

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Конструкторское проектирование РЭС

Учебное пособие к лабораторным работам

Утверждено
на заседании редсовета
26 сентября 2005 г.

Москва
Издательство МАИ
2006

УДК: 621.396.6 (075)

Авторы: В.Ф. Борисов, Ю.В. Каширин, М.Ф. Митюшин, А.А. Мухин, М.Н. Ушкар, Ю.В. Чайка

Конструкторское проектирование РЭС: Учебное пособие к лабораторным работам / В.Ф.Борисов, Ю.В.Каширин, М.Ф.Митюшин, А.А.Мухин, М.Н.Ушкар, Ю.В.Чайка. — М.: Изд-во МАИ, 2006. — 72 с.: ил.

Помещены описания лабораторных работ по основным разделам дисциплины «Конструкторское проектирование радиоэлектронных средств». Приводятся краткие теоретические сведения, описание моделей и методов расчета, описание объекта исследования, методические указания по выполнению лабораторных работ. Для самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям описание каждой работы снабжено контрольными вопросами и списком дополнительной литературы.

Предназначено для студентов радиотехнических специальностей.

Рецензенты: кафедра КиТ РЭС Арзамасского политехнического института Нижегородского государственного технического университета (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Н.П. Ямпурин);

канд. техн. наук., доцент Ю.Н. Корниенко

ISBN 5-7035-1745-1

© Московский авиационный институт
(государственный технический университет), 2006

Работа 1. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ БЛОКА РЭС

Цель работы — изучение конструкции функциональной ячейки, определение количественных оценок относительных показателей качества конструкции и сравнение качества конструкций функциональных ячеек по комплексному показателю.

Краткие теоретические сведения

Известно [1], что показатели качества конструкций радиоэлектронных средств (РЭС) классифицируются на функциональные, материальные, абсолютные, относительные и комплексные. Среди перечисленных показателей качества конструкций РЭС особое место занимает группа относительных показателей. Это обусловлено их широким использованием при решении проектно-конструкторских задач ранних стадий разработки, таких, как оценочные расчеты массогабаритных параметров, обоснование внешних и внутренних параметров конструкций РЭС и др.

Относительные показатели качества получают в результате нормирования абсолютных показателей. В инженерной практике наибольшее применение находят следующие относительные показатели:

- плотность конструкции m_0 ;
- плотность упаковки элементов γ ;
- коэффициенты дезинтеграции массы q_m , объема q_V и площади q_S .

Плотность конструкции m_0 характеризует массу конструкции в единице объема и определяется по формуле

$$m_0 = \frac{m_K}{V_K}, \text{ кг/м}^3, \quad (1.1)$$

1. где m_K и V_K - масса и объем конструкции соответственно.

По значению m_0 конструкции РЭС делятся на "плавающие" ($m_0 \leq 1000 \text{ кг/м}^3$) и "тонущие" ($m_0 > 1000 \text{ кг/м}^3$). Предпочтение отдают конструкциям с большим значением m_0 , если высокая плотность конструкции достигнута не за счет массы несущих и вспомогательных элементов.

Известное значение плотности m_0 позволяет с помощью (1.1) оценить массу конструкции через заданный объем или объем конструкции через заданное значение массы.

Плотность упаковки элементов принято характеризовать числом электрорадиоэлементов (ЭРЭ) в единице объема конструкции. Для определения плотности упаковок используется соотношение

$$\gamma = \frac{N_{\text{ДЭ}} + N_{\text{ИЭ}}}{V_{\text{К}}}, \frac{e\partial}{m^3}, \quad (1.2)$$

2. где $N_{\text{ДЭ}}$ - количество дискретных радиоэлементов; $N_{\text{ИЭ}}$ - количество интегральных радиоэлементов, т.е. радиоэлементов, выполненных на кристаллах полупроводников или подложках гибридных микросхем.

Чем выше плотность упаковки элементов γ , тем выше качество конструкции.

При известных значениях γ и количестве ЭРЭ в конструкции $N_{\text{ЭЛ}} = N_{\text{ДЭ}} + N_{\text{ИЭ}}$ можно на ранних стадиях разработки с помощью (1.2) найти ожидаемый объем РЭС.

Коэффициенты дезинтеграции характеризуют относительное изменение материальных показателей конструкции в целом (массы, объема, площади) по сравнению с соответствующими показателями элементной базы при создании конструкции.

Значения коэффициентов дезинтеграции находят с помощью соотношений

$$q_m = \frac{m_{\text{К}}}{m_{\text{ЭЛ}}}; \quad q_V = \frac{V_{\text{К}}}{V_{\text{ЭЛ}}}; \quad q_S = \frac{S_{\text{К}}}{S_{\text{ЭЛ}}}, \quad (1.3)$$

3. где $m_{\text{К}}$, $V_{\text{К}}$, $S_{\text{К}}$ - масса, объем и площадь конструкции соответственно; $m_{\text{ЭЛ}}$ - суммарная масса ЭРЭ; $V_{\text{ЭЛ}}$ - суммарный установочный объем ЭРЭ; $S_{\text{ЭЛ}}$ - суммарная установочная площадь ЭРЭ.

Коэффициенты дезинтеграции массы q_m и объема q_V могут быть использованы для оценки качества конструкций любой формы, коэффициент дезинтеграции площади q_S - качества планарных конструкций. Обратные

коэффициентам дезинтеграции величины $k_V = \frac{1}{q_V} = \frac{V_{\text{ЭЛ}}}{V_{\text{К}}}$ и

$k_S = \frac{1}{q_S} = \frac{S_{\text{ЭЛ}}}{S_{\text{К}}}$ называют коэффициентами использования объема и площади.

Как следует из (1.3), для идеальных конструкций ($m_K=m_{ЭЛ}$, $V_K=V_{ЭЛ}$, $S_K=S_{ЭЛ}$) коэффициенты дезинтеграции равны единице, для реальных конструкций — больше единицы.

Располагая значениями коэффициентов дезинтеграции и данными о материальных показателях элементной базы, с помощью (1.3) можно получить оценочные значения материальных показателей разрабатываемой конструкции РЭС.

Как отмечалось выше, относительные параметры m_0 , γ , q_m , q_V и q_S могут быть использованы для сравнительной оценки качества конструкций РЭС. Предпочтительны конструкции с большими значениями m_0 и γ и меньшими значениями q_m , q_V и q_S . Однако если показатели m_0 и γ позволяют проводить сравнительный анализ качества любых конструкций, то коэффициенты дезинтеграции применимы для сравнительной оценки качества конструкций, выполненных на одной элементной базе. Это обусловлено тем, что значения коэффициентов дезинтеграции зависят от материальных показателей ЭРЭ, и, например, для аппаратуры на транзисторах (второе поколение РЭС) они могут быть меньше, чем для аппаратуры на бескорпусных микросборках (четвертое поколение РЭС).

Сравнение качества конструкций РЭС по отдельным (дифференциальным) показателям может привести к противоречивым и часто трудно разрешимым ситуациям. К примеру, из двух конструкций у первой выше плотность m_0 , у второй — выше плотность упаковки элементов γ .

Поэтому выбор лучшего варианта обычно производят по результатам комплексной оценки качества каждого из вариантов с помощью соотношения:

$$Q = \sum_{i=1}^n \varphi_i \alpha_i^* , \quad (1.4)$$

4. где φ_i — весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого из n показателей качества, по которым проводится сравнение вариантов; α_i^* — нормированные значения показателей.

Для получения комплексной оценки в виде (1.1) необходимо:

- обосновать набор дифференциальных показателей качества $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, исчерпывающе характеризующих особенности сравниваемых конструкций;

- обосновать значения весовых коэффициентов φ_i ;
- привести влияние всех показателей $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ на качество конструкции либо к тенденции повышения показателя Q , либо к тенденции его понижения;

- произвести нормирование дифференциальных показателей.

Выбор дифференциальных показателей α_i производится в интересах наиболее полного учета в показателе Q всей совокупности свойств конструкции.

Приведение влияния обоснованных показателей α_i на качество конструкции к одной тенденции состоит в замене на обратные величины показателей, воздействие которых на Q противоположно большинству дифференциальных показателей.

Нормирование дифференциальных показателей позволяет исключить размерности α_i и, как правило, выполняется с помощью соотношения

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_i}{\alpha_{i\max}}, \quad (1.5)$$

5. где $\alpha_{i\max}$ - максимальное из значений i -го дифференциального показателя для сравниваемых вариантов.

Назначение весовых коэффициентов производится методом экспертных оценок из условия

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i = k, \quad (1.6)$$

6. где $k=1, 10, 100$ и т.д. - число, определяющее бальность системы выбора коэффициентов.

Лучший вариант конструкции выбирают либо по максимальному, либо по минимальному значению Q в зависимости от выбранной тенденции влияния дифференциальных показателей α_i на качество конструкции.

Содержание задания

1. Изучить конструкцию и дать краткое описание функциональной ячейки.

2. Провести анализ элементной базы функциональной ячейки.

3. Выполнить расчет относительных показателей качества m_0, γ, q_m, q_V и q_S и проанализировать полученные значения.

4. Произвести сравнение качества конструкций двух функциональных ячеек по комплексному показателю качества.

Краткое описание объекта исследования

Объектом исследования в лабораторной работе является функциональная ячейка блока разъемного типа. По принятой классификации ячейка бескаркасная, с односторонним размещением ЭРЭ. Несущим элементом конструкции является двухсторонняя печатная плата, выполненная комбинированным методом. На плате размещены микросхемы, дискретные радиоэлементы, вилка электрического соединителя типа ГРПМ, контрольные гнезда и объемные шины питания и земли. Для защиты от воздействия влаги после сборки печатная плата покрыта лаком УР-231.

Порядок выполнения работы

1. Получить функциональную ячейку, изучить ее конструкцию, определить габаритные размеры ячейки, составить краткое описание конструкции.
2. Выполнить анализ элементной базы функциональной ячейки. Определить типы ЭРЭ. Оценить размеры корпусов ЭРЭ. Используя справочную литературу и приблизительные размеры корпусов, уточнить размеры и определить массу каждого ЭРЭ. При определении установочных размеров принять во внимание размеры, расположение и формовку выводов ЭРЭ. Данные об элементной базе удобно разместить в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Тип ЭРЭ	Количество ЭРЭ	Измеренные размеры корпуса ЭРЭ, мм			Размеры корпуса ЭРЭ по справочнику, мм			Установочные размеры ЭРЭ, мм			Масса, г	Установочный объем, см ³	Установочная площадь, см ²	Число интегр. элементов
		длина	ширина	высота	длина	ширина	высота	длина	ширина	высота				

Обработать данные табл. 1.1, найти суммарную массу, установочный объем, установочную площадь и число ЭРЭ в составе функциональной ячейки.

По формулам (1.1), (1.2), (1.3) найти относительные показатели качества функциональной ячейки m_0 , γ , q_m , q_V и q_S . Оценить полученные значения, сопоставив их с типичными значениями относительных показателей качества для РЭС различного назначения (табл.1.2) и значениями относительных показателей качества для ФЯ на корпусированных микросхемах (табл.1.3).

Таблица 1.2

Наименование показателя	Значение показателей для РЭС			
	передатчики	устройства питания	устройства индикации	вычислительные устройства
m_0 , кг/м ³	600 – 800	700 – 900	500 – 700	400 – 600
k_V	0,3 – 0,4	0,5 – 0,7	0,2 – 0,4	0,3 – 0,5

Таблица 1.3

Границы показателей	Значения относительных показателей				
	m_0 , г/см ³	γ , эл/см	q_m	q_V	q_S
Минимальное	0,139	1,54	1,33	3,67	2,51
Среднее	0,6	4,6	2,8	14,3	6,3
Максимальное	1,827	10,2	8,7	24,6	16,2

3. Получив у преподавателя или у соседней бригады данные альтернативного варианта конструкции функциональной ячейки, с помощью (1.4) сравнить варианты конструкций и определить лучший вариант.

4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется в соответствии с требованиями методических указаний по выполнению лабораторных работ в учебной лаборатории кафедры 404 и должен содержать:

1. Цель лабораторной работы.
2. Описание конструкции функциональной ячейки с приведением эскиза конструкции.

3. Результаты анализа элементной базы ячейки, таблицу данных по элементной базе, результаты обработки данных таблицы.

4. Расчет относительных параметров конструкции и анализ полученных результатов.

5. Сравнительную оценку двух вариантов конструкций функциональных ячеек по комплексному показателю качества.

6. Выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Назовите применяемые в инженерной практике относительные показатели качества конструкций РЭС.

2. Какие применения находят относительные показатели качества конструкций РЭС?

3. Как используются относительные показатели для сравнительной оценки качества конструкций?

4. Как производится комплексная оценка качества конструкций?

5. Что такое выравнивание влияния дифференциальных показателей качества?

6. Как производится нормирование дифференциальных показателей и выбор весовых коэффициентов?

Библиографический список

1. Конструирование РЭС / Под редакцией А.С. Назарова. — М.: Изд-во МАИ, 1996.

2. Основы конструирования и технологии РЭС: Учебное пособие для курсового проектирования / В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский, Ю.В. Чайка, Ю.И. Борзаков, В.В. Прошунин. — М.: Изд-во МАИ, 2000.

Работа 2. СИНТЕЗ КОНСТРУКЦИИ БЛОКА ЦИФРОВОГО МИКРОЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА НА РАННИХ СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ

Цель работы — изучение частных задач и процедуры синтеза конструкций блоков МЭА на стадии эскизного проектирования с использованием базовых несущих конструкций.

Краткие теоретические сведения

Обобщенно синтез конструкции можно определить как процесс исследования, выявления, организации и отражения в конструкторской документации множества деталей, элементов, связей и параметров по заданной части множества элементов, связей параметров и воздействий.

В соответствии со сложившейся практикой исходными данными для синтеза конструкции является техническое задание и принципиальная электрическая схема. ТЗ определяет технические требования к РЭА, т.е. содержит некоторую часть множества параметров и существенную часть множества воздействий.

Электрическая принципиальная схема задает определенную часть множества элементов и наиболее важную часть множества физических связей, составляющих логическую основу обработки и преобразования сигналов.

В соответствии с определением частными задачами синтеза конструкций являются:

- анализ ТЗ и выбор метода конструирования;
- определение по исходным данным ориентировочных значений массогабаритных показателей конструкции;
- выбор типоразмера корпуса и компоновочной схемы блока;
- определение количества функциональных ячеек, выбор типоразмеров несущих оснований и разработка конструкций функциональных ячеек;
- уточнение массогабаритных показателей конструкции и проверка выполнения требований ТЗ.

Выбор метода конструирования определяется используемой элементной базой, функциональным назначением аппаратуры, условиями эксплуатации, объектом установки и др.

При проектировании микроэлектронной аппаратуры (МЭА) широко используется базовый метод конструирования [1], позволяющий: вести одновременную проработку многих узлов и блоков; упростить сопряжение узлов; сократить время и объем конструирования; непрерывно

модернизировать аппаратуру без коренных изменений конструкции; снизить стоимость аппаратуры за счет автоматизации и механизации производства; улучшить эксплуатационные характеристики аппаратуры.

В основу базового метода положено деление аппаратуры на конструктивно и функционально законченные части.

Ограничения функциональной и конструктивной унификации на уровне модулей, функциональных узлов или блоков обуславливают разновидности базового метода: функционально-модульный, функционально-узловой и функционально-блочный методы конструирования.

Конструирование самолетной МЭА ведется обычно по функционально-блочному и функционально-узловому принципам.

Авиационные РЭС выполняется на основе стандартизованных базовых несущих конструкций (БНК), габаритные, установочные и присоединительные размеры которых обеспечивают размерную взаимозаменяемость аппаратуры.

Принцип конструирования, типы и геометрические размеры блоков самолетной радиоэлектронной аппаратуры определены в ОСТ 4Г0.410.003 (рис. 2.1). Типоразмеры и габаритные размеры корпусов блоков приведены в табл. 2.1.

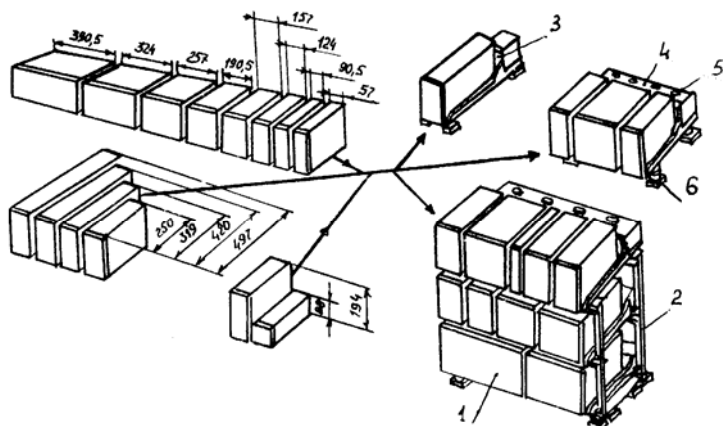


Рис. 2.1

Дискретность типоразмеров БНК и наличие среди БНК типов корпусов, имеющих приблизительно равные объемы, вызывает необходимость сравнительного анализа нескольких возможных решений и выбора лучшего по принятому критерию предпочтения.

Унифицированная система БНК определяет внутреннюю организацию системы и устанавливает иерархию уровней элементов структуры. В авиационной РЭС можно выделить следующие уровни БНК:

Таблица 2.1

Типоразмер корпуса блока	Габаритные размеры, мм			Объем V , дм ³	Типоразмер корпуса блока	Габаритные размеры, мм			Объем V , дм ³
	L	H	B			L	H	B	
1 М	250	194	57	2,8	1 С	420	194	57	4,6
1,5 М			90,5	4,4	1,5 С			90,5	7,4
2 М			124	6,0	2 С			124	10,1
2,5 М			157	7,6	25 С			157	12,8
3 М			190,5	9,2	3 С			190,5	15,6
4 М			257	12,5	4 С			257	21,0
1 К	319	194	57	3,5	1Д	497	194	57	5,5
1,5 К			90,5	5,6	1,5Д			90,5	8,7
2 К			124	7,7	2Л			124	12,0
2,5 К			157	9,7	2,5Д			157	15,2
3 К			190,5	11,8	3Д			190,5	18,4
4 К			257	15,9	4Д			257	24,8

нулевой уровень — бескорпусные компоненты и детали, изготавливаемые без операции сборки;

первый уровень — коммутационные пленочные платы МСБ;

второй уровень — печатные платы, гибкие печатные кабели, электрические соединители;

третий уровень — каркасы, корпуса, кожухи блоков;

четвертый уровень — групповые монтажные рамы, стеллажи.

Кроме указанных БНК при конструировании МЭА всех структурных уровней применяются другие элементы несущих конструкций: профили, основания, направляющие, кожухи, обшивки, панели, экраны, воздухопроводы, радиаторы, элементы фиксации, элементы крепления и др.

Конструктивная иерархия самолетной МЭА представлена на рис. 2.2.

Характерной особенностью самолетных РЭС (рис. 2.1) является установка блоков 1 на групповой монтажной раме 2. Соединители, расположенные на задней панели блоков, сочленяются с ответными частями, находящимися на кронштейне 3. Межблочный монтаж осуществляется в объеме распределительной коробки 4, на верхней части которой установлены внешние соединители 5. Рама устанавливается на амортизаторах 6.

Определение ориентировочных значений массогабаритных показателей конструкции производится на основе использования относительных показателей конструкций (удельная масса, удельный объем, плотность упаковки элементов, коэффициент дезинтеграции).

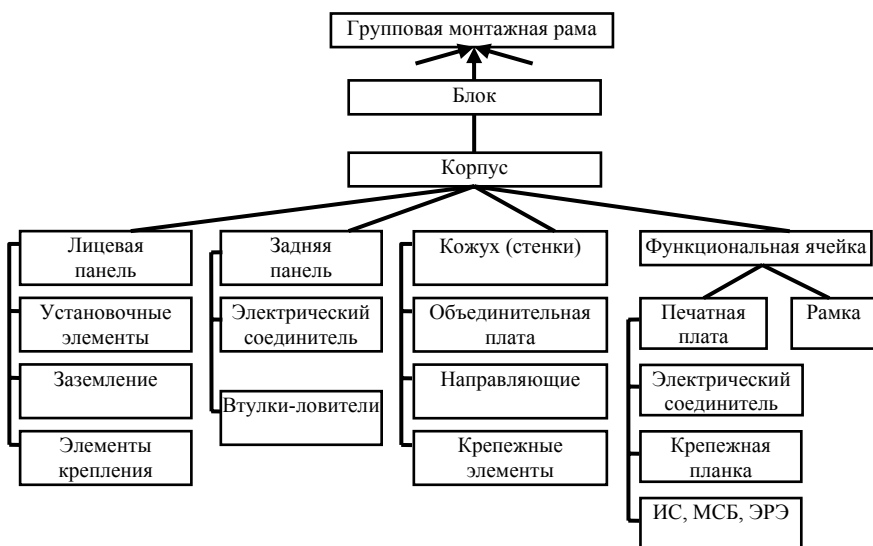


Рис. 2.2

Выбор компоновочной схемы блока производится в зависимости от тактико-технических требований и определяющих для данного класса аппаратуры факторов (надежности, ремонтпригодности, технологичности, массы, габаритов, тепловых режимов, условий эксплуатации). Для авиационной МЭА рекомендуются две основные компоновочные схемы блока: книжная и разъемная в негерметичном и герметичном исполнении.

Для авиационных РЭС третьего поколения наибольшее распространение получила разъемная компоновка [1, с. 113-120]. Она позволяет использовать в качестве типового элемента замены

функциональную ячейку (ФЯ), что обеспечивает высокую степень готовности МЭА в процессе эксплуатации.

Книжная компоновка [1, с. 121-135] позволяет достигнуть при одинаковой элементной базе более высокого уровня надежности и лучших массогабаритных характеристик за счет отсутствия разъемных соединителей и уменьшения объема, необходимого для межячеечной коммутации, осуществляемой жгутовыми соединениями, шлейфами, гибкими печатными кабелями и коммутационными платами.

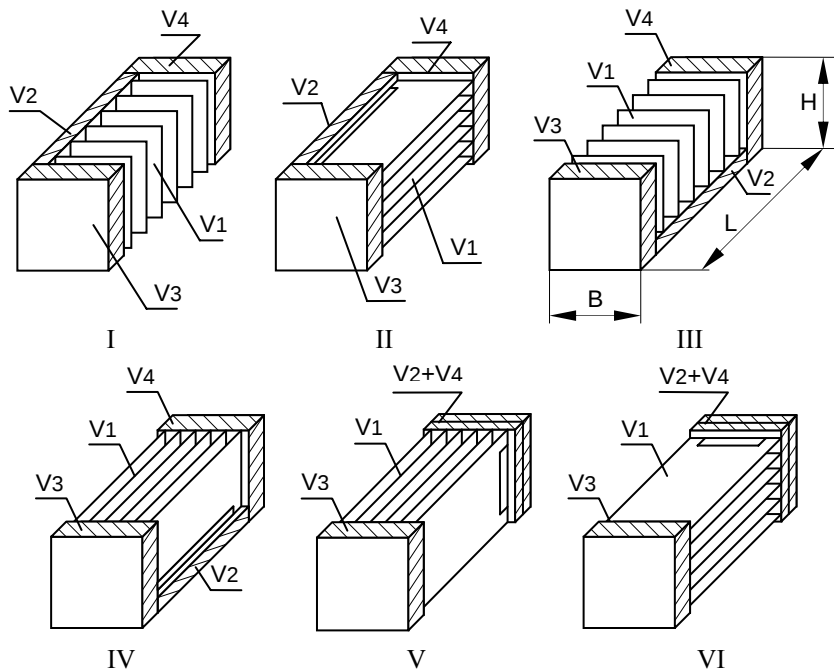


Рис. 2.3

В полезном объеме блока $V_{\text{бл}}$ книжной и разъемной компоновки можно выделить несколько характерных объемов (рис. 2.3):

- V_1 - объем, занимаемый функциональными ячейками;
- V_2 — объем электрических соединителей и межячеечного монтажа;
- V_3 - элементы лицевой панели;

V_4 - элементы крепления блока и межблочные электрические соединители.

При этом

$$V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4. \quad (2.1)$$

Объем V_1 определяется объемом одной ФЯ ($V_{\text{фя}}$), количеством ФЯ $N_{\text{фя}}$ и шагом установки их на блоке $H_{\text{фя}}$:

$$V_1 = V_{\text{фя}} \cdot N_{\text{фя}}; \quad (2.2)$$

$$V_{\text{фя}} = L_y \cdot b_{\text{фя}} \cdot H_{\text{фя}}, \quad (2.3)$$

7. где $b_{\text{фя}}$ — размер ФЯ по оси x с учетом конструкции элементов крепления в блоке; L_y — размер ФЯ по оси y с учетом соединителя и элементов крепления; $H_{\text{фя}}$ — шаг установки ФЯ в блоке (рис. 2.4).

Объемы V_2 и V_4 определяются типом внутриблочных и межблочных электрических соединителей соответственно. Как правило, глубина этих зон h_{32} , h_{34} составляет 25...35 мм.

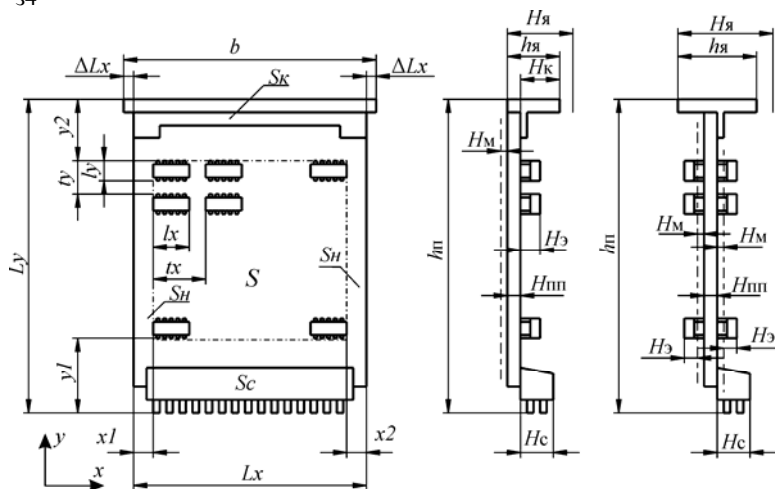


Рис. 2.4

В качестве электрических соединителей для ФЯ рекомендуется применять разъемные соединители типов ГРПМ9, СНП38, СН059 и СНП34. Практика показала, что для современной элементной базы характерно количество выходных контактов ФЯ в пределах 40...80.

В системе БНК авиационных РЭС в качестве электрического межблочного соединителя применяется соединитель типа РПКМ.

Объем V_3 определяется типом ЭРЭ, а также элементов индикации и управления, устанавливаемых на лицевой панели, и способом их электрического монтажа с ФЯ. Обычно глубина этой зоны h_{33} колеблется в пределах 30...70 мм. Объем каждой из названных зон определяется по формуле

$$V_i = l_{zi} \cdot b_{zi} \cdot h_{zi}, \quad (2.4)$$

8. где $i = 2, 3, 4$.

Анализ вариантов компоновки, приведенных на рис. 2.3, позволяет сделать следующие выводы:

- варианты II и VI не обеспечивают необходимые условия для эффективного отвода тепла как при естественном, так и принудительном воздушном охлаждении блока;
- наибольший объем V_1 для размещения ФЯ в варианте V, однако за счет крепления электрического соединителя на короткой стороне ФЯ создаются трудности при трассировке печатной платы и увеличиваются паразитные связи печатного монтажа;
- для разъемной компоновки целесообразно использовать варианты I и III, а для книжной — варианты IV и V.

Выбор варианта компоновки блока должен осуществляться при комплексном учете абсолютных (объем, масса, надежность и т.п.) и относительных (удельных: объема, мощности рассеивания, массы) конструктивных показателей и коэффициента дезинтеграции объема, массы.

Значения абсолютных конструктивных показателей блока зависят от сложности устройства. Сложность современных цифровых электронных устройств обычно оценивается числом эквивалентных элементов N_u или количеством корпусов микросхем (МС) и микросборок (МСБ). На практике всегда приходится вводить некоторое количество избыточных элементов, что объясняется наличием неиспользованных элементов в корпусе МС широкого применения, стремлением к увеличению надежности и помехозащищенности, к уменьшению числа связей между корпусами МС и МСБ. Эта избыточность увеличивается с ростом уровня интеграции. Экспериментально установлено, что количество эквивалентных элементов в блоке с учетом избыточности

$$Na = J_{ис} \cdot E \left| \frac{Nu + E \left| \frac{26 \cdot \lg J_{МС}}{3} \right|}{J_{МСБ}} \right|, \quad (2.5)$$

9. где $J_{МС}$, $J_{МСБ}$ - степень интеграции МС и МСБ; E — оператор вычисления целочисленного значения.

Суммарное количество корпусов МС и МСБ в блоке определяется зависимостью

$$N_T = E \left| \frac{Na}{J_{ис}} \right| + 1. \quad (2.6)$$

Наиболее трудоемким является проектирование и изготовление ФЯ. В процессе ее проектирования решаются следующие задачи:

- выбор варианта конструкции ФЯ;
- выбор типоразмера печатных плат;
- определение типа электрического соединителя;
- выбор элементов крепления, контроля и фиксации;
- выбор рационального расположения конструктивно-технологических зон на печатной плате ячейки;
- компоновка МС, МСБ и электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на печатной плате;
- обеспечение нормальных тепловых режимов;
- защита ФЯ от климатических воздействий и механических перегрузок и др.

Конструктивно ФЯ третьего поколения выполняются в бескаркасном и каркасном вариантах. Бескаркасные ФЯ предназначены для размещения как в аппаратуре с пониженными механическими требованиями, так и в аппаратуре с повышенными механическими требованиями при наличии в блоке дополнительных элементов, обеспечивающих необходимую механическую прочность.

Каркасные ФЯ применяются в аппаратуре, функционирующей в условиях повышенных механических воздействий (бортовые РЭС), при использовании двухплатных или одноплатных ячеек (кассет), а в некоторых случаях - для исключения деформации печатных плат, возникающих в процессе изготовления и эксплуатации под воздействием неравномерного нагревания и факторов внешней среды.

Основной несущей конструкцией бескаркасной ФЯ является печатная плата. Для повышения плотности упаковки МС в тех случаях, когда это технически обоснованно, допускается применение многослойных печатных плат (МПП), базовой технологией которых является МПП с металлизацией сквозных отверстий.

Габаритные размеры печатных плат должны соответствовать требованиям ГОСТ 10317-72. Для сокращения номенклатуры оборудования и приспособлений, повышения уровня унификации ОСТ 4Г0.010.009-76 рекомендует применять следующие размеры заготовок плат (в миллиметрах):

- платы малой площади 170x75, 135x110, 140x130, 170x110;
- платы средней площади 170x120, 140x150, 170x130, 170x150, 170x160;
- платы большой площади 150x200; 135x240; 140x240; 170x200.

МС и МСБ в корпусах со штырьковыми выводами устанавливаются только с одной стороны печатной платы, а в корпусах с планарными выводами - как с одной стороны печатной платы, так и с двух сторон. Следует иметь в виду, что при двустороннем размещении МС и МСБ 1-й и 2-й степеней интеграции, а также при одностороннем размещении МС и МСБ 3-й и 4-й степеней интеграция требуется многослойная печатная плата.

Анализ конструкций ФЯ [1, с. 100...104] позволяет выделить в них характерные конструктивно-технологические зоны (рис. 2.4): S - зона размещения МС, МСБ и ЭРЭ; S_C - зона размещения электрического соединителя и его коммутации с зоной S ; S_K - зона размещения элементов крепления ФЯ и элементов контроля; S_H — конструктивно-технологические зоны (краевые поля), предназначенные для установки ФЯ в блок; $b_{\text{фя}}$ - размер ФЯ по оси x с учетом конструкции направляющих и элементов крепления в блоке; $H_{\text{пп}}$ — толщина печатной платы; $H_{\text{э}}$ — высота МС, МСБ, ЭРЭ; H_M - высота механических конструкций (рамки, крепежа, планки и т.п.) и зоны пайки выводов элементов.

Шаг установки ФЯ в блоке $H_{\text{я}}$ находится по выражению

$$H_{\text{я}} = h_{\text{я}} + h_3, \quad (2.7)$$

10. где $h_{\text{я}}$ — габаритная высота ячейки, определяемая высотой наиболее выступающих элементов (H_C — высота электрического соединителя или H_K — высота элемента контроля или крепления ФЯ); h_3 - зазор между ФЯ.

Для обеспечения в блоке нормального теплового режима за счет естественной конвекции необходимо оставлять зазор $h_3 \geq 6 \dots 8$ мм. Глубина пакета ячеек в блоке

$$l_{\Pi} = H_{\text{я}} \cdot N_{\text{фя}}, \quad (2.8)$$

11. где $N_{\text{фя}}$ - числе ячеек в блоке.

Ширина b_{Π} и высота l_{Π} пакета ячеек определяются в зависимости от расположения электрического соединителя на ПП.

При расположении электрического соединителя по горизонтальной стороне ФЯ

$$b_{\Pi} = L_x + 2(\Delta L_x); \quad (2.9)$$

$$h_{\Pi} = L_y, \quad (2.10)$$

12. а при расположении по вертикальной стороне платы

$$b_{\Pi} = L_y; \quad (2.11)$$

$$h_{\Pi} = L_x + 2(\Delta L_x), \quad (2.12)$$

13. где L_x, L_y - размеры печатной платы по осям x и y ; ΔL_x - размер, определяемый конструкцией элементов крепления ФЯ в блоке.

Для типовых конструкций планок $\Delta L_x = 3 \dots 6$ мм. В работе принято $\Delta L_x = 4$ мм.

При $H_c > H_k$ и одностороннем размещении МС в МСБ

$$h_{\text{я}} = H_{\text{м}} + H_{\text{пп}} + H_{\text{с}}. \quad (2.13)$$

При двустороннем размещении МС в МСБ

$$h_{\text{я}} = H_{\text{к}} + H_{\text{пп}}. \quad (2.14)$$

В данной работе принято $H_{\text{м}} = 1,5$ мм.

Количество корпусов МС и МСБ $N_{\text{я1}}, N_{\text{я2}}$ на ФЯ при одностороннем и двустороннем их размещении равно соответственно

$$N_{\text{я1}} = n_x \cdot n_y; \quad (2.15)$$

$$N_{\text{я2}} = 2 n_x \cdot n_y, \quad (2.16)$$

14. где n_x и n_y - количество корпусов МС и МСБ по осям x и y :

$$n_x = E \left| \frac{L_x - 2x_1 - l_x}{t_x} \right| + 1; \quad (2.17)$$

$$n_y = E \left| \frac{L_y - y_1 - y_2 - l_y}{t_y} \right| + 1, \quad (2.18)$$

15. где l_x, l_y — установочные размеры элементов по осям x и y ; t_x, t_y — шаг установки элементов по осям x и y ; x_1 и x_2 — краевые поля (как правило, $x_1 = x_2$); y_1 — краевое поле для электрического соединителя; y_2 — краевое поле для элементов крепления или контроля.

Шаги установки МС и МСБ в зависимости от типа корпуса и количества задействованных выводов, минимальные размеры краевых полей x_1, x_2, y_1, y_2 приведены в [2, с. 126...130], а также в табл. П.2.1 приложения к лабораторным работам.

Общее количество ячеек в пакете, требуемое для размещения всех МС

$$N_{\text{фя}} = N_T / N_{\text{я}}. \quad (2.19)$$

Дробное количество ячеек округляется до целого в большую сторону.

Уточнение массогабаритных показателей и проверка выполнения требований ТЗ осуществляются по результатам синтеза конструкции блока.

Геометрические размеры внутреннего объема блока рассчитываются в зависимости от выбранных варианта компоновки блока, типов внутриблочных и межблочных электрических соединителей и типов ЭРЭ, устанавливаемых на лицевой панели.

Для разъемной компоновки блока по варианту I (рис. 2.4) ширина B' , высота H' и глубина L' внутреннего объема блока определяются по выражениям:

$$B' = b_{\text{п}} + h_{32}; \quad (2.20)$$

$$H' = h_{\text{п}}; \quad (2.21)$$

$$L' = l_{\text{п}} + h_{33} + h_{34}. \quad (2.22)$$

Для разъемной компоновки блока по варианту III (рис. 2.4) и книжной компоновки по варианту IV линейные размеры внутреннего объема блока B' , H' и L' определяются по выражениям:

$$B' = b_{\Pi} ; \quad (2.23)$$

$$H' = h_{\Pi} + h_{32} ; \quad (2.24)$$

$$L' = l_{\Pi} + h_{33} + h_{34} . \quad (2.25)$$

Для книжной компоновки блока по варианту V линейные размеры внутреннего объема блока

$$B' = b_{\Pi} ; \quad (2.26)$$

$$H' = h_{\Pi} ; \quad (2.27)$$

$$L' = l_{\Pi} + h_{32} + h_{33} + h_{34} . \quad (2.28)$$

В процессе компоновки радиоэлектронного устройства как правило рассматриваются несколько вариантов его конструкции. Каждой вариант характеризуется набором материальных и функциональных параметров, определяющих степень его пригодности к использованию в условиях эксплуатации. Такими параметрами для радиоэлектронных средств являются: масса, объем, энергопотребление, быстродействие, точность, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, вибропрочность, влагостойкость, экономичность, себестоимость и др.

Эффективность варианта конструкции удобно оценивать по комплексному показателю качества конструкции Q , связывающему совокупность его материальных и функциональных параметров линейной или нелинейной зависимостью.

Примером комплексного показателя качества конструкции электронного изделия в виде линейной функции является зависимость

$$Q = \sum_{i=1}^n \varphi_i \alpha_i^* , \quad (2.29)$$

16. где φ_i - коэффициенты значимости, зависящие от назначения и условий эксплуатации аппаратуры, определяемые, как правило, методом экспертных оценок; α_i^* - материальные параметры аппаратуры, нормированные относительно какого-либо заданного их значения (либо по ТЗ, либо относительно наиболее сложного варианта).

Наиболее эффективным будет вариант, обладающий минимальным (максимальным) комплексным показателем качества.

Оптимальный синтез конструкции многоблочного микроэлектронного устройства проводится по заданию, выдаваемому преподавателем. Вариант задания содержит следующие исходные данные.

1. Минимальное количество эквивалентных элементов для синтеза конструкции из трех блоков $N_{и1}, N_{и2}, N_{и3}; N_{иi} \leq 9000000$.

2. Степень интеграции МС и МСБ. В данной работе полагают $J_{МС} = J_{МСБ}$.

3. Тип корпусов МС и МСБ в каждом блоке.

4. Вариант конструкции ФЯ в блоках (каркасное или бескаркасное исполнение).

5. Вариант конструкции блоков (разъемная или книжная компоновка).

6. Определение по согласованию с преподавателем набора материальных параметров РТС (m, V, λ и т.д.) и коэффициентов их значимости φ_i .

Содержание работы

1. Ознакомление с краткими теоретическими сведениями и анализ выданного варианта задания.

2. Подбор необходимых справочных данных для синтеза конструкций ячеек и блоков.

3. Разработка вариантов конструкции ФЯ на базе печатных плат рекомендованных типоразмеров (для каждого блока).

4. Разработка вариантов конструкции блоков и сравнение их с использованием комплексного показателя качества конструкции.

5. Разработка вариантов конструкции РТС, состоящей из трех блоков, и выбор оптимального варианта с использованием комплексного показателя качества конструкции.

6. Сравнительный анализ конструктивных показателей РТС и выводы по работе.

Порядок выполнения работы

1. Согласно варианту задания изучить конструктивные особенности элементной базы и характерные методы компоновки МЭА, рассматриваемые в рекомендуемой литературе и в разделе «Краткие теоретические сведения» данной работы.

2. Подготовить табл. 2.2 и последовательно заносить в нее результаты выполнения пп. 3...7.

3. Рассчитать количество эквивалентных элементов (N_a) для каждого блока по выражению (2.5).

4. Рассчитать суммарное количество корпусов МС и МСБ в каждом блоке (N_T) по выражению (2.6).

5. С учетом среднего количества задействованных выводов в каждом типе корпуса по таблицам приложения выбрать шаг установки МС и МСБ в ФЯ.

6. Выбрать вариант компоновки блока, тип электрического соединителя ФЯ, вариант конструкции элементов крепления и контроля ФЯ.

7. Задаться толщиной печатной платы $H_{ПП}$ и определить размеры краевых полей ПП по таблицам приложения.

8. В соответствии с вариантом задания определить глубину зон h_{32} , h_{33} , h_{34} (рис. 2.3).

9. Разработать эскиз конструкции ФЯ для каждого блока и вычертить их на листах формата А4 с указанием размеров.

10. Провести расчет параметров n_x , n_y , N_y , $N_{фя}$, b_n , h_n , l_n по выражениям (2.17), (2.18), (2.15), (2.16), (2.19), (2.7). (2.14). Расчеты выполняются с помощью ЭВМ.

11. Заполнить графы табл. 2.3.

12. Рассчитать геометрические размеры внутреннего объема блока B' , L' и H' с учетом зон V_2 , V_3 , V_4 по выражениям (2.20)...(2.28). Результаты расчета занести в табл. 2.3.

Таблица 2.2

1	Номер блока	1	2	3
2	Количество МС и МСБ в блоке N_T			
3	Количество экв. элементов N_a			
4	Тип корпуса МС			
5	Среднее число задействованных выводов			
6	Шаг установки МС t_x , мм			
7	Шаг установки МС t_y , мм			
8	Установочные размеры МС l_x , мм			
9	Установочные размеры МС l_y , мм			
10	Крайевые поля, мм $x_1 = x_2$			
11	y_1			
12	y_2			
13	Тип соединителя			
14	Высота соединителя H_c , мм			
15	Высота элементов крепления H_k			
16	Зазор между ФЯ в блоке h_3 , мм			
17	Толщина печатной платы $H_{пп}$, мм			
18	Глубина зоны V_2 h_{32} , мм			
19	Глубина зоны V_3 h_{33} , мм			
20	Глубина зоны V_4 h_{34} , мм			

13. Для каждого варианта выбрать допустимые минимальные габариты блока из табл. 2.1 и результаты занести в графы табл. 2.3.

14. Для каждого варианта рассчитать значение комплексного показателя качества по выражению (2.29) и занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3

№ блока	Вариант компоновки	Вариант разделения соединителя	Размеры печатной платы, мм		Кол. МС в ряду	Кол. рядов МС	Кол. МС в ФЯ	Кол. ФЯ в блоке	Размеры пакета ячеек, мм			Размеры внутреннего объема блока			Размеры блока, мм			Комплексный показатель качества
			L_x	L_y					l_p	b_p	h_p	L'	B'	H'	L_6	B_6	H_6	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1			135	110														
			135	240														
			...	...														
			170	160														
2			170	200														
			135	110														
			135	240														
			...	...														
3			170	160														
			170	200														
			135	110														
			135	240														
			...	...														
			170	160														
			170	200														
			135	110														

15. Провести анализ табл. 2.3 и выбрать оптимальный вариант конструкций каждого из трех блоков.

16. Считая, что блоки РТС размещаются на групповой монтажной раме с зазором 18 мм, определить габаритные размеры РТС (размеры монтажной рамы не учитывать). Учесть, что глубина трехблочной конструкции определяется размером L блока максимальной глубины.

17. Рассчитать комплексный показатель качества данного варианта конструкции РТС.

18. Провести повторный анализ табл. 2.3 и найти оптимальный вариант конструкции РТС.

19. Рассчитать комплексный показатель качества текущего варианта.

20. Рассчитать полученные изменения комплексного показателя качества для последнего варианта по сравнению с первым.

21. Оформить отчет и подготовить его к защите.

Содержание отчета

1. Варианты задания на конструирование многоблочного микроэлектронного устройства.

2. Расчеты конструктивных параметров, сведенные в таблицы по форме табл. 2.2 и 2.3.

3. Эскизы ФЯ с основными размерами.

4. Расчет комплексного показателя качества вариантов многоблочного микроэлектронного устройства.

5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое комплексный показатель качества? Каково его использование при конструировании МЭА?

2. Расскажите о конструкции функциональной ячейки третьего поколения.

3. Расскажите о конструкции блока МЭА третьего поколения.

4. Что такое базовая несущая конструкция и базовый метод конструирования? Каковы его достоинства?

5. Основные составляющие внутреннего объема блока МЭА третьего поколения.

6. Синтез конструкции и его последовательность применительно к конструкции блока МЭА.

Библиографический список

1. Компоновка конструкций микроэлектронной аппаратуры: Справочное пособие / Под ред. Б.Ф. Высоцкого, В.Б. Пеотрякова, О.А. Пятлина. – М.: Радио и связь, 1982. – С. 14-16, 39-103, 106-135.
2. П.Д.Верхопятаицкий, В.С.Латинский. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. – Л.: Судостроение, 1983.

Работа 3. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ВИБРОПРОЧНОСТЬ

Цель работы — исследование возможности обеспечения минимальной массы конструкции при ограничении на показатели вибропрочности.

Краткие теоретические сведения.

В задачи, стоящие перед конструктором бортовых радиоэлектронных средств (РЭС), входит разработка несущей конструкции, обеспечивающей устойчивость аппаратуры к внешним механическим воздействиям. Масса несущих конструкций бортовых РЭС достигает 70% от общей массы аппаратуры. Снижение массы аппаратуры сокращает расход материалов, улучшает эксплуатационные качества самой аппаратуры и подвижных объектов, на которые она устанавливается (для ракеты - стоимость запуска, для самолета - скорость и дальность полета и т.п.). Уменьшение массы разрабатываемой аппаратуры конструктивными методами достигается стремлением к наибольшей компактности конструкции; использованием в несущих конструкциях легких, в том числе неметаллических материалов; упрощением конструкции и уменьшением количества деталей, из которых она состоит; выбором параметров конструкции изделия с использованием математических методов оптимизации.

Наиболее распространенным видом механических воздействий на аппаратуру, установленную на подвижных объектах, является вибрация. Колебательные процессы в элементах конструкции аппаратуры при вибрации характеризуются частотой вибрации f , амплитудой A , виброскоростью V , амплитудой ускорения a и перегрузкой $n = a/g$, где g - ускорение свободного падения. Учитывая, что $g = 9,81 \cdot 10^3 \text{ мм/с}^2$, вибрационная перегрузка (безразмерная величина) связана с амплитудой (мм) и частотой (Гц) вибрации следующим соотношением:

$$n = a/g = (2\pi f)^2 A / g \approx 0,004 \cdot A \cdot f^2$$

Параметры (амплитуда, виброскорость, перегрузка, частота) вынужденных колебаний элементов конструкций РЭС зависят от соответствующих параметров внешних воздействий и особенностей самой конструкции. При совпадении частоты внешних воздействий с частотой собственных колебаний элементов несущей конструкции наблюдается явление резонанса, при котором амплитуда элементов конструкции в μ_0 раз превышает величину статического прогиба. Коэффициент динамичности μ_0 является обобщенным показателем, связывающим параметры колебаний

элементов конструкции и параметры внешних колебаний в условиях, близких к резонансу, и определяется выражением $\mu_0 \approx \pi/\delta$, где δ – логарифмический декремент затухания материала конструкции. Для конструкций сложной формы значения коэффициента динамичности рассчитать сложно, и их определяют экспериментально. Так, для модулей СВЧ (микроблок пенальной конструкции) типичным значением является $\mu_0 \approx 40$; для печатной платы с некорпусированными микросборками, установленными на клее КВК, $\mu_0 \approx 25$; для односторонней цифровой ФЯ на МС $\mu_0 \approx 10$; для двусторонней цифровой ФЯ на бескорпусных МСБ $\mu_0 \approx$; для ФЯ на печатной плате, с корпусированными микросхемами $\mu_0 \approx 5$.

Условие вибропрочности конструкции будет выполнено, если амплитуда A и виброскорость V колебаний элементов конструкции ФЯ (печатной платы, установленных на ней МСБ или микросхем, элементов жесткости) не будут превышать допустимых значений во всем диапазоне частот внешних вибраций. Для печатных плат и ФЯ с бескорпусными МСБ, как правило, допустимы амплитуда колебаний $A_{\text{доп}} < (0,15...0,4)$ мм и виброскорость $V_{\text{доп}} \leq 800$ мм/с. С учетом известной связи между амплитудой, скоростью и ускорением при гармоническом колебании, а также того, что наиболее опасными являются колебания на резонансной частоте, когда амплитуда возрастает в μ_0 раз, должны выполняться одновременно два неравенства:

$$\mu_0 \cdot (n_{\text{ту}} \cdot g) \leq (2\pi \cdot f_0)^2 \cdot A_{\text{доп}} ; \quad (3.1)$$

$$\mu_0 \cdot (n_{\text{ту}} \cdot g) \leq (2\pi \cdot f_0) \cdot V_{\text{доп}} , \quad (3.2)$$

17. где $n_{\text{ту}}$ — виброперегрузка на объекте установки РЭС, задаваемая техническим заданием (см. [1] и приложение 7).

Поскольку $n_{\text{ту}}$ зависит от объекта установки аппаратуры, а $A_{\text{доп}}$ и $V_{\text{доп}}$ определяются стойкостью электрорадиоэлементов и материалов конструкции, вибропрочность конструкции будет обеспечена, если частоты собственных механических колебаний функциональных ячеек f_0 удовлетворяют обоим неравенствам (3.1) и (3.2), т.е.

$$f_0 \geq \max \{f_{0A}, f_{0V}\} , \quad (3.3)$$

18. где f_{0A} – минимальное значение резонансной частоты из условия обеспечения допустимой амплитуды колебаний по формуле (3.1), f_{0V} –

минимальное значение резонансной частоты из условия обеспечения допустимой виброскорости по формуле (3.2).

Для расчета частоты собственных колебаний различных конструкций ФЯ их моделируют в виде пластины (рис. 3.1). Собственная частота (Гц) пластины из однородного упругого материала определяется по формуле [1]

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m_S}}, \quad (3.4)$$

19. где a , b , h - длина, ширина и толщина пластины, м; α — коэффициент, зависящий от способа закрепления пластины и соотношения сторон a/b ; D - цилиндрическая жесткость пластины, Н·м. Распределенная масса $m_S = (m_{\text{пл}} + m_{\text{эпэ}})/S$ учитывает как массу пластины, так и массу установленных на ней ЭРЭ. Жесткость печатной платы в виде однородной пластины определяется по формуле

$$D = \frac{E_{\text{пл}} h^3}{12 \cdot (1 - \varepsilon_{\text{пл}}^2)}, \text{ Н·м}, \quad (3.5)$$

20. $E_{\text{пл}}$ – модуль упругости материала платы, Н/м; $\varepsilon_{\text{пл}}$ – коэффициент Пуассона материала печатной платы.

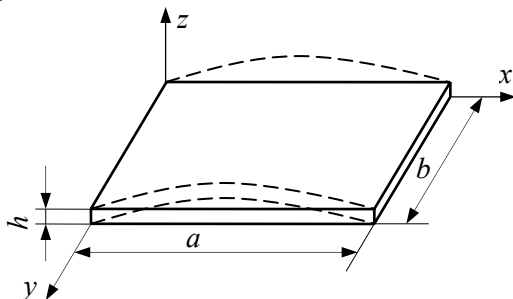


Рис.3.1

Значения $E_{\text{пл}}$, $\varepsilon_{\text{пл}}$ и плотность материалов для печатных плат приведены в таблице приложения 5, значение α определяется по формуле (3.6) и табл. 3.1:

$$\alpha = K \sqrt{1 + \eta \left(\frac{a}{b}\right)^2 + \beta \left(\frac{a}{b}\right)^4}. \quad (3.6)$$

Таблица 3.1

Номер варианта	Способы закрепления сторон платы				Значения коэффициентов		
	верхняя	нижняя	боковые		K	η	β
1	О	О	О	О	9,87	2	1
2	3	О	О	О	9,87	2,33	2,44
3	3	3	О	О	9,87	2,57	5,14
4	3	3	3	3	22,37	0,61	1
5	3	3	3	С	3,52	5,97	40,5
6	С	С	3	3	22,37	0	0
7	С	С	О	3	15,42	0	0
8	О	О	С	3	9,87	0,6	1,26
9	В четырех точках по углам				9,87	2	1

21. *Примечание:* Обозначения способа закрепления: С — сторона свободна (не закреплена); О — сторона оперта (закреплена нежестко); 3 — сторона защемлена (закреплена жестко).

На рис.3.2 приведен пример определения способов закрепления сторон для бескаркасной ячейки на печатной плате.

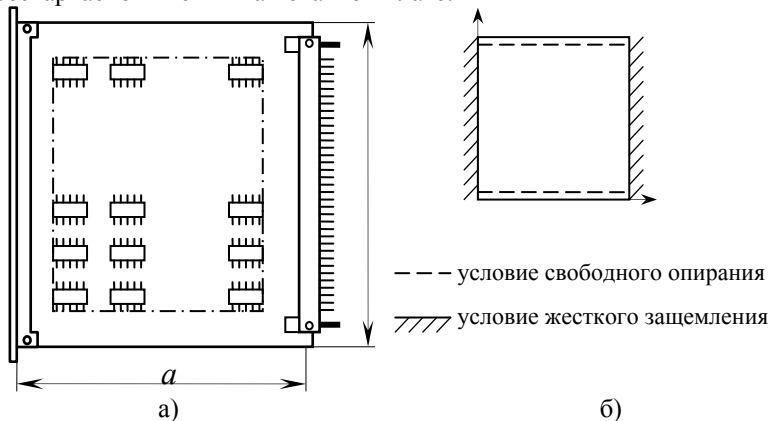


Рис.3.2

Для получения достаточно высоких значений частот собственных колебаний функциональных ячеек, как следует из формул (3.4) и (3.5), требуется увеличение жесткости конструкции ячеек и, следовательно, увеличение ее массы.

Распространенным способом увеличения жесткости конструкции ФЯ на печатной плате, а следовательно, и частоты ее собственных колебаний является использование ребер жесткости. Эффективность ребер повышается,

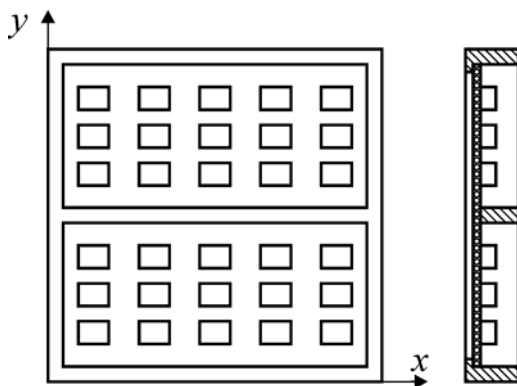


Рис.3.3

если они жестко прикрепляются не только к плате, но и к опорам несущей конструкции блока. Для того чтобы в конструкции оребренной ФЯ не появились дополнительные крутящие моменты, сечения ФЯ должны иметь симметричный профиль (рис 3.3).

Для прямоугольной пластины, свободно опертой по контуру, имеющей рамку, n_x ребер жесткости, параллельных оси x , и n_y ребер жесткости, параллельных оси y , основная частота собственных колебаний [1]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{a \cdot b} \cdot \sqrt{\pi^4 \cdot \frac{(n_y + 1) \frac{B_y}{b} \cdot \frac{a}{b} + (n_x + 1) \frac{B_x}{a} \cdot \frac{b}{a} + D_{\text{пл}} \left(\frac{b}{a} + \frac{a}{b} \right)^2}{(n_y + 1) m_y + (n_x + 1) \cdot m_x + (m_{\text{пл}} + m_{\text{эрэ}})}}, \quad (3.7)$$

22. где m_x, m_y — масса (кг) ребер, параллельных осям x и y ; B_x, B_y — жесткости ($\text{Н} \cdot \text{м}^2$) ребер, параллельных осям x и y : $B = \frac{E_p b_p h_p^3}{12}$; b_p, h_p, E_p — ширина (м), высота (м) и модуль упругости материала ($\text{Н}/\text{м}^2$) соответствующих ребер жесткости.

Жесткость ФЯ на бескорпусных микросборках (рис.3.4) складывается из жесткости печатной платы $D_{\text{пл}}$ и жесткости металлической рамки D_p : $D = D_{\text{пл}} + D_p$, так как ФЯ можно представить в виде трехслойной конструкции с внутренним демпфирующим слоем (компаунд КТ102, соединяющий рамку и печатную плату).

Жесткость рамки рассчитывается через суммарный момент инерции поперечного сечения рамки J_p :

$$D_p = \frac{E_p J_p}{b_p (1 - \varepsilon_p^2)}, \quad (3.8)$$

23. где E_p , ε_p — модуль упругости (Н/м) и коэффициент Пуассона (безразмерный) материала рамки; b_p — ширина рамки, м.

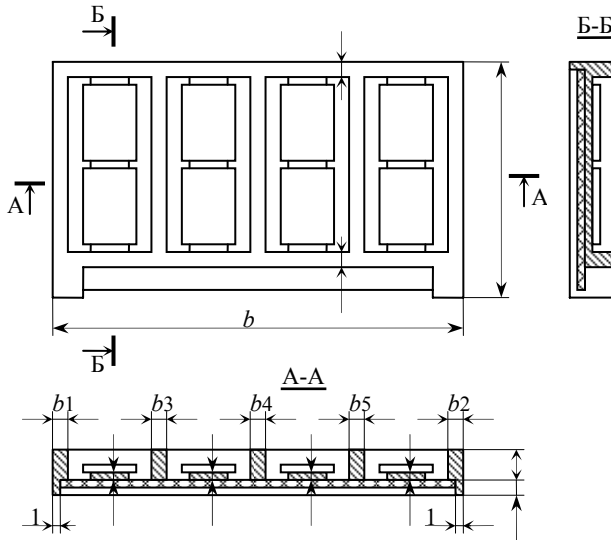


Рис.3.4

При расчете жесткости D_p металлической рамки ФЯ, имеющей сложную конфигурацию, необходим специальный анализ сопротивления изгибу отдельных сечений рамки (рис. 3.4). При этом пренебрегают жесткостью подложек микросборок, что незначительно снижает расчетное значение D_p .

Для расчета J_p необходимо представить сечение рамки в виде комбинации простейших плоских геометрических фигур (квадрата, прямоугольника, треугольника и т.д.), для которых известны формулы расчета моментов инерции. Например, для прямоугольного сечения

$$J_{\text{прям}} = \frac{bh^3}{12} \text{ м}^4.$$

Момент инерции J_p сечения рамки определяется по данным о моментах инерции J_i отдельных элементарных фрагментов:

$$J_p = \sum_{i=1}^n J_i + \sum_{i=1}^n l_i^2 S_i ,$$

24. где n - количество элементарных фрагментов сечения; J_i - момент инерции i -го фрагмента, м^4 ; S_i - площадь i -го фрагмента сечения, м^2 ; l_i - расстояние между центрами тяжести i -го фрагмента y_i и полного сечения y_c рамки, м .

Если рамка изготовлена из однородного по плотности материала, то

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_i y_i}{\sum_{i=1}^n S_i} .$$

Интенсивность распределенной массы m_0 ФЯ на бескорпусных МСБ определяется

$$m_0 = \frac{m_p + m_{\text{пл}} + \sum_{i=1}^n m_{\text{МСБ}i}}{a \cdot b} ,$$

25. где m_p , $m_{\text{пл}}$, $m_{\text{МСБ}i}$ - соответственно массы рамки, платы и отдельных микросборок, кг .

В процессе разработки ФЯ конструктор должен обеспечить либо отсутствие резонансов в элементах конструкции ФЯ во всем диапазоне частот внешних воздействий, либо выполнение условий (3.1) и (3.2) на самой низкой, самой опасной резонансной частоте конструкции. Первый способ, как правило, не может быть реализован вследствие широкого диапазона вибраций, воздействующих на аппаратуру на подвижном объектоносителе (до 1 кГц и выше). Второй способ предполагает разработку такой конструкции с достаточно высокой резонансной частотой. Это требует либо уменьшения габаритных размеров ячейки a и b (см. общее выражение для f_0 (3.4)), что неприемлемо из условия размещения в ячейке заданного количества МС или МСБ, либо увеличения жесткости конструкции, что, как

правило, связано с увеличением массы конструкции. С другой стороны, при наличии запаса вибропрочности по f_0 имеется возможность уменьшения массы ФЯ за счет уменьшения толщины платы, размеров сечений ребер жесткости или их числа.

Проблема поиска оптимальной конфигурации ФЯ заключается в том, что увеличение жесткости конструкции, необходимое для обеспечения требуемого значения резонансной частоты f_0 , связано, как правило, с увеличением сечений элементов конструкции ФЯ и, как следствие, их массы. Поиск оптимальной конфигурации ФЯ по критериям вибропрочности и минимальной массы можно проводить либо на основе различных вариантов конструкции, либо с использованием математических методов оптимизации. Одним из методов, позволяющих оптимизировать конструкцию ФЯ, является метод максимальной частной производной. Суть его состоит в движении к экстремуму на каждом шаге процесса оптимизации по направлению максимальной частной производной, дающему наибольшее изменение целевой функции.

Целевой функцией в нашем случае является суммарная масса ФЯ (рис. 3.4):

для ячейки на металлической рамке

$$m_{\text{фя}} = f(b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, m_p, m_{\text{пл}}, m_{\text{мсб}});$$

для ячейки на печатной плате (с ребрами жесткости или без них):

$$m_{\text{фя}} = f(a, b, h, m_{\text{ис}}, b_{\text{рх}}, b_{\text{ру}}, h_{\text{рх}}, h_{\text{ру}}, n_x, n_y).$$

Ограничениями при варьировании размеров элементов конструкции ФЯ являются как минимально допустимые размеры элементов сечений ФЯ, вытекающие из технологических возможностей, так и необходимость обеспечить достаточно высокую резонансную частоту ячейки, гарантирующую выполнение условий вибропрочности (3.1), (3.2) при заданной величине $n_{\text{ту}}$.

Изменение любого из параметров конструкции ячейки оказывает влияние как на массу ячейки $m_{\text{фя}}$, так и на значение частоты собственных колебаний f_0 . Критерий оптимальности Q , связывающий целевую функцию и функции ограничения и показывающий, какой из вариантов сечения ФЯ следует считать лучшим или худшим по сравнению с другими вариантами, имеет вид

$$Q_i^j = \frac{f_0^0 - f_0^j}{m_{\text{фя}}^0 - m_{\text{фя}}^j},$$

26. где i — номер шага оптимизации; j — номер варианта компоновки; f_0^0 и $m_{\text{фя}}^0$ — значения частоты собственных колебаний и массы исходного варианта ФЯ; f_0^j и $m_{\text{фя}}^j$ — то же после изменения j -й переменной на i -м шаге.

По результатам расчетов на i -м шаге оптимизации определяют, какой параметр конструкции и в какую сторону следует изменить.

Отрицательное значение Q_i^j соответствует ситуации, когда изменение j -го параметра конструкции, направленное на уменьшение массы, одновременно повышает резонансную частоту. Параметры с отрицательными Q_i^j следует изменять в первую очередь, так как при этом получается выигрыш как по массе, так и по частоте собственных колебаний.

После исчерпания возможностей варьирования параметров с отрицательными значениями критерия оптимальности остальные параметры изменяют в следующем порядке. При необходимости увеличить значение f_0 для очередного шага выбирают переменную с максимальным Q_i^j , т.е. дающую максимальный прирост частоты при минимальном приросте массы (максимальный выигрыш по частоте). Если есть возможность понизить резонансную частоту и за счет этого уменьшить массу, для шага следует выбрать параметр с максимальным Q_i^j , т.е. несильно снижающих значение f_0 при заметном уменьшении массы (минимальный проигрыш по частоте).

Процесс оптимизации завершается, когда будут израсходованы запасы по всем ограничениям либо параметры конструкции ячейки достигнут технологических ограничений.

Содержание работы

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями, рекомендованной литературой, методикой выполнения работы, порядком работы с персональной ЭВМ

2. Проанализировать вариант задания, подобрать справочные данные, заполнить исходную таблицу для расчетов.

3. Исследовать зависимость собственной частоты ФЯ от конструктивных параметров.

4. Выполнить оптимизацию конструкции ФЯ по критерию минимума массы при ограничениях на минимальное значение резонансной частоты ФЯ и технологических ограничениях.

5. Проанализировать и обобщить полученные в ходе расчета результаты.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя задание, содержащее следующие исходные данные и ограничения:

1. а) тип конструкции ФЯ (на бескорпусных МСБ или на корпусированных МС);

2. б) габаритные размеры a, b функциональной ячейки;

3. в) объект установки или максимальная виброперегрузка $n_{\text{ту}}$;

4. г) ограничения на амплитуду $A_{\text{доп}}$ и виброскорость $V_{\text{доп}}$ колебаний элементов конструкции ФЯ;

5. д) для ФЯ на бескорпусных МСБ:

- материал рамки, материал платы, количество и масса микросборок размером 24 x 30 мм;

для ФЯ на корпусированных МС:

- материал платы, количество МС и тип корпуса МС;

6. е) перечень варьируемых параметров.

2. Определить минимально допустимое значение частоты собственных колебаний ФЯ f_0 из условий вибропрочности (3.1)...(3.3).

3. Подготовить таблицу данных для ввода в ЭВМ (табл. 3.2 — для ФЯ на бескорпусных МСБ, табл. 3.3 — для ФЯ на корпусированных МС).

4. По полученному заданию выполнить (с указанием размеров) эскиз исходного варианта ФЯ. Типовые конструкции ФЯ изображены на рис. 3.2, 3.3, 3.4. При назначении недостающих размеров следует учитывать технологические ограничения:

$$(b_1 \dots b_7) \geq 2 \text{ мм}; (h_1 \dots h_4) \geq 0,5 \text{ мм}; h_5 \geq 4 \text{ мм};$$

$$0,5 \text{ мм} \leq h_{\text{пл}} \leq 3 \text{ мм}; 2 \text{ мм} \leq (h_x, h_y, b_x, b_y) \leq 12 \text{ мм}.$$

27. Определить с использованием приложений 5 и 6 параметры E, ε, ρ материалов платы, рамки, ребер жесткости, подсчитать массу печатной платы и микросборок или навесных ЭРЭ; заполнить табл. 3.2 или 3.3 найденными значениями.

Предъявить лаборанту эскиз исходного варианта ФЯ и заполненную таблицу для получения допуска к работе на ЭВМ.

5. Ввести исходные данные в ЭВМ.

Рассчитать значения частоты резонанса f_0 , массы $m_{\text{фя}}$ и объема $V_{\text{фя}}$ (для ФЯ на МСБ) для базового варианта конструкции ФЯ. Занести полученные значения, а также значения варьируемых параметров конструкции ФЯ в таблицу по форме табл. 3.4 (в скобках указано наименование параметра для ФЯ на корпусированных МС). Отсутствие ребра жесткости отмечать в таблице нулевым значением.

6. Занести рассчитанные ЭВМ значения критериев оптимальности в табл. 3.5.

7. Проанализировать рассчитанные значения f_0 и критериев оптимальности. Принять решение о направлении изменения резонансной частоты ФЯ на следующем шаге оптимизации: повышение при недостаточной вибропрочности (низком значении f_0) или понижение при наличии запаса. Выбрать для изменения на текущем шаге оптимизации варьируемый параметр, имеющий наилучшее значение критерия оптимальности Q_i^j (минимальное, если резонансную частоту надо понизить, и максимальное, если повысить). Отметить выбранный параметр в табл. 3.4 и 3.5 подчеркиванием.

Таблица 3.2

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Длина рамки a , мм	
Ширина рамки b , мм	
Коэффициент Пуассона материала рамки ϵ_p	
Модуль упругости материала рамки E_p , Н/м ²	
Плотность материала рамки ρ_p , кг/м ³	
Масса платы и микросборок, кг	
Размеры b_1 и b_2 , мм	
Размеры b_3 и b_5 , мм	
Размер b_4 , мм	
Размеры b_6 и b_7 , мм	
Толщина планок h_1 и h_4 мм	
Толщина планок h_2 и h_3 , мм	
Высота ребер h_5 , мм	

8. Выбрать направление и величину приращения варьируемого параметра. При выборе можно воспользоваться графиками зависимости f_0 от параметров конструкции, которые строятся на экране ЭВМ. При выборе шага изменения учитывать, что новое значение варьируемого параметра должно лежать в границах технологических ограничений и отличаться от предыдущего не более чем на 10 ... 20%.

9. Повторить расчет в соответствии с пп. 6...9.

10. Если на некотором шаге будет достигнуто технологическое ограничение по какому-либо размеру, то следует либо в п. 8 выбрать для очередного шага другой параметр, имеющий резерв для изменения и наилучший из оставшихся, либо, если это возможно, изменить конструкцию ФЯ, т.е. изменить количество ребер жесткости на плате, удалив одно или некоторые из ребер $b_3...b_5$ металлической рамки при обязательном сохранении симметрии сечений ФЯ. После изменения конструкции ФЯ оптимизацию повторить, начиная с п. 3 (эскиз не вычерчивать).

Таблица 3.3

Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
Длина платы a , мм	
Ширина платы b , мм	
Масса навесных ЭРЭ $m_{\text{ЭРЭ}}$, кг	
Число ребер по оси x , n_x	
Число ребер по оси y , n_y	
Плотность материала платы $\rho_{\text{пл}}$, кг/м ³	
Модуль упругости материала платы $E_{\text{пл}}$, Н/м ²	
Коэффициент Пуассона платы $\varepsilon_{\text{пл}}$	
Плотность материала ребер $\rho_{\text{р}}$, кг/м ³	
Модуль упругости материала ребер $E_{\text{р}}$, Н/м ²	
Коэффициент Пуассона ребер $\varepsilon_{\text{р}}$	
Толщина платы $h_{\text{пл}}$, мм	
Высота ребра h_x , мм	
Высота ребра h_y , мм	
Ширина ребра b_x , мм	
Ширина ребра b_y , мм	

11. Оптимизацию закончить, когда дальнейшее изменение невозможно либо по технологическим ограничениям, либо из-за недопустимого уменьшения f_0 , либо если это не дает выигрыша по массе при допустимом значении f_0 .

12. Для окончательного варианта ФЯ выполнить эскиз с указанием всех размеров. Рассчитать количественный выигрыш в массе и объеме конструкции ФЯ.

13. Оформить отчет по работе и представить его к защите.

Таблица 3.4

Номер шага	f_0 Гц	$m_{\text{фя}}$ кг	$V_{\text{фя}}$ см ³	b_1, b_2 ($h_{\text{пл}}$)	b_3, b_5 (h_x)	b_4 (h_y)	b_6, b_7 (b_x)	h_1, h_4 (b_y)	h_2, h_3 (n_x)	h_5 (n_y)
1										
2										
...										

Таблица 3.5

Номер шага				$Q_{b1,b2}$ ($Q_{h\text{пл}}$)	$Q_{b3,Qb5}$ (Q_{hx})	Q_{b4} (Q_{hy})	$Q_{b6,Qb7}$ (Q_{bx})	$Q_{h1,Qh4}$ (Q_{by})	$Q_{h2,Qh3}$ (Q_{nx})	Q_{h5} (Q_{ny})
1										
2										
...										

Содержание отчета

1. Цель и задачи лабораторной работы.
2. Исходные данные для оптимизации конструкции ФЯ и исследования зависимости f_0 от параметров конструкции.
3. Таблицы оптимизации конструкции ФЯ.
4. Количественный выигрыш в массе и объеме, полученный в результате оптимизации.
5. Эскизы исходного и оптимального варианта ФЯ с указанием размеров.
6. Графики зависимости f_0 и $m_{\text{фя}}$ от варьируемых параметров ФЯ.
7. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Как оценивается вибропрочность конструкции ФЯ?
2. Какие конструктивные параметры оказывают заметное влияние на частоту собственных колебаний и массу ФЯ?
3. Как производится оптимизация конструкции ФЯ по массе и частоте собственных колебаний?

Библиографический список

Токарев М.Ф., Талицкий Е.И., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1984.

Работа 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА МИКРОЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА КАССЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Цель работы — изучение методики теплового моделирования и исследования теплового режима микроэлектронного блока кассетного (разъемного) типа и установление взаимосвязи между показателями теплового режима и параметрами конструкции блока.

Краткие теоретические сведения

Радиоэлектронные средства являются преобразователями электрической энергии. Вследствие низкого КПД большинства РЭС практически вся потребляемая от источников питания энергия преобразуется в тепло, которое расходуется на нагревание деталей и узлов и частично рассеивается в окружающее пространство. Пространственно-временное распределение температуры в пределах конструкции определяет её тепловой режим, который количественно принято характеризовать температурным полем и перегревом.

Температурным полем называют совокупность численных значений температуры в различных точках конструкции в некоторый момент времени τ .

Перегревом j -й точки конструкции принято называть разность температур этой точки t_j и температурой некоторой точки, поверхности или области, принятой за опорную, например, температурой окружающей среды t_c , т.е. $\Delta t_j = t_j - t_c$.

Тепловой режим конструкции будет заведомо *нормальным*, если температура t_j в любой точке конструкции не превышает допустимую рабочую температуру наименее теплостойкого элемента $t_{эл \min}$ или перегрев любой точки Δt_j меньше допустимого для наименее теплостойкого элемента конструкции

$$\Delta t_{\text{доп}} = t_{\text{эл min}} - t_c.$$

Показатели теплового режима конструкции зависят от ряда факторов: мощности P и распределения тепловыделяющих элементов (источников тепла), времени работы конструкции τ , параметров конструкции и окружающей среды, теплофизических свойств материалов, эффективности теплообмена конструкции с окружающей средой.

При естественном воздушном охлаждении, характерном для РЭС, теплообмен между конструкцией и окружающей средой происходит тремя

способами: конвекцией, излучением и теплопроводностью (кондукцией). Оценкой эффективности теплообмена конструкции с окружающей средой является тепловой поток — количество тепла от поверхности конструкции к среде за единицу времени.

Тепловой поток при теплопередаче конвекцией определяется уравнением Ньютона:

$$P_k = \alpha_k S(t_1 - t_c) = \sigma_k(t_1 - t_c),$$

28. где α_k — конвективный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); σ_k — тепловая проводимость при конвекции, Вт/К; S — площадь поверхности теплообмена, м²; t_1 , t_c — соответственно температуры поверхности теплообмена и окружающей среды, °С. Коэффициент теплопередачи α_k зависит от размеров и формы охлаждаемой поверхности, от свойств подвижного теплоносителя (воздуха), а также от температур t_1 и t_c .

При теплопередаче излучением тепловой поток и температуры связаны уравнением Стефана-Больцмана:

$$P_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot \varphi_{12} \cdot C_0 \cdot S \left[(t_1 + 273)^4 - (t_c + 273)^4 \right], \quad (4.1)$$

29. где $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·град⁴) — коэффициент излучения «абсолютно черного» тела; $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенная степень черноты поверхностей тел, участвующих в теплообмене; φ_{12} — коэффициент облученности, показывающий, какая часть энергии, излученной первым телом, попадает на второе.

В результате несложных преобразований уравнение (4.1) приводится к виду

$$P_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} S(t_1 - t_c) = \sigma_{\text{л}}(t_1 - t_c),$$

30. где $\alpha_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{пр}} \varphi_{12} C_0 f(t_1, t_c)$ — коэффициент теплопередачи излучением, Вт/(м²·К); $\sigma_{\text{л}}$ — тепловая проводимость при лучеиспускании, Вт/К; функция

$f(t_1, t_c) = \frac{(t_1 + 273)^4 - (t_c + 273)^4}{t_1 - t_c}$ слабо зависит от температур.

Теплообмен теплопроводностью (кондукция) характерен для твёрдых тел, а также неподвижных жидкостей и газов. Тепловой поток между

изотермическими поверхностями S_1 и S_2 с температурами t_1 и t_2 при $t_1 > t_2$ определяется уравнением Фурье:

$$P_T = \alpha_T S_{cp} (t_1 - t_2) = \sigma_T (t_1 - t_2).$$

Здесь $\alpha_T = \lambda/l$ — кондуктивный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К); λ — коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); l — расстояние между изотермическими поверхностями, м; $S_{cp} = 0,5 \cdot (S_1 + S_2)$ — площадь средней изотермической поверхности, м².

Согласно принципу электротепловой аналогии, произведения $\alpha_K \cdot S = \sigma_K$, $\alpha_L \cdot S = \sigma_L$, $\alpha_T \cdot S_{cp} = \sigma_T$ являются тепловыми проводимостями при конвективном, лучевом и кондуктивном теплообмене. Обратные величины представляют собой тепловые сопротивления R_K , R_L и R_T .

Исследование теплового режима состоит в определении $t_j = t_j(\tau, P)$ или $\Delta t_j = \Delta t_j(\tau, P)$. В установившемся (стационарном) режиме Δt_j не зависит от времени, а зависимость $\Delta t_j = \Delta t_j(P)$ называют тепловой характеристикой j -й точки (области) конструкции.

В общем случае исследование тепловых режимов выполняют в следующем порядке: определяют класс конструкции и составляют её тепловую физическую модель; для физической тепловой модели строят математическую модель и определяют ее параметры; рассчитывают показатели теплового режима; дают оценку точности теплового моделирования.

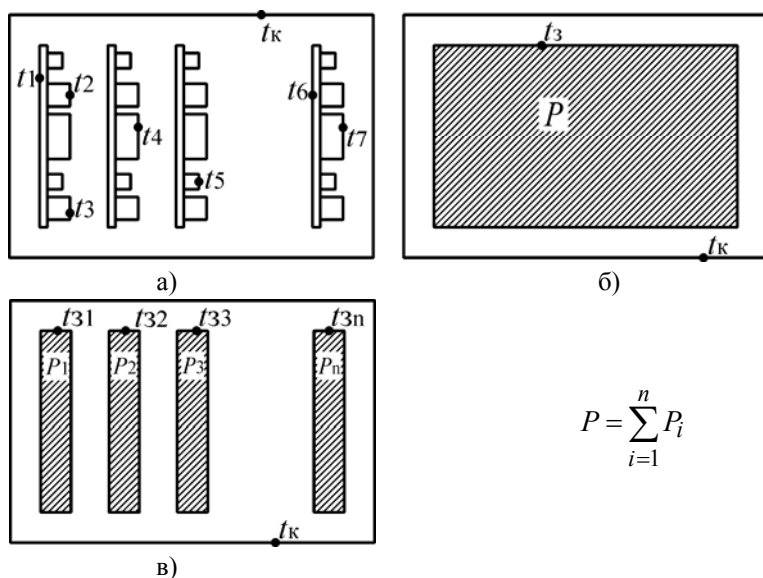
В класс объединяются конструкции, имеющие общие признаки и одинаковую физическую основу протекания тепловых процессов. При определении класса конструкций учитывают такие признаки, как структура нагретой зоны, способ охлаждения нагретой зоны, способ охлаждения кожуха и др.

Тепловую модель конструкции или класса получают в результате анализа конструкций, выявления их теплофизических свойств и идеализации процессов теплообмена. Наиболее часто используют модель изотермических поверхностей и модель однородного анизотропного тела. В более сложных случаях строят модель на основе принципа электротепловой аналогии.

Модель изотермических поверхностей предполагает выделение в конструкции поверхностей с одинаковыми или условно одинаковыми температурами в каждой точке поверхности. Считается, что теплообмен осуществляется между этими поверхностями. В зависимости от конкретной задачи исследования к изотермическим поверхностям конструкций относят

поверхность корпуса со среднеповерхностной температурой t_k , поверхность нагретой зоны с температурой t_3 , поверхность отдельной функциональной ячейки с температурой t_{3j} , поверхность отдельного элемента с температурой $t_{элj}$ и т.д.

Пример построения тепловой модели изотермических поверхностей приведен на рис. 4.1 (*а* — схематическое изображение исходной конструкции; *б* — тепловая модель с изотермической поверхностью нагретой зоны; *в* — тепловая модель блока с изотермическими поверхностями отдельных ячеек).



$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$

Рис. 4.1

Модель однородного анизотропного тела представляет реальную конструкцию или её части однородным анизотропным телом в виде прямоугольного параллелепипеда, для которого находят эквивалентные коэффициенты теплопроводности по направлениям осей координат λ_x, λ_y , и λ_z . При известных коэффициентах теплопроводности и геометрических размерах тела l_x, l_y, l_z можно определить условное тепловое сопротивление между центром тела и его поверхностью:

$$R_0 = \frac{C \cdot l_z}{4 \cdot \lambda_z \cdot l_x \cdot l_y}.$$

Здесь C — коэффициент, зависящий от отношений геометрических размеров тела и эквивалентных коэффициентов теплопроводности. Значение C обычно представляют графически. Графики строят для определенных условий выбора направлений осей координат однородного анизотропного тела. Такими условиями являются неравенства

$$l_z \leq l_x \sqrt{\lambda_z / \lambda_x} \text{ и } l_z \leq l_y \sqrt{\lambda_z / \lambda_y}.$$

Значение R_0 позволяет найти температуру в центре однородного тела $t_0 = t_S + R_0 \cdot P$, где t_S — температура на поверхности тела; P — суммарный тепловой поток источников, расположенных внутри тела.

Для определения эквивалентных коэффициентов теплопроводности конструкции $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ необходимо:

- выделить в структуре конструкции элементарную тепловую ячейку, состоящую из однородных по теплофизическим характеристикам простейших тел правильной геометрической формы;
- составить схемы теплопередачи в ячейке по направлениям x, y, z и в результате преобразования схем найти тепловые проводимости элементарной ячейки $\sigma_{яx}, \sigma_{яy}, \sigma_{яz}$;
- через тепловые проводимости элементарной ячейки $\sigma_{яx}, \sigma_{яy}, \sigma_{яz}$ и геометрические размеры конструкции l_x, l_y, l_z найти тепловые проводимости эквивалентного анизотропного тела $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ и коэффициенты теплопроводности $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$.

Элементарная тепловая ячейка представляет собой наименьший объем, включающий один или несколько тепловыделяющих элементов, многократное повторение которого по трем направлениям позволяет воспроизвести исходную конструкцию. Если в конструкции с геометрическими размерами l_x, l_y, l_z по направлениям осей координат укладывается соответственно k, m, n элементарных тепловых ячеек (рис. 4.2), то

$$\sigma_x = \frac{m \cdot n}{k} \sigma_{яx}; \quad \sigma_y = \frac{n \cdot k}{m} \sigma_{яy}; \quad \sigma_z = \frac{k \cdot m}{n} \sigma_{яz}; \quad (4.2)$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{l_y \cdot l_z} \sigma_x; \quad \lambda_y = \frac{l_y}{l_z \cdot l_x} \sigma_y; \quad \lambda_z = \frac{l_z}{l_x \cdot l_y} \sigma_z. \quad (4.3)$$

Модель однородного анизотропного тела применима к конструкциям РЭС с регулярной структурой, т.е. к конструкциям, содержащим большое число одинаковых в конструктивном отношении элементов, повторяющихся во всех трех измерениях.

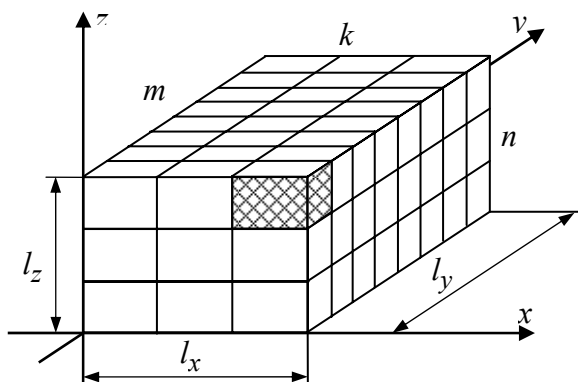


Рис. 4.2

Поскольку зависимость между рассеиваемой мощностью и температурами в общем случае не является линейной, для расчета показателей теплового режима конструкций РЭС используются методы: последовательных приближений, тепловой характеристики и коэффициентный.

Метод последовательных приближений основан на итеративном процессе вычисления перегрева Δt_j или температуры t_j . Начальным значением перегрева $\Delta t'_j$ (температуры t'_j) j -й точки конструкции или изотермической поверхности задаются произвольно, после чего определяют суммарную тепловую проводимость σ'_Σ и расчетное значение перегрева $\Delta t'_{jP}$ (температуры t'_{jP}) в первом приближении:

$$\Delta t_{jP} = P / \sigma'_\Sigma; \quad t'_{jP} = t_c + P / \sigma'_\Sigma.$$

При выполнении неравенства $|\Delta t'_j - \Delta t'_{jp}| < \delta$, где $\delta = 1...2^\circ\text{C}$, за истинное значение перегрева принимают $\Delta t'_j$ или $\Delta t'_{jp}$. Если неравенство не выполняется, то повторяют расчет, положив $\Delta t''_j = \Delta t'_{jp}$.

Метод тепловой характеристики состоит в построении по расчетным данным зависимости $\Delta t_j = \Delta t_j(P)$, по которой для любого значения теплового потока P можно найти перегрев и температуру j -й точки или изотермической поверхности.

График тепловой характеристики (рис. 4.3) проходит через начало координат. Для построения других точек графика задаются произвольными значениями перегрева $\Delta t'_j$, рассчитывают соответствующие им значения полной тепловой проводимости σ'_Σ и теплового потока $P' = \sigma'_\Sigma \cdot \Delta t'_j$. Координаты $\Delta t'_j$ и P' служат точками тепловой характеристики. При небольших перегревах и малой разности между рассчитанным значением P' и рассеиваемой мощностью P зависимость $P'(\Delta t'_j)$ является близкой к линейной, и тепловую характеристику можно приближенно представить прямой линией, проходящей через начало координат и точку с координатами $\Delta t'_j$ и P' (штриховая линия на рис. 4.3).

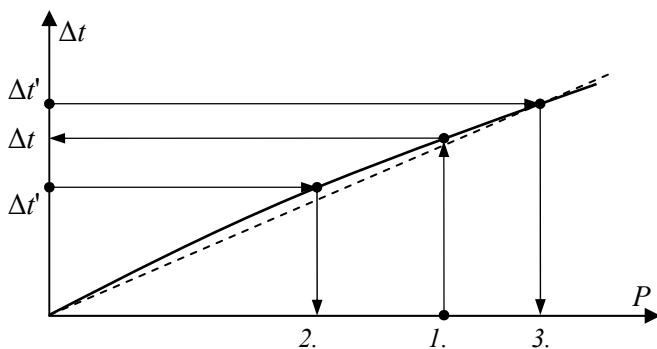


Рис. 4.3

В *коэффициентном методе* для определения перегрева используется теоретическое соотношение

$$\Delta t_j = \Delta t_{0j} \cdot \prod_{i=1}^n K_{ij},$$

где Δt_{0j} — значение перегрева в типовой конструкции при исходных значениях параметров конструкции и окружающей среды; $K_{ij} = \Delta t_{ij} / \Delta t_{0j}$ — коэффициенты, характеризующие парциальное влияние отклонений параметров на показатели теплового режима; Δt_{ij} — значение перегрева j -й точки конструкции при изменении i -о параметра; n — число влияющих на перегрев параметров.

Значения Δt_{0j} и K_{ij} находят из графиков, построенных по экспериментальным или расчетным данным.

Ввиду того, что коэффициенты K_{ij} различны для разных классов конструкций, возможности коэффициентного метода ограничиваются применимостью его лишь к определённым классам конструкций.

Количественной оценкой связи показателей теплового режима и параметров конструкции служит относительный коэффициент влияния

$$B_{ij} = \frac{\Delta t_j / t_j}{\Delta x_i / x_i}, \text{ где } \Delta t_j / t_j \text{ — относительное изменение температуры } j\text{-й точки}$$

или поверхности теплообмена конструкций, обусловленное приращением параметра конструкции $\Delta x_i / x_i$. Знание коэффициентов влияния B_{ij} дает возможность найти коэффициенты $K_{ij} = 1 + B_{ij} \cdot (\Delta x_i / x_i)$, которые используются в коэффициентном методе расчета тепловых режимов.

Тепловая модель блока

Схематическое изображение блока кассетной конструкции приведено на рис. 4.4. В металлическом защитном корпусе 1 размещено m функциональных ячеек, выполненных на корпусированных микросхемах (МС). Ввиду малых воздушных промежутков между ФЯ (2...5 мм) теплообмен между ячейками можно представить как процесс передачи тепла теплопроводностью через ограниченную многослойную стенку. От плат ФЯ к кожуху тепловой поток передается излучением и конвекцией. Каждая ФЯ рассматривается как нагретая зона. Эквивалентная высота i -й нагретой зоны рассчитывается по формуле $h_{zi} = K_{i\text{зап}} \cdot b + b_{\text{пл}}$, где $K_{i\text{зап}}$ - коэффициент заполнения i -й ФЯ; b - шаг установки ячеек; $b_{\text{пл}}$ - толщина печатной платы. Поверхности кожуха и нагретых зон принимаются изотермическими со среднеповерхностными температурами t_k и t_{zi} . Кроме того, считают, что функциональные ячейки однотипны по конструкции, коэффициенты

заполнения всех плат одинаковы, воздушные зазоры между ячейками $b-h_{zi}$ постоянны по всей площади платы.

Перегрев поверхности каждой ФЯ будет складываться из собственного перегрева Δt_i , обусловленного действием только собственных источников тепла P_i , и наведенного Δt_{ni} в результате действия источников тепла всех соседних функциональных ячеек, кроме i -й.

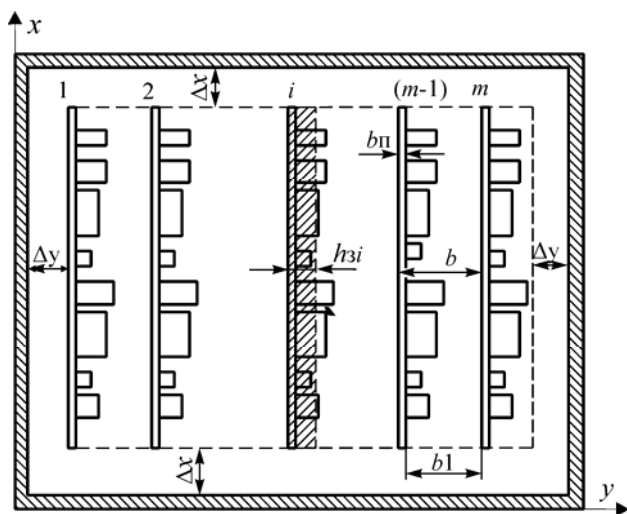


Рис. 4.4

Тепловые схемы блока для расчета собственного и наведенного перегревов приведены на рис. 4.5 и 4.6 соответственно. На схемах приняты следующие обозначения: t_k и Δt_k — среднеповерхностная температура и перегрев кожуха блока; t_i и Δt_i — среднеповерхностная температура и перегрев i -ой ячейки, R_{kc} — полное тепловое сопротивление от корпуса до окружающей среды; R_{60} — тепловое сопротивление воздушного промежутка между крайними платами и кожухом; R_6 — тепловое сопротивление между соседними платами; R_b — тепловое сопротивление воздушных промежутков между торцевой поверхностью ФЯ и кожухом.

Предполагается, что тепловой поток P_i , рассеиваемый нагретой зоной i -й ячейки распространяется как в левую, так и в правую сторону.

Обозначим $R_{iЛ}$ — полное тепловое сопротивление от i -й ФЯ до корпуса при распространении тепла влево по схеме рис.4.8, а $R_{iП}$ — полное тепловое сопротивление от i -й ФЯ до корпуса при распространении тепла вправо. Тепловое сопротивление $R_{\text{в}}$ i -й ФЯ учитываем в $R_{iП}$. Тогда тепловые сопротивления в соответствии со схемой рис.4.5 определяются по формулам:

$$R_{iЛ} = \begin{cases} R_{\text{б0}}, & i = 1 \\ R_{\text{б}} + \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{(i-1)Л}}{R_{\text{в}} + R_{(i-1)Л}}, & i = 2, 3, \dots, m \end{cases} \quad (4.4)$$

$$R_{iП} = \begin{cases} \frac{R_{\text{в}} \cdot (R_{\text{б0}} + R_{\text{б}})}{R_{\text{в}} + R_{\text{б0}} + R_{\text{б}}}, & i = m \\ \frac{R_{\text{в}} \cdot (R_{(i+1)П} + R_{\text{б}})}{R_{\text{в}} + R_{(i+1)П} + R_{\text{б}}}, & i = m-1, m-2, \dots, 1 \end{cases} \quad (4.5)$$

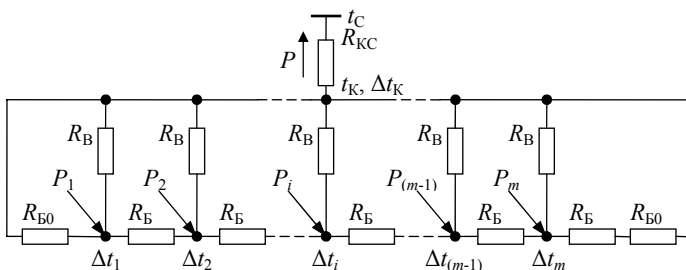


Рис. 4.5

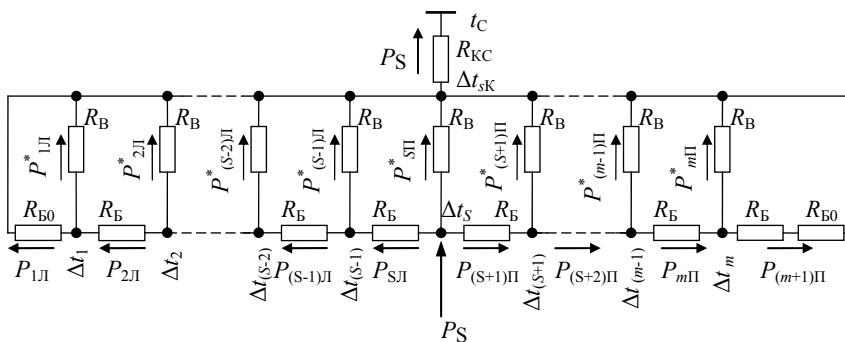


Рис. 4.6

При известных значениях $R_{iЛ}$ и $R_{iП}$ собственный перегрев поверхности i -й ФЯ

$$\Delta t_i = \Delta t_{iК} + P_i \frac{R_{iЛ} R_{iП}}{R_{iЛ} + R_{iП}}, \quad (4.6)$$

31. где $\Delta t_{iК} = P_i / R_{КC}$ - перегрев корпуса, обусловленный тепловым потоком только i -й ячейки.

При определении перегрева, наведенного на i -ю ячейку, исходят из предположения, что тепловой поток s -ой ячейки P_s (рис.4.6) распространяется в правую и левую от ячейки стороны. При этом часть теплового потока $P_{sЛ}$, идущая в левую сторону, обратно пропорциональна тепловому сопротивлению левой ветви $R_{sЛ}$. Составляющая теплового потока $P_{sП}$, уходящая в правую сторону, обратно пропорциональна тепловому сопротивлению правой ветви $R_{sП}$:

$$P_s = P_{sЛ} + P_{sП};$$

$$P_{sЛ} = \frac{\Delta t_s - \Delta t_{sК}}{R_{sЛ}}; \quad (4.7)$$

$$P_{sП} = \frac{\Delta t_s - \Delta t_{sК}}{R_{sП}}. \quad (4.8)$$

Входящие в (4.7) и (4.8) тепловые сопротивления $R_{sЛ}$ и $R_{sП}$ рассчитываются по формулам (4.4) и (4.5), собственный перегрев s -й ячейки Δt_s — по формуле (4.6).

Наведенные s -й ФЯ перегревы на ячейки, расположенные слева, определяют по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta t_{(s-1)} &= \Delta t_s - P_{sЛ} R_6; \\ P_{(s-1)Л}^* &= \frac{(\Delta t_{(s-1)} - \Delta t_{sК})}{R_B}; \quad P_{(s-1)Л} = P_{sЛ} - P_{(s-1)Л}^*; \\ \Delta t_{(s-2)} &= \Delta t_{(s-1)} - P_{(s-1)Л} R_6; \\ P_{(s-2)Л}^* &= \frac{(\Delta t_{(s-2)} - \Delta t_{sК})}{R_B}; \quad P_{(s-2)Л} = P_{(s-1)Л} - P_{(s-2)Л}^*; \end{aligned} \quad (4.9)$$

...

$$P_{2Л}^* = \frac{(\Delta t_2 - \Delta t_{sК})}{R_B}; \quad P_{2Л} = P_{3Л} - P_{2Л}^*;$$

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 - P_{2Л} R_6.$$

Перегревы, наведенные на ФЯ, расположенные справа от s -й, находят аналогично:

$$\begin{aligned} P_{sП}^* &= \frac{(\Delta t_s - \Delta t_{sК})}{R_B}; \quad P_{(s+1)П} = P_{sП} - P_{sП}^*; \\ \Delta t_{(s+1)} &= \Delta t_s - P_{(s+1)П} R_6; \\ P_{(s+1)П}^* &= \frac{(\Delta t_{(s+1)} - \Delta t_{sК})}{R_B}; \quad P_{(s+2)П} = P_{(s+1)П} - P_{(s+1)П}^*; \\ \Delta t_{(s+2)} &= \Delta t_{(s+1)} - P_{(s+2)П} R_6; \end{aligned} \quad (4.10)$$

...

$$P_{(m-1)\Pi}^* = \frac{(\Delta t_{(m-1)} - \Delta t_{sK})}{R_B}; P_{m\Pi} = P_{(m-1)\Pi} - P_{(m-1)\Pi}^*;$$

$$\Delta t_m = \Delta t_{(m-1)} - P_{m\Pi} R_{\delta}.$$

Полный перегрев нагретой зоны i -й платы в соответствии с принципом суперпозиции можно определить как

$$\Delta t_{zi} = \Delta t_i + \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq i}}^m \Delta t_{is}. \quad (4.11)$$

Структура тепловых сопротивлений $R_{\delta 0}$, R_B , R_{δ} определяется исходя из физики принятых выше процессов теплообмена.

С учетом лучевого и кондуктивного теплообмена между поверхностями нагретых зон и кожухом

$$R_{\delta 0} = \frac{\Delta y}{\lambda_B + \alpha_{\Pi} \cdot \Delta y} S_i;$$

$$R_B = \frac{\Delta x}{\lambda_B + \alpha_{\Pi} \cdot \Delta x} S_{iT},$$

32. где λ_B — коэффициент теплопроводности воздуха; α_{Π} — коэффициент теплопередачи излучением от нагретой зоны к кожуху; S_i — площадь боковой поверхности функциональной ячейки; S_{iT} — площадь торцевой поверхности функциональной ячейки.

Значение S_{iT} находят по соотношению $S_{iT} = 2(l_x + l_z)h_{zi}$, где l_x , l_z — геометрические размеры платы по осям x и y соответственно.

Тепловое сопротивление между соседними платами определяют как $R_{\delta} = b/(\lambda_y \cdot S_i)$, где λ_y — коэффициент теплопроводности нагретой зоны блока по оси y .

Определение λ_y производится по тепловой модели нагретой зоны в виде однородного анизотропного тела.

Наиболее важным этапом моделирования является выделение в конструкции элементной тепловой ячейки, которая должна отвечать следующим требованиям:

- иметь правильную геометрическую форму (желательно форму прямоугольного параллелепипеда);
- обеспечивать геометрическую воспроизводимость моделируемой конструкции формальным наращиванием числа ячеек по осям x , y и z ;
- допускать представление ячейки совокупностью элементарных однородных изотропных тел правильной геометрической формы, для которых достаточно просто рассчитываются тепловые проводимости (сопротивления).

Как правило, в элементарную тепловую ячейку включают один источник тепла (электрорадиоэлемент), часть несущей конструкции (основания печатной платы и т.д.) и воздушного объема вокруг источника тепла.

Процедура выбора элементарной тепловой ячейки иллюстрируется рис. 4.7 на примере фрагмента конструкции нагретой зоны блока РЭС (рис. 4.7,а) с вертикально расположенными платами 1, на которых регулярно размещены корпусированные микросхемы 2. Проекция элементарной тепловой ячейки на координатную плоскость xOy ограничена пунктирной линией и заштрихована. Объемное изображение элементарной тепловой ячейки дано на рис. 4.7,б. Здесь же показано разбиение ячейки на простейшие составляющие однородные изотропные тела. Как видно из рис. 4.7, все выделенные тела представляют собой прямоугольные параллелепипеды, для которых при известных коэффициентах теплопроводности материала λ и геометрических размерах тепловая проводимость может быть найдена по формуле

$$\sigma = \frac{\lambda \cdot S_{cp}}{l}, \quad (4.12)$$

33. где S_{cp} — площадь стенки параллелепипеда, перпендикулярной направлению теплового потока; l — длина стороны параллелепипеда, совпадающей с направлением теплового потока.

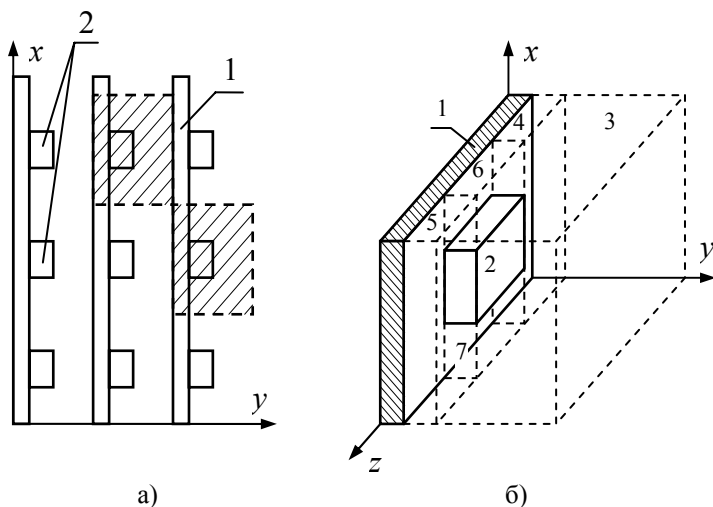


Рис. 4.7

После выделения элементарной тепловой ячейки и разбиения ее. На простейшие однородные изотропные тела на основе электротепловой аналогии составляются тепловые схемы, отражающие процесс переноса тепла в ячейке по направлениям осей координат. На рис.4.8 приведена тепловая схема ячейки, соответствующая передаче тепла вдоль оси x . Индексы при величинах тепловых проводимостей на схеме совпадают с нумерацией простейших однородных тел, на которые разбита элементарная тепловая ячейка (рис. 4.7,б). Тепловые схемы, отражающие передачу тепла в элементарной тепловой ячейке по направлениям y и z , составлены аналогично и приведены на рис. 4.9 и 4.10.

В результате расчета входящих в тепловые схемы тепловых проводимостей по формуле (4.12) и эквивалентного преобразования схем находят тепловые проводимости ячейки σ_{yx} , σ_{zy} , σ_{xz} по соответствующим направлениям координат.

Завершающим этапом теплового моделирования является расчет тепловых проводимостей нагретой зоны по направлениям x , y , z и эквивалентных коэффициентов теплопроводности. Если в общем случае нагретая зона имеет размеры l_x , l_y , l_z , в пределах которых укладывается соответственно k , m , n элементарных ячеек, то, как следует из рис. 4.7,а, тепловые проводимости нагретой зоны могут быть рассчитаны по формулам

(4.2, а эквивалентные коэффициенты теплопроводности λ_x , λ_y , λ_z – с помощью (4.12) после подстановки в формулы (4.3) значений σ_x , σ_y , σ_z и геометрических размеров нагретой зоны:

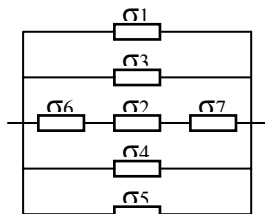


Рис. 4.8

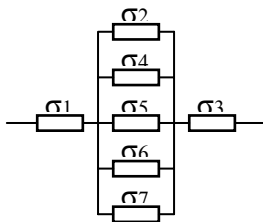


Рис. 4.9

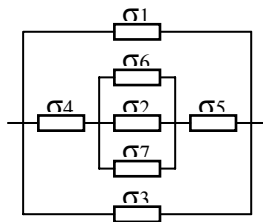


Рис. 4.10

Следует заметить, что в целях повышения точности тепловой модели при разбиении элементарной тепловой ячейки на простейшие однородные тела можно учесть тепловые проводимости выводов радиоэлементов, контактных площадок, переходных металлизированных отверстий и проводников на печатной плате. Однако это приведет к заметному усложнению тепловых схем ячеек и увеличению объема вычислений при преобразовании схем.

Содержание работы

1. Ознакомление с краткими теоретическими сведениями и методикой выполнения работы.
2. Составление по исходным данным тепловой модели микроэлектронного блока.
3. Расчет среднеповерхностной температуры корпуса, нагретой зоны и центральной функциональной ячейки для исходных значений параметров конструкции блока.
4. Расчет показателей теплового режима блока при изменении параметров конструкции.
5. Оценка влияния изменения параметров конструкции на показатели теплового режима блока.
6. Оформление результатов исследования.

Методика исследования теплового режима микроэлектронного блока

Исследование выполняется с помощью персональной ЭВМ. Исходными данными для проведения исследования являются: геометрические размеры кожуха L_x , L_y , L_z ; толщина стенки кожуха Δ_k ;

геометрические размеры нагретой зоны l_x, l_y, l_z ; число плат в блоке m ; тип микросхем, размещенных на плате; шаг размещения микросхем на плате t_x, t_z ; количество микросхем k вдоль стороны x и n вдоль стороны z ; коэффициент заполнения плат k_{iz} ; расстояние между соседними платами b_1 ; толщина печатной платы $b_{п}$; степень черноты наружной ε_k и внутренней $\varepsilon_{к.вн}$ поверхностей кожуха; степень черноты поверхности нагретой зоны ε_3 ; тепловой поток, рассеиваемый блоком P ; максимальная температура окружающей среды t_c ; давление окружающей среды H ; перечень варьируемых параметров конструкции блока.

По исходным данным составляется тепловая модель конструкции и производится расчет среднеповерхностной температуры кожуха t_k , среднеповерхностной температуры нагретой зоны t_3 и среднеповерхностных температур ФЯ t_{3i} с учетом собственного и наведенного перегрева. Затем указанным в задании изменяемым параметрам конструкции по очереди даются небольшие приращения и рассчитываются новые значения температур. После каждого расчета значения изменяемых параметров должны быть возвращены к первоначальным значениям. По результатам выполненных расчетов производится оценка влияния параметров конструкции на показатели теплового режима.

Порядок выполнения работы

1. Получить задание у преподавателя.
2. Заполнить табл. 4.1 исходными данными, необходимыми для расчета среднеповерхностной температуры кожуха и нагретой зоны.
3. Подготовить таблицу исходных данных для расчета среднеповерхностной температуры функциональных ячеек с учетом собственного и наведенного перегрева. Исходя из конструктивных параметров функциональной ячейки (l_x, l_z) , типа корпусов и числа микросхем, размещенных на плате вдоль осей x и z , выбрать элементарную тепловую ячейку, в соответствии с рис. 4.7 произвести ее разбиение на простейшие составляющие однородные тела, определить геометрические и теплофизические параметры простейших тел и занести их в табл. 4.2.
4. Подготовить и занести в табл. 4.3 данные для ввода по запросу ЭВМ при выполнении программы.

Необходимые для решения задачи теплофизические характеристики воздуха, коэффициенты теплообмена, параметры конструкций корпусов МС приведены в приложении 8 и на справочных стендах в лаборатории.

5. Подготовить таблицу для записи результатов расчета (табл.4.4).
6. Выполнить расчет теплового режима блока для исходных значений параметров.
7. Выполнить расчет теплового режима блока для каждого из измененных параметров.
8. Произвести оценку влияния параметров конструкции и среды на показатели теплового режима блока.
9. Оформить отчет по работе.

Таблица 4.1

№	Наименование параметра	Исходное значение	Измененное значение
1	Тепловой поток, рассеиваемый блоком, Вт		
2	Размеры кожуха блока, м L_x		
	L_y		
	L_z		
3	Размеры нагретой зоны, м l_x		
	l_y		
	l_z		
4	Степень черноты поверхности кожуха ε_k		
5	Степень черноты внутренней поверхности кожуха $\varepsilon_{к.вн}$		
6	Степень черноты поверхности нагретой зоны ε_3		
7	Давление окружающей среды, мм рт.ст.		
8	Нормальное давление окружающей среды, мм рт.ст.		
9	Максимальная температура окружающей среды t_c , °C		
10	Точность сходимости расчетов на предыдущем и последующем приближении, °C		

Таблица 4.2

Порядковый номер однородного тела	Геометрические размеры по осям, м			Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С)
	x	y	z	
1				
2				
3				
...				

Таблица 4.3

Наименование параметра	Исходное значение	Измененное значение
Данные, вводимые по запросу ЭВМ при выполнении программы:		
Коэффициент заполнения плат k_{iz} :	1	
	2	
	3	
	...	
Расстояние между соседними платами b_1 , м		
Толщина платы b_{II} , м		
Количество ФЯ в блоке m		
Толщина стенки кожуха Δ_k , м		
Количество элементарных тепловых ячеек, укладываемых в нагретой зоне по осям		
	y	
	z	
Тепловой поток, рассеиваемый i -й функциональной ячейкой P_i , Вт		
1 ячейка		
2 ячейка		
3 ячейка		
...		

Таблица 4.4

Наименование характеристики		Для исходных значений	Для измененных значений		
Наименование изменяемого параметра		---			
Исходное значение параметра		---			
Измененное значение параметра		---			
1	Среднеповерхностная температура кожуха, °С				
2	Среднеповерхностная температура нагретой зоны, °С				
3	Эквивалентные коэффициенты теплопроводности нагретой зоны, Вт/(м·К) λ_x λ_y λ_z				
4	Среднеповерхностная температура ФЯ: 1 2 3 ...				

Содержание отчета

1. Цель и задачи лабораторной работы.
2. Тепловая модель наследуемого блока.
3. Таблицы походных данных для расчета теплового режима блока.
4. Таблица результатов расчета теплового режима блока.
5. График распределения среднеповерхностных температур ФЯ блока.
6. Оценки влияния параметров конструкций и окружающей среды на показатели теплового режима блока.
7. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Особенности конструкций блоков МЭА кассетного типа.
2. Какие методы используются при тепловом моделировании конструкций МЭА?
3. К каким конструкциям применим метод однородного анизотропного тела?

4. Какими методами производится расчет тепловых режимов?
5. Назовите основные этапы составления тепловой модели блока кассетного типа.0
6. Какие способы передачи тепла учитывает тепловая модель блока кассетного типа?
7. Как производится оценка влияния параметров конструкции и окружающей среды на показатели теплового режима?

Библиографический список

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Высшая школа, 1984. — С. 11-12, 154-159, 172-176.
2. Глушицкий П.В. Расчет теплообмена в бортовой аппаратуре летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1976. — С. 75-80.

Работа 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РАЗУКРУПНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ РЭС НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

Цель работы — эскизная проработка вариантов разукрупнения конструкции пакета функциональных ячеек; расчет его массы, объема, теплонапряженности, вибропрочности, плотности упаковки; выявление зависимостей этих параметров от степени планарности конструкции пакета и выбор варианта, удовлетворяющего требованиям ТЗ.

Общие сведения

Главными задачами отработки конструкций РЭС являются выбор метода конструирования и элементной базы и на его основе разбиение электрических схем (структурной, функциональной и принципиальной) на уровни разукрупнения всей конструкции устройства. Для РЭС 3-го поколения такими уровнями, начиная с низшего (нулевого), будут корпусированная микросхема (МС), функциональная ячейка (ФЯ), пакет ФЯ, в дальнейшем превращаемый либо в моноблок со своим индивидуальным корпусом, либо в панель (или ее часть) многоблочной стоечной конструкции. Каждый из них характеризуется специфичными методами проектирования и изготовления. Наиболее трудоемок процесс проектирования и изготовления ФЯ. Электрическая структурная схема всего изделия представляет собой совокупность функционально законченных устройств, которые разукрупняются в блоки. Блоки разукрупняются в функциональные ячейки и их пакеты, объединяющие части функциональных или принципиальных схем устройств РЭС на уровне субблоков, таких, как процессор, ОЗУ, ПЗУ, УВВ и др. Широко применяемый в настоящее время модульный метод конструирования предполагает использование унифицированных и типизированных базовых несущих конструкций (корпусов, печатных плат, соединителей и т.п.). Поэтому разбиение электрических схем на конструктивные уровни разукрупнения должно базироваться на ряде общих принципов, главными из которых являются: функциональная и конструктивная законченность конструктивно-технологических единиц (КТЕ), типизация и унификация КТЕ, минимизация числа их внешних выводов, конструктивная, технологическая, тепловая и электромагнитная совместимость.

Вариант конструктивного уровня разукрупнения должен выбираться с учетом обеспечения требований ТЗ на изделие, т.е. обеспечения ограничений на массогабаритные показатели, нормального теплового

режима, вибропрочности, соответствия достигнутому уровню плотности упаковки и т.д.

Принципы конструирования и требования ТЗ могут вступать между собой в противоречия. Например, соблюдение требований типизации размеров печатных плат и функциональной законченности ФЯ может привести к неполному заполнению площади платы корпусами МС; снижение теплонапряженности конструкции пакета ФЯ требует увеличения поверхности теплоотдачи и, как следствие, степени ее планарности (плоскостности), что снижает вибропрочность; значительное уменьшение линейных размеров печатных плат для повышения вибропрочности увеличивает число соединителей в разъемной конструкции пакета ФЯ, а следовательно, общую массу и объем, ухудшает плотность упаковки; на малые по размерам платы невозможно установить унифицированные соединители с достаточно большим количеством контактов из-за их длины, превышающей размеры платы, и т.п.

Таким образом, рациональное разрешение этих противоречий при выборе вариантов конструктивного разукрупнения должно основываться не только на интуиции конструктора, но и на математическом анализе и синтезе конструкции с последующей оптимизацией при использовании современных доступных средств вычислительной техники. Одной из важных задач такого анализа является исследование влияния формы пакета ФЯ на основные показатели конструкции.

Форма конструкций РЭС обычно бывает прямоугольной и во многом определяется рядом линейных размеров печатной платы L_x , L_y (рис.5.1). Рекомендуемые размеры заготовок печатных плат, компоновочная схема ФЯ разъемного типа и формулы для определения размеров пакета ячеек и количества ФЯ в пакете приведены в описании работы 2 (рис. 2.4, формулы с (2.5) по (2.19)). Масса пакета из $N_{\text{фя}}$ ячеек оценивается как

$$m_{\text{п}} = (m_{\text{ис}} \cdot N_{\text{я}} + m_{\text{с}} + m_{\text{пп}}) \cdot N_{\text{фя}}, \quad (5.1)$$

34. где $m_{\text{ис}}$ - масса корпуса МС; $m_{\text{с}}$ — масса соединителя; $m_{\text{пп}}$ — масса печатной платы, определяемая через объем и плотность ее материала. Данные для определения всех указанных величин приведены в приложениях.

Объем пакета ФЯ примем

$$V_{\text{п}} = L_x \cdot L_y \cdot l_{\text{п}}. \quad (5.2)$$

Порядок определения таких показателей качества конструкции, как коэффициент дезинтеграции по массе $q_{\text{м}}$, коэффициент дезинтеграции по

объему q_v , плотность упаковки микросхем γ_{MC} , характеризующих компактность и материалоемкость конструкции, подробно изложен в теоретической части работы 1. В данном случае под полезными массами и объемами понимают соответственно массы и установочные объемы MC.

Другие не менее важные показатели качества — это вибропрочность и теплонапряженность, которые определяются требованиями ТЗ на эксплуатацию. В требованиях ТЗ на вибропрочность указываются диапазон частот внешних вибрационных воздействий $f_{\min} \dots f_{\max}$ и допустимая перегрузка $n_{ТЗ}$ в этом диапазоне. При совпадении частоты внешних колебаний с частотой собственных колебаний конструкции возникает явление резонанса, при котором амплитуда A колебаний элементов конструкции возрастает в μ раз (μ - коэффициент динамичности конструкции). Это может привести к поломке выводов MC, разрушению паяных соединений, обрыву печатных проводников, поломке несущих конструкций и т.п. В области высоких частот ($f \geq 0,5 \dots 1$ кГц) наиболее опасными являются знакопеременные усталостные напряжения в конструкции, поэтому здесь накладываются ограничения на виброскорость $V_{\text{доп}}$. В технических условиях на микросхемы оговаривается ограничение на вибрационную перегрузку $n_{\text{доп}}$ (см. приложение 4). Критерий вибропрочности конструкции обсуждался в работе 3 (выражения (3.1), (3.2), (3.3)), там же приведен порядок расчета резонансных частот ячеек на печатных платах (формулы (3.4)...(3.7) и табл. 3.1).

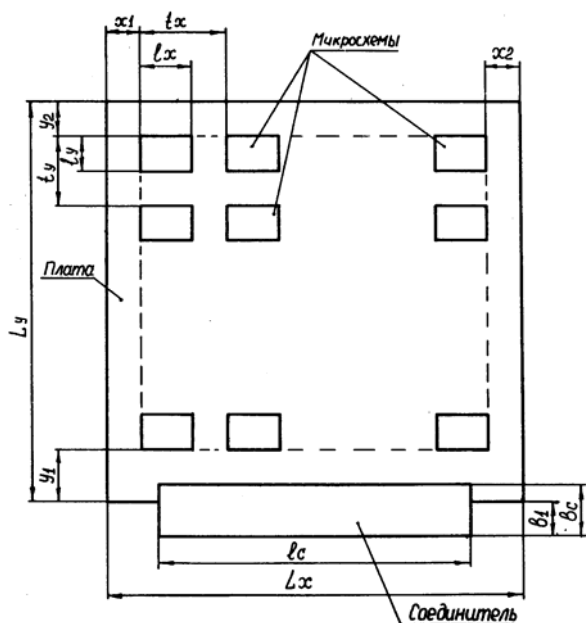


Рис. 5.1

При известных ограничениях на допустимую амплитуду колебаний элементов конструкции $A_{\text{доп}}$, виброскорость $V_{\text{доп}}$ и виброперегрузку $n_{\text{доп}}$ с учетом возможного резонанса на частоте f_0 и в соответствии с (3.1), (3.2) внешняя вибрация не должна превышать каждую из трех величин:

$$n_A \leq \frac{(2\pi f_0)^2 A_{\text{доп}}}{\mu g}; \quad n_V \leq \frac{(2\pi f_0) V_{\text{доп}}}{\mu g}; \quad n_a \leq \frac{n_{\text{доп}}}{\mu}. \quad (5.3)$$

Если $n_{\text{доп.min}} = \min\{n_A, n_V, n_a\} \geq n_{\text{ТЗ}}$, то аппаратура вибропрочна.

Теплонапряженность конструкции определяет ее тепловой режим. Она выражается поверхностной (Вт/м^2) или объемной (Вт/м^3) плотностью теплового потока. В данной работе будем пользоваться первой характеристикой и обозначим ее $P_{\text{уд}} = P_{\text{расс}}/S_{\text{п}}$. Для микроэлектронных блоков РЭС с естественным воздушным охлаждением допустимый перегрев

корпуса не более 20 °С в диапазоне температур окружающей среды от 20 до 60 °С обеспечивается при плотности теплового потока не более 200 Вт/м² [2, с. 19]. Рассеиваемую мощность цифровых РЭС можно принять

$$P_{\text{расс}} = (0,8 \dots 1,0) P_0, \quad (5.4)$$

где $P_0 = P_{\text{ис}} \cdot N_T$ – потребляемая блоком (всеми микросхемами) мощность.

Для обеспечения нормального теплового режима пакета ФЯ необходимо соблюдение условия $P_{\text{расс}}/S_{\text{п}} \leq P_{\text{уд.доп}}$. Форма конструкции (в данном случае пакета ФЯ) оказывает существенное влияние как на критерий вибропрочности, так и на критерий теплонапряженности. В работе [3] показано это влияние на параметры блоков в виде математического и графического представлений, при этом введено понятие коэффициента планарности конструкции

$$k_2 = a_0/h', \quad (5.5)$$

35. где a_0 - сторона эквивалентного куба, т.е. куба, по объему равного пакету ячеек; h' - высота конструкции.

В нашем случае $a_0 = \sqrt[3]{V_{\text{п}}}$, $h' = H_{\text{п}}$. Площадь теплоотдачи аналога кубической формы $S_{\text{к}} = 6a_0^2$, а площадь теплоотдачи конструкции пакета прямоугольной формы, как показано в [3] :

$$S_{\text{п}} = \frac{1}{3} S_{\text{к}} \left(k_2 + \frac{2}{\sqrt{k_2}} \right). \quad (5.6)$$

Из выражения (5.6) следует, что при отклонении коэффициента планарности от единицы как в большую, так и меньшую сторону, т.е. отходе от куба, площадь теплоотдачи возрастает, а следовательно, теплонапряженность конструкции уменьшается.

При увеличении коэффициента планарности площадь ФЯ возрастает, а следовательно, увеличивается и большая ее сторона (см. формулу (3.4)). Поскольку при увеличении коэффициента планарности материал, толщина печатной платы и вид закрепления пластины в большинстве случаев не меняются, можно утверждать, что изменение собственной частоты пакета относительно пакета кубической формы обратно пропорционально коэффициенту планарности [3]. Изменения же собственной частоты будут влиять на уровень допустимых перегрузок либо в прямой пропорции, либо в

квадрате (см. формулы (3.1) и (3.2)). При сильном "расплющивании" куба в пластину вибропрочность ФЯ резко падает,

Таким образом, с увеличением степени планарности конструкции тепловая напряженность уменьшается, а допустимая величина перегрузки при вибрациях падает. Поэтому для обеспечения обоих условий по ТЗ необходимо определить допустимые границы изменения коэффициента планарности, т.е. выявлена такая форма конструкции, которая удовлетворяла бы обоим критериям одновременно. При этом немаловажную роль играет величина плотности упаковки. Поэтому если существуют более одного варианта допустимого коэффициента планарности, то надо выбрать тот, где плотность упаковки выше.

Содержание работы

1. Ознакомиться с общими сведениями, рекомендуемой литературой и порядком выполнения работы, правилами работы с персональной ЭВМ.

2. Подобрать необходимый справочный материал для расчетов по заданным исходным данным.

3. Рассчитать для заданных вариантов размеров печатных плат объем и удельную мощность рассеивания пакета ФЯ.

4. Рассчитать массы и показатели вибропрочности (резонансные частоты и допустимые перегрузки) для этих вариантов.

5. Рассчитать плотность упаковки и коэффициенты дезинтеграции масс и объемов заданных вариантов.

6. Построить графики зависимости $P_{уд}$, $n_{доп. min}$, q_M , q_V от коэффициента планарности k_2 , выявить оптимальное значение коэффициента планарности и выбрать вариант конструкции пакета ФЯ, удовлетворяющего требованиям ТЗ.

7. Разработать эскизы сборочного чертежа ФЯ и пакета ячеек выбранного варианта конструкций.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя задание на конструирование, содержащее 5...13 вариантов типоразмеров печатных плат, определяющих варианты разукрупнения конструкции пакета ФЯ; серию и общее количество микросхем в пакете; среднее количество задействованных выводов микросхем; допустимую удельную мощность рассеивания; допустимую амплитуду и виброскорость для элементов, установленных на платах; количество внешних контактов ячеек; способ закрепления плат в пакете; толщину печатных плат. Дальнейшие расчеты выполнять с применением персональной ЭВМ.

2. Определить среднюю мощность потребления МС $P_{\text{мс}}$ (использовать приложение 4).

3. Подобрать тип соединителя в соответствии с требуемым числом контактов (приложение 6), найти его габариты L_c, h_c .

4. Определить по приложениям 3,4 тип, габаритные размеры корпуса микросхем l_x, l_y и шаги установки микросхем на плате t_x, t_y .

5. По приложениям 1 и 2 установить размеры краевых полей x_1, x_2, y_1, y_2 .

6. Вычислить мощность, рассеиваемую пакетом ячеек, по (5.4) (приложение 4).

7. Для каждого типоразмера платы рассчитать число микросхем на плате по формулам (2.17), (2.18), общее количество ячеек в пакете по формуле (2.19).

8. Определить габариты ячейки и пакета ячеек $L_x, L_y, H_y, l_{\text{п}}$ по формулам (2.7), (2.8), массу и объем пакета ячеек, коэффициенты дезинтеграции массы и объема - по формулам (5.1), (5.2), (1.3), плотность упаковки - по формуле (1.2). Длину и ширину пакета ячеек считать равной длине и ширине печатной платы функциональной ячейки.

9. Рассчитать коэффициенты планарности каждого варианта конструкции пакета ячеек (5.5).

10. Вычислить площадь теплоотдачи пакета ячеек, имеющего форму параллелепипеда, и поверхностную плотность теплового $P_{\text{уд}} = P_{\text{расс}} / S_{\text{п}}$.

11. Рассчитать по приведенной методике значение собственной частоты ячеек f_0 и значения допустимых перегрузок по формулам (5.3).

12. Занести рассчитанные значения в табл. 5.1.

13. Повторить пп. 7...12 для других типоразмеров плат.

14. Построить графики зависимости $P_{\text{уд}}, f_0, n_{\text{доп. min}}, q_M, q_V, \gamma$ от коэффициента планарности k_2 .

15. По графику определить диапазон значений k_2 , удовлетворяющих одновременно критериям тепловой напряженности и вибропрочности, выбрать оптимальное значение k_2 по критерию плотности упаковки; определить соответствующий этому значению типоразмер печатной платы

16. Выполнить эскиз конструкции ФЯ и пакета ячеек.

17. Оформить отчет по работе и представить его преподавателю для защиты.

Содержание отчета

1. Техническое задание на конструирование пакета ячеек.
2. Расчеты конструктивных параметров и показателей качества вариантов конструкции на платах различных типоразмеров; результаты расчетов, сведенные в таблицу по форме табл. 5.1.
3. Графики зависимостей величин $P_{уд}$, f_0 , $\rho_{доп.min}$, q_M , q_V , γ от коэффициента планарности.
4. Эскизы конструкций ФЯ и пакета ячеек с указанием размеров, выполненные с соблюдением требований ЕСКД на листах миллиметровой бумаги или ватмана стандартного формата.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие требования должны учитываться при выборе оптимального варианта конструктивного разукрупнения?
2. Как определяется вибропрочность ячеек?
3. Дайте определение показателей качества конструкции: коэффициента дезинтеграции, плотности упаковки.
4. От чего зависит допустимая рассеиваемая мощность конструкции?
5. Как форма пакета ячеек влияет на вибропрочность и теплонапряженность конструкции?
6. Как рассчитываются массогабаритные характеристики пакета функциональных ячеек?

Таблица 5.1

Номер варианта	1	2	3	4	...		
Размеры платы, мм: L_x							
L_y							
Количество ячеек в пакете, шт.							
Количество МС в ряду, шт.							
Количество рядов МС, шт.							
Объем пакета ячеек, дм ³							
Масса пакета ячеек, г							
Коэфф. дезинтеграции: q_m							
q_V							
Плотность упаковки, эл./см ³							
Коэффициент планарности							
Резонансная частота, Гц							
Допустимые перегрузки: n_A							
n_V							
n_a							
Поверхностная плотность теплового потока, Вт/дм ²							

Библиографический список

1. Конструирование аппаратуры на БИС и СБИС /Под ред. Б.Ф. Высоцкого и В.Н. Сretenского. — М.: Радио и связь, 1989.
2. Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Конструирование МЭА» / В.Ф. Борисов, А.С. Назаров, А.А. Мухин и др. — М.: МАИ, 1984.
3. Конструирование и расчет БГИС, микросборок и аппаратуры на их основе / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. — М.: Радио и связь, 1981.
4. Лярский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители: Справочник. — М.: Радио и связь, 1988.
5. Парфенов Е.М. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1989.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

– Значения краевых полей платы

Тип корпуса МС	Минимальное краевое поле x_1, x_2 при толщине печатной платы	
	до 1,0 мм	до 2,0 мм
Корпуса 1 типа (кроме 155.36)	5,0	5,0
Корпус 155.36	7,5	7,5
Корпуса 2 типа (201.14 и др.)	2,5	5,0
Корпуса 3 типа (301.8 и др.)	2,5	5,0
Корпуса 4 типа (401.14 и др.)	2,5	5,0

Приложение 2

– Значение краевого поля платы под установку соединителя

Тип соединителя	Минимальное краевое поле y_1 , мм, для корпусов микросхем				
	1 типа (кроме 155.36)	155.36	2 типа	3 типа	4 типа
ГРПМШ-1	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
СНП 34 ГРПП72	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
Кабель печатный	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
Кабель тканый	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
Жгут объемный	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0

– Параметры и шаг установки корпусов МС

Тип корпуса	Масса , г	Габариты корпуса, мм			Ср. кол. задейство- ванных выводов	Шаги установки, мм	
		l_x	l_y	h_m		t_x	t_y
151.15-4	4,5	19,5	14,5	5,0	8	22,5	15,0
					9	22,5	17,5
					11	25,0	17,5
					12	25,0	20,0
					14	27,5	20,0
					15	27,5	22,0
155.36-1	8,5	29,5	15,5	5, 0	25	40,0	30,0
					28	42,5	32,5
					34	45,0	35,0
					36	47,5	37,5
201.14-1	2,4	19,5	7,5	4,0	8	22,5	12,5
					9	22,5	15,0
					11	25,0	15,0
					12	25,0	17,5
					14	27,5	17,5
238.16-2	2,8	21,5	7,5	4,0	8	25,0	12,5
					9	25,0	15,0
					11	27,5	15,0
					12	27,5	17,5
					14	30,0	17,5
					16	30,0	20,0
2103.16-5	2,5	19,3	7,5	3,7	8	25,0	12,5
					9	25,0	15,0
					11	27,5	15,0
					12	27,5	17,5
					14	30,0	17,5
					16	30,0	20,0
401.14-2	1,0	10,0	13,0	2,3	10	15,0	12,5
					11	17,5	12,5
					12	17,5	15,0
					14	20,0	15,0

Приложение 4

– Усредненные параметры серий МС

Серия МС	Тип логики	P_0 мВт	Тип корпуса	Число элементов в корпусе	Допустимые параметры вибрации	
					Диапазон частот, Гц	Перегрузка n
K130	ТТЛ	150	401.14-2	46	5...5000	40
K131	ТТЛ	260	201.14-1	46	5...600	5
121	ДТЛ	70	301.12-2	42	5...5000	40
K218	ДТЛ	28	151.15-1	30	1...600	10
K500	ЭСЛ	290	238.16-2	140	1...600	10
240	ДТЛ	420	155.36-1	62	5...3000	15
133	ТТЛ	160	401.14-1	65	5...5000	40
K565	n-МДП	190	2103.16-5	10^5	1...2000	100

Приложение 5

– Характеристики конструкционных материалов

Материал	Модуль упругости $E \cdot 10^{-9}$, Н/м ²	Коэффициент Пуассона ε	Плотность ρ , кг/м ³
Сталь Ст10	203	0,35	7850
Сталь Ст45	203	0,35	7850
Сталь 4Х13	193	0,3	7750
Сталь 30ХГСА	198	0,3	7850
Алюминиевые сплавы:			
АД-1	96	0,31	2710
В-95	96	0,33	2850
Магниеые сплавы	40,7	0,34	1790
Латунь Л-63	103	0,39	8430
Титановые сплавы (ВТ1-0)	113	0,33	4520
Гетинакс	20,6	—	1400
Текстолит ПТК	9,8	—	1400
Стеклотекстолиты:			
СТЭф	33	0,279	2470
НФД	34,5	0,238	2320

– Основные параметры соединителей

Тип соединителя	Количество контактов	Масса, г	Размеры, мм	
			L_c	h_c
ГРПМШ-1-3 1-ШУ-В	31	33,4	78	9
ГРПМШ-1-4 5-ШУ-В	45	41	102	9
ГРПМШ-1-61-ШУ-В	61	49,6	130	9
ГРПМШ-1-90-ШУ-В	90	70,4	130	12
ГРПМШ-1-122-ШУ-В	122	96,1	130	15
СНПЗ4-46/132х9,4Р	46	40	132	9,4
СНПЗ4-69/132х9,4Р	69	42	132	9,4
СНПЗ4-90/132х9,4Р	90	45	132	9,4
СНПЗ4-113/132х9,4Р	113	48	132	9,4
СНПЗ4-135/132х9,4Р	135	50	132	9,4
СНПЗ4-20/44х9,4Р	20	11	27	9,4
СНПЗ4-30/44х9,4Р	30	12	27	9,4
ГРПП-72Ш-В	28	63	155	9,1
Кабель гибкий печатный с колодкой крепления	От 12	6	24,7	5,2
	до 20	12	47,5	6,0
Кабель тканый опрессованный с колодкой крепления	От 15	6	25,4	5,2
	до 20	12	47,5	6,0

– Параметры вибрационных воздействий

Объект установки, степень жесткости	Диапазон частот вибраций, Гц	Максимальная перегрузка $n_{ТЗ}$
Стационарная (в закрытых помещениях)	10...30	2
Возимая:		
на автотранспорте	4...80	4
на гусеничном ходу	3...400	2
железнодорожным транспортом	2...400	2
Судовая:		
крупные суда	4...100	5
быстроходные суда	5...1500	6
Бортовая (самолет)	5...2000	20
Бортовая (ракетная)	1,5...2500	20

СОДЕРЖАНИЕ

Работа 1. Анализ конструкции функциональной ячейки блока РЭС	3
Работа 2. Синтез конструкции блока цифрового микроэлектронного устройства на ранних стадиях разработки	10
Работа 3. Оптимизация конструкции функциональной ячейки при ограничениях на вибропрочность	28
Работа 4. Исследование теплового режима микроэлектронного блока кассетной конструкции	43
Работа 5. Исследование влияния функционального разукрупнения конструкции РЭС на основные показатели качества	65
Приложения	74

Тем.план 2006, поз.10

Борисов Валентин Федорович
Каширин Юрий Валентинович
Митюшин Михаил Федорович
Мухин Андрей Александрович
Ушкар Михаил Николаевич
Чайка Юрий Владимирович

КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЭС

Редактор *Р.Н. Фурсова*
Компьютерная верстка *Ю.В. Чайка*

Подписано в печать 26.10.06
Бум. офсетная. Формат 60х84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 4,18. Уч-изд. л. 4,50. Тираж 300 экз.
Зак. 3503/2023. С. 520.

Отпечатано с готового оригинал-макета

Издательство МАИ
«МАИ», Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3 125993
Типография Издательства МАИ
«МАИ», Волоколамское ш., д. 4, Москва, А-80, ГСП-3 125993

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК