

более эффективную. Принимаем систему охлаждения – естественный конвективный теплообмен.

4.6.4 Расчет на механические воздействия

Целью расчета является определение действующих на элементы изделия перегрузок при действии вибрации и ударов, а также максимальных перемещений.

4.6.4.1 Расчет на действие вибрации

Определим цилиндрическую жесткость платы:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (4.11)$$

где E - модуль упругости для материала платы: $3,02 \cdot 10^{10} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

h - толщина ПП: 0,0018 м;

ν - коэффициент Пуассона: 0,3.

Подставим имеющиеся значения в (4.22), получим:

$$D = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12(1-0,3^2)} = 9,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определим частоту собственных вибраций:

$$f_0 = \frac{\pi}{2a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{M} ab}, \quad (4.12)$$

где a - длина платы: 0,049 м;

b - ширина платы: 0,019 м.

M - масса платы с элементами: 0,02 кг.

Подставим имеющиеся значения в (4.23), получим:

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,16^2} \left(1 + \frac{0,16^2}{0,12^2} \right) \sqrt{\frac{9,3}{0,76} 0,16 \cdot 0,12} = 83 \text{ Гц}$$

Определим коэффициент динамичности для динамического возбуждения:

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}, \quad (4.13)$$

где ε - показатель затухания: 0,01;

$\eta = \frac{f_{\max}}{f_0} = \frac{35}{83} = 0,42$ - коэффициент расстройки;

f_{\max} - максимальная частота по ТЗ.

Подставим имеющиеся значения в (4.24), получим:

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + 0,01^2 \cdot 0,42^2}}{\sqrt{(1 - 0,42^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,42^2}} = 1,1$$

Определим амплитуду вибросмещения основания:

$$\varepsilon_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 \cdot f_{\max}^2}, \quad (4.14)$$

где a_0 - виброускорение: $29,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Подставим имеющиеся значения в (4.25), получим:

$$\varepsilon_0 = \frac{29,4}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 35^2} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Определим виброускорение и виброперемещение ЭРЭ. Для расчета возьмем лампу 6НЗП.

$$\gamma = \frac{\sqrt{(1 + (K_x \cdot K_y - 1)\eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + \varepsilon^2 \eta^2}}, \quad (4.15)$$

где K_x, K_y - показатели затухания формы колебаний: 1,3;

Подставим имеющиеся значения в (4.26), получим:

$$\gamma = \frac{\sqrt{(1 + (1,3 \cdot 1,3 - 1) \cdot 0,42^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,42^2}}{\sqrt{(1 - 0,42^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,42^2}} = 1,362.$$

Виброускорение элемента:

$$a_a = a_0 \cdot \gamma = 29,4 \cdot 1,362 = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad (4.16)$$

Виброперемещение элемента:

$$s_a = \varepsilon_0 \cdot \gamma = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 1,362 = 8,1 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (4.17)$$

Определим максимальный прогиб ПП:

$$\delta_a = |s_a - \varepsilon_0| = |8,1 \cdot 10^{-4} - 6 \cdot 10^{-4}| = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (4.18)$$

Определим допустимый прогиб платы:

$$s_\delta = 0,3h = 0,3 \cdot 0,0015 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м} \quad (4.19)$$

Таким образом, плата и ЭРЭ удовлетворяют условиям ТЗ по виброустойчивости.

4.6.4.2 Расчет на действие удара

Исходные данные: воздействующий импульс полусинусоидальной формы.

Определяем условную частоту ударного импульса:

$$\omega = \frac{1}{\tau}, \quad (4.20)$$

где τ – длительность ударного импульса, по ТЗ $\tau = 5\text{мс}$.

Отсюда следует по (4.20), что $\omega = 200 \text{ с}^{-1}$

Определяем коэффициент передачи при ударе:

$$K_y = \frac{2\nu}{\nu^2 - 1} \cos\left(\frac{\pi}{2\nu}\right), \quad (4.21)$$

где

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi f_0} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 83} = 0,4 \quad (4.22)$$

Подставив (4.22) в (4.21) получим:

$$K_y = \frac{2 \cdot 0,4}{0,4^2 - 1} \cos\left(\frac{\pi}{2 \cdot 0,4}\right) = 0,67$$

Определение ударного ускорения по формуле (4.16):

$$a_a = a_0 \cdot K_y = 29,4 \cdot 0,67 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Таким образом, спроектированная ПП соответствует требованиям указанным в ТЗ.

4.6.5 Расчет технологичности

Базовые показатели технологичности приведены в табл. 4.6.5.1.

Таблица 4.6.5.1 – базовые показатели технологичности

Наименование показателя	Формула расчета	Значение	Значимость φ_i	Примечание
Коэффициент использования микросхем	$k_{ИМС} = \frac{H_{ИМС}}{H_{ИМС} + H_{ЭРЭ}}$	0,047	1,0	$H_{ИМС} = 1$ – количество ИМС $H_{ЭРЭ} = 21$ – общее количество ЭРЭ
Коэффициент механизации и автоматизации монтажа	$k_{АМ} = \frac{H_{АМ}}{H_M}$	0,59	1,0	$H_{АМ} = 36$ – кол-во соедин-й, получ. автом. способом $H_M = 61$ – общее кол-во монтажных соединений
Коэффициент механизации подготовки к монтажу	$k_{МП} = \frac{H_{МПИЭТ}}{H_{ИЭТ}}$	0	0,8	$H_{МПИЭТ} = 0$ – кол-во мех-но подготовленных ИЭТ $H_{ИЭТ} = 21$ – общее число ИЭТ
Коэффициент механизации контроля и настройки	$k_{МКН} = \frac{H_{МКН}}{H_{КН}}$	0	0,5	$H_{МКН} = 0$ – кол-во операций мех-го контроля и настройки $H_{КН} = 1$ – общее кол-во операций контроля и настройки
Коэффициент повторяемости ЭРЭ	$k_{ПовтЭРЭ} = 1 - \frac{H_{ТЭРЭ}}{H_{ЭРЭ}}$	0,48	0,3	$H_{ТЭРЭ} = 10$ – количество типоразмеров ЭРЭ $H_{ЭРЭ} = 21$ – общее количество ЭРЭ
Коэффициент применяемости ЭРЭ	$k_{ПримЭРЭ} = 1 - \frac{H_{ОрЭРЭ}}{H_{ТЭРЭ}}$	0,8	0,2	$H_{ОрЭРЭ} = 0$ – количество оригинальных ЭРЭ $H_{ТЭРЭ} = 10$ – количество типоразмеров ЭРЭ

Комплексный показатель технологичности:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^6 K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^7 \varphi_i} = \frac{10,47+10,59+0 \cdot 0,8+0 \cdot 0,5+0,48 \cdot 0,3+0,8 \cdot 0,2}{1,0+1,0+0,8+0,5+0,3+0,2} = \frac{1,36}{3,8} \approx 0,35 \quad (4.23)$$

$K=0,35$ – подходит для мелкосерийного производства. Таким образом, конструкция ячейки имеет необходимый уровень технологичности.

4.6.6 Расчет надежности

Интенсивность отказа элементов с учетом условий эксплуатации изделия:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} \cdot k_1 k_2 k_3 k_4 a_i(T, k),$$

где λ_{0i} – номинальная интенсивность отказов (см. табл. 4.6.2.1)

k_1 и k_2 - поправочные коэффициенты в зависимости от воздействия мех. факторов;

k_3 - поправочный коэффициент в зависимости от воздействия влажности и температуры;

k_4 - поправочный коэффициент в зависимости от давления воздуха;

$a_i(T, k_n)$ - поправочный коэффициент в зависимости от температуры поверхности элемента T и коэффициента нагрузки k_n (см. табл. 4.6.7.1);

$k_1=1,04$, $k_2=1,03$ (стационарные условия эксплуатации),

$k_3=2,0$, $k_4=1$ (нормальное давление).

В табл. 4.6.7.1 представлены данные о интенсивности отказов всех компонентов.

Таблица 4.6.7.1 Интенсивности отказов компонентов

Компоненты и ЭРЭ	Номинальная интенсивность отказов, $\lambda_{i0} \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$	Поправочный коэффициент, $a_i(T, k_n)$	Интенсивность отказов, $\lambda_i \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$	Количество
Схемы интегральные	0,2	0,7	0,03	1
Резисторы	0,01	0,5	0,011	11
Диоды	0,15	0,2	0,064	7
Соединения контактные	0,05	0,3	0,032	8
Пайка ручным способом	0,2	-	0,43	25
Пайка в печи	0,15	-	0,32	36

Рассчитаем суммарную интенсивность отказов и построим график зависимости вероятности отказов от времени (рис. 4.6.7.1):

$$\Lambda = (0,03+0,011*11+0,064*7+0,032*8+0,43*25+0,32*36)*10^{-6} = 23*10^{-6}$$

Тогда вероятность безотказной работы в течение 1000 ч будет равна:

$$P(t) = \exp(-\Lambda t) = \exp(-23*10^{-6}*1000) = 0,977.$$

Исходя из полученных данных, вероятность безотказной работы в течение 1000ч удовлетворяет условиям, заданным в техническом задании ($0,977 > 0,95$).

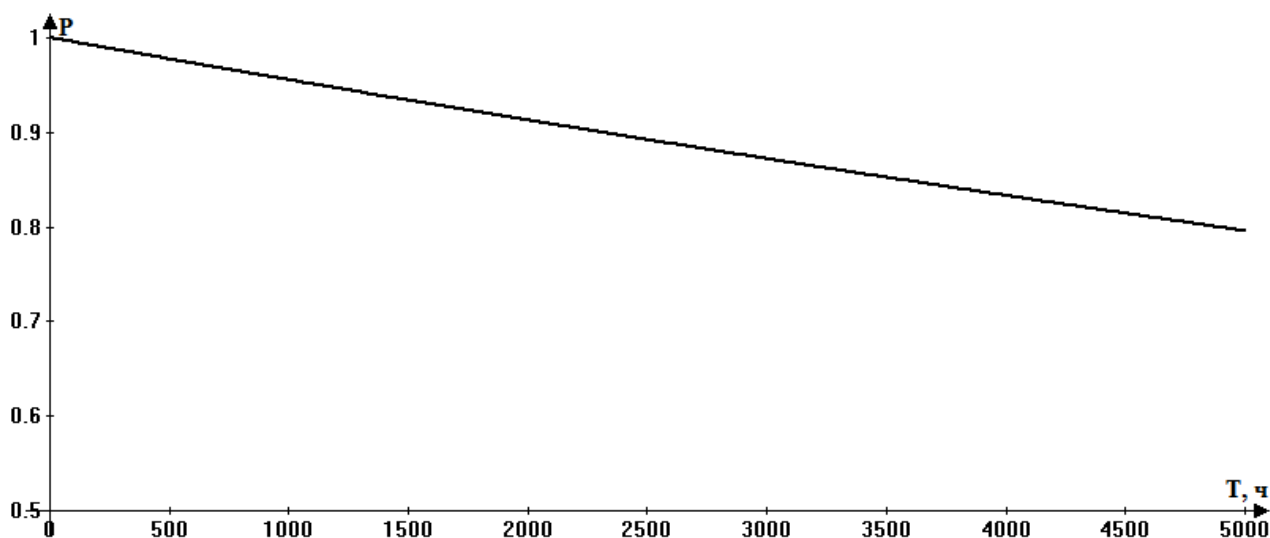


Рис. 4.6.7.1. Зависимость вероятности отказов от времени эксплуатации

Заключение

В ходе проделанной работы были разработаны функциональная и принципиальные схемы измерителя уровня топлива, конструкция блока, проведено распределение элементов электрической схемы, решены задачи размещения ЭРЭ и трассировки печатного рисунка, проведены необходимые конструкторские расчеты. Разработанное устройство полностью удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям технического задания.

Список использованных источников

1. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др. Под общ. ред. В.А. Шахнова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
2. Сборка и монтаж интегральных микросхем: Учеб. пособие / Романова М.П - М.:УлГТУ, 2008. – 95 с.
3. Проектирование и технология печатных плат: Учебник / Пирогова Е. В. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. — 560 с.
4. Методические указания к курсовой работе «Компоновка и расчет конструктивных параметров блоков ЭВА» / А.Н. Чеканов, В.В. Съедугин, В.В. Маркелов – М.:МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1980, 45с
5. Теоретические основы конструирования и надежности ЭВС. Курс лекций – М.:МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, (рукопись)
6. Технология ЭВС. Курс лекций – М.:МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, (рукопись)
7. Конструирование ЭВС. Курс лекций – М.:МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, (рукопись)