

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ.
Заведующий кафедрой
Н.И. Войтович

« »

2017 года

Пульт преобразователя для проверки импульсных
трансформаторов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-11.03.03.2017.382.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты:

Л.П. Кудрин

«__»_____2017 года

Руководитель проекта

Л.В. Малова

«__»_____2017 года

Автор проекта

студент группы КЭ-439

А.М. Сорокина

«__»_____2017 года

Нормоконтролер

А.С. Городилов

«__»_____2017 года

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Сорокина А.М. Пульт преобразователя для проверки импульсных трансформаторов. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ; 2017, 65 с. 11 ил., библиогр. список – 14 наим., 6 прил., 1 лист чертежей ф. А2, 4 листа формата А3, 1 лист формата А4.

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке пульта преобразователя. Пульт "Преобразователь" является составной частью стенда, предназначенный для комплексной проверки импульсных трансформаторов, изготавливаемых на предприятии "АО Радий".

Подобрана геометрия оребренного радиатора для обеспечения отвода тепла от транзистора 2П767В, спроектирован печатный узел для которого рассчитана надежность. С учетом выявленных недостатков при практическом использовании была модернизирована конструкция корпуса.

Оформление электрической принципиальной схемы и разработка печатного узла произведено в комплексном пакете проектирования электронных устройств Altium Designer17, разработчиком которой является фирма Altium.

Конструкторская документация разработана в системе автоматического проектирования AutoCAD Mechanical 2004 компании Autodesk в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

3D-моделирование корпуса прибора реализовано в Autodesk Inventor Professional 2014.

					11.03.03.2017.382.00 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Сорокина А.М.			Пульт преобразователя для проверки импульсных трансформаторов	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Малова Л.В.					5	65
Консультант		Кудрин Л.П.				ЮУрГУ		
Н. контр.		Городилов А.С.				Кафедра КиПР		
Утв.		Войтович Н.И.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ	10
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	11
2.1 Разработка конструкции печатной платы	11
2.1.1 Выбор типа конструкции ПП	11
2.1.2 Выбор класса точности ПП	12
2.1.3 Выбор шага координатной сетки	12
2.1.4 Выбор метода изготовления ПП	12
2.1.5 Выбор размеров и конфигурации ПП	13
2.1.6 Выбор материала основания ПП	13
2.1.7 Выбор толщины ПП	13
2.2 Расчет параметров печатного рисунка	14
2.2.1 Диаметра металлизированного отверстия	16
2.2.2 Минимальный диаметр контактных площадок	17
2.2.3 Максимального диаметра контактных площадок	20
2.2.4 Ширина сигнальных проводников	21
2.2.5 Ширина проводников питания	22
2.3 Расчет ребренного радиатора	24
2.4 Разработка печатного узла	37
2.4.1 Монтажа установки элементов на ПП	37
2.4.2 Создание библиотеки компонентов	37
2.4.3 Компоновка элементов на ПП	39
2.4.4 Размещение элементов на ПП	39
2.4.5 Трассировка печатных проводников	40
2.4.6 Оформление КД	40
2.5 Расчет надежности	41
2.5.1 Эксплуатационный показатель интенсивности отказа	42
2.5.2 Интенсивность отказа всего печатного узла	53
2.5.3 Среднее время безотказной работы	53
2.5.4 График вероятности безотказной работы	53
2.5.5 Вероятность безотказной работы	54
2.6 Модернизация конструкции корпуса	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	58
-------------------------------	----

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема электрическая принципиальная	60
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Перечень элементов	61
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Плата печатная	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Сборочный чертеж.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Спецификация	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Чертеж крышки корпуса	65

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость проверки изготовленной продукции является обязательным процессом при производстве. Проверка изделия позволяет установить соответствие полученных характеристик объекта заданным техническим требованиям. На основе полученной информации после проведения испытаний можно судить о работоспособности и правильности функционирования проверяемой продукции.

Целью ВКР (выпускная квалификационная работа) является разработка пульта преобразователя для проверки импульсных трансформаторов, которые применяют для стабилизации выходного напряжения в режиме работы устройства.

Стимулом для разработки послужила большая сфера применения импульсных трансформаторов в радиоэлектронной аппаратуре, которые перед применением необходимо проверять на правильность функционирования.

На предприятии "АО Радий" для проверки изготавливаемых импульсных трансформаторов собираются схемы соединения, которые включают функциональные блоки и другое вспомогательное оборудование.

На основе данных, полученных при проведении испытаний, можно судить о работоспособности и правильности функционирования проверяемых трансформаторов.

Пульт "Преобразователь" является составной частью стенда, состоящего из 3-х пультов (рис.1), которые используются для комплексной проверки трансформаторов, изготавливаемых на предприятии "АО Радий".

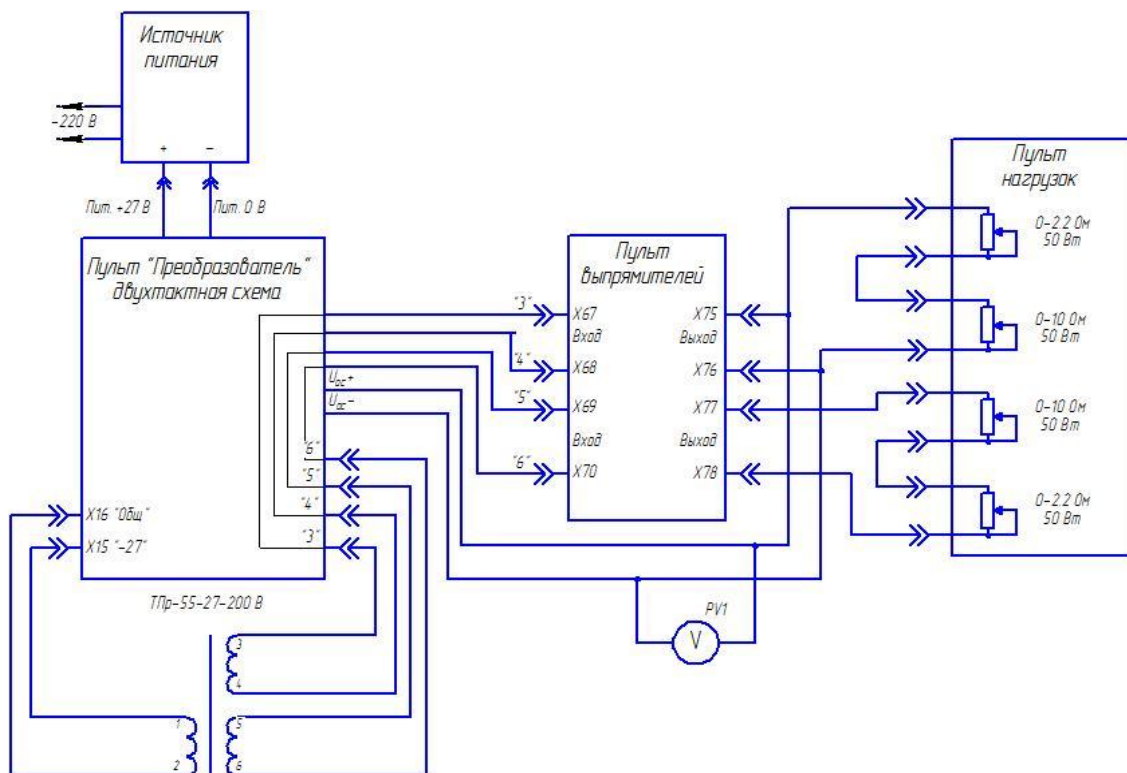


Рисунок 1 – Схема соединений для проверки импульсных трансформаторов

Питание пульта осуществляется от отдельного источника питания 27 В. Напряжение которого преобразуется в переменное и поступает на внутренний трансформатор с вторичными обмотками 27 и 75 В. Переменное напряжение вторичных обмоток подается на проверяемое изделие. Подключенный к выходам выпрямителей вольтметр измеряет выходное напряжение, которое должно входить в интервал допустимых значений параметров трансформатора, иначе трансформатор не проходит проверку и считается негодным для эксплуатации.

Поставленная цель реализуется с помощью разработки печатного узла и модернизации конструкции корпуса.

1 АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ

Исходя из технического задания на выпускную квалификационную работу (ВКР) необходимо разработать печатный узел и модернизировать конструкцию пульта преобразователя для проверки импульсных трансформаторов.

В качестве модуля первого уровня используется печатная плата, на которой расположена большая часть функционально важных элементов для разрабатываемого изделия. Выбор конструкторских требований для разработки печатной платы формируется в соответствии с предприятием "АО Радий", где будет изготавливаться печатный узел.

Разрабатываемая ПП представляет равномерно нагруженную ЭРЭ прямоугольную пластину. Исходя из этого будет применено крепление в четырех точках по углам ПП со свободным опиранием всех сторон.

Для механической защиты и дополнительного функционирования используется конструкция блока, в который входит разрабатываемый узел.

Передняя панель пульта состоит из клавишных зажимов, приборной клеммы и ручек регулировки, которые используются для подключения проверяемого трансформатора, регулировки частоты импульсного и выходного напряжения, расположение которых выбрано с учетом удобства работы оператора.

Пульт относится к стационарному классу электронной аппаратуры. Для которого характерна работа в помещении с нормальными климатическими условиями при отсутствии в процессе эксплуатации механических воздействий.

Пульт "Преобразователь" предназначен для контроля трансформаторов требованиям технических условий бФ4.720.020 ТУ и проверки, которая сопровождается получением электрических параметров для сравнения с образцовыми показателями.

2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Разработка конструкции печатной платы

Разрабатываемый печатный узел будет изготавливаться на предприятии "АО Радий", расположенном в городе Касли. Поэтому выбор конструкторских требований в первую очередь будет формироваться в связи с их возможностями изготовления.

Последовательность разработки ПП взята из [13].

2.1.1 Выбор типа конструкции ПП

По ГОСТ Р 53429-2005 [7] предусмотрено несколько типов печатных плат, такие как односторонняя, двусторонняя, многослойная, гибкая, проводная ПП.

Для разрабатываемой ПП по техническому заданию будет использована двусторонняя конструкция, которая позволит выполнить на обеих сторонах печатного узла элементы проводящего рисунка и все необходимые соединения, в соответствии с электрической принципиальной схемой. Схема на двусторонней ПП разводится легче, т.к. происходит меньше конфликтов с пересекающимися проводниками. Электрическая связь для такой конструкции будет осуществляться через металлизированные отверстия, которые повысят прочность сцепления выводов навесных элементов с проводящим рисунком ПП и увеличат возможности коммутационного взаимодействия.

В зависимости от условий эксплуатации ПП должна обеспечивать работоспособность при воздействии различных механических, климатических и других факторов. В соответствии ГОСТ 23752-79 [6] разрабатываемая плата соответствует 1 группе жесткости.

2.1.2 Выбор класса точности ПП

В соответствии со стандартом ГОСТ Р 53429-2005 [7] существует 7 классов точности. Каждый из которых определяет основные минимальные значения параметров печатного рисунка.

Печатный узел для "Пульты преобразователя", будет изготовлен по 2 классу точности, т.к это обусловлено уровнем технологии оснащенности предприятия "АО Радий".

2.1.3 Выбор шага координатной сетки

Шаг координатной сетки выбирается в соответствии со стандартом ГОСТ Р 51040-97 [4]. Основной шаг координатной сетки 0,5 мм, но если этот шаг не удовлетворяет требованиям конструкции, то должен применяться шаг 0,05 мм.

При необходимости использовать координатную сетку с шагом отличным от основных, используется шаг кратный основным шагам координатной сетки.

В соответствии с критерием выбор шага координатной сетки, который напрямую зависит от элементной базы ПП прием шаг равный 2,5 мм.

2.1.4 Выбор метода изготовления ПП

Каслинский радиозавод реализует только две технологии изготовления ПП: комбинированная позитивная и комбинированная негативная технологии. В соответствии с предприятием для ДПП (двусторонняя печатная плата) используется комбинированный позитивный метод изготовления.

Этот метод применяется для изготовления ПП с фольгированным диэлектриком, при травлении которого получают печатные проводники, а межслойные электрические соединения получают с помощью металлизации отверстий.

Метод называется комбинированным, потому что вытравливание печатных проводников производят химическим способом, а наращивание меди на контактные площадки и проводники - электрохимическим.

2.1.5 Выбор размеров и конфигурации ПП

Размеры ПП 160x150 мм, выбраны исходя из габаритов блока. Стороны кратны 5 мм, что соответствует стандарту ГОСТ 10317-79 [5].

2.1.6 Выбор материала основания ПП

Комбинированный позитивный метод относится к субтрактивному процессу. Операция получения проводящего рисунка в котором заключается в локализованном удалении участков проводящей фольги путем травления.

В субтрактивных методах изготовления применяют фольгированные диэлектрики, которые являются композиционными материалами. Для таких методов применяется стеклотекстолит, гетинакс, полиимид и другие материалы.

На предприятии, где будет в дальнейшем изготовлена ПП, используют фольгированный стеклотекстолит СФ-2-35 и гетинакс ГФ-1-35. Стеклотекстолит по сравнению с гетинаксом обладает лучшими электрическими и механическими характеристиками, имеет более высокую нагревостойкость и меньшее влагопоглощение. Поэтому для изготовления ПП будет использован стеклотекстолит СФ-2-35.

2.1.7 Выбор толщины ПП

Толщина ПП зависит от проводящего рисунка (без дополнительных покрытий) и толщины материала основания ПП. На предприятии изготовители используют толщину ПП 1,5 мм.

2.2 Расчет параметров печатного рисунка

Согласно данным из задания на ВКР и данных обоснованных в предыдущих пунктах производится расчет параметров печатного рисунка [8]. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные

Тип печатной платы	ДПП
Метод изготовления ПП	Комбинированный позитивный
Класс точности	2
Толщина ПП	1,5 мм
ШКС	2,5 мм
Диаметры выводов	0,6 мм
	0,8 мм
	1,1 мм
h_{ϕ}	35 мкм
I_{\max}	2 А

Методика расчета ДПП основана на использовании технологических коэффициентов, которые учитывают реальные допуски на те или иные операции (табл. 2).

Значения технологических коэффициентов выбираются исходя из производственно-технологических показателей предприятия изготовителя.

Таблица 2 – Интервалы предельных отклонений технологических коэффициентов

Наименование технологического коэффициента	Обозначение	Величина, мм
Погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка	δ_o	0,02-0,10
Погрешность базирования плат на сверлильном станке	δ_6	0,01-0,03
Погрешность расположения контактных площадок на фотошаблоне	$\delta_{ш}$	0,02-0,08
Погрешность расположения печатных элементов при экспонировании	δ_3	0,01-0,03
Погрешность расположения базовых отверстий на заготовке	δ_3	0,01-0,03
Погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне	$\delta_{п}$	0,01-0,05
Погрешность расположения проводника относительно координатной сетки на фотошаблоне	δ_t	0,03-0,06
Погрешность диаметра отверстия (биение и точность изготовления сверла)	Δ_d	0,01-0,03

При проектировании печатных плат следует учитывать возможности технологического оснащения производителя, поэтому для изготовления печатного рисунка разрабатываемой платы используется данные для 2 класса точности, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Входные данные для 2 класса точности

Наименование элемента печатного рисунка	Обозначение	Наименьшее номинальные значения размеров элементов для 2 класса точности, мм
Ширина проводника	t	0,45
Расстояние между проводниками, контактными площадками, проводником и контактной площадкой	s	0,45
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	b _m	0,20
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы	γ	0,40

2.2.1 Диаметра металлизированного отверстия

Минимальный диаметр металлизированного отверстия печатной платы ограничен технологией металлизации отверстия

$$d_{\min} \geq H_{\text{расч}} \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

где $H_{\text{расч}}$ – расчетная толщина печатной платы. Для ДПП она равна толщине заготовки, мм;

γ – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине печатной платы (табл.3).

$$d_{\min} \geq 0,6.$$

Номинальное значение отверстия

$$d = d_0 + (0,1 \dots 0,4), \quad (2.2)$$

где d_0 – максимальный диаметр вывода устанавливаемого ЭРЭ, мм.

Для диаметра вывода 0,6 мм

$$d = 0,6 + 0,2 = 0,8 \text{ мм.}$$

Для диаметра вывода 0,8 мм

$$d = 0,8 + 0,2 = 1,0 \text{ мм.}$$

Для диаметра вывода 1,1 мм

$$d = 1,1 + 0,2 = 1,3 \text{ мм.}$$

Рассчитанные значения d удовлетворяют предпочтительному ряду отверстий 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8 мм.

2.2.2 Минимальный диаметр контактных площадок

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5h_{\phi} + h_{\Gamma} + h_p, \quad (2.3)$$

где $D_{1\min}$ – минимальный эффективный диаметр площадки, мм;

h_{ϕ} – толщина фольги, мм;

h_{Γ} – толщина гальванического наращенной меди, мм;

h_p – толщина наращенного металлического резиста, мм.

Минимальный эффективный диаметр площадки

$$D_{1\min} = 2(b_m + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_{\text{отв}} + \delta_{\text{кп}}), \quad (2.4)$$

где b_m – расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки, мм (табл.3);

d_{\max} – максимальный диаметр просверленного отверстия, мм;

$\delta_{\text{отв}}$ – допуск на расположение отверстий (табл.2);

$\delta_{\text{кп}}$ – допуск на расположение контактных площадок (табл.2).

Максимальный диаметр просверленного отверстия

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1...0,15), \quad (2.5)$$

где Δd – допуск на отверстие (табл.2).

Допуск на расположение отверстий

$$\delta_{\text{отв}} = \delta_o + \delta_{\text{б}}, \quad (2.6)$$

где δ_o – погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка (табл.2);

$\delta_{\text{б}}$ – погрешность базирования плат на сверлильном станке (табл.2).

Допуск на расположение контактных площадок

$$\delta_{\text{кп}} = \delta_{\text{ш}} + \delta_{\text{з}} + \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{з}}}{2}, \quad (2.7)$$

где $\delta_{ш}$ – погрешность расположения контактной площадки относительно координатной сетки на фотошаблоне (табл.2);

$\delta_э$ – погрешность расположения контактной площадки при ее экспонировании (табл.2);

$\delta_{п}$ – погрешность расположения базовых отверстий на фотошаблоне (табл.2);

$\delta_з$ – погрешность расположения базовых отверстий на заготовке (табл.2).

Для определения минимального диаметра контактных площадок разрабатываемой двусторонней ПП необходимо применить косвенные расчеты: определить допуск на расположение контактных площадок, допуск на расположение отверстий и максимальный диаметр просверленного отверстия.

$$\delta_{кп} = 0,05 + 0,02 + \frac{0,03 + 0,02}{2} = 0,095,$$

$$\delta_{отв} = 0,06 + 0,02 = 0,08.$$

а) диаметр контактных площадок для $d_э = 0,6$ мм

Максимальный диаметр просверленного отверстия

$$d_{max} = 0,8 + 0,02 + 0,1 = 0,92 \text{ мм.}$$

Минимальный эффективный диаметр площадки

$$D_{lmin} = 2 \cdot \left(0,2 + \frac{0,74}{2} + 0,08 + 0,095 \right) = 1,49 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр контактной площадки

$$D_{min} = 1,49 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,05 + 0,02 = 1,61 \text{ мм.}$$

б) диаметр контактных площадок для $d_э = 0,8$ мм.

Максимальный диаметр просверленного отверстия

$$d_{max} = 1,0 + 0,02 + 0,1 = 1,12 \text{ мм.}$$

Минимальный эффективный диаметр площадки

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left(0,2 + \frac{1,12}{2} + 0,08 + 0,095\right) = 1,87 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\min} = 1,87 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,05 + 0,02 = 1,99 \text{ мм.}$$

в) диаметр контактных площадок для $d_s = 1,1$

Максимальный диаметр просверленного отверстия

$$d_{\max} = 1,3 + 0,02 + 0,1 = 1,42 \text{ мм.}$$

Минимальный эффективный диаметр площадки

$$D_{1\min} = 2 \cdot \left(0,2 + \frac{1,42}{2} + 0,08 + 0,095\right) = 2,17 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр контактной площадки

$$D_{\min} = 2,17 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,05 + 0,02 = 2,29 \text{ мм.}$$

2.2.3 Максимального диаметра контактных площадок

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06). \quad (2.8)$$

а) максимальный диаметр контактной площадки для $d_s = 0,6$ мм

$$D_{\max} = 1,61 + 0,02 = 1,63 \text{ мм.}$$

б) максимальный диаметр контактной площадки для $d_s = 0,8$ мм

$$D_{\max} = 1,99 + 0,02 = 2,01 \text{ мм.}$$

в) максимальный диаметр контактной площадки для $d_s = 1,1$ мм

$$D_{\max} = 2,29 + 0,02 = 2,31 \text{ мм.}$$

2.2.4 Ширина сигнальных проводников

Минимальная ширина проводника учитывает технологические факторы, которые связаны с формированием структуры проводника, и электрические, которые связаны с обеспечением целостности проводника и не превышения предельно допустимого падения напряжения на проводнике при протекании по нему тока заданной величины.

а) минимальная ширина сигнальных проводников

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5h_{\phi} + h_{\Gamma} + h_{\rho}, \quad (2.9)$$

где $t_{1\min}$ – минимальная эффективная ширина проводников, мм.

Для разрабатываемой печатной платы используется 2 класс точности, поэтому $t_{1\min} = 0,18$ мм.

$$t_{\min} = 0,18 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,05 + 0,02 = 0,3 \text{ мм.}$$

Полученное значение t_{\min} меньше минимальной ширины проводника (табл.3), определяемой классом точности, поэтому за t_{\min} примем значение равное 0,45 мм, что соответствует 2 классу точности.

б) максимальная ширина сигнальных проводников

$$t_{\max} = t_{\min} + (0,02 + 0,06). \quad (2.10)$$

$$t_{\max} = 0,45 + 0,02 = 0,47 \text{ мм.}$$

2.2.5 Ширина проводников питания

а) минимальная ширина проводников питания

Определение минимально допустимой ширины проводников по постоянному току цепей питания и заземления с учетом допустимой токовой нагрузки

$$t_{\min \Pi} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} h}, \quad (2.11)$$

где I_{\max} – максимальный постоянный ток, протекающий в проводниках (табл.1), А;

$j_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока, которая равна 48 А/мм^2 для ДПП изготовленной комбинированным позитивным методом, А/мм^2 ;

h – толщина печатного проводника, мм.

$$t_{\min \Pi} = \frac{2}{48 \cdot 0,035} = 1,19 \text{ мм.}$$

б) максимальная ширина проводников питания

$$t_{\max \Pi} = t_{\min \Pi} + (0,02 \dots 0,06), \quad (2.12)$$

$$t_{\max \Pi} = 1,19 + 0,02 = 1,21 \text{ мм.}$$

Рассчитанные параметры печатного рисунка сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета

Рассчитываемый параметр	Обозначение	Величина
Номинальный диаметр отверстия	$d(0,6 \text{ мм})$	0,8 мм
	$d(0,8 \text{ мм})$	1,0 мм
	$d(1,1 \text{ мм})$	1,3 мм
Минимальный диаметр контактных площадок	$D_{\min}(0,6 \text{ мм})$	1,61 мм
	$D_{\min}(0,8 \text{ мм})$	1,99 мм
	$D_{\min}(1,0 \text{ мм})$	2,29 мм
Максимальный диаметр контактных площадок	$D_{\max}(0,6 \text{ мм})$	1,63 мм
	$D_{\max}(0,8 \text{ мм})$	2,01 мм
	$D_{\max}(1,0 \text{ мм})$	2,31 мм
Минимальная ширина сигнальных проводников	t_{\min}	0,45 мм
Максимальная ширина сигнальных проводников	t_{\max}	0,47 мм
Минимальная ширина проводников питания	$t_{\min \text{ п}}$	1,19 мм
Максимальная ширина проводников питания	$t_{\max \text{ п}}$	1,21 мм

2.3 Расчет ребренного радиатора

Большинство РЭА потребляемую мощность выделяют в окружающую среду в виде тепловой энергии. Повышение температуры вызывает воздействие на элементы конструкции, происходит изменение эксплуатационных характеристик и основных параметров приборов.

Из-за небольшого влияния протекания тепловых процессов на общую картину, допускается пренебрегать ЭРЭ, которые имеют малые значения мощностей рассеивания по сравнению с другими ЭРЭ находящимися на ПП. В большинстве случаев не учитывается тепловая энергия резисторов, конденсаторов и индуктивностей.

В разрабатываемом пульте, особое внимание необходимо уделить полупроводниковым приборам, а именно транзисторам у которых существует ограничение температурного диапазона.

Используется три типа транзисторов: 2П767В с $P_{\max} = 42$ Вт (максимальная рассеиваемая мощностью); 2Т3108А и 2Т3117А с $P_{\max} = 300$ мВт.

Практика показала, что для транзисторов 2Т3108А и 2Т3117А достаточно естественной конвекции для отведения тепла в окружающую среду, т.к режим их работы обеспечивает нормальную температуру.

Транзистор 2П767В имеет бó льшую мощность рассеивания, поэтому происходит нагрев прибора, который может привести к выходу из рабочего состояния.

Для того, чтобы тепловой баланс наступал при более низкой температуре, необходимо увеличивать теплоотдачу транзисторов за счет естественной конвекции, что обеспечивается за счет увеличения площади рассеивания. Увеличение площади рассеивания подразумевает применение дополнительных механизмов, ускоряющих протекание воздуха через устройство.

Наиболее часто в качестве механизмов теплоотвода используют радиаторы. Радиаторы имеют большую поверхность охлаждения и соответственно повышенную тепловую проводимость к окружающей среде. [9]

Различают разные по конструкции радиаторы. Наибольшее распространение получили штыревые и ребристые радиаторы, поверхность охлаждения которых образована штырями и ребрами соответственно.

Источником тепла полупроводникового прибора, закрепленного на основании радиатора, является коллекторный р – n переход. Передача тепла от источника распространения осуществляется в три этапа: р – n переход - корпус транзистора, корпус транзистора - теплоотвод, теплоотвод - окружающая среда. Рассеивание теплового потока в окружающую среду осуществляется с помощью процессов конвекции и излучения.

В дисциплине "Теплообмен и надежность конструкций радиоэлектронных средств" была рассмотрена методика расчета ребренного радиатора при естественном охлаждении.

Поэтому для обеспечения нормальной работы транзистора 2П767В рассчитаем ребренный радиатор. Расчет которого заключается в определении его геометрических размеров. Исходные данные для расчет приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Исходные данные

Тип транзистора	t_c , °C	t_n , °C	P, Вт	$R_{кр}$, К/Вт	$R_{нк}$, К/Вт
2П767В	25	150	3	0,52	3,0

Использование радиатора связано с увеличением габаритных размеров и массы аппаратуры. Для минимизации этих параметров, исходя из конструкции корпуса транзистора КТ-90, примем в первом приближении длину основания (L) и высоту радиатора (l), имеющие незначительные отклонения от геометрических параметров транзистора. Толщину пограничного слоя (A) примем равную 3 мм (табл. 6).

Таблица 6 - Геометрические параметры транзистора

Тип транзистора	l, мм	L, мм	A, мм
2П767В	21	22	3

Выделяют три составляющие теплообмена поверхности радиатора с окружающей средой: конвективный теплообмен на неоребренной (гладкой) поверхности, конвективный теплообмен на оребренной поверхности и лучевой теплообмен. [9]

В первом приближении радиатор будет в виде прямоугольной пластины у которой все поверхности являются гладкими (рис. 2).

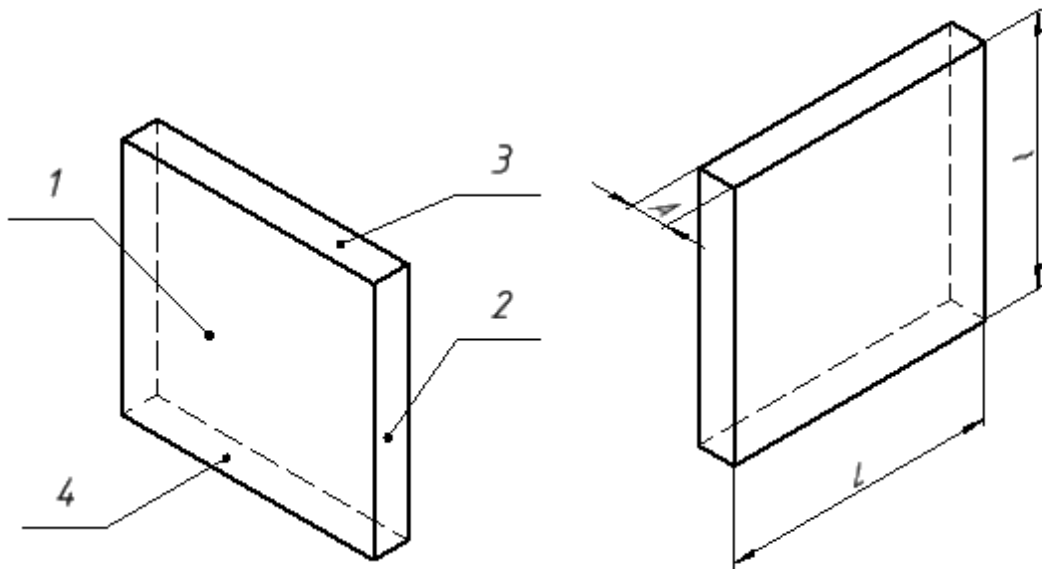


Рисунок 2 - Исходная геометрия радиатора

Тепловой поток, рассеиваемый гладкой поверхностью, рассчитывается по формуле

$$P_{\text{гл}} = \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{г}i} (t_p - t_c) S_{\text{г}i}, \quad (2.13)$$

где α_{ri} – коэффициент теплоотдачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

i – номер элемента гладкой поверхности;

t_p – температура радиатора, °С;

t_c – температура окружающей среды, °С;

S_{ri} – площадь i гладкого элемента, м^2 .

Коэффициент теплоотдачи элемента гладкой поверхности, рассчитывается по формуле

$$\alpha_{ri} = N_i A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_i} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (2.14)$$

где N_i – коэффициент, определяемый ориентацией теплоотдающей поверхности

($N=1$ – для вертикально-ориентированной поверхности; $N=0,7$ – для горизонтальной поверхности, рассеивающей тепловой поток вниз; $N=1,3$ – для горизонтальной поверхности, рассеивающей тепловой поток вверх);

A_2 – коэффициент, определяемый по графику [9, с. 9];

L_i – определяющий размер гладкой поверхности (для вертикальной – высота, для горизонтальной – меньший размер прямоугольной поверхности), мм.

Для того чтобы по графику определить коэффициент A_2 необходимо рассчитать среднюю температуру t_m

$$t_m = \frac{t_p + t_c}{2}. \quad (2.15)$$

Температура радиатора для обеспечения заданной температуры перехода

$$t_p = t_n - P(R_{nk} + R_{kp}). \quad (2.16)$$

После подстановки исходных значений из табл. 4 в исходную формулу (2.16), температура радиатора

$$t_p = 150 - 3 \cdot (3 + 0,52) = 139,92 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Подставив, полученные значения в формулу (2.15), получим

$$t_m = \frac{t_p + t_c}{2} = \frac{139,92 + 25}{2} = 80,72 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По графику зависимости коэффициента A_2 от средней температуры, $A_2 = 1,28$.

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой вертикально - ориентированной поверхности поз. 1

$$\alpha_{r1} = N_1 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_1} \right)^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 11,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r1} = lL_n = 21 \cdot 22 \cdot 2 = 924 \text{ мм}^2 = 0,000924 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой вертикально - ориентированной поверхности поз. 2

$$\alpha_{r2} = N_2 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_2} \right)^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 11,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r2} = lAn = 21 \cdot 3 \cdot 2 = 126 \text{ мм}^2 = 0,000126 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности, рассеивающий тепловой поток вверх поз. 3

$$\alpha_{r3} = N_3 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_3} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,3 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,003} \right)^{\frac{1}{4}} = 23,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r3} = AL = 3 \cdot 22 = 66 \text{ мм}^2 = 0,000066 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности, рассеивающий тепловой поток вниз поз. 4

$$\alpha_{r4} = N_4 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_4} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,7 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,003} \right)^{\frac{1}{4}} = 12,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r4} = AL = 3 \cdot 22 = 66 \text{ мм}^2 = 0,000066 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток, рассеиваемый заданным радиатором

$$P_{r1} = (t_p - t_c) \sum_{i=1}^n \alpha_{ri} S_{ri} = (139,92 - 25)(11,01 \cdot (0,000924 + 0,000126) + 0,000066 \cdot (23,28 + 12,53)) = 1,6 \text{ Вт}. \quad (2.17)$$

Сравним результаты расчета с требуемой мощностью $P_{\text{треб}}$ рассеивания

$$P_p = 1,6 \text{ Вт} < P_{\text{треб}} = 3 \text{ Вт}$$

Радиатор с заданными первоначально геометрическими параметрами не обеспечивает рассеивание заданной мощности, поэтому для увеличения площади поверхности охлаждения добавим на поверхность радиатора ребра.

В первом приближении зададим длину ребра $h = 5 \text{ мм}$, толщину ребра $\delta = 4 \text{ мм}$ и высоту ребра $l = 21 \text{ мм}$. Количество ребер $n = 4$, расстояние между которыми $b = 2 \text{ мм}$. (рис. 3)

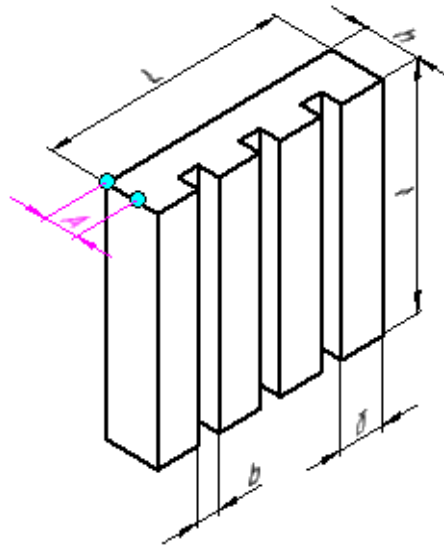


Рисунок 3 – Параметры радиатора

Параметры были подобраны с учетом выполнения соотношения между толщиной и длиной ребра

$$h \leq \sqrt{\frac{\lambda \delta}{2\alpha}}, \quad (2.18)$$

$$0,005 \leq \sqrt{\frac{200 \cdot 0,004}{2 \cdot 10}} = 0,06.$$

На радиаторе необходимо выделить гладкую поверхность (рис. 4) и разбить ее на прямоугольные составляющие, для каждого из которых в соответствии с ее ориентацией и определяющим размером рассчитать коэффициент конвективного теплообмена.

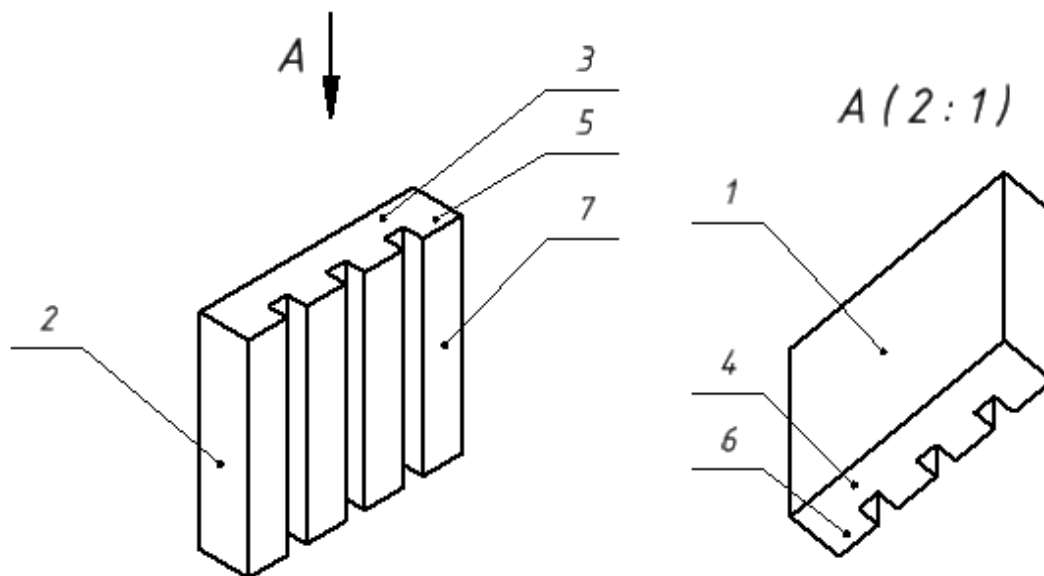


Рисунок 4 – Гладкая поверхность радиатора

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой вертикальной поверхности поз. 1

$$\alpha_{r1} = N_1 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_1} \right)^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 11,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r1} = lL = 22 \cdot 21 = 462 \text{ мм}^2 = 0,000462 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой вертикальной поверхности поз. 2

$$\alpha_{r2} = N_2 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_2} \right)^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 11,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{r2} = 21 \cdot 5 \cdot 2 = Lhn = 210 \text{ мм}^2 = 0,00021 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности поз. 3, рассеивающий тепловой поток вверх

$$\alpha_{r3} = N_3 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_3} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,3 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,003} \right)^{\frac{1}{4}} = 23,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{\text{гл}} = 22 \cdot 3 = LA = 66 \text{ мм}^2 = 0,000066 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности поз. 4, рассеивающий тепловой поток вниз

$$\alpha_{\text{гл}4} = N_4 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_4} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,7 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,003} \right)^{\frac{1}{4}} = 12,53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{\text{гл}} = 22 \cdot 3 = (h - A)\delta n = 66 \text{ мм}^2 = 0,000066 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности поз. 5, рассеивающий тепловой поток вверх

$$\alpha_{\text{гл}5} = N_5 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_5} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,3 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,002} \right)^{\frac{1}{4}} = 25,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{\text{гл}} = 2 \cdot 4 \cdot 4 = (h - A)\delta n = 32 \text{ мм}^2 = 0,000032 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой горизонтальной поверхности поз. 6, рассеивающий тепловой поток вниз

$$\alpha_{\text{гл}6} = N_6 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_6} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,7 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,002} \right)^{\frac{1}{4}} = 13,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{\text{гл}} = 2 \cdot 4 \cdot 4 = (h - A)\delta n = 32 \text{ мм}^2 = 0,000032 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплоотдачи элемента и площадь гладкой вертикальной поверхности поз. 7

$$\alpha_{\text{гл}7} = N_7 A_2 \left(\frac{t_p - t_c}{L_7} \right)^{\frac{1}{4}} = 1 \cdot 1,28 \cdot \left(\frac{139,92 - 25}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 11,01 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$S_{\text{гл}} = 21 \cdot 4 \cdot 4 = l\delta n = 336 \text{ мм}^2 = 0,000336 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток, рассеиваемый гладкой поверхностью радиатора

$$\begin{aligned}
P_{\text{гл}} &= (t_p - t_c) \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{г}i} S_{\text{г}i} = (139,92 - 25)(0,000066 \cdot (12,53 + 23,28) + \\
&+ 0,00032 \cdot (25,76 + 13,87) + 11,01 \cdot (0,000462 + 0,00021 + 0,000336) = \quad (2.19) \\
&= 114,92 \cdot (0,0024 + 0,0127 + 0,0111) = 2,62 \text{ Вт}
\end{aligned}$$

Выделим на радиаторе оребренную поверхность (рис. 5) и определим для нее рассеиваемый тепловой поток, по формуле

$$P_{\text{реб}} = \alpha_p (t_p - t'_c) S_{\text{реб}}, \quad (2.20)$$

где α_p – коэффициент теплоотдачи оребренной поверхности;

t'_c – температура воздуха между ребрами.

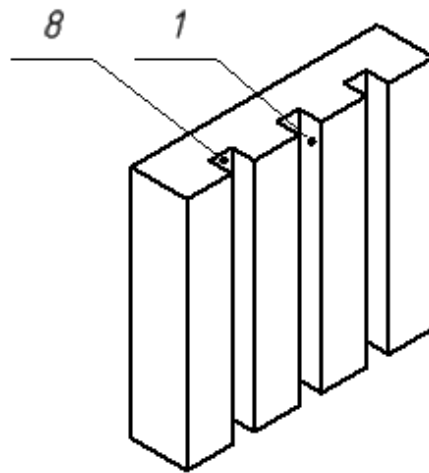


Рисунок 5 – Оребренная поверхность радиатора

Температура воздуха между ребрами

$$t'_c = t_p - Z(t_p - t_c) = 139,92 - 0,25 \cdot (139,92 - 25) = 111,19, \quad (2.21)$$

где $Z = 0,25$ (параметр, определяемый по номограмме [1, с. 10]).

Коэффициент теплоотдачи оребренной поверхности

$$\alpha_p = A_2 \left(\frac{(t_p - t'_c)}{1} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,26 \cdot \left(\frac{139,92 - 111,19}{0,021} \right)^{\frac{1}{4}} = 7,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (2.22)$$

где $A_2 = 1,26$ (коэффициент, зависящий от температуры [9, с. 9]).

Площадь оребренной поверхности $S_{\text{реб}}$

$$S_{\text{реб}} = nl(h - A) + nbl = 6 \cdot 21 \cdot (5 - 3) + 3 \cdot 2 \cdot 21 = 378 \text{ мм}^2.$$

Определим тепловую характеристику оребренной поверхности

$$P_{\text{реб}} = \alpha_p (t_p - t'_c) S_{\text{реб}} = 7,66 \cdot (139,92 - 111,19) \cdot 0,000378 = 0,08 \text{ Вт}. \quad (2.23)$$

Выделим на радиаторе поверхность излучения (рис. 6) и определим для нее рассеиваемый тепловой поток

$$P_{\text{л}} = 5,67 E_p \left[\left(\frac{t_p + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_c + 273}{100} \right)^4 \right] S_{\text{л}}, \quad (2.24)$$

где E_p – степень черноты радиатора.

Для радиатора, изготовленного из алюминиевого сплава и анодированного с окрашиванием в черный цвет, можно принять $E_p = 0,9 \dots 0,98$. Возьмем $E_p = 0,94$.

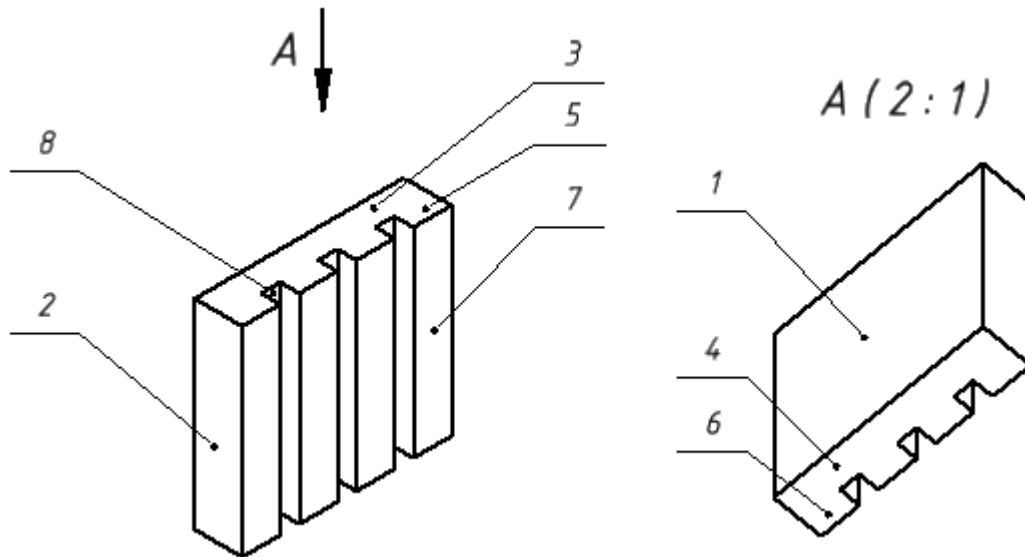


Рисунок 6 – Поверхность излучения радиатора

Площадь поверхности лучевого теплообмена

$$S_{\text{л}} = S_{\text{гл}} + nbl = 0,0009 + 0,000126 = 0,001026 \text{ м}^2.$$

Тепловой поток излучения

$$P_{\text{л}} = 5,67E_p \left[\left(\frac{t_p + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_c + 273}{100} \right)^4 \right] S_{\text{л}} =$$

$$= 5,67 \cdot 0,94 \cdot (290,71 - 78,86) \cdot 0,001026 = 1,13 \text{ Вт}.$$

Суммарная мощность, рассеиваемая радиатором

$$P_p = P_{\text{л}} + P_{\text{гл}} + P_{\text{реб}} = 1,13 + 2,62 + 0,08 = 3,82 \text{ Вт}. \quad (2.25)$$

Сравним результаты расчета с требуемой мощностью $P_{\text{треб}}$ рассеивания

$$P_p = 3,82 \text{ Вт} > P_{\text{треб}} = 3 \text{ Вт}$$

В результате добавления ребер на поверхность радиатора он обеспечил нормальный тепловой режим транзистора 2П767В.

Эскиз радиатора с рассчитываемыми геометрическими параметрами (рис.7)

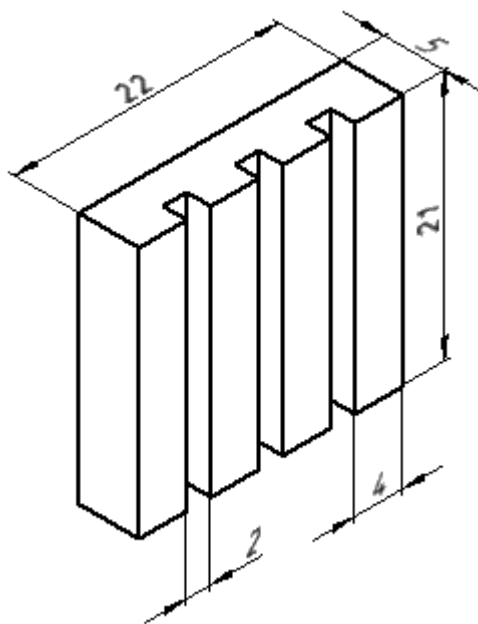


Рисунок 7 – Радиатор с рассчитываемыми геометрическими параметрами

Для того, чтобы избежать нагрузку на ножки транзистора, радиатор следует устанавливать на ПП через стеклотекстолитовую прокладку, которая предотвратит замыкание печатных проводников.

2.4 Разработка печатного узла

2.4.1 Монтажа установки элементов на ПП

Для изготовления печатного узла будет использован «монтаж в отверстия» при такой технологии установки, выводы компонентов монтируются в сквозные отверстия ПП и припаиваются к металлизированной внутренней поверхности отверстия и/или к контактной площадке. Выбор технологии монтажа в отверстия был продиктован заводом изготовителем.

Разработку печатного узла можно представить в виде нескольких процессов:

- а) создание библиотеки компонентов;
- б) компоновка;
- в) размещение;
- г) трассировка;
- д) оформление конструкторской документации (КД).

2.4.2 Создание библиотеки компонентов

Прежде чем приступить к оформлению электрической принципиальной схемы и проектированию платы была создана библиотека компонентов элементной базы.

Для каждого компонента используемого в схеме было определено свое собственное имя и создано условное графическое обозначение (УГО). При создании УГО был использован ГОСТ 2.721–74. [3]

УГО состоит из контактов, к которым будут подключаться электрические связи, места привязки символа, атрибутов (название компонента) и графики компонента (рис. 8). Каждый контакт имеет свой номер, порядковый номер вывода в корпусе и имя.

Электрические контакты УГО символа были размещены в узлах сетки.

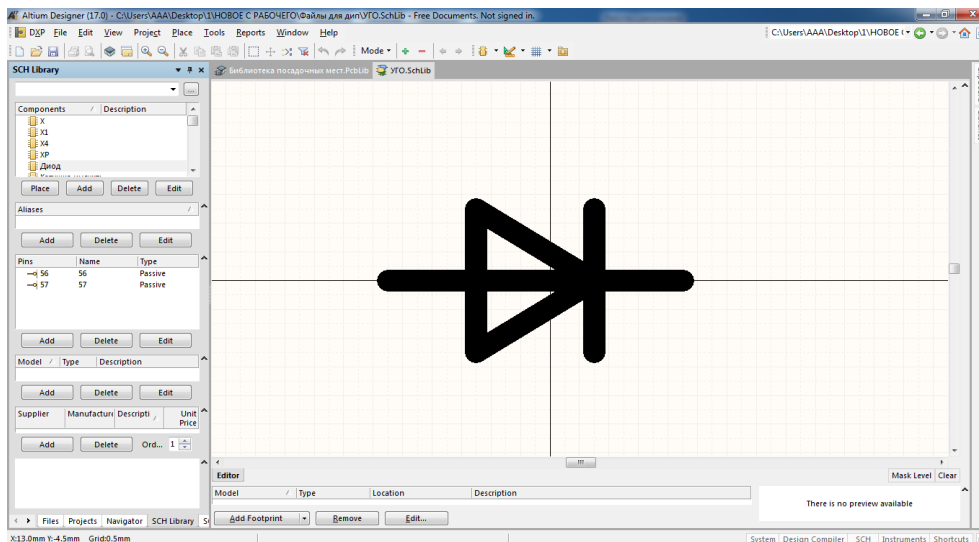


Рисунок 8 - Пример создания УГО для диода 2Д522Б

После создания УГО для каждого элемента была создана библиотека посадочных мест. Посадочное место элемента на плате представляет контур компонента с набором контактных площадок (рис. 9). При создании посадочных мест был использован ОСТ4.010.030-81 [12], технические условия, и стандартные размеры определенных видов корпусов.

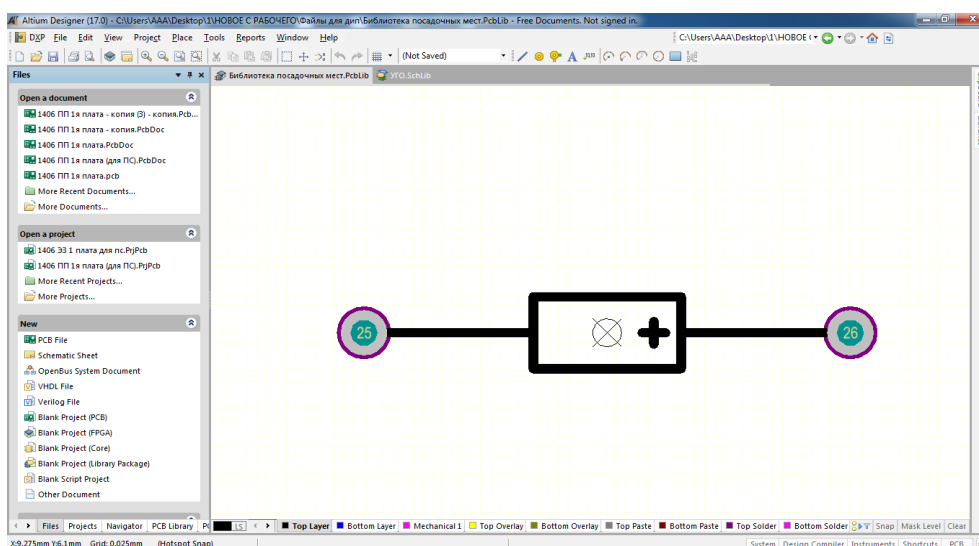


Рисунок 9 - Пример создания посадочного места для диода 2Д522Б

Компонент для размещения на поле платы был создан путем объединения символа и посадочного места в программе Altium Designer17.

Для размещения элементов на ПП использовалась информация из созданных библиотек.

По техническому заданию на разрабатываемый печатный узел не все элементы располагаются на поле платы, а именно переменные резисторы СП4–1А находятся на крышке изделия и соединяются с платой проводами.

2.4.3 Компоновка элементов на ПП

Компоновка - это распределение элементов схемы на коммутационном поле, которое выполняется для того, чтобы

а) исключить заметные паразитные электрические и тепловые взаимосвязи между элементами, влияющие на технические характеристики изделия;

б) предусмотреть возможность конвекции воздуха в зоне расположения элементов, выделяющих большое количество теплоты;

в) предусмотреть возможность легкого доступа к регулировочным элементам.

Компоновка элементов на поле печатной платы была выполнена таким образом, чтобы обеспечить вышеперечисленные критерии.

2.4.4 Размещение элементов на ПП

Дальнейшем этапом разработки печатного узла, после компоновки элементов по коммутационному пространству, является размещение.

Размещение - это задача, в результате которой находят такое расположение элементов на поле платы, которое соответствует минимуму выбранного критерия оптимальности. Главная цель размещения - это создание наилучших условий для трассировки, во избежание неразведенных цепей.

При размещении учитывались критерии, которые лишь качественно способствовали решению главной задачи размещения.

2.4.5 Трассировка печатных проводников

Трассировка - это заключительный этап проектирования печатного узла после размещения.

Трассировка была произведена с учетом оптимизации топологии печатного монтажа:

- а) минимальное число переходных отверстий;
- б) минимальное количество изгибов проводника;
- в) равномерность проводников и т.д.

Для разработки печатного узла на этапах создания библиотеки, компоновки, размещения и трассировки, был использован пакет программ автоматизированного проектирования Altium Designer17.

2.4.6 Оформление КД

Результатом работы в Altium Designer17 стала заготовка печатной платы и печатного узла. Оформление конструкторской документации осуществлялось в системе автоматического проектирования AutoCad Mechanical 2004 компании Autodesk в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД, в частности [2], [12]. ЭРЭ не включенные в стандарт [12] устанавливаются в соответствии с чертежом на этот элемент.

Для проектирования печатного узла и оформления на него конструкторской документации были использованы именно эти САПР, т.к они были изучены в ходе учебного процесса.

2.5 Расчет надежности

Любое изделие в том числе и конструкция РЭС характеризуется показателями качества. Изменение во времени показателей качества напрямую связано с определением понятия надежности.

Надежность - это свойство изделия, выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах, в течении требуемого промежутка времени или требуемой наработки при соблюдении режимов эксплуатации, правил хранения, технического обслуживания и транспортировки.

Надежность оценивается через свои свойства: безотказность, работоспособность, ремонтпригодность, сохраняемость и др. Эти свойства в отдельности или в совокупности количественно оценивают ту или иную сторону надежности.

На надежность изделия влияют многочисленные факторы, имеющие место на этапах его проектирования, производства и эксплуатации. Соответственно различают расчетную, производственную и эксплуатационную надежности. [1]

Надежность необходимо рассчитывать еще на этапах проектирования, т.к это может оказать существенное влияние на уже принятые технические решения конструкций РЭС и технологий изготовления, а также определит в течение какого промежутка времени изделие может безотказно выполнять свои функции.

Прогностический расчет надежности позволяет разработать стратегию технического обслуживания устройства в эксплуатации.

Параметры надежности имеют вероятностную меру и могут быть описаны лишь в терминах теории вероятностей и математической статистики. [11]

Ориентировочная оценка надежности производится на основе информации надежности комплектующих элементов.

По справочной литературе [10] проведем оценку надежности свойств каждой составной части проектируемого изделия и на основе этих данных вычислим суммарные вероятностные характеристики всего разрабатываемого

печатного узла. Оценка надежности будет проводиться с помощью математических моделей.

Данные для расчета будут взяты из спецификации разрабатываемого изделия, технического задания по ВКР и справочника по надежности ЭРИ [10].

Для выполнения расчетов необходимо принять:

- для пассивных элементов $K_n = 0,6$;
- для активных $K_n = 0,8$.

Расчет надежности свойств каждой составной части изделия будет произведен при $t_c^\circ = 25^\circ\text{C}$. Это соответствует нормальным климатическим условиям при которых будет эксплуатироваться разрабатываемый пульт.

2.5.1 Эксплуатационный показатель интенсивности отказа

а) Эксплуатационный показатель интенсивности отказа λ_3 для всех элементов, кроме микросхем, платы, определяется по формуле

$$\lambda_3 = \lambda'_6 (\lambda'_{\text{бсг}}) K_p, \quad (2.26)$$

где λ'_6 – базовая интенсивность отказов для элемента;

$\lambda'_{\text{бсг}}$ – базовая интенсивность для группы элементов.

Базовая интенсивность определяется по справочнику "Надежность электрорадиоизделий" [10], который построен по принципу перечисления интенсивностей отказов типа (группы) элементов.

Если определен тип элемента есть в справочнике, то базовое значение интенсивности отказов берется именно для него, т.е. λ'_6 . В противном случае значение интенсивности отказов находится для группы элементов ($\lambda'_{\text{бсг}}$), в которую входит данный тип.

K_p – коэффициент режима работы, который зависит от коэффициента нагрузки элемента (K_n) температурного состояния и электрической нагрузки. Значение коэффициента определяется по таблице, путем пересечения соответствующей строки и столбца, значения которых соответственно t_c^o и K_n .

Параметры надежности конденсатора К50-29

Значение интенсивности отказов для данного типа конденсаторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,36 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Конденсатор К50-29 является пассивным элементом, поэтому значение $K_n = 0,6$, $t_c^o = 25$ °С. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,33$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К50-29, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,36 \cdot 10^{-6} \cdot 0,33 = 0,1188 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К50-29 используемых в данном изделии $N_i = 3$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \lambda_3 = 0,3564 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Параметры надежности конденсатора К53-18

Значение интенсивности отказов для данного типа конденсаторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,16 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Конденсатор К53-18 является пассивным элементом, поэтому значение $K_n = 0,6$, $t_c^o = 25$ °С. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,348$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К53-18, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,16 \cdot 10^{-6} \cdot 0,348 = 0,0557 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество конденсаторов К53-18 используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \lambda_3 = 0,1114 \cdot 10^{-6} 1/ч.$

Параметры надежности конденсатора К10-17а

Значение интенсивности отказов для данного типа конденсаторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,03 \cdot 10^{-6} 1/ч.$

Конденсатор К10-17а является пассивным элементом, поэтому значение $K_H = 0,6$, $t_c^\circ = 25^\circ C$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,348$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К10-17а, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,238 = 0,0071 \cdot 10^{-6} 1/ч.$$

Количество конденсаторов К10-17а используемых в данном изделии $N_i = 12$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \lambda_3 = 0,0852 \cdot 10^{-6} 1/ч.$

Параметры надежности конденсатора К10-47а

Значение интенсивности отказов для данного типа конденсаторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,03 \cdot 10^{-6} 1/ч.$

Конденсатор К10-47а является пассивным элементом, поэтому значение $K_H = 0,6$, $t_c^\circ = 25^\circ C$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,238$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для конденсатора К10-47а, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,238 = 0,0071 \cdot 10^{-6} 1/ч.$$

Количество конденсаторов К10-47а используемых в данном изделии $N_i = 1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа конденсаторов $N_i \lambda_3 = 0,0071 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности резистора С2-33Н

Значение интенсивности отказов для данного типа резисторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,065 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Резистор С2-33Н является пассивным элементом, поэтому значение $K_n = 0,6$, $t_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,238$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для резистора С2-33Н, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,065 \cdot 10^{-6} \cdot 0,65 = 0,0423 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество резисторов С2-33Н используемых в данном изделии $N_i = 24$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \lambda_3 = 1,0152 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности резистора С5-37В

Значение интенсивности отказов для данного типа резисторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,024 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Резистор С5-37В является пассивным элементом, поэтому значение $K_n = 0,6$, $t_c = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,40$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для резистора С5-37В, примет вид:

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,024 \cdot 10^{-6} \cdot 0,40 = 0,0096 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество резисторов С5-37В используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \lambda_3 = 0,0192 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности стабилитрона Д815Е

Информация об интенсивности отказов для данного типа стабилитрона отсутствует в справочнике, поэтому для группы элементов $\lambda'_{6.c.r.} = 0,004 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Стабилитрон является активным элементом, поэтому значение $K_n = 0,8$, $t_c^\circ = 25^\circ \text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,4726$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для стабилитрона Д815Е, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_{6.c.r.} K_p = 0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4726 = 0,0019 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество транзисторов КТ315 используемых в данном изделии $N_i = 1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа $N_i \lambda_3 = 0,0019 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности диода 2Д522Б

Значение интенсивности отказов для данного типа диодов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,055 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Диод 2Д522Б является активным элементом, поэтому значение $K_n = 0,8$, $t_c^\circ = 25^\circ \text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,4726$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для диода 2Д522Б, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,055 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4726 = 0,026 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество диодов 2Д522Б используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \lambda_3 = 0,039 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности транзистора 2Т3108А/ПК

Значение интенсивности отказов для данного типа транзисторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,016 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Транзистор 2Т3108А/ПК является активным элементом, поэтому значение $K_H = 0,8$, $t_c^\circ = 25^\circ \text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,4726$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзистора 2Т3108А/ПК, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,016 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4738 = 0,0076 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество транзистор 2Т3108А/ПК используемых в данном изделии $N_i = 4$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \lambda_3 = 0,0304 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Параметры надежности транзистора 2Т3117А/ПК

Значение интенсивности отказов для данного типа транзисторов приведены в справочнике, поэтому по таблице $\lambda'_6 = 0,06 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Транзистор 2Т3117А/ПК является активным элементом, поэтому значение $K_H = 0,8$, $t_c^\circ = 25^\circ \text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,4738$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзистора 2Т3117А/ПК, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_6 K_p = 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4738 = 0,0284 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество транзисторов 2ТЗ117А/ПК используемых в данном изделии $N_i = 3$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа резисторов $N_i \lambda_3 = 0,0852 \cdot 10^{-6} 1/ч$.

Параметры надежности транзистора 2П767В

Информация об интенсивности отказов для данного типа транзисторов отсутствует в справочнике. Этот элемент относится к группе полевых кремниевых транзисторов, поэтому для группы элементов $\lambda'_{б.с.г.} = 0,086 \cdot 10^{-6} 1/ч$.

Транзистор 2П767В является активным элементом, поэтому значение $K_n = 0,8$, $t_c^\circ = 25^\circ C$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,4738$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для транзистора 2П767В, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_{б} K_p = 0,086 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4738 = 0,0407 \cdot 10^{-6} 1/ч.$$

Количество транзисторов 2П767В используемых в данном изделии $N_i = 2$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа для данного типа транзисторов $N_i \lambda_3 = 0,0814 \cdot 10^{-6} 1/ч$.

б) Для расчета эксплуатационной интенсивности отказа интегральных микросхем (ИМ) используется другой вид математической модели

$$\lambda_3 = \lambda'_{б} (\lambda'_{бсг}) K_{с.т} K_{корп} K_v K_\varepsilon K_{пр} K_{ис}, \quad (2.27)$$

где $K_{с.т.}$ – коэффициент режима в зависимости от типа корпуса ИМ, определяется по таблице;

$K_{корп}$ – коэффициент в зависимости от типа корпуса ИМ, определяется по таблице;

K_V – коэффициент в зависимости от максимальных значений напряжения питания, определяется по таблице;

$K_{\text{Э}}$ – коэффициент жесткости условий эксплуатации, в данной работе $K_{\text{Э}}=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$K_{\text{ПР}}$ – коэффициент приемки, в данной работе $K_{\text{ПР}}=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$K_{\text{ИС}}$ – коэффициент учитывающий степень освоенности технологического процесса $K_{\text{ИС}}=1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации.

Параметры надежности микросхемы TL464IN

Информация об интенсивности отказов для микросхемы TL464IN отсутствует в справочнике. Этот элемент относится к группе интегральных полупроводниковых аналоговых микросхем, поэтому для группы элементов $\lambda'_{\text{б.с.г.}} = 0,037 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Формула для расчета эксплуатационной интенсивности отказа интегральной микросхемы TL464IN, примет вид

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda'_{\text{б.с.г.}} \cdot K_{\text{С.Т.}} \cdot K_{\text{КОРП}} \cdot K_V, \quad (2.28)$$

где $K_{\text{С.Т.}} = 1$ (т.к количество элементов, бит 41);

$$K_V = 1;$$

$$K_{\text{КОРП}} = 3 \text{ (пластмассовый корпус).}$$

$$\lambda_{\text{э}} = 0,037 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1 = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

Количество микросхем TL464IN используемых в данном изделии $N_1 = 1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа $N_1 \lambda_{\text{э}} = 0,111 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

в) эксплуатационный показатель интенсивности отказа платы, рассчитывается по следующей модели

$$\lambda_3 = \lambda_6 K_3 [N_1 K_c + N_2 (K_c + 13)], \quad (2.29)$$

где λ_6 – базовая интенсивность отказа в зависимости от технологии межсоединений;

N_1 – количество сквозных отверстий, пропаянных волной;

N_2 – количество сквозных отверстий, пропаянных ручной пайкой;

K_c – коэффициент в зависимости от сложности (количества слоев в плате).

Расчет параметров надежности платы

Значение эксплуатационного показателя интенсивности отказа платы будет рассчитываться по формуле (2.30), т.к. $N_1 = 0$, потому что отсутствует количество сквозных отверстий, пропаянных волной

$$\lambda_3 = \lambda_6 K_3 N_2 (K_c + 13), \quad (2.30)$$

где $\lambda_6 = 0,0017 \cdot 10^{-8}$ 1/ч (т.к. используется печатный монтаж);

$K_3 = 1$, что соответствует нормальным условиям эксплуатации;

$N_2 = 170$ (количество монтажных отверстий);

$K_c = 1$.

$$\lambda_3 = 0,0017 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 170 \cdot 14 = 0,0405 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч.}$$

г) эксплуатационный показатель интенсивности отказа трансформатора, рассчитывается по следующей математической модели

$$\lambda_3 = \lambda'_{6\text{ср}} (\lambda'_6) K_T K_3 K_{\text{ПР}}. \quad (2.31)$$

Информация об интенсивности отказов для трансформатора ТПр2-27-200 В отсутствует в справочнике. Этот элемент относится к группе импульсных трансформаторов, поэтому для группы элементов $\lambda'_{б.с.г.} = 0,001 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

$K_T = 1, K_{\text{Э}} = 1, K_{\text{ИПР}} = 1$ в соответствии со справочником.

Количество трансформатора ТПр2-27-200 В используемых в данном изделии $N_i = 1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа $N_i \lambda_3 = 0,001 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

д) эксплуатационный показатель интенсивности отказа катушки индуктивности, рассчитывается по следующей математической модели

$$\lambda_3 = \lambda'_{б.с.г.} (\lambda'_6) K_p K_{\text{Э}} K_{\text{ИПР}}. \quad (2.32)$$

Информация об интенсивности отказов для катушки индуктивности отсутствует в справочнике, поэтому базовое значение интенсивности отказа $\lambda'_{б.с.г.} = 0,001 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

$K_{\text{Э}} = 1, K_{\text{ИПР}} = 1$ в соответствии со справочником.

Катушка индуктивности является пассивным элементом, поэтому значение $K_H = 0,6, t_c^{\circ} = 25^{\circ} \text{C}$. С учетом этих данных, по таблице, значение $K_p = 0,47$.

Формула для эксплуатационного показателя интенсивности отказа λ_3 для катушки индуктивности, примет вид

$$\lambda_3 = \lambda'_{б.с.г.} \cdot K_p = 0,001 \cdot 10^{-6} \cdot 0,47 = 0,00047 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Количество катушек индуктивности используемых в данном изделии $N_i = 1$, поэтому эксплуатационный показатель интенсивности отказа $N_i \lambda_3 = 0,00047 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$.

Результаты расчета показателей надежности сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчет показателей надежности

Наименование элемента	N_i	$\lambda'_6 (\lambda'_{6сг}) \cdot 10^6,$ 1/ч	K_p	$\lambda_3 \cdot 10^6,$ 1/ч	$\lambda_3 N_i \cdot 10^6,$ 1/ч
Плата	1	0,000017	–	0,0405	0,0405
Конденсатор К50-29	3	0,36	0,33	0,1188	0,3564
Конденсатор К53- 18	2	0,16	0,348	0,0557	0,1114
Конденсатор К10-17а	12	0,03	0,238	0,0071	0,0852
Конденсатор К10-47а	1	0,03	0,238	0,0071	0,0071
Микросхема TL464IN	1	0,037	–	0,111	0,111
Резистор С2-33Н	24	0,065	0,65	0,0423	1,0152
Резистор С5-37В	2	0,024	0,4	0,0096	0,0192
Стабилитрон Д815Е	1	0,004	0,4726	0,0019	0,0019
Диод 2Д522Б	2	0,055	0,3552	0,0195	0,039
Транзистор 2Т3108А/ПК	4	0,016	0,4738	0,0076	0,0304
Транзистор 2Т3117А/ПК	3	0,06	0,4738	0,0284	0,0852
Транзистор 2П767В	2	0,086	0,4738	0,0407	0,0814
Трансформатор ТПр2-27-200 В	1	0,001	–	0,001	0,001
Катушка индуктивности	1	0,001	0,47	0,00047	0,0004

2.5.2 Интенсивность отказа всего печатного узла

Интенсивность отказа всего печатного узла (Λ), определяется по формуле

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_{\text{э}i} = 2,336 \cdot 10^{-6}. \quad (2.33)$$

2.5.3 Среднее время безотказной работы

Среднее время безотказной работы (T_{CP}) определяется по формуле

$$T_{\text{CP}} = \frac{1}{\Lambda} = \frac{1}{2,336} \cdot 10^6 = 428000 \text{ ч.} \quad (2.34)$$

2.5.4 График вероятности безотказной работы $P(t) = e^{-\Lambda t}$ с временным интервалом $[0; 3T_{\text{CP}}]$ (рис. 10)

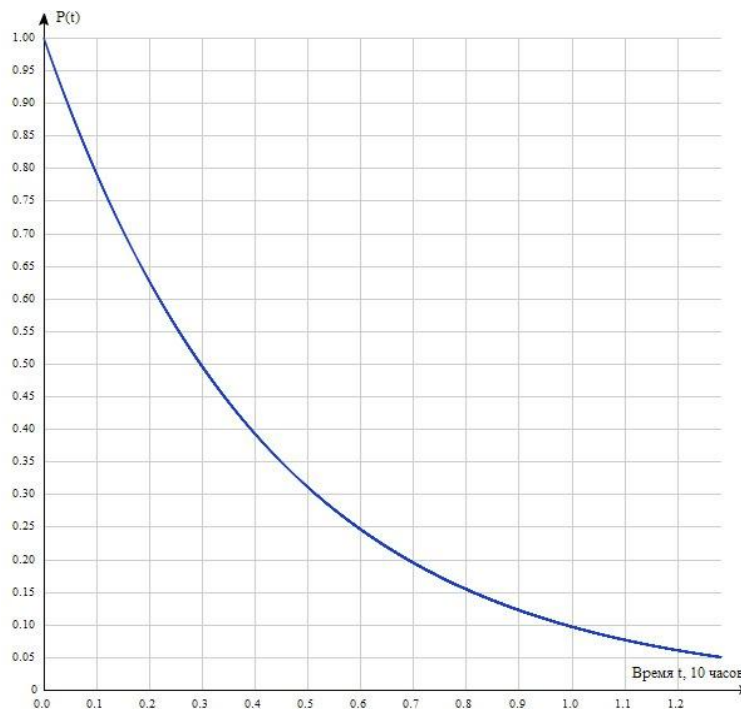


Рисунок 10 – График зависимости вероятной безотказной работы от времени

2.5.5 Вероятность безотказной работы $P(2T_{CP})$

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-2,336 \cdot 0,348} = 0,4. \quad (2.35)$$

Выполнив расчет надежности проектируемого печатного узла, была получена информация о том, что проектируемое изделие может непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение 428000 часов, что соответствует техническому заданию.

Из графика видно, что характер изменения вероятности безотказной работы изделия в зависимости от времени подчиняется экспоненциальному закону.

2.6 Модернизация конструкции корпуса

Конструкция корпуса является модулем второго уровня, которая предназначена для размещения, механического крепления и защиты от внешних воздействий модулей первого уровня. В качестве модуля первого уровня используется печатная плата.

Практика использования аналогичных пультов показала, что необходимо увеличить жесткость конструкции, надежность крепления ПП к корпусу и обеспечить удобство в использовании клавишных зажимов и элементов регулировки.

Крышка стандартного корпуса была в виде листа с одной стороны имеющая отбортовку для фиксации к корпусу с помощью винта, с другой имеющая крепление для обеспечения подвижности крышки.

Для увеличения жесткости конструкции было принято решение использовать отбортовку вдоль оставшихся противоположных сторон крышки. Крышка и корпус в таком случае соприкасаются друг с другом, тем самым обеспечивая более жесткую конструкцию.

Для фиксации ПП к корпусу раньше было использовано винтовое крепление, которое могло стать причиной образованию ржавчины без использования специального покрытия, увеличению массы конструкции, причиной короткого замыкания проводников на корпус.

Для ликвидации всех недостатков использования крепежных винтов, было принято решение использовать пластмассовые стойки (рис. 11), которые изготавливаются на предприятии, где в дальнейшем будет изготовлен пульт преобразователя.

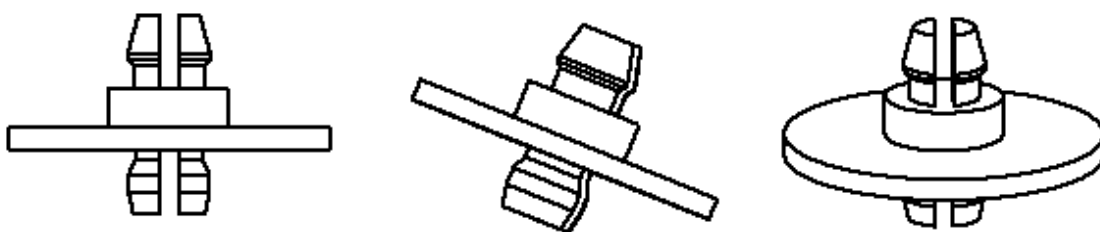


Рисунок 11 – Пластмассовая стойка

Пластмассовые стойки кроме перечисленных выше достоинств, являются безопасными и обеспечивают высокие амортизирующие свойства.

Для повышения удобства использования клавишных зажимов и элементов регулировки, была использована более удобная компоновка по функциональному назначению органов управления.

Все надписи на поверхности корпуса раньше были нанесены вручную. При модернизации была введена лазерная гравировка.

Метод лазерной гравировки позволяет создавать точные и четкие рельефные линии, является бесконтактным. Гравировка имеет перманентный характер в отличие от нанесения маркировки с помощью краски.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана конструкция печатной платы, подобрана геометрия ребренного радиатора для отвода тепла от транзистора 2П767В. С учетом рассчитанных параметров печатного рисунка и информации о способах установки элементов на ПП разработан печатный узел.

Произведен расчет надежности печатного узла, для подтверждения выполнения задания по требованию о безотказной работы в течении 400 000 часов.

Модернизирована и смоделирована конструкция корпуса с учетом выявленных недостатков.

В процессе проектирования печатной платы и модернизации конструкции корпуса использовались такие САПР, как Autodesk Inventor 2014, Altium Designer 2017, AutoCAD Mechanical 2014.

Разработан комплект конструкторской документация на печатный узел и пульт проверки импульсных трансформаторов.

Задание выполнено в полном объеме.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Белянин, Л.Н. Конструирование печатного узла и печатной платы. Расчет надежности: учебно-методическое пособие / Л.Н. Белянин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 77с.

2 ГОСТ 2.417–91. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. – Введен 1.07.1992. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с. – (Единая система конструкторской документации).

3 ГОСТ 2.721–74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. – 35 с.

4 ГОСТ Р 51040–97. Платы печатные. Шаги координатной сетки. М.: ИПК Издательство стандартов, 1997 – 3 с.

5 ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. М.: Изд-во стандартов, 1985 – 2 с.

6 ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1991 – 13 с.

7 ГОСТ Р 53429–2005. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – М.: Стандартинформ, 2010 – 13 с.

8 Кудрин, Л.П. Конструктивно-технологические параметры печатных плат: учебное пособие / Л.П. Кудрин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 11 с.

9 Кудрин, Л.П. Отвод тепла в полупроводниковых приборах: учебное пособие / Л.П. Кудрин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 10 с.

10 Надежность электрорадиоизделий: справ. пособие / С.Ф. Прытков, В.М. Горбачева, А.А. Борисов и др. – 2002. – 574 с.

11 Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский; под ред. И.Г. Мироненко. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 368 с.

12 ОСТ4.010.030–81. Установка навесных элементов на печатные платы. В 2 ч. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1992. – Ч. 1. – 165 с.; Ч.2. – 189 с.

13 Пирагова, Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник / Е.В. Пирагова. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.

14 СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.