения температуры различных частей радиатора.

4.7. Провести вычисления температуры радиатора на основе выражений 1.1.– 1.18, в зависимости от типа радиатора.

4.8. Оценить погрешность, получаемую при теоретических расчетах и практических исследованиях.

4.9. Оформить отчет.

5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА И КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- цель проведения работы;
- исходные данные для работы (основные тепловые параметры транзистора и конструктивные размеры радиатора);
- эскиз радиатора с указанием размеров и точек крепления транзистора, датчиков температуры;
- теоретический расчет значений температуры радиатора;
- значения температуры, полученные при исследованиях в различных положениях радиатора;
- анализ полученных результатов;
- выводы.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какие методы отвода тепла имеют место при использовании радиатора для теплонагруженного элемента?
- От чего зависит эффективность радиатора?
- С какой целью используется чернение радиатора?
- Как влияет шероховатость на эффективность охлаждения?
- Чем обусловлены рекомендации по геометрическому расположению радиатора?
- Какие марки термопаст используются в промышленности?
- Какие материалы используются при производстве радиаторов?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст]: учеб. пособие / Г.Н. Дульнев. - М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.

2 Роткоп, Л. Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л. Л. Роткоп. – М.: Советское радио, 1976. – 472 с.

3 Ашков, Е. М. Теплофизическое проектирование современных радиоэлектронных средств [Текст]: учеб. пособие / Е.М. Ашков, А.В. Муратов. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2001. - 132 с.

4 Скрипников, Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов [Текст] / Ю. Ф. Скрипников. – М.: «Энергия», 1973. - 48 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОТВОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ.....	1
1.1. Цель работы.....	1
1.2. Содержание работы.....	1
2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ.....	1
3. ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗА- НИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ.....	5
3.1.1 Общие сведения.....	5
3.1.2 Принцип работы лабораторного стенда.....	7
3.1.3. Расчет параметров теплоотводящего радиатора.....	8
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБО- ТЫ.....	14
5. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА И КОНТРОЛЬ- НЫЕ ВОПРОСЫ ПО ВЫПОЛНЕННОЙ РАБОТЕ.....	15
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	16
Библиографический список.....	17

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛОТВОДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе
по дисциплинам «Теплофизические процессы
в приборах», «Теплофизические процессы в электронных
средствах» для студентов направлений 200100.62
«Приборостроение» (профиль «Приборостроение»),
211000.62 «Конструирование и технология электронных
средств» (профиль «Проектирование и технология
радиоэлектронных средств»)
очной и заочной форм обучения

Составитель:
Ципина Наталья Викторовна

В авторской редакции

Подписано к изданию 03.12.2014.
Уч.-изд. л. 1.1.

ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный
технический университет"
394026 Воронеж, Московский просп., 14