

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Проектирование РЭС

Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию

Утверждено
на заседании редсовета
14 сентября 2006 г.

Москва
Издательство МАИ
2007

УДК: 621.396.6 (075)

Авторы

В.Ф. Борисов, М.Ф. Митюшин, А.А. Мухин, А.Н. Шишков, Ю.В. Чайка

Проектирование РЭС. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию./ В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, М.Ф. Митюшин, А.Н. Шишков, Ю.В. Чайка. — М.: Изд-во МАИ, 2007. —95 с.: ил.

Изложены цель, задачи, тематика и содержание курсовых проектов по дисциплине "Основы проектирования РЭС" и дипломных проектов, определены типовые проектно-конструкторские задачи и даны рекомендации по их решению. Приведены примеры решения отдельных проектно-конструкторских задач и необходимые справочные приложения.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Проектирование и технология РЭС» в качестве пособия при выполнении курсовых и дипломных проектов.

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

А.Л. Цеханович

ISBN

© Московский авиационный институт
(государственный технический университет), 2006

1. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС»

1.1 Цель и задачи курсового проектирования

Курсовое проектирование по дисциплине "Основы проектирования РЭС" представляет собой заключительный этап изучения конструкторских дисциплин и ставит своей целью подготовить студентов к самостоятельному решению сложных проектно-конструкторских задач при выполнении дипломного проекта и последующей работы на предприятиях промышленности.

Задачами курсового проектирования являются:

- систематизация, расширение и углубление теоретических знаний по дисциплине;
- развитие и закрепление практических навыков конструкторской разработки радиоэлектронных средств (РЭС), выполнения инженерных расчетов параметров конструкций с использованием современных информационных технологий;
- приобретение опыта работы с нормативно-технической документацией, справочной и технической литературой.

1.2 Тематика курсовых проектов

В курсовом проекте студенты разрабатывают конструкцию бортового или наземного РЭС различного функционального назначения. Содержание проектно-конструкторских задач курсового проекта должно соответствовать стадиям эскизного и технического проектирования. По конструктивной сложности разрабатываемое РЭС должно относиться к изделиям второго или более высоких структурных уровней.

В целях повышения эффективности учебного процесса и обеспечения практического выхода проектирования предпочтение отдается реальной тематике проектов. Задания на такие проекты целесообразно формировать в рамках хозяйственных и госбюджетных НИР, а также на базе кафедральных планов обеспечения учебного процесса и оказания практической помощи предприятиям промышленности. Исходные данные на проектирование выдают студентам в виде задания на курсовой проект, которое составляет руководитель проекта по форме приложения 1. В задании указывают назначение проектируемого изделия, требования к функциональным и материальным показателям конструкции и условиям эксплуатации. Приложением к заданию на курсовой проект является схема электрическая принципиальная с кратким описанием принципа работы изделия.

Курсовое проектирование может выполняться по индивидуальным или групповым заданиям. Индивидуальное задание предполагает разработку ос-

нового комплекта конструкторской документации на изделие и один из узлов. Задание для группы студентов, как правило, относится к достаточно сложному изделию. Перед группой обычно ставится задача более глубокой проработки изделия с выдачей полного комплекта конструкторской документации. Количество студентов в группе определяет руководитель курсового проекта, вопросы организационной структуры группы решают сами студенты.

Задание на курсовой проект служит основой для составления технического задания (ТЗ) на разработку изделия в соответствии с ГОСТ 15.001-73. В ТЗ указывают основные технические требования к разрабатываемому изделию по назначению, объекту установки, способу связи с другими устройствами; основные требования по форме, габаритам и массе изделия; условия эксплуатации в части климатических и механических воздействий; условия транспортировки и другие требования. Структура ТЗ согласно ГОСТ 15.001-73 приведена в приложении 2.

Техническое задание на разработку изделия составляется студентами с помощью руководителя проекта. При выполнении курсового проекта по групповому заданию наряду с разработкой ТЗ на изделие могут разрабатываться частные технические задания (ЧТЗ) на отдельные узлы. С помощью ЧТЗ оформляются проектно-конструкторские задачи каждого студента, участвующего в проектировании изделия.

1.3 Содержание и объем курсового проекта

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка (ПЗ) объемом 25...30 страниц формата А4 должна содержать:

- задание на курсовой проект;
- введение;
- техническое задание на разработку конструкции;
- анализ технического задания;
- конструкторский анализ схемы электрической принципиальной (установление соответствия схемотехнического построения изделия требованиям ТЗ к конструкции, разукрупнение схемы, обоснование выбора или конструкторско-технологический анализ элементной базы);
- разработку конструкции РЭС (выбор метода конструирования, выбор радиотехнических и конструкционных материалов, обоснование структуры внутренних связей и компоновочной схемы изделия, описание конструкции);
- расчет показателей качества конструкции (теплового режима, вибропрочности, массо-габаритных характеристик);
- заключение;

- библиографию;
- содержание.

При выполнении курсовых проектов по реальной тематике не исключаются задания, согласно которым проектирование начинается с разработки электрических схем (структурной, функциональной и принципиальной). В этом случае в расчетно-пояснительной записке раздел "Конструкторский анализ схемы электрической принципиальной" заменяется разделом "Обоснование схемотехнического построения конструкции", в котором излагаются следующие вопросы: обоснование схемы электрической структурной, разукрупнение схемы на конструктивно-технологические единицы (КТЕ), выбор элементной базы и разработка электрических функциональных и принципиальных схем КТЕ.

Графическая часть проекта представляет собой комплект конструкторских документов на разрабатываемое РЭС, выполненных на листах формата А4. Содержание графической части определяет руководитель проекта. Примерное содержание графической части: схема электрическая принципиальная, чертеж общего вида или сборочный чертеж изделия, сборочный чертеж функционального узла (функциональной ячейки), чертежи деталей. Расчетно-пояснительная записка и графическая часть проекта должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ ЕСКД.

1.4 Порядок выполнения курсового проекта

Работу над проектом следует начинать с внимательной проработки настоящих методических указаний, подбора литературы в соответствии с рекомендованным библиографическим списком и изучения теоретических вопросов, связанных с решением поставленных в проекте задач. Рекомендуется следующий порядок работы над проектом:

- разработка ТЗ на основе задания на курсовой проект;
- анализ ТЗ, составление обзора литературных источников и принятие исходных конструкторско-технологических решений;
- выполнение конструкторско-технологического анализа схемы электрической принципиальной;
- разработка конструкции РЭС;
- выполнение расчетов, подтверждающих соответствие основных параметров конструкции требованиям ТЗ;
- оформление расчетно-пояснительной записки и графической части проекта;
- подготовка к защите и защита курсового проекта.

Студенты, исходя из отведенного времени и сроков окончания проектирования, составляют график работы над проектом, согласованный с руководителем проекта.

2. ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

2.1 Цель и задачи дипломного проектирования

Целью дипломного проектирования по специальности «Проектирование и технология РЭС» является:

- систематизация, закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами при обучении в институте, применение этих знаний при решении исследовательских, проектно-конструкторских и технологических задач в пределах темы дипломного проекта;
- приобретение опыта постановки экспериментальных и теоретических исследований при решении инженерных задач с использованием информационных технологий;
- развитие навыков самостоятельной работы по конструкторско-технологическому проектированию РЭС.

Дипломный проект – выпускная квалификационная работа студента, на основе которой Государственная аттестационная комиссия решает вопрос о присвоении студенту квалификации инженера по специальности «Проектирование и технология РЭС». Дипломные проекты по данной специальности разделяются на три вида: конструкторский (ДПК), технологический (ДПТ) и исследовательский (ДПИ).

2.2 Тематика, содержание и объем конструкторских дипломных проектов

В конструкторских дипломных проектах студенты разрабатывают конструкции и технологию изготовления наземных и бортовых РЭС летательных аппаратов на уровне блоков или устройств или решают задачи совершенствования конструкций серийно выпускаемых РЭС. Содержание проектно-конструкторских и технологических задач должно соответствовать стадиям эскизного или технического проектирования.

Объектами конструкторско-технологической разработки в ДПК могут служить: радиопередатчики, радиоприемники, блоки радиолокационных станций и навигационных устройств; блоки устройств обработки и отображения информации; антенные и СВЧ-устройства; устройства преобразования сигналов и телеметрии; блоки питания; устройства автоматического контроля радиоэлектронных систем, контрольно-измерительной аппаратуры и т.п.

Исходные данные к проекту оформляются в виде задания по подготовке дипломного проекта. К исходным данным относятся и электрические схемы, которые в процессе проектирования подлежат конструкторско-технологическому анализу или обоснованию. Однако это общее положение не исключает проекты, в которых разработка конструкции начинается с выбора схмотехнических решений.

Проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части. Расчетно-пояснительная записка (ПЗ) объемом 80...100 страниц текста должна содержать:

- аннотацию;
- задание по подготовке дипломного проекта;
- введение;
- техническое задание на разработку изделия;
- анализ технического задания (обзор литературных источников по основным проблемам создания конструкции и принятие исходных инженерных решений);
 - конструкторский анализ электрических схем изделия (установление соответствия электрических схем и элементной базы требованиям к конструкции, разукрупнение электрических схем, выполнение поверочных электрических расчетов);
 - разработку конструкции изделия (выбор способа охлаждения, конструкционных и радиотехнических материалов, компоновочной схемы изделия, выполнение компоновки и описание конструкции);
 - расчет параметров конструкции (массогабаритных характеристик, теплового режима, устойчивости к механическим воздействиям, показателей электромагнитной совместимости, надежности, функциональной точности и др.);
 - результаты экспериментального исследования макетных образцов разрабатываемого изделия;
 - разработку технологии изготовления изделия;
 - оценку стоимости разработки, себестоимости производства и экономической эффективности изделия, организации опытно-конструкторских работ и др.;
 - разработку мероприятий по охране труда и технике безопасности при производстве и эксплуатации изделия.
 - заключение;
 - приложения;
 - список использованных источников;
 - содержание.

Задания по экономике и охране труда выдают консультанты соответствующих кафедр.

Примерное распределение объема расчетно-пояснительной записки: проектно-конструкторские задачи – 64%, вопросы разработки технологии – 25%, экономики – 9%, охраны труда – 2%.

Графическая часть конструкторского дипломного проекта представляет собой комплект схемной, конструкторской и технологической документации. Объем графической части 12...14 листов формата А1. Примерное со-

держание графической части: схема электрическая структурная (Э1) или функциональная (Э2) (1л); схема электрическая принципиальная (Э3) (1...2 л.); чертеж общего вида или сборочный чертеж изделия (1...2 л.); сборочные чертежи функциональных узлов (1...2 л.); топологические чертежи (1...2 л.); чертежи деталей (1...2л.); графические материалы по технологической части (2...3 л.); графические материалы к организационно-экономической части (1 л.).

Состав технологической документации и содержание графических материалов к организационно-экономической части проекта определяются соответствующими заданиями.

В графическую часть дипломного проекта могут быть включены плакаты, отражающие результаты моделирования или эксперимента.

2.3 Тематика, содержание и объем технологических дипломных проектов

В проектах разрабатывается технологический процесс (ТП) производства РЭС на уровне блока или устройства, технологическое оборудование и оснащение для выполнения операций ТП.

Примерная тематика технологических проектов: разработка ТП производства блоков и устройств современных РЭС; проектирование ТП испытаний и контроля устройств и блоков РЭС; разработка нестандартного технологического оборудования и оснащения для регулировки, настройки и контроля РЭС; проектирование гибких автоматизированных систем производства и контроля РЭС; разработка математического обеспечения для автоматизированного проектирования ТП; автоматизация ТП производства РЭС и т.п.

Исходные данные для ДТП, как правило, содержат электрические схемы изделия, комплект конструкторской документации, значения функциональных параметров и допуски на них, программу выпуска изделий, требования к технологическому процессу по надежности, точности, стабильности и ритмичности, экономические требования. На основании этих данных разрабатывается ТП производства РЭС, технологическое оборудование и оснащение для выполнения операций ТП.

Расчетно-пояснительная записка (ПЗ) к дипломному проекту (80-100 стр. текста) должна соответствовать содержать:

- аннотацию;
- задание по подготовке дипломного проекта;
- введение;
- обоснование актуальности темы проекта;
- анализ исходных данных, оценку технологичности конструкции; --- выбор и обоснование ТП, разработку основных технологических документов;
- математическое моделирование и оптимизацию ТП;

- разработку специальной технологической оснастки и эффективных методов контроля ТП и параметров изделия в процессе производства -- вопросы автоматизации контроля технологических режимов и параметров изделия в процессе производства;
- анализ технологической точности ТП и разработку рекомендаций по ее обеспечению;
- анализ технико-экономических показателей технологического процесса;
- вопросы экономики (оценка стоимости и экономической эффективности производства изделия);
- разработку мероприятий по охране труда;
- заключение;
- приложения;
- список использованных источников;
- содержание.

Графическая часть проекта оформляется на 12...13 листах формата А1 и содержит: электрические схемы изделия (1...2 л.); конструкторские чертежи (2...3 л.); схемы (структурную или функциональную) ТП изготовления блока (1...2 л.); технологическую схему сборки изделия (1 л.); пооперационные чертежи изготовления блока или узлов изделия (2...3 л.); чертежи технологического оборудования, приспособлений, стендов (2...3 л.); таблицы, графики, диаграммы (2 л.); графический материал по организационно-экономической части проекта (1 л.).

2.4 Тематика, содержание и объем исследовательских дипломных проектов

В исследовательских дипломных проектах выполняются теоретические и экспериментальные исследования по методам проектирования, расчета и совершенствования конструкций и ТП, направленные на повышение качества и эффективности РЭС, разрабатываются методы оценки и учета влияния различных факторов на параметры РЭС при их производстве и эксплуатации. Как правило, темы исследовательских дипломных проектов представляют собой отдельные задачи хозяйственных и госбюджетных НИР, в выполнении которых принимали участие студенты.

Примерная тематика исследовательских дипломных проектов: разработка методов оценки показателей качества РЭС; разработка методов оптимизации показателей РЭС; исследование влияния объема, формы и внутренней структуры на показатели качества РЭС; разработка новых высокоэффективных ТП изготовления РЭС; разработка методов повышения качества изделий на основе прогрессивных средств контроля; разработка методов автоматизированного проектирования РЭС; исследование методов повышения

точности и надежности РЭС в процессе производства; исследование воздействия производственных факторов на точность функциональных параметров РЭС; разработка методов оптимизации ТП; разработка оптимальных методов испытания и контроля РЭС высокого уровня интеграции и др.

Дипломные проекты исследовательского профиля должны содержать постановку задачи, теоретические и экспериментальные исследования в области поставленной задачи, оценку технико-экономической эффективности исследования и пути практической реализации полученных результатов для решения конструкторско-технологических проблем конкретных образцов изделий. Проектирование ведется на основе ТЗ, которое составляется руководителем дипломного проекта.

Расчетно-пояснительная записка к дипломному проекту должна содержать:

- аннотацию;
- техническое задание;
- введение;
- обзор литературных источников;
- обоснование актуальности задач исследования;
- выбор и обоснование метода исследования;
- выполнение теоретического исследования по математическим моделям;
- постановка экспериментального исследования;
- анализ полученных результатов, выводы и рекомендации;
- оценку экономической эффективности внедрения полученных результатов в практику конструирования и производство РЭС;
- заключение;
- приложения;
- список литературы;
- содержание.

Объем расчетно-пояснительной записки – 80...100 страниц текста.

Графическая часть исследовательских дипломных проектов содержит 11...13 листов формата А1, в том числе: схемы, таблицы, графики, диаграммы (5...6 л.); конструкторско-технологическая документация (6...7 л.).

3. СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЭС

3.1 Техническое задание и его анализ

Техническое задание представляет собой документ, устанавливающий основное назначение и показатели качества РЭС, технико-экономические и специальные требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию, стадиям разработки, составу и объему конструкторской документации.

Техническое задание составляется на основе исходного документа - заявки на разработку. В заявку на разработку входят следующие исходные данные: назначение изделия, предполагаемый изготовитель, ориентировочная потребность в изделии, стоимость разработки и сроки, технико-экономическое обоснование, основные требования и условия эксплуатации. В процессе согласования текста ТЗ эти данные подвергаются количественному анализу специалистами различных заинтересованных служб и могут существенно изменяться.

Техническое задание состоит из разделов, которые отражают экономические, производственные, технические и другие требования, определяют необходимые для каждого конкретного случая стадии разработки. Особое по важности место в ТЗ занимает раздел "Технические требования". Структура ТЗ согласно ГОСТ 15.001-73 с кратким изложением содержания разделов приведена в приложении 2.

В учебных проектах исходным документом (заявкой на разработку) для составления ТЗ служит задание на курсовой проект и задание по подготовке дипломного проекта. На основе задания студенты с помощью руководителя проекта составляют ТЗ на разработку по форме приложения 2. По согласованию с руководителем из текста ТЗ могут быть исключены разделы и подразделы, являющиеся второстепенными по отношению к задачам разработки изделия. Так, например, в курсовом проекте ТЗ на разработку РЭС может быть представлено лишь разделом "Технические требования".

Анализ ТЗ производится с целью определения основных направлений создания конструкции и состоит в оценке степени важности множества взаимосвязанных факторов, оказывающих влияние на принятие решений, таких как:

- назначение и область применения проектируемого изделия;
- заданные функциональные параметры;
- условия эксплуатации, определяющие меру воздействия внешней среды (пределы изменения температуры и атмосферного давления, влажность, уровни механических воздействий);
- требования к конструкции (масса, габариты, надежность, ремонтно-пригодность, тепловые режимы и др.);

- технико-экономические характеристики (стоимость, технологичность, степень стандартизации и унификации, сроки морального износа);
- организационно-производственные факторы (размер партии, серийность и др.);
- наличие и уровень развития элементной базы.

Каждому требованию ТЗ необходимо поставить в соответствие обоснованное техническое решение, обеспечивающее выполнение данного требования.

Принятие исходных технических решений производится на основе обзора литературных источников (учебников, учебных пособий, монографий, статей) по следующей схеме: возможные методы решения задачи – критический анализ каждого из методов – выбор лучшего метода по результатам сравнения количественных или качественных критериальных оценок.

Обзор должен охватить большую часть вопросов, имеющих непосредственное отношение к разработке изделия: состояние развития элементной базы; особенности применения в изделиях радиотехнических и конструкционных материалов; организация внутренней структуры конструкции (компоновочные схемы, способы электрических соединений и др.); способы защиты РЭС от внешних климатических и механических воздействий; методы обеспечения нормальных тепловых режимов и выбор системы охлаждения.

Принятые на основе анализа исходные решения должны определить основные направления разработки конструкции.

В дипломном проектировании обзор литературных источников является одной из задач преддипломной практики и в отдельных случаях включает обзор патентной литературы. Принятые в результате анализа ТЗ технические решения в процессе проектирования детализируются и уточняются.

3.2 Конструкторско-технологический анализ электрической принципиальной схемы

Целью конструкторско-технологического анализа электрической принципиальной схемы является установление соответствия между схемотехническим построением изделия, элементной базой и требованиями ТЗ к параметрам изделия и условиям его применения.

Конструкторско-технологического анализ схемы целесообразно начинать с изучения принципа работы изделия, что необходимо для принятия общего конструкторского решения и выявления функциональных особенностей изделия, влияющих на частные конструкторские решения. В результате изучения принципа работы устанавливаются частотные свойства отдельных узлов, необходимость применения экранирования; выясняют, имеются ли теплонагруженные элементы и элементы, требующие особых способов монтажа и закрепления и др.

После изучения принципа работы изделия выполняют анализ элементной базы с целью установить соответствие радиоэлементов требованиям условий эксплуатации и заданным массогабаритным характеристикам проектируемого изделия. Для этого составляют таблицу допустимых значений эксплуатационных характеристик радиоэлементов, в которую заносят предельные значения рабочей температуры, относительной влажности, вибраций, ударов, линейных перегрузок и интенсивности отказов. Анализ таблицы позволяет ответить на поставленные вопросы и одновременно произвести оценку схемной надежности изделия. Если некоторые радиоэлементы не соответствуют условиям эксплуатации изделия, то разработчик может выдвинуть требование о применении в конструкции виброизоляции, термостабилизации, герметизации и т.д. В отдельных случаях может быть поставлен вопрос о пересмотре элементной базы.

Известно [1], что между материальными показателями элементной базы и конструкции существует прямая связь. Материальные параметры конструкции зависят также от значений функциональных показателей. Поэтому, располагая данными об элементной базе и функциональных параметрах изделия, приведенных в ТЗ, можно проверить, выполнимы ли требования к массогабаритным характеристикам изделия при заданном схемотехническом построении.

Для решения данной задачи используются коэффициенты дезинтеграции массы q_m , объема q_v , и площади q_s , плотность упаковки элементов γ , эл/см^3 , плотность конструкции m_0 , кг/дм^3 , коэффициенты связи функциональных и материальных параметров k_0 .

Через известную массу элементов $m_{\text{эл}}$ можно определить массу конструкции:

$$m_k = q_m m_{\text{эл}}.$$

Зная плотность конструкции m_0 , легко определить объем:

$$V_k = m_k / m_0.$$

Масса и объем конструкции могут быть найдены с использованием других исходных данных, например, суммарного объема элементов $V_{\text{эл}}$, числа элементов $N_{\text{эл}}$. Тогда

$$V_k = q_v V_{\text{эл}}, V_k = N_{\text{эл}} \gamma, m_k = V_k m_0.$$

Если известны коэффициенты связи функциональных и материальных параметров конструкции, то масса конструкции

$$m_k = k_0 F,$$

где k_0 - коэффициент связи доминирующего функционального показателя F с массой конструкции.

Более подробно вопросы ориентировочных оценок массогабаритных показателей изделий изложены в [1]. Значения коэффициентов дезинтеграции и плотности для некоторых конструкций РЭС приведены в приложении 4.

Последней задачей конструкторского анализа схемы электрической принципиальной является разукрупнение схемы, т.е. выделение в схеме конструктивно и функционально законченных структурных технологических единиц (КТЕ). Принципы разукрупнения схем и порядок решения задачи рассмотрены в разделе 4.6.

3.3 Разукрупнение электрических схем РЭС

Исходя из многоуровневого принципа построения конструкций РЭС, структурная схема разукрупняется (разбивается) на конструктивные уровни, каждому из которых соответствует конструктивно-технологическая единица (КТЕ). Количество уровней КТЕ определяется функциональной сложностью проектируемого изделия. Низший уровень КТЕ конструкций РЭС на корпусных ИС обычно представлен функциональным узлом (функциональной ячейкой), в конструкциях РЭС на микросборках - бескорпусной микросборкой.

Независимо от назначения и функциональной сложности изделия разукрупнение имеет ряд общих принципов, главными из которых являются:

- функциональная законченность КТЕ;
- максимальная повторяемость КТЕ в проектируемом или других изделиях;
- увеличение в пределах технологических и экономических ограничений функциональной сложности КТЕ низших уровней;
- минимизация числа внешних выводов КТЕ;
- конструктивная, технологическая, тепловая и электромагнитная совместимость КТЕ.

Смысловое содержание перечисленных принципов говорит об их тесной взаимосвязи и, в известной мере, о равнозначности. Приоритет того или иного принципа определяется исходными предпосылками задачи разукрупнения, а именно, требованиями ТЗ к изделию.

Наиболее часто встречаются два варианта формулировки этих требований:

- в ТЗ оговариваются допустимые значения массогабаритных показателей конструкции;

- при заданных массогабаритных показателях конструкции указывается на необходимость использования базовых несущих конструкций (базовый принцип конструирования).

В первом случае при решении задачи разукрупнения предпочтение отдается принципу функциональной законченности КТЕ, во втором - принципу конструктивной совместимости КТЕ с базовыми несущими конструкциями. Таким образом, задача разукрупнения одновременно имеет и схематехническое, и конструкторско-технологическое содержание.

При решении задачи разукрупнения следует рассмотреть несколько возможных вариантов деления схемы на КТЕ. Каждый из вариантов анализируется с позиций соответствия перечисленным выше принципам и сопровождается расчетом критериальной оценки. Такими оценками могут служить соответствующие каждому варианту ожидаемые материальные показатели конструкции и формализованные показатели качества разукрупнения.

Известно, что для любой конструкции РЭС распределение массы можно представить следующим уравнением:

$$m_k = m_{\text{эл}} + m_{\text{нк}} + m_{\text{т}},$$

где в правой части – составляющие массы элементов, несущих конструкций, соединений и теплоотвода.

Не зависит от варианта разукрупнения масса элементов, другие составляющие будут существенно изменяться. В частности, масса несущих конструкций $m_{\text{нк}}$ будет зависеть от размеров и формы корпуса, числа и размеров коммутационных (печатных) плат. Масса электрических соединений, в свою очередь, зависит от количества плат, количества соединителей, длины электрических соединений. Лучшему варианту разукрупнения РЭС должна соответствовать меньшая масса изделия m_k .

Объем конструкции V_k определяется размерами и формой корпуса и, следовательно, количеством и размерами плат КТЕ.

Общую площадь коммутационных плат можно представить соотношением $S_{\text{пл}} = S_{\text{р}} + S_{\text{в}}$. где $S_{\text{р}}$ – рабочая площадь, на которой размещаются радиоэлементы и проводники; $S_{\text{в}}$ – вспомогательная площадь (краевые поля, элементы закрепления платы, рамки и т.д.). Легко убедиться, что при выбранном конструктивном оформлении с ростом числа КТЕ составляющая $S_{\text{в}}$ а следовательно, и $S_{\text{пл}}$ будут возрастать, а отношение $S_{\text{р}}/S_{\text{в}}$ -ухудшаться.

Таким образом, названные материальные параметры конструкций (m_k , V_k , $S_{\text{пл}}$) могут эффективно использоваться в виде критериальных количественных оценок качества разукрупнения электрических схем на КТЕ. Оценки являются противоречивыми, поэтому лучший вариант разукрупнения выби-

рают по заранее выбранному критерию или расчету комплексной оценки (3.2) по совокупности критериев.

Формализованной оценкой качества разукрупнения электрических схем служит показатель разукрупнения

$$P_p = N_B / N_C, \quad (3.3)$$

где N_B – число вентилях (р-п переходов) в КТЕ, N_C – число внешних электрических соединений.

Лучшему варианту разукрупнения соответствует большее значение показателя.

При использовании (3.3) параметр N_B можно заменить числом эквивалентных дискретных элементов $N_{эл} = N_{дэ} + N_{инэ}$, где $N_{дэ}$ – количество дискретных навесных элементов (компонентов) в КТЕ, $N_{инэ}$ – количество интегральных элементов на кристалле или подложке микросхемы.

3.4 Выбор и оценка технического решения

Принятие в процессе проектирования любого технического решения (выбор элементной базы, радиотехнических и конструкционных материалов, структуры изделия или в общем случае некоторого объекта) основано на анализе и оценке возможных решений и выборе лучшего. Ввиду того, что техническое решение (объект), как правило, характеризуется совокупностью отдельных (дифференциальных) параметров, то его оценка производится с помощью комплексного показателя качества.

Комплексный показатель качества для каждого объекта записывается в виде:

$$Q = \sum_{i=1}^n \varphi_i \alpha_i^*, \quad (3.4)$$

где φ_i – весовые коэффициенты, определяющие значимость дифференциальных показателей качества; α_i^* – нормированные значения показателей качества; n – число дифференциальных показателей качества.

Для вычисления значения Q по выражению (3.4) необходимо:

- обосновать группу объектов, из которых производится выбор, и дифференциальные показатели качества $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$;
- привести влияние дифференциальных показателей на качество объекта к одной тенденции: повышения или понижения качества;
- произвести нормирование дифференциальных показателей;
- обосновать значения весовых коэффициентов.

Выбор дифференциальных показателей качества α_i , в число которых могут входить функциональные и материальные параметры объекта, производится в интересах обеспечения требований ТЗ к показателям качества проектируемого изделия.

Приведение влияния выбранных дифференциальных показателей на качество объекта к одной тенденции состоит в замене на обратные величины показателей, воздействие которых на качество объекта противоположно большинству дифференциальных показателей.

Нормирование дифференциальных показателей может быть выполнено по следующим соотношениям:

$$\alpha_i^* = (\alpha_{i\max} - \alpha_i) / \alpha_{i\max}, \quad (3.5)$$

$$\alpha_i^* = \alpha_i / \alpha_{i\max}, \quad (3.6)$$

$$\alpha_i^* = \alpha_i / \alpha_{iTЗ}, \quad (3.7)$$

где $\alpha_{i\max}$ – максимальное из значений i -го дифференциального показателя для сравниваемых элементов, $\alpha_{iTЗ}$ – значение дифференциального показателя, оговоренное в ТЗ.

Выражения (3.5...3.7) в целом равнозначны. Однако в инженерной практике нормирование дифференциальных показателей обычно выполняется по формулам (5) и (6).

Весовые коэффициенты φ_i подчеркивают значимость того или иного дифференциального показателя качества объекта по отношению к показателям качества проектируемого изделия. Выбор весовых коэффициентов производится из условия

$$\sum_{i=1}^n \varphi_i$$

где k – некоторое целое число. Обычно полагают $k=1, 10, 100$ и т.д.

При выборе элементной базы необходимо иметь в виду, что интегральные микросхемы и другие радиоэлементы характеризуются рядом материальных показателей, часть которых (тип корпуса, число выводов, способ установки и др.) не может быть оценена количественно. Поэтому при формировании комплексного показателя (3.4) вводят обобщенный материальный показатель радиоэлемента. В качестве такого показателя целесообразно использовать ожидаемое значение массы или объема изделия в случае применения данного типа радиоэлемента.

Расчет массы (объема) изделия производится приближенно с помощью коэффициентов дезинтеграции:

$$m_k = m_{\text{эл}} \cdot q_{m1} \cdot n \cdot q_{m2} ,$$

$$V_k = V_{\text{эл}} \cdot q_{V1} \cdot n \cdot q_{V2} ,$$

где $m_{\text{эл}}$, $V_{\text{эл}}$ – соответственно суммарные масса и объем элементов, размещенных на плате функционального узла (ячейки); n – число функциональных узлов в конструкции изделия; q_{m1} , q_{m2} – коэффициенты дезинтеграции массы «элемент -функциональный узел (ячейка)», «функциональный узел (ячейка) – блок»; q_{V1} , q_{V2} – то же для объемов.

Число функциональных узлов (ячеек) определяется после решения задачи разукрупнения схемы. Значения коэффициентов дезинтеграции приведены в приложении 2.

Критерий комплексного показателя качества является универсальным. Тем не менее, часто при обосновании выбора элементной базы используются стоимостные показатели [1].

При выборе корпусированной ЭБ рекомендуется отдавать предпочтение ЭБ, предназначенной для технологии монтажа на поверхность (ТМП), так называемые чип- или SMD элементы и компоненты.

3.5 Электрические расчеты в дипломных проектах

Электрические расчеты в дипломных проектах могут быть представлены обоснованием внутренних параметров РЭС по заданным внешним, расчетами на соответствие заданным величинам основных функциональных параметров конструкции, функциональной точности параметров конструкции или узлов, определяющих точность и стабильность параметров конструкции изделия, номинальных значений параметров навесных дискретных элементов, вторичных источников электропитания (ВИП).

Электрические расчеты, приводимые в дипломном проекте, должны занимать соответствующее место в логической цепочке решаемых проектом задач.

В виду того, что обоснование внутренних параметров конструкции относится к этапу внутреннего проектирования, то его постановка и решение обязательны для большинства дипломных проектов. Постановку других задач электрического расчета связывают с конкретными особенностями проектируемого изделия, которые отражены в требованиях ТЗ. Задача расчета функциональной точности обычно ставится при проектировании РЭС, выполняющих преобразование информации или измерение электрических величин. В ТЗ на разработку таких изделий всегда оговаривается требуемая точность. Расчет функциональной точности, как правило, производится вероятностным методом [1].

Необходимость расчета номинальных значений параметров навесных дискретных элементов диктуется применением в изделии нетиповых (не

предусмотренных руководящими техническими материалами) включений интегральных микросхем. Для расчета можно использовать модели и методики, приведенные в руководствах по применению ИС или литературные источники, посвященные проектированию РЭС на микросхемах [19, 20].

Расчет ВИП проводят в случаях, когда обеспечение функциональных параметров проектируемого изделия выдвигает жесткие требования к стабильности и качеству питающих напряжений.

Раздел расчетно-пояснительной записки, посвященный электрическим расчетам, должен содержать: цель и постановку задачи расчета, обоснование модели и метода решения задачи, расчет и анализ полученных результатов.

4. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЭС

4.1 Выбор системы охлаждения

Массогабаритные характеристики РЭС в значительной мере зависят от способа охлаждения, обеспечивающего нормальный тепловой режим изделия. Поэтому выбор системы охлаждения является одной из важнейших проектно-конструкторских задач, которая в соответствии с логикой проектирования представляет собой неотъемлемую часть процесса разработки конструкции.

При выборе системы охлаждения используются следующие исходные данные:

- тепловой поток P , Вт, рассеиваемый поверхностью теплообмена (корпуса) изделия;
- площадь поверхности теплообмена (корпуса) S_k , м²;
- допустимая рабочая температура наименее теплостойкого элемента $t_{\text{эл min}}$, °С;
- максимальная температура окружающей среды $t_{\text{с max}}$ °С;
- минимальное давление окружающей среды $H_{\text{с min}}$, мм рт. ст.

Значение теплового потока приближенно определяют через потребляемую от источников питания мощность $P_{\text{п}}$ с учетом коэффициента полезного действия изделия η :

$$P = P_{\text{п}} \cdot (1 - \eta).$$

Величина максимальной потребляемой изделием мощности обычно указывается в ТЗ или определяется на основании расчетов электрического режима.

Коэффициент полезного действия определяется классом аппаратуры. Для цифровых РЭС значение η можно принимать равным нулю.

Оценку площади поверхности корпуса конструкции находят через взятые из ТЗ габаритные размеры изделия.

Допустимую рабочую температуру наименее теплостойкого элемента $t_{\text{эл min}}$ устанавливают по результатам конструкторского анализа элементной базы.

Остальные исходные данные ($t_{\text{с max}}$ и $H_{\text{с min}}$) указываются в требованиях ТЗ.

Чтобы выбрать систему охлаждения, необходимо найти поверхностную плотность теплового потока и допустимый перегрев в конструкции

$$P_{0S} = k_H P / S_k \text{ Вт/м}^2,$$

$$\Delta t_{\text{доп}} = t_{\text{эл min}} - t_{\text{с max}} \cdot$$

где $k_H = 1/(H_{\text{с min}}/H)^{0,5}$ – поправочный коэффициент на давление окружающей среды, $H = 760$ мм рт. ст. – нормальное давление,

Значения P_{0S} и $\Delta t_{\text{доп}}$ представляют собой координаты точки, положение которой на диаграмме (рис. 4.1) определяет систему охлаждения конструкции.

Не заштрихованные зоны диаграммы относятся к следующим способам охлаждения: 1 – естественное воздушное, 3 – принудительное воздушное, 5 – принудительное жидкостное, 9 – принудительное испарительное.

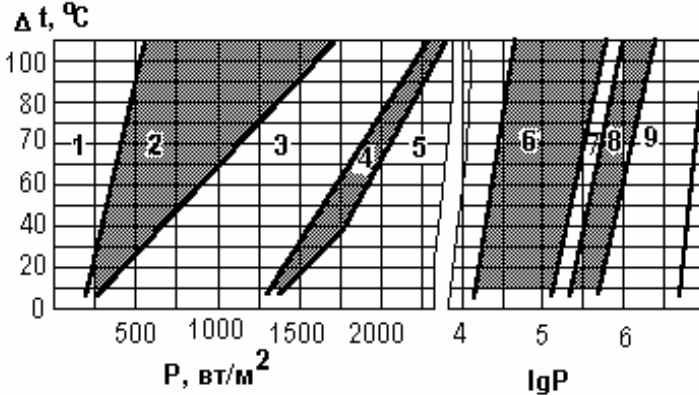


Рис. 4.1

Заштрихованным зонам соответствуют следующие способы охлаждения: 2 - естественное и принудительное воздушное, 4 - принудительное воздушное и жидкостное, 6 - принудительное жидкостное и естественное испарительное, 7 - принудительное жидкостное, принудительное и естественное испарительное, 8 естественное и принудительное испарительное.

Если точка с координатами P_{0S} и $\Delta t_{\text{доп}}$ попадает в заштрихованную зону, то выбор способа охлаждения производится по вероятностным зависимостям, которые для зоны 2 приведены в [9].

В тех случаях, когда габаритные размеры изделия в ТЗ не указаны, площадь поверхности теплообмена S_k можно найти ориентировочно, используя коэффициенты дезинтеграции объема q_V :

$$S_k = 6(q_V V_{\text{эл}})^{2/3},$$

где $V_{\text{эл}}$ – суммарный установочный объем элементов.

При обеспечении нормального теплового режима в блоке за счет естественного воздушного охлаждения зазоры между ФЯ должны составлять не менее 6...8 мм. Использование принудительного воздушного охлаждения позволяет уменьшить зазоры до 2 мм, однако при этом объем блока увеличивается на 10...15% за счет установки вентилятора и воздухопроводов и снижается надежность изделия за счет применения электромеханических устройств (вентиляторов).

4.2 Обоснование компоновочной схемы РЭС

Выбор типа конструкции и компоновочного решения блока обуславливается объектом установки РЭС, видом и интенсивностью воздействия внешних дестабилизирующих факторов.

Выбор компоновочной схемы блока проводится по результатам анализа шести возможных вариантов организации его внутренней структуры (рис.4.2).

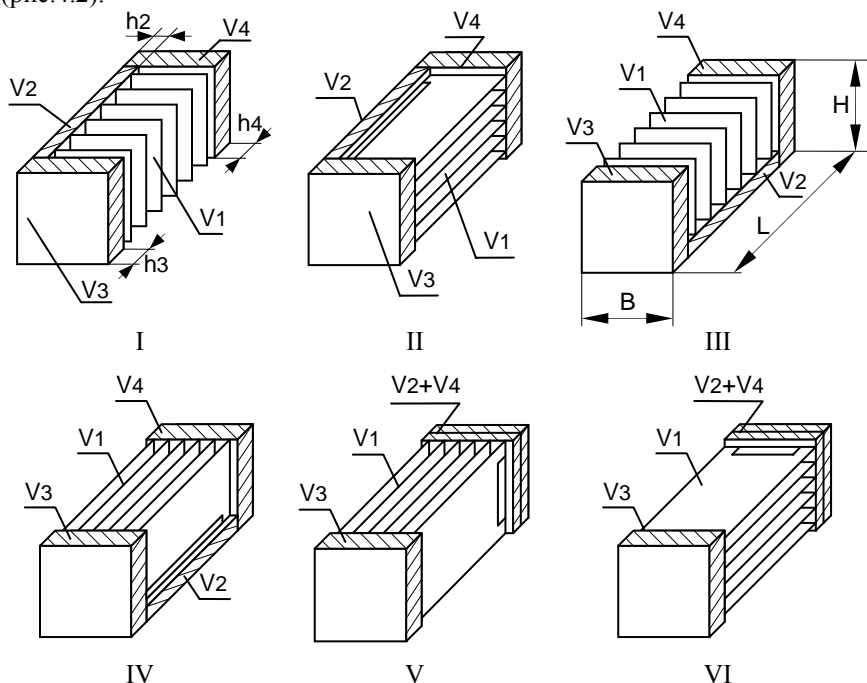


Рис. 4.2

Полезный объем блока можно условно представить в виде четырех объемов: V_1 (пакет ФЯ); V_2 (электрические соединители и межъячеечный

монтаж), h_2 – глубина зоны межъячеечного монтажа, определяемая типом электрического соединителя; V_3 (элементы лицевой панели и монтаж установочных элементов), h_3 – глубина зоны лицевой панели, определяемая типом компонентов, устанавливаемых на лицевой панели, способом электрического монтажа компонентов с ФЯ; V_4 (элементы задней панели, внешние электрические соединители и монтаж); h_4 – глубина зоны задней панели, определяется типами межблочного электрического соединителя и элементов, устанавливаемых на задней панели. Объем блока

$$V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4.$$

Качество конструкции в большей степени будет зависеть от соотношения объемов V_1 и V_2 . Объем V_1 определяется объемом ФЯ, их количеством и шагом установки ФЯ в блоке. Для вариантов, представленных на рис.4.2 (L^I, B^I, H^I – глубина, ширина и высота внутреннего объема блока соответственно) очевидны следующие зависимости:

$$V_1^{V,VI} \geq V_1^{III,IV} \geq V_1^{I,II};$$

$$V_2^{I,II} \geq V_2^{III,IV} \geq V_2^{V,VI}.$$

Варианты компоновки V и VI являются предпочтительными по эффективности использования внутреннего объема блока и наименее рациональными - варианты I и II.

Варианты II и VI не обеспечивают необходимые условия для эффективного отвода тепла как в случае естественного, так и принудительного воздушного охлаждения блока. Для книжных конструкций при естественном воздушном охлаждении предпочтительнее варианты IV и V, располагающие небольшим количеством плат. При этом в варианте V за счет установки электрического соединителя на короткой стороне ФЯ возможны трудности при трассировке печатной платы и увеличение паразитных связей печатного монтажа. Вариант IV может использоваться в случае принудительного воздушного охлаждения при установке вентилятора на заднюю или лицевую панель. Варианты I и V предпочтительнее при набегающем воздушном потоке снизу.

Для разъемной конструкции блока целесообразно использовать при естественном воздушном охлаждении вариант компоновки III, а при необходимости использования принудительного охлаждения в составе шкафа, стойки - вариант I.

4.3 Разработка конструкции функциональной ячейки

Конструкция функциональной ячейки должна соответствовать выбранному типу конструкции блока. В этой связи различают конструкции ФЯ блоков разъемного и книжного типов, имеющие характерные отличительные признаки.

В зависимости от уровня механических воздействий на аппаратуру функциональные ячейки могут быть в рамочном или безрамочном исполнении.

Особенности элементной базы (например, тип корпуса ИС) позволяют применить в конструкции ФЯ одностороннее или двухстороннее расположение элементов.

Несущим элементом конструкции ФЯ на корпусных микросхемах служит печатная плата, конструкций ФЯ на бескорпусных МСБ – металлическая рамка. Подробные сведения о применяемых в блоках РЭС конструкциях ФЯ приведены в [1, 7, 8].

Разработка конструкции ФЯ на корпусных ИС состоит в определении площади и геометрических размеров печатной платы, проверке возможности размещения радиоэлементов на плате, разработке конструкции печатной платы и определении геометрических размеров ячейки.

Разработка конструкции ФЯ на бескорпусных МСБ сводится к определению геометрических размеров металлической рамки по заданным размерам и числу МСБ. Рассмотрим порядок решения перечисленных задач.

4.3.1. Расчет площади печатной платы

Площадь печатной платы, необходимую для одностороннего размещения радиоэлементов, находят по формуле

$$S_{\text{пл}} = q_s \sum_{i=1}^n S_{\text{эл } i}, \quad (4.1)$$

где q_s – коэффициент дезинтеграции площади; $S_{\text{эл } i}$ – установочная площадь i -го радиоэлемента; n – число радиоэлементов.

Коэффициент дезинтеграции площади q_s обычно полагают равным 2...2,5.

Установочные площади $S_{\text{эл } i}$ определяют по справочным данным на радиоэлементы. Количество радиоэлементов n определено результатами разукрупнения электрической принципиальной схемы РЭС.

4.3.2. Выбор размера печатной платы

Выбор размера платы определяется условием: $L_x L_y \geq S$, где L_x, L_y – линейные размеры платы.

Габаритные размеры печатных плат L_x, L_y должны соответствовать ГОСТ 10317-79. Максимальное соотношение сторон не должно превышать 3:1. Рекомендуемые значения линейных размеров печатных плат приведены в [21] и приложении 3.

Предпочтительны платы прямоугольной формы. Конфигурацию плат, отличную от прямоугольной, следует применять лишь в технически обоснованных случаях.

4.3.3. Оценка возможности размещения микросхем на плате ФЯ

На плате цифровой ФЯ корпуса микросхем размещаются в правильном порядке по строкам и столбцам (рис.4.3).

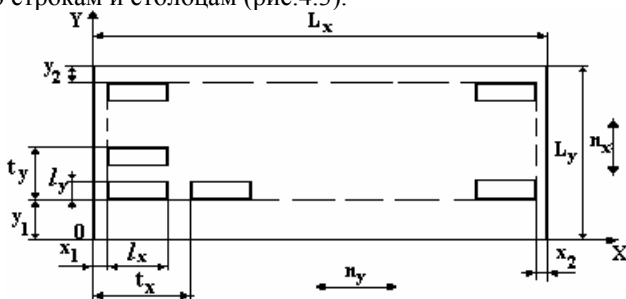


Рис.4.3

При выбранных размерах платы L_x и L_y , число микросхем в строке n_x и столбце n_y для односторонней установки могут быть найдены по формулам:

$$n_x = E \left[\frac{L_x - l_x - x_1 - x_2}{t_x} \right] + 1; \quad n_y = E \left[\frac{L_y - l_y - y_1 - y_2}{t_y} \right] + 1,$$

где E – оператор выбора целочисленного значения с округлением в *меньшую* сторону; l_x, l_y – размеры корпуса ИС; t_x, t_y – шаги установки ИС в строке (ось x) и столбце (ось y); x_1, x_2, y_1, y_2 – краевые поля.

Ширина краевых полей x_1 и x_2 зависит от типа корпуса микросхем и толщины печатной платы и выбирается из условия: $x_1 = x_2 = (3...5) \delta_{пл}$, где $\delta_{пл}$ – толщина печатной платы.

Краевое поле y_1 предназначено для размещения вилки (розетки) электрического соединителя или контактных площадок для пайки проводников внутриблочных электрических соединений. В поле y_2 могут устанавливаться передняя панель ячейки, контрольная колодка, металлический угольник и др. Поэтому ширина полей y_1 и y_2 определяется геометрическими размерами перечисленных элементов.

Справочные данные, необходимые для расчета n_x и n_y , приведены в [21].

Размер платы выбран верно, если выполняется условие $n_x n_y \geq n$. В случае невыполнения неравенства выбирается плата с большими размерами.

В конструкциях ФЯ аналоговых и аналого-цифровых РЭС на платах наряду с ИС устанавливается значительное количество дискретных радиоэлементов: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и др. Поэтому принцип регулярности структуры конструкции становится нереализуемым, в связи с чем возможность размещения радиоэлементов на плате обосновывается выбором необходимой площади платы в соответствии с формулой (4.1).

4.3.4. Разработка конструкции печатной платы

Требования к печатной плате формируются в результате анализа технического задания на изделие и электрической принципиальной схемы. Разработка конструкции платы производится на основе этих требований и предполагает решение следующих задач: выбор и обоснование класса точности платы; выбор габаритных размеров и конфигурации платы; выбор материала основания печатной платы; размещение навесных элементов и трассировка проводников; выполнение расчетов элементов печатной платы; разработка конструкторской документации.

Основные параметры конструкции печатных плат регламентируются стандартом ГОСТ 23751-79.

Класс точности печатной платы определяется минимальными значениями и точностью выполнения элементов печатной платы (проводящего рисунка). Различают печатные платы пяти классов точности. Номинальные значения размеров основных элементов проводящего рисунка платы (рис.4.4) для узкого места приведены в табл.4.1.

Печатные платы 1-го и 2-го классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. Печатные платы 3-го и 4-го классов точности требуют использования высококачественных материалов, более сложного оборудования и иногда особых условий производства. Трудоемкость изготовления односторонней печатной

платы 4-го класса точности примерно на порядок выше трудоемкости изготовления платы 1-го класса точности.

Толщина печатной платы определяется толщиной исходного материала и выбирается в зависимости от использованной элементной базы и внешних механических воздействий. Для односторонних и двухсторонних печатных плат рекомендуется использовать материалы толщиной 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Наиболее распространенным является материал толщиной 1,5 мм.

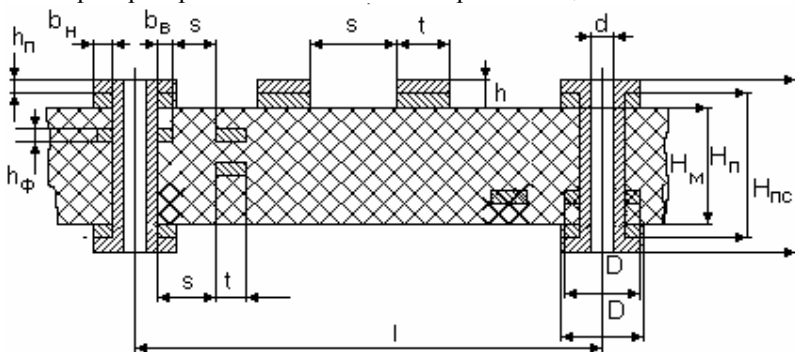


Рис.4.4

Таблица 4.1

Конструктивный параметр элемента печатной платы и	Номинальный (минимальный) размер для класса точности				
	1	2	3	4	5
Минимальная ширина проводников t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Минимальное расстояние между проводниками s , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантированная ширина пояска в наружном слое b_H , мм	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
Гарантированная ширина пояска во внутреннем слое b_B , мм	0,15	0,10	0,05	0,03	0,025
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы $k_{дт}$	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

Выбор материала печатной платы производится в соответствии с ГОСТ 10316-78 и ГОСТ 23751-86. Наибольшее применение при изготовлении печатных плат находит фольгированный стеклотекстолит.

Размещение радиоэлементов на плате должно быть согласовано с требованиями к конструкциям ФЯ и блока. Вариант установки радиоэлементов на плату определяется условиями эксплуатации, другими техническими требованиями к ФЯ, изделию в целом и выбирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в ОСТ 4.ГО.010.030. Критериями рационального размещения элементов на плате могут служить: минимальная длина связей между радиоэлементами; минимальное число переходов печатных проводников между слоями; равномерное распределение массы радиоэлементов на поверхности платы.

Задачи размещения радиоэлементов и трассировки проводников печатной платы, как правило, решаются на ЭВМ с помощью САПР.

Расчеты элементов печатной платы делятся на конструкторско-технологические и электрические.

В результате выполнения конструкторско-технологических расчетов определяют геометрические размеры элементов проводящего рисунка и их взаимного расположения с учетом производственных погрешностей. Расчету подлежат диаметры монтажных и переходных отверстий, значения ширины проводника и расстояния между проводниками, диаметр контактной площадки.

Минимальный диаметр переходного отверстия

$$d_{\text{по}} \geq k_{\text{дт}} \cdot h_{\text{пл}},$$

где $k_{\text{дт}}$ – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы; $h_{\text{пл}}$ – толщина печатной платы.

Минимальный диаметр монтажного отверстия:

$$d_{\text{мо}} \geq d_{\text{в}} + \Delta + 2 h_{\text{г}} + \delta_{\text{д}},$$

где $d_{\text{в}}$ – диаметр вывода радиоэлемента, $\Delta = 0,4 \dots 0,6$ мм – зазор между поверхностью вывода и поверхностью отверстия, $h_{\text{г}} = 0,05 \dots 0,06$ мм – толщина гальванически осаждаемой меди, $\delta_{\text{д}} = 0,12$ мм – погрешность диаметра отверстия.

Предпочтительные диаметры переходных отверстий $d_{\text{по}} = 0,7; 0,9; 1,1$ мм; монтажных отверстий $d_{\text{мо}} = 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5$ мм.

Минимальный диаметр контактной площадки:

$$d_{\text{кп}} = 2 \cdot [b_{\text{н}} + (d_{\text{по}}/2) + \delta_0 + \delta_{\text{кп}}] + \delta_{\text{фф}} + 1,5 h_{\text{ф}},$$

где $b_{\text{н}}$ – гарантированная ширина пояса в наружном слое; $\delta_0 = 0,07$ мм – погрешность расположения отверстия; $\delta_{\text{кп}} = 0,15$ мм – погрешность распо-

ложения контактной площадки; $\delta_{\text{фф}} = 0,06$ - погрешность фотокопии и фотошаблона; $h_{\text{ф}}$ – толщина фольги на диэлектрическом основании.

Минимальная ширина проводника

$$t_{\text{пр}} = t + \delta_{\text{фф}} + 1.5 h_{\text{ф}},$$

минимальное расстояние между проводниками:

$$S_{\text{пр}} = l_{\text{ол}} - (t_{\text{пр}} + 2 \delta_{\text{сп}}),$$

где $l_{\text{ол}}$ – расстояние между осевыми линиями проводников; $\delta_{\text{сп}} = 0,05$ мм – погрешность смещения проводников.

Если полученное значение $S_{\text{пр}} \geq S$ для выбранного класса точности платы (табл. 4.1), то расстояние $l_{\text{ол}}$ увеличивается.

Электрическое сопротивление печатных проводников должно быть таким, чтобы падение напряжения на проводниках не превышало некоторой допустимой величины. Поэтому после конструкторско-технологического расчета производится расчет площади поперечного сечения сигнальных проводников, проводников питания и земли.

Для обеспечения устойчивой работы падение напряжения на сигнальных проводниках за счет протекающего по ним тока должно быть меньше допустимого по условиям статической помехоустойчивости. Для этого площадь поперечного сечения сигнальных проводников должно быть не менее (для цифровых ФЯ)

$$S_{\text{с}} \geq \rho \cdot I \cdot l / U_{\text{пу}},$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, I - протекающий по проводнику ток, l - длина проводника, $U_{\text{пу}}$ – запас помехоустойчивости цифровых ИС (определяется по справочным данным на микросхемы).

Для проводников питания и общего провода:

$$S_{\text{пз}} \geq \rho \cdot I \cdot l / (0,01 \dots 0,02) U_{\text{п}},$$

где $U_{\text{п}}$ – напряжение питания. Для медной катаной фольги $\rho = 0,017$ Ом·мм²/м.

Через площадь поперечного сечения и толщину фольги или электрохимически наращенной меди можно найти допустимую ширину печатных проводников $t_{\text{доп}}$.

При использовании в конструкциях ФЯ электрических соединителей необходимо определить число контактов соединителя, с помощью которых подключаются внешние цепи питания и общего провода.

Число контактов $n_{\text{к}}$ соединителя косвенного сочленения

$$n_{\text{к}} = S_{\text{ПЗ}} / (\pi d_{\text{в}} h_{\Phi}) ,$$

где $d_{\text{в}}$ - диаметр вывода вилки (розетки) соединителя.

Для соединителя прямого сочленения:

$$n_{\text{к}} = S_{\text{ПЗ}} / S_{\text{КП}} ,$$

где $S_{\text{КП}}$ – площадь контактирования в контактной паре соединителя.

Конструкторская документация на печатные платы разрабатывается в соответствии с ГОСТ 2.417-78. Чертежи односторонних и двухсторонних печатных плат именуют "Плата печатная", а многослойных – "Плата печатная многослойная. Сборочный чертеж". Чертеж слоя многослойной печатной платы с проводящим рисунком именуют "Слой многослойной печатной платы". Основные требования к выполнению чертежей печатных плат изложены в [13].

4.4 Расчет геометрических размеров ФЯ и блоков

Типовая конструкция бескаркасной ФЯ блока разъемного типа на корпусных микросхемах приведена на рис. 4.5.

Несущим элементом конструкции служит печатная плата 1 с размерами L_x, L_y , на которой размещены корпусные микросхемы 2, вилка электрического соединителя 3 и металлический угольник 4 (лицевая панель, контрольная колодка). Как видно из рисунка, толщина ячейки $h_{\text{я}} = h_{\text{УГ}}$ при условии, что $h_{\text{УГ}} > h_{\text{ПП}} + h_{\text{с}}$, где $h_{\text{ПП}}$ – толщина печатной платы, $h_{\text{с}}$ – высота вилки соединителя или элемента с максимальной высотой. Если $h_{\text{УГ}} < h_{\text{ПП}} + h_{\text{с}}$ или угольник в конструкции отсутствует, то $h_{\text{я}} = h_{\text{ПП}} + h_{\text{с}}$.

Для конструкций ФЯ с печатными контактами соединителя при наличии угольника $h_{\text{я}} = h_{\text{УГ}}$, при отсутствии: $h_{\text{я}} = h_{\text{ПП}} + h_{\text{эл.макс}}$, где $h_{\text{эл.макс}}$ – максимальная высота радиоэлемента, установленного на плате.

В конструкциях ФЯ блоков книжного типа в свободных углах платы монтируются распорные втулки высотой $h_{\text{ВТ}}$, исключая контактирование соседних плат в пакете ячеек. Поэтому толщина ФЯ равна $h_{\text{я}} = h_{\text{ПП}} + h_{\text{ВТ}}$.

Габаритные размеры ФЯ в плане складываются из размеров платы L_x, L_y и размеров, выступающих за пределы платы элементов конструкции ФЯ: угольника, соединителя и др.

Размеры ФЯ цифровых РЭС на МСБ определяются размерами металлического основания (рамки). Фрагмент конструкции рамки односторонней ФЯ цифровых РЭС на МСБ с типовыми размерами основных элементов конструкции приведен на рис.4.6.

Жесткость рамки обеспечивается наружными 1 и внутренними 2 продольными и поперечными ребрами жесткости. Бескорпусные МСБ устанавливаются на планки 3. Окно 4 в верхней части рамки предназначено для монтажа на печатной плате навесных радиоэлементов, окна 5 - для соединения проволочных выводов МСБ с контактными площадками печатной платы. В зоне 6 рамки на печатной плате располагаются контактные площадки внешних электрических соединений ФЯ.

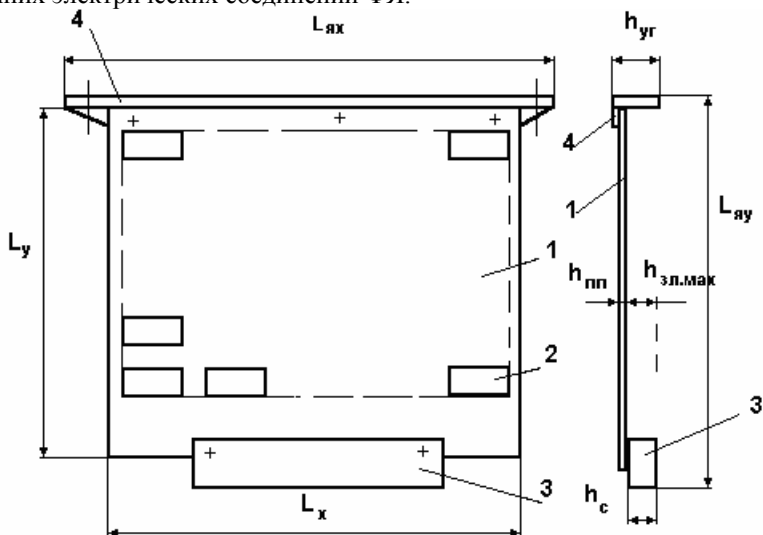


Рис.4.5

Высота односторонней ФЯ равна высоте рамки, которая может быть найдена как

$$h_{я} = h_p = h_{МСБ} + h_{пл} + h_{пл} + h_{пп} + h_{п} + h_{кл} + h_{вз} ,$$

где $h_{МСБ}$ - высота МСБ, $h_{пл}$ - толщина планки, $h_{пл}$ - толщина диэлектрической прокладки, $h_{пп}$ - толщина печатной платы, $h_{п}$ - высота паяк на печатной плате, $h_{кл}$ - суммарная толщина клеевых соединений, $h_{вз}$ - суммарная толщина воздушных зазоров, исключающих контактирование элементов соседних ФЯ.

Высота МСБ $h_{МСБ} = h_{подл} + h_{к.макс}$, где $h_{подл}$ – толщина подложки, $h_{к.макс}$ – максимальная высота компонента, устанавливаемого на подложке.

Толщина диэлектрической прокладки между рамкой и печатной платой $h_{пр}$ обычно составляет 0,05...0,1 мм, толщина печатной платы $h_{ПП} = 0,5...0,8$ мм, высота паяк на плате $h_{п} = 0,5...1$ мм, толщина клеевой прослойки в одном соединении $h_{кл} = 0,05...0,1$ мм.

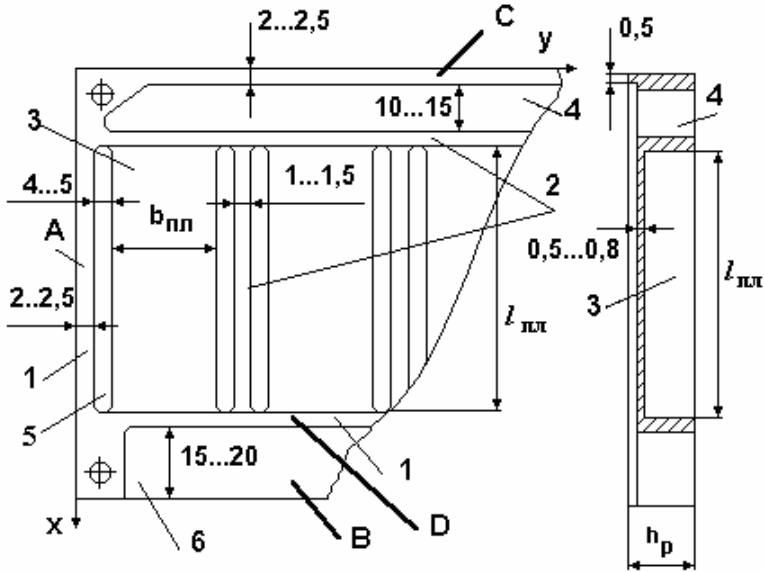


Рис. 4.6

Толщина воздушных прослоек между элементами соседних ФЯ определяется прогибом основания ячейки при механических воздействиях. С учетом высокой жесткости рамки на изгиб можно принять $h_{вз} = 1,5$ мм на каждую сторону ячейки.

Расчет длины и ширины рамки производится по данным геометрических размеров и количества МСБ, размещаемых на рамке. По размерам и числу МСБ, устанавливаемых на одной планке, находят размеры планок, к которым добавляют размеры других элементов рамки (рис. 4.6).

Ширина планки $b_{ПЛ} = b_{МСБ} - (2...3)$ мм, где $b_{МСБ}$ – ширина МСБ.

Длина планки $l_{ПЛ} = n \cdot l_{МСБ} + (n + 1) l_3$, где n – число МСБ на планке, $l_{МСБ}$ – длина подложки МСБ, l_3 – расстояние между МСБ и между МСБ и

горизонтальными ребрами жесткости рамки. Обычно l_3 не превышает 1...2 мм.

Аналогично могут быть рассчитаны размеры сдвоенной и двухсторонней ФЯ, а также размеры оснований аналоговых ячеек пенального типа.

Через размеры ФЯ можно найти размеры конструкции блока. Для этого сначала определяют глубину пакета функциональных ячеек

$$L_z = b_{я} \cdot (n_{я} - 1) + h_{я},$$

где $b_{я}$ – шаг размещения ФЯ, $n_{я}$ – число ячеек в блоке.

Шаг размещения ФЯ $b_{я} = h_{я} + b$, где b – расстояние между соседними ячейками. Для обеспечения высокой эффективности конвективного теплообмена в блоке значение b принимают равным 6...12 мм. В блоках РЭС на бескорпусных МСБ $b_{я} = h_{я}$, в блоках РЭС с кондуктивно-конвективными системами охлаждения значение b может быть уменьшено до величины, определяемой прогибом ячейки при механических воздействиях.

Для выбранной компоновочной схемы блока (см. рис. 4.2) размеры пакета ФЯ дополняются глубиной характерных вспомогательных зон. Таким образом, размеры внутреннего объема блока (ширина, высота и глубина) составляют:

- для варианта I компоновки разъемной конструкции

$$B' = L_{яy} + h_2; \quad H' = L_{яx}; \quad L' = L_z + h_3 + h_4;$$

- для варианта III

$$B' = L_{яx}; \quad H' = L_{яy} + h_2; \quad L' = L_z + h_3 + h_4;$$

- для книжной компоновки блока (вариант IV)

$$B' = L_z; \quad H' = L_{яy} + h_2; \quad L' = L_{яx} + h_3 + h_4;$$

- для варианта компоновки V:

$$B' = L_z; \quad H' = L_{яx}; \quad L' = L_{яy} + h_2 + h_3 + h_4.$$

На ранних стадиях разработки РЭС принимают глубину зон h_2 и h_4 и равной 25...35 мм, а h_3 – 30...70 мм.

4.5 Разработка конструкции блоков на основе БНК

В практике конструирования РЭС широкое распространение получила унификация конструкций и в первую очередь несущих конструкций, принимаемых за базу (основу) для создания различных изделий, аналогичных или близких по функциональному назначению. Этот метод называется методом

базовых несущих конструкций (БНК), где под БНК понимают несущие конструкции, габаритные, установочные и присоединительные размеры которых стандартизированы и обеспечивают размерную взаимозаменяемость аппаратуры. Типы и геометрические размеры блоков самолетной аппаратуры определены ОСТ 4 Г0.410.003 и представлены на рис. 4.7, а контрольно-измерительных приборов на рис. 4.9.



Рис. 4.7

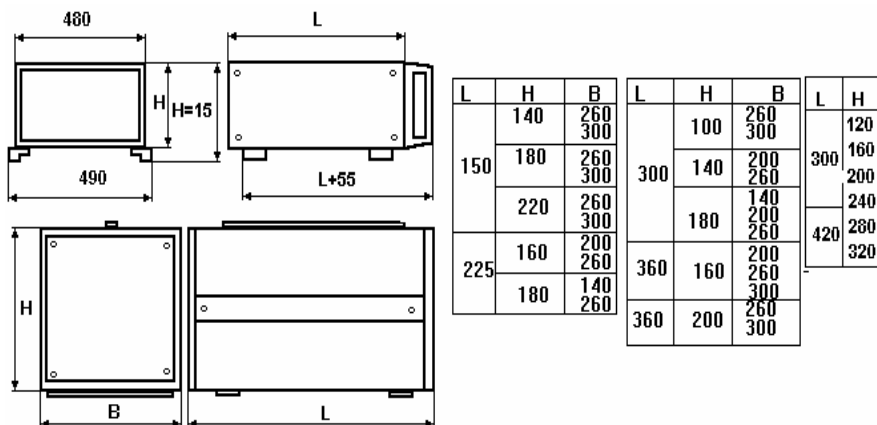


Рис.4.8

Дискретность типоразмеров БНК и наличие среди них корпусов, имеющих приблизительно равные объемы (например, корпуса типов 2,5М, 2К, 1,5С; 4М, 2,5С, 2Д и др.), при неодинаковых геометрических размерах требуют сравнительного анализа нескольких возможных компоновочных решений блока и выбора лучшего по принятому критерию предпочтения. Геометрические размеры внутреннего объема блока определяются вариантом компоновки блока, типом внутриблочных и межблочных электрических соединителей, типом электрорадиоэлементов, устанавливаемых на лицевой панели.

Типоразмер блока из ряда БНК для разрабатываемого класса аппаратуры (рис. 4.7 и 4.8) может быть выбран по значениям B' , H' и L' . За минимальные габаритные размеры блока для используемой БНК можно принять $B = B' + (7 \dots 10)$ мм, $H = H' + (7 \dots 10)$ мм, $L = L' + (7 \dots 10)$ мм.

4.6 Система базовых несущих конструкций «Евромеханика»

В настоящее время в практике конструирования встраиваемых, управляющих и коммуникационных систем широкое распространение получил международный стандарт Евромеханика (стандарт МЭК 60297), конструктивы которого могут использоваться как в массовых изделиях, так и в разовых разработках с небольшим бюджетом. Стандарт Евромеханика определяет четыре уровня входимости:

- лицевые панели и элементы связанные с ними;
- блоки, частично выдвигаемые каркасы и шасси;
- каркасы;
- шкафы, открытые стойки, настольные корпуса.

Конструктив Евромеханика представляет совокупность следующих отдельных конструктивных элементов:

• **Рама (корзина, крейт)** – конструкция предназначенная для установки путем вдвигания по направляющим печатных плат или кассет с последующим закреплением их на раме. Слева и справа на раме закреплены фланцы, имеющие готовые стандартные отверстия для закрепления рамы в стойке.

• **Профиль** – фигурный элемент, в пазах которого закрепляются некоторые элементы конструктива. Профиль является также элементом несущей конструкции и поэтому имеет значительный запас прочности.

• **Направляющая** – пластиковый или металлический желобок, закрепляемый на раме и служащий для фиксации печатной платы или кассеты в раме.

• **Кассета** –двигаемый по направляющим в раму конструктивно законченный элемент, состоящий из защитной внешней оболочки, внутри которой размещается одна или несколько печатных плат или иных электроме-

ханических конструкций. Внешние габариты кассеты соответствуют стандартным габаритам системы Евромеханика.

- **Плата** – функциональная ячейка на печатной плате,двигаемая по направляющим в раму и имеющая стандартные или нестандартные габариты и стандартные или нестандартные разъемы для подключения к кросс-плате или кросс-шине.

- **Лицевая панель** – прямоугольная панель из металла или пластика, являющаяся держателем печатной платы или только заглушкой и имеющая по углам отверстия для крепления на раме.

- **Стойка** – изделие, являющееся кожухом для рамы, причем рама вставляется в кожух и закрепляется в нем за фланцы. Стойка в настольном исполнении часто выполняется в виде прибора.

- **Дополнительные элементы** – конструктивные элементы, дополняющие раму или стойку, отсутствующие в стандартном исполнении, и предназначенные для придания конструктиву некоторых эксплуатационных качеств (дверцы на стойке, крышки на раме, ручки для транспортировки рамы, элементы крепления или заземления для печатных плат и другие).

В системе Евромеханика принят интерфейс стандарта DIN 41612 на базе разъемных соединителей (в России его аналог называется СНП59). Эти соединители устанавливаются на печатных платах в количестве одного (для платы высотой 100 мм) или двух (для платы высотой 233 мм).

Для стандарта Евромеханика обычно используются два варианта **кросс-системы** соединителей: кросс-плата с печатным соединением розеток в шинную структуру или кросс-система из розеток, закрепляемых на специальные посадочные места и соединенных в шинную систему отдельными проводами или жгутами пайкой, накруткой или другим способом. Возможно использование и других разъемов, но при этом теряется совместимость с изделиями других производителей.

Базовым параметром конструктивов Евромеханика является размер 19 дюймов (482,6 мм) – это ширина передней панели блока. **Высота** блоков определяется в единицах U (44,45 мм). Рекомендуются к применению субблоки под печатные платы высотой 3U и 6U (высота печатной платы 100 мм и 233 мм соответственно). **Глубина** печатной платы может принимать размеры 100. 160. 220 и 280 мм. Плата с габаритами 100 x 160 мм называется Европлатой, печатная плата с габаритами 233 x 160 мм называется двойной Европлатой. Платы с габаритами 100 x 100, 100 x 220, 100 x 280 мм не получили широкого распространения.

Субблоки представляют из себя монтажные каркасы, состоящие из двух боковых панелей с монтажными фланцами и минимум четырех поперечных несущих монтажных рельсов, к которым с шагом 5,08 мм крепятся направляющие. Минимальное расстояние между двумя соседними направляющими в большинстве современных шинных стандартов составляет 20,32

мм, что позволяет в стандартный 19" субблок установить до 21 печатной платы. Однако во встраиваемых системах часто используются субблоки меньшей ширины (142, 213, и 320 мм).

Для конструирования миниатюрных приборов и оборудования настольного типа, носимой аппаратуры различными фирмами предлагается широкий спектр корпусов выполненных из полистирена, ABS-пластика, алюминиевых сплавов и нержавеющей стали с различными степенями пыле- и влагозащиты.

5. РАСЧЕТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В КОНСТРУКЦИЯХ РЭС

Электромагнитная совместимость (ЭМС) радиоэлектронного средства – это его способность функционировать совместно с другими техническими средствами в условиях возможного влияния непреднамеренных помех, не создавая при этом недопустимых помех другим средствам. Помехи по месту возникновения разделяются на внешние (параметры электромагнитной обстановки должны оговариваться в техническом задании) и внутренние, возникающие из-за электромагнитного взаимодействия электрических цепей внутри устройства (перекрестные помехи, помехи по цепям питания).

Схемотехнические меры по обеспечению ЭМС (применение схем, малочувствительных к отдельным видам помех, например, дифференциальных усилителей; применение различного рода фильтров и т.п.) в данном пособии не рассматриваются.

К конструктивным мерам обеспечения ЭМС относятся экранирование и разработка рационального электрического монтажа.

Экранирование является средством ослабления электромагнитного поля в пределах ограниченного пространства с помощью конструктивного элемента (экрана), выполненного из проводящего и (или) обладающего высокой магнитной проницаемостью материала, чаще всего металла. Экраны выполняются в виде замкнутого кожуха прямоугольной, цилиндрической или сферической формы (электромагнитные, магнитостатические и некоторые электростатические экраны), либо в виде металлической пластины, размещаемой между источником и приемником помехи (электростатические экраны). Если известны напряженности магнитного $H_{\text{п}}$ и электрического $H_{\text{д}}$ поля помехи и допустимые напряженности поля $H_{\text{д}}$ и $H_{\text{д}}$ (по условиям работоспособности узла), то требуемая эффективность экранирования определяется выражениями

$$\mathcal{E} \geq 20 \cdot \lg(E_{\text{п}}/E_{\text{д}}); \quad \mathcal{E} \geq 20 \cdot \lg(H_{\text{п}}/H_{\text{д}}) \text{ дБ.} \quad (5.1)$$

Последовательность расчетов при анализе ЭМС в курсовом и дипломном проекте:

1) обосновать применение экранирования, сопоставив уровень помех, заданных в ТЗ или создаваемых элементами конструкции блока (трансформаторами, дросселями, сигнальными цепями), с допустимым из условий работоспособности блока уровнем помех. Рассчитать требуемую эффективность экранирования по формуле (5.1);

2) определить характер помехи (электрическая, магнитная, электромагнитная) и выбрать соответствующий тип экрана. Если расстояние до источника помехи превышает $l \geq \lambda/2\pi$, где λ – длина волны помехи, применяют

электромагнитные экраны замкнутой формы (см. подраздел 5.1). В качестве материала экрана используют металлы с высокой проводимостью (латунь, медь, алюминий). Использование для электромагнитных экранов магнитных материалов обычно не целесообразно, так как снижение эффективности экранирования из-за меньшей их проводимости не компенсируется ростом эффективности за счет увеличения магнитной проницаемости. Требуемая эффективность экрана достигается выбором достаточной толщины стенок экрана в соответствии с формулой (5.2). Для экранирования магнитного поля при $l < \lambda/2\pi$, т.е. на низких частотах (поля рассеяния сетевых трансформаторов, дросселей, силовоточных цепей), необходим экран из материала с высокой магнитной проницаемостью – сплавов железа, пермаллоя, ферритов и т.п. Требуемая эффективность экрана обеспечивается достаточной толщиной стенок экрана (см. разд. 5.2). Экранирование электрического поля в ближней зоне (например, внутри высокочастотного модуля) выполняется металлическими экранами незамкнутой (пластина, помещенная между источником и приемником помехи) или замкнутой (кожух) формы. Эффективность экрана в соответствии с (5.6) и (5.7) зависит от размеров, толщины и проводимости материала экрана;

3) проверить эффективность выбранной конструкции экрана по формулам подразделов 5.1 и 5.2. Если необходимо, скорректировать конструкцию экрана (выбрать другой материал, размеры, толщину);

4) для анализа перекрестных помех в линиях связи и цепях питания микросхем выявить участки электрического монтажа на плате, в МСБ, где возникающие помехи и искажения сигналов могут повлиять на работоспособность узла (например, близко расположенные сигнальные проводники и т.д.);

5) по формулам табл. 5.1 и формулам (5.8), (5.9) рассчитать паразитные параметры линий связи и цепей питания. В соответствии с подразделами 5.3 и 5.4 сравнить их с рассчитанными допустимыми значениями. В случае несоответствия скорректировать конструкцию монтажных соединений (увеличить ширину проводников для уменьшения сопротивления и индуктивности, увеличить зазоры и уменьшить длину рядом расположенных участков для снижения взаимных емкости и индуктивности, установить навесные шины питания и т.д.).

5.1 Электромагнитное экранирование

Эффективность сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне определяется по формуле [7]:

$$\mathcal{E} = 20 \lg |\operatorname{ch}(kd)| + 20 \lg \left| 1 + 0,5 \cdot \left(\frac{Z_B}{Z_{\mathcal{E}}} + \frac{Z_{\mathcal{E}}}{Z_B} \right) \cdot \operatorname{th}(kd) \right| \text{ дБ}, \quad (5.2)$$

где $k = (1 + j)\sqrt{\frac{\omega \mu \mu_0 \sigma}{2}}$ – коэффициент распространения волны в металле; d – толщина стенки экрана, м; $Z_{\text{Э}} = (1 + j)\sqrt{\frac{\omega \mu \mu_0}{2\sigma}}$ характеристическое сопротивление материала экрана, Ом; $Z_{\text{В}}$ – характеристическое сопротивление окружающего пространства (для воздуха $Z_{\text{В}} = 377$ Ом); ω – частота, рад/с; $\mu \mu_0$ – магнитная проницаемость экрана; σ – электропроводность материала экрана.

При расчете экранирования в ближней зоне, когда расстояние до источника помехи сравнимо с длиной волны помехи, используют формулу (5.2), но значение $Z_{\text{В}}$ зависит от преобладающей составляющей поля помехи и от формы и размеров экрана:

при экранировании электрической составляющей поля

$$Z_{\text{В}}^E = \frac{1}{j \omega \varepsilon \varepsilon_0 r}, \text{ Ом} \quad (5.3)$$

при экранировании магнитной составляющей поля

$$Z_{\text{В}}^H = -j \omega \mu \mu_0 r, \text{ Ом.} \quad (5.4)$$

Здесь под величиной r понимают диаметр цилиндрического экрана, радиус сферического экрана либо величину, равную $a/\sqrt{2}$ для прямоугольного экрана (a – ширина параллелепипеда) в метрах.

5.2 Электростатическое и магнитостатическое экранирование

Когда источник и приемник помех находятся в непосредственной близости друг от друга, электрическое и магнитное поля действуют независимо. Источником (и приемником) магнитной помехи может являться любой проводник, по которому протекает ток. Источником электрической помехи будет любой проводник, находящийся под переменным потенциалом.

Для защиты от магнитных помех применяют экраны из материалов с высокой магнитной проницаемостью, эффективность которых [7] рассчитывают из выражения

$$\mathcal{E}_H = 20 \lg \left[1 + p \left(1 - \frac{a_1^2}{a_2^2} \right) \left(\frac{1}{\mu} + \mu - 2 \right) \right] \text{ дБ,} \quad (5.5)$$

где a_1 , a_2 - внешний и внутренний размеры экрана цилиндрической, сферической или прямоугольной форм; p зависит от формы экрана и равно 0,25 для цилиндрического экрана, 1,0 для прямоугольного экрана и 0,22 для сферического экрана.

Защита от электростатических помех осуществляется с помощью металлической пластины, помещаемой между источником и приемником помех, ее эффективность определяют по формуле

$$\mathcal{E}_E \approx 20 \lg \left(\frac{5r_{\mathcal{E}}}{a_1^2 a_2 - a_1 a_2^2} \right) \quad (5.6)$$

где a_1 – расстояние между источником и приемником помехи, м; a_2 – расстояние между экраном и приемником помехи, м; $r_{\mathcal{E}} \approx \sqrt{S_{\mathcal{E}}/\pi}$ – эквивалентный радиус экрана, м; $S_{\mathcal{E}}$ - площадь экрана.

Для электростатических экранов замкнутой формы

$$\mathcal{E}_E \approx 20 \lg(60 \cdot \pi \cdot d \cdot \sigma) \text{ дБ.} \quad (5.7)$$

Электростатические экраны обязательно должны соединяться с общим проводом электрической схемы, в противном случае эффективность их резко падает.

5.3 Расчет перекрестных помех в линиях связи

Паразитные параметры линий связи (собственная емкость и индуктивность) вызывают искажение передаваемых сигналов (для цифровых схем – увеличение длительности фронтов импульсов и дополнительная задержка сигналов). Взаимная емкость и индуктивность между электрическими цепями приводят к проникновению части сигнала из одной цепи в другую, что в аналоговых устройствах приводит к нежелательным каналам прохождения сигнала, непредусмотренным обратным связям и даже возбуждению узла, а в цифровых устройствах - к сбоям в работе. В табл. 5.1 приведены расчетные формулы, позволяющие с точностью 20...30% рассчитать собственные и взаимные паразитные параметры линий связи. Приведенные формулы могут быть использованы как для синтеза, так и для анализа топологии коммутационных плат.

При синтезе топологии из условий работы принципиальной схемы - допустимой задержки сигналов в линиях связи и допустимой величины напряжения помехи $U_{\text{п.доп}}$ – определяются требования к величине паразитных

реактивных параметров линий связи и в соответствии с табл. 5.1 к геометрическим параметрам проводников:

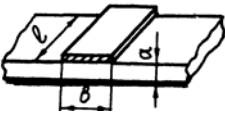
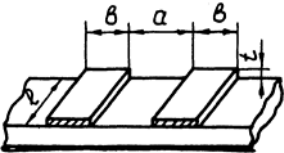
$$L < \tau \cdot R_{\text{вх}} - \text{при индуктивном характере связи (рис. 5. 1);}$$

$$C < \tau / R_{\text{вых}} - \text{при емкостном характере связи (рис. 5.2);}$$

$$M_{1,2} < U_{\text{п.доп}} \tau_{\Phi} / I - \text{при индуктивной взаимной связи (рис. 5.3);}$$

$$C_{1,2} < U_{\text{п.доп}} \tau_{\Phi} / UR_{\text{вых}} - \text{при емкостной взаимной связи (рис. 5. 4).}$$

Таблица 5.1

Эскиз линии связи (все размеры в м)	Емкость, взаимная емкость, пФ; индуктивность, взаимоиндукция, мкГн
	$C \approx \frac{\varepsilon + 1}{2} \varepsilon_0 \cdot b \cdot l$ $L \approx 0,4 \cdot \pi \frac{a}{b} l$
	$C = \frac{1,06(\varepsilon + 1) \cdot l}{\lg \frac{2a}{b+t}}$ $L = 0,004 \cdot l \cdot \left(\ln \frac{a+b}{t+b} - \frac{a-b}{l} + 0,2235 \frac{t+b}{l} + 1,5 \right)$ $C_{1,2} = \frac{13,9(\varepsilon + 1) \cdot l}{\ln \left(4 + \frac{4a}{b} \right)}$ $M_{1,2} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot l \cdot \left(\ln \frac{2b}{t+b} + \frac{t+b}{l} + 1 \right)$

После подстановки соответствующих выражений для L , C , $M_{1,2}$, $C_{1,2}$ получаем систему ограничений на геометрические размеры линий связи, например, ограничение на максимальные длины линий или рядом расположенных линий при фиксированных значениях ширины проводников и расстояниях между ними. Далее эти ограничения должны учитываться при разработке топологии.

При анализе уже разработанной топологии необходимо рассчитывать паразитные параметры цепей, имеющих на коммутационной плате наибольшую длину, минимальное расстояние, либо цепей, наиболее чувствительных к перекрестным помехам (например, связь между выходом и входом усили-

теля). Если на плате имеется хоть одна цепь, для которой указанные выше ограничения не выполнены, необходимо внести изменения в топологию коммутационной платы.

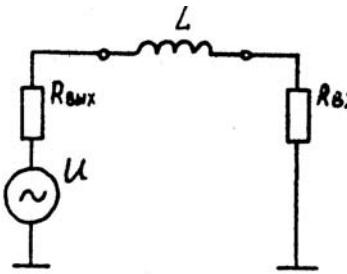


Рис. 5.1

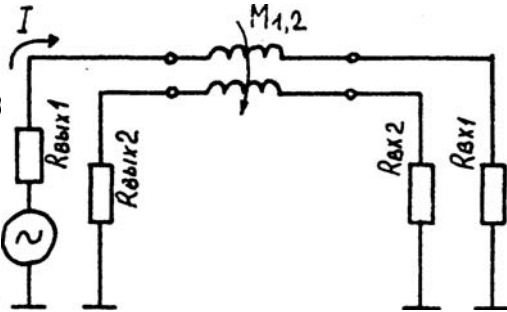


Рис. 5.3

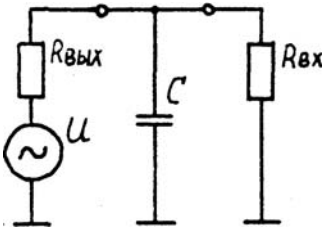


Рис. 5.2

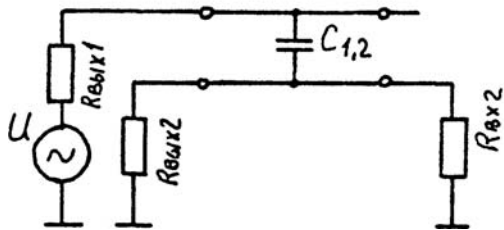


Рис. 5.4

5.4 Расчет перекрестных помех по цепям питания

Шины питания и общего провода могут стать причиной передачи помех, если сопротивление и индуктивность их будут недостаточно малы. В наихудшем случае, когда группа микросхем подключена к общему проводу "по цепочке", величина статической помехи определяется падением напряжения на сопротивлении r при протекании суммарного тока потребления I микросхем (рис. 5. 5):

Определение минимальной ширины проводников на плате, обеспечивающих статическую помехоустойчивость по цепям питания и общего провода рассмотрено в разделе 4.3.4.

В момент переключения микросхем в цепях питания протекает кратковременный импульс тока, значение которого ΔI_{Π} для ТТЛ-микросхем в 3...12 раз превышает статический ток потребления [5] (для КМОП-ИС равен току перезаряда емкости нагрузки элемента), а длительность приблизительно равна времени переключения логического элемента. Поэтому с учетом

динамической помехи $U_{\text{п.дин}}$ в наихудшем случае (одновременное переключение всех микросхем группы) должно выполняться условие

$$L_1 \leq \frac{U_{\text{п.дин}} \cdot \tau_{\phi}}{\Delta I_{\text{п}} \cdot n \cdot (n+1)} \quad (5.8)$$

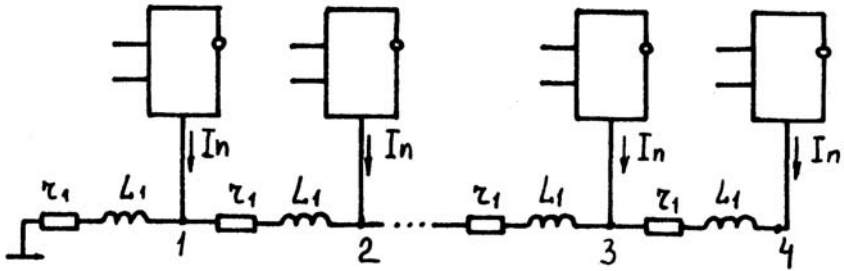


Рис. 5.5

Обеспечить условие (5.8) можно размещением микросхем в цепочке на минимально возможном расстоянии друг от друга (уменьшение длины проводников), увеличением ширины проводников b , а также применением блокировочных конденсаторов, размещаемых на плате в непосредственной близости от выводов микросхем и способствующих существенному уменьшению динамической составляющей потребляемого тока $\Delta I_{\text{п}}$.

6. РАСЧЕТЫ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РЭС

6.1 Методы теплового моделирования конструкций РЭС

Наиболее часто тепловое моделирование выполняется методами изотермических поверхностей и однородного анизотропного тела.

Модель изотермических поверхностей основана на выделении 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_{3i} , поверхность отдельного радиоэлемента с температурой $t_{эi}$ и т.д.

Тепловая модель, построенная по методу изотермических поверхностей, позволяет находить лишь среднеповерхностные температуры. Детализация модели дает возможность довести решение до определения температуры отдельного радиоэлемента, однако при этом резко возрастает размерность задачи.

Примеры построения тепловых моделей блоков РЭС методом изотермических поверхностей приведены в [24].

Модель однородного анизотропного тела состоит в представлении реальной конструкции или ее части однородным анизотропным телом в виде прямоугольного параллелепипеда с внутренними источниками тепла, для которого находят эквивалентные коэффициенты теплопроводности λ_x , λ_y и λ_z по направлениям осей координат, перпендикулярных граням параллелепипеда. При известных коэффициентах теплопроводности и геометрических размерах l_x , l_y , l_z однородного анизотропного тела можно определить тепловое сопротивление R_0 между центром тела и его поверхностью. Формула для расчета R_0 , полученная в результате решения дифференциального уравнения теплопроводности, характеризующего температурное поле однородного анизотропного параллелепипеда, записывается в виде

$$R_0 = Cl_z / (4\lambda_z l_x l_y), \quad (6.1)$$

где C – коэффициент, характеризующий форму однородного анизотропного тела, значение которого обычно представляют графически [4, 24]

Знание R_0 позволяет найти температуру в центре однородного анизотропного тела как

$$t_0 = t_S + R_0 P,$$

где t_S — температура на поверхности тела; P — суммарный тепловой поток внутренних источников тепла.

В задачах анализа тепловых режимов конструкций РЭС моделью однородного анизотропного тела обычно представляют нагретую зону конструкции. Определение по формуле (6.1) теплового сопротивления R_0 между центром и поверхностью нагретой зоны позволяет найти температуру t_0 центра нагретой зоны как самой «горячей» точки в пределах конструкции. Знание этой температуры уже достаточно для объективной оценки теплового режима. Однако возможности метода существенно расширяются, если воспользоваться приближенной формулой, позволяющей определить тепловое сопротивление между любой внутренней точкой однородного анизотропного параллелепипеда и его поверхностью

$$R_{0j} = R_0 (1 - l_j^2 / L^2), \quad (6.3)$$

где l_j — расстояние между центром параллелепипеда и точкой j ; L — расстояние между центром параллелепипеда и его поверхностью по прямой, проходящей через точку j .

Если с j -й точкой нагретой зоны связано положение некоторого радиоэлемента, то формула (6.3) позволяет найти его температуру как

$$t_{0j} = t_S + R_{0j} P$$

Условия применения метода однородного анизотропного тела и порядок построения тепловой модели РЭС подробно изложены в [4, 24].

6.2 Методы расчета тепловых режимов РЭС

Одной из основных задач расчета показателей теплового режима является определение температур в некоторых критических точках конструкции или построение тепловой характеристики, т.е. зависимости температуры или перегрева j -й точки (области конструкции) от теплового потока при заданной температуре окружающей среды t_c

$$t_j = t_c + f(P), \quad \Delta t_j = t_j - t_c = f(P).$$

При передаче тепла теплопроводностью, конвекцией и излучением

$$\Delta t_j = P / \sigma_{\Sigma},$$

где $\sigma_{\Sigma} = \sigma_T + \sigma_K + \sigma_{\text{л}}$ — эквивалентная тепловая проводимость между j -й точкой конструкции и окружающей средой.

Ввиду того что составляющие σ_{Σ} зависят как от температуры t_j , так и от температуры окружающей среды t_c , задача расчета t_j и Δt_j , в общем случае является неопределенной. Для исключения неопределенности используются специальные приемы, положенные в основу наиболее часто применяемых методов расчета показателей теплового режима: метода последовательных приближений и метода тепловой характеристики.

Метод последовательных приближений представляет собой итеративный процесс установления соответствия с некоторой наперед заданной точностью между температурой t_j или перегревом Δt_j , эквивалентной тепловой проводимостью σ_{Σ} и тепловым потоком P .

Начальное значение перегрева $\Delta t'_j$ (температуры t'_j) j -й точки или области конструкции задают произвольно, после чего находят σ'_{Σ} и расчетное значение перегрева $\Delta t'_{jр}$ (температуры $t'_{jр}$), в первом приближении

$$\Delta t'_{jр} = P/\sigma'_{\Sigma}, \quad t'_{jр} = t_{oc} + P/\sigma'_{\Sigma}.$$

При выполнении неравенства $|\Delta t'_j - \Delta t'_{jр}| \leq \delta$, где $\delta = (1 \dots 2)^{\circ}\text{C}$, за истинное значение перегрева принимают Δt_j или $\Delta t'_{jр}$. Если неравенство не выполняется, то расчет повторяется во втором приближении при $\Delta t''_j = \Delta t'_{jр}$.

Более подробно порядок решения задачи можно представить следующим образом:

- задают значение перегрева $\Delta t'_j$ в первом приближении;
- для среднего значения температуры окружающей среды $t'_{ср} = 0,5[t_c + (t_c + \Delta t'_j)]$ с помощью критериальных уравнений или по номограмме определяют конвективный коэффициент теплопередачи α'_k ;
- для температуры $t'_j = t_c + \Delta t'_j$ находят коэффициент теплопередачи излучением $\alpha'_{л}$;
- определяют коэффициент теплопередачи теплопроводностью αT и эквивалентную тепловую проводимость $\sigma'_{\Sigma} = \alpha T S_{ср} + \alpha'_k S + \alpha'_{л} S$, где S — площадь поверхности теплообмена;
- находят расчетное значение перегрева для заданного теплового потока $\Delta t'_{jр} = P/\sigma'_{\Sigma}$;
- проверяют условие $|\Delta t'_j - \Delta t'_{jр}| \leq \delta$, где δ — допустимое отклонение расчетного значения перегрева от принятого в первом приближении; если неравенство не выполняется, то повторяют расчет во втором приближении при $\Delta t''_j = \Delta t'_{jр}$.

Количество приближений в расчетной процедуре зависит от величины δ и того, насколько удачно задано значение перегрева в первом приближении.

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

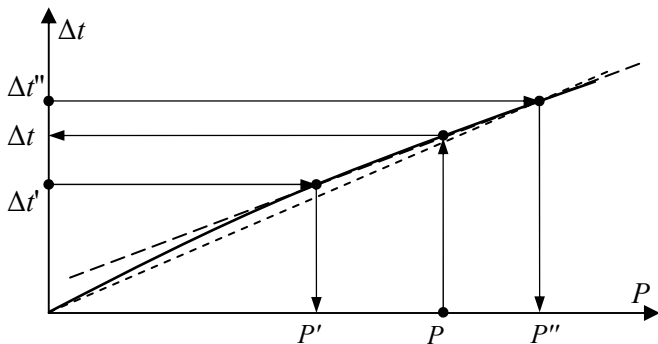


Рис. 6.1. Общий вид тепловой характеристики

Для построения тепловой характеристики задают произвольное значение перегрева $\Delta t'_j$, $\Delta t''_j$, близкие к ожидаемому перегреву Δt_j , как и в методе последовательных приближений; находят эквивалентную тепловую проводимость между j -й точкой и окружающей средой σ'_Σ , затем тепловой поток $P' = \sigma'_\Sigma \Delta t'_j$, аналогично, P'' , который способна рассеять конструкция при данных условиях теплообмена. Значения $\Delta t'_j$, P' и $\Delta t''_j$, P'' являются координатами точек, лежащих на тепловой характеристике (рис. 6.1). При малых перегревах $\Delta t'_j$, $\Delta t''_j$ и малой разнице между ними тепловую характеристику можно приближенно представить наклонной прямой линией. По тепловой характеристике может быть найдены перегрев и температура j -й точки или области конструкции при любом заданном значении теплового потока P .

Подробное изложение названных методов расчета показателей тепловых режимов, проиллюстрированное примерами, можно найти в [4, 24].

6.3 Тепловое моделирование и расчет теплового режима РЭС с источниками тепла, распределенными в объеме

К данному классу РЭС относятся конструкции блоков книжного, веерного и разъемного типов. Общим для них является то, что нагретая зона представляет собой объем, занимаемый собранными в пакет функциональ-

ными ячейками (ФЯ). Самая «горячая» точка конструкций - центр нагретой зоны.

Схематическое изображение конструкции приведено на рис. 6.2,а. Пакет функциональных ячеек (нагретая зона) 1 размещен в корпусе 2 и закреплен на корпусе с помощью установочных элементов 3 (бобышек, втулок, кронштейнов, угольников и др).

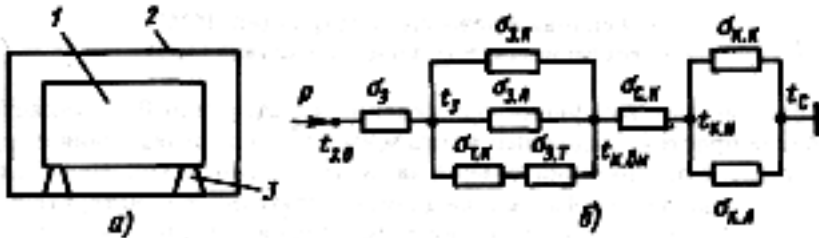


Рис. 6.2. Тепловая модель конструкции блока с объемной нагретой зоной
 а — схематическое изображение конструкции; б — тепловая схема

При построении тепловой модели принимаются следующие допущения:

- поверхности корпуса и нагретой зоны являются изотермическими;
- нагретая зона представляет собой однородное анизотропное тело.

Тепло от центра нагретой зоны с температурой t_{z0} теплопроводностью (эквивалентная тепловая проводимость σ_3) выводится на поверхность нагретой зоны. С поверхности нагретой зоны посредством конвективной ($\sigma_{3к}$) и лучевой ($\sigma_{3л}$) теплопередачи через воздушные прослойки, теплопроводностью контакта «нагретая зона - установочные элементы» ($\sigma_{тк}$) и самих установочных элементов ($\sigma_{зт}$) тепло передается на внутреннюю поверхность корпуса. За счет теплопроводности стенок ($\sigma_{ск}$) тепло выводится на наружную поверхность корпуса, откуда конвекцией ($\sigma_{кк}$) и излучением ($\sigma_{кл}$) переносится в окружающее пространство.

Тепловая схема, отражающая процесс теплообмена конструкции с окружающей средой, приведена на рис. 6.2, б.

Критериальной оценкой теплового режима блока является температура в центре нагретой зоны t_{z0} . Как следует из тепловой схемы рис. 6.2,б

$$t_{z0} = t_3 + P/\sigma_3,$$

$$t_3 = t_{К.ВН} + \frac{P}{\sigma_{3.К.} + \sigma_{3.Л} + \frac{\sigma_{Т.К.}\sigma_{3.Т.}}{\sigma_{Т.К.} + \sigma_{3.Т.}}}$$

$$t_{К.ВН.} = t_{К.Н} + P/\sigma_{СК}$$

$$t_{К.Н} = t_c + P/(\sigma_{КК} + \sigma_{КЛ.})$$

Здесь P — тепловой поток, рассеиваемый конструкцией; σ_3 — тепловая проводимость нагретой зоны от центра к ее поверхности:

$$\sigma_3 = \frac{4\lambda_z l_x l_y}{cl_z}$$

где λ_z — эквивалентный коэффициент теплопроводности нагретой зоны по направлению z ; l_x, l_y, l_z — приведенные геометрические размеры нагретой зоны по соответствующим направлениям осей координат; C — коэффициент формы нагретой зоны, определяемый по графикам [4, 24]; $\sigma_{3К}$ — конвективно-кондуктивная тепловая проводимость между нагретой зоной и внутренней стенкой корпуса:

$$\sigma_{3.К.} = \frac{\kappa_{П} \lambda_{В} (S_3 + S_{К.ВН.})}{l_{СР} 2}$$

где $K_{П}$ — поправочный коэффициент на конвективный теплообмен в условиях ограниченного пространства; $\lambda_{В}$ — коэффициент теплопроводности воздуха для среднего значения температуры воздуха в прослойке; $l_{СР}$ — среднее расстояние между нагретой зоной и кожухом; S_3 — площадь поверхности нагретой зоны; $S_{К.ВН.}$ — площадь внутренней поверхности корпуса; $\sigma_{3Л}$ — тепловая проводимость теплопередачи от нагретой зоны к внутренней стенке корпуса излучением:

$$\sigma_{3Л} = \alpha_{3Л} S_3$$

где $\alpha_{3Л}$ — коэффициент теплопередачи излучением; $\sigma_{ТК}$ — тепловая проводимость контакта между нагретой зоной и установочными элементами; $\sigma_{3Т}$ — тепловая проводимость установочных элементов:

$$\sigma_{3.Т.} = \frac{n\lambda}{l} S_{СР}$$

где n – число элементов; λ – коэффициент теплопроводности материала; l – длина установочных элементов по направлению теплового потока; $S_{Ср}$ – площадь средней изотермической поверхности, перпендикулярной направлению теплового потока; $\sigma_{СК}$ – тепловая проводимость стенок кожуха;

$$\sigma_{СК} = \frac{\lambda_{СК} (S_{К.ВН} + S_{К.Н})}{\delta_{СК} \cdot 2}$$

где $\lambda_{СК}$ – коэффициент теплопроводности материала корпуса; $\delta_{СК}$ – толщина стенки; $S_{К\ ВН}$, $S_{К\ Н}$ – площади внутренней и наружной поверхностей корпуса; $\sigma_{К\ К}$ – тепловая проводимость от наружной поверхности корпуса к среде для конвективной теплопередачи:

$$\sigma_{К\ К} = \alpha_{К} S_{К\ Н}$$

где $\alpha_{К}$ – коэффициент теплопередачи; $\sigma_{КЛ} = \alpha_{Л} S_{К\ Н}$ – тепловая проводимость от наружной стенки корпуса к среде для теплопередачи излучением; $\alpha_{Л}$ – коэффициент теплопередачи излучением.

Расчет показателей теплового режима блоков может быть выполнен методом последовательных приближений или тепловой характеристики. В ориентировочных расчетах для определения тепловой проводимости σ_3 от центра нагретой зоны к ее поверхности можно воспользоваться усредненными значениями эквивалентных коэффициентов теплопроводности нагретой зоны: $\lambda_x = \lambda_z = 0,35$ Вт/(м • К), $\lambda_y = 0,09$ Вт/(м • К). Оси координат Ox и Oz лежат в плоскости плат функциональных ячеек, ось Oy – перпендикулярна плоскостям плат.

Для условий теплообмена в ограниченном пространстве коэффициент теплопередачи излучением $\alpha_{ЛЗ}$ может быть принят равным 7 Вт/(м² К).

Порядок расчета тепловой контактной проводимости $\sigma_{ТК}$ подробно изложен в [4, 24].

При малой толщине стенки ($\delta_{СК} = 1,5...2$ мм) тепловым сопротивлением стенок корпуса, выполненного из металлических сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности, обычно пренебрегают. Однако если используется корпус из пластмассы, то тепловую проводимость стенок $\sigma_{СК}$ необходимо учитывать.

Для определения конвективного $\alpha_{К}$ и лучевого $\alpha_{Л}$ коэффициентов теплопередачи в условиях неограниченного пространства (теплообмен между

наружной стенкой кожуха и окружающей средой) можно воспользоваться номограммами [24, 25].

6.4 Тепловое моделирование и расчет теплового режима блоков цифровых РЭС на микросборках

Блоки цифровых РЭС на микросборках обычно выполняются в виде конструкций книжного типа (см. рис. 3.10). Нагретая зона микроблока состоит из функциональных ячеек на металлических рамках, выполняющих функции несущих элементов конструкции и кондуктивных теплостоков.

Процессы теплообмена можно представить тепловой моделью конструкций с источниками тепла, распределенными в объеме (см. разд.6.3).

Однако при определении тепловой проводимости между центром и поверхностью нагретой зоны σ_3 в конструкции ФЯ (рис. 6.3) свойство «дальнего порядка» частично нарушается, поскольку не все элементы ячейки имеют одинаковые геометрические формы и не выполняется требование периодичности их размещения. Поэтому параметры модели нагретой зоны в виде однородного анизотропного тела получают на основе выбора в качестве элементарной тепловой ячейки функциональной ячейки микроблока (система с «ближним порядком»).

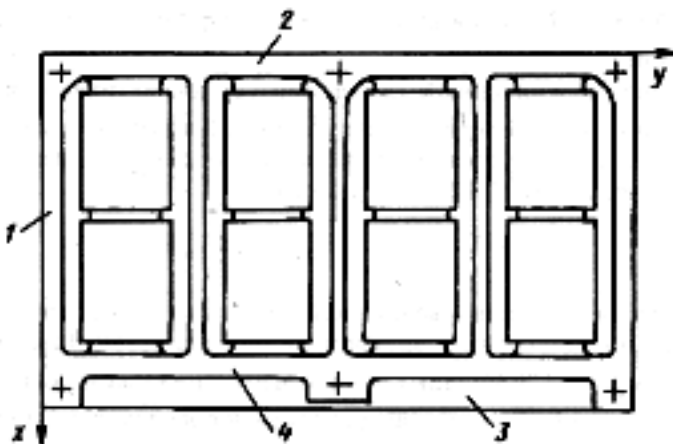


Рис. 6.3. Конструкция односторонней функциональной ячейки

Как видно из рис. 6.3, тепло по направлению x в ячейке передается преимущественно через боковые ребра жесткости рамки 1 и печатную плату 3. Другие элементы конструкции, обладающие относительно высокими коэффициентами теплопроводности, включены последовательно с воздушными прослойками ($\lambda_B = 0,025$ Вт/(м·К)).

Аналогичен механизм передачи тепла через элементы конструкции ФЯ в направлении y . Основными цепями переноса тепла являются верхнее 2 и нижнее 4 ребра жесткости рамки.

По направлению z тепло в пределах ФЯ передается через винты, стягивающие ячейки в пакет, и через ребра жесткости рамки 1 и 2, по которым осуществляется тепловой контакт между ячейками в пакете.

Таким образом, тепловые проводимости ФЯ по направлениям осей координат:

$$\sigma_{yX} = 2\lambda_p S_{p1} / l_{p1}; \quad \sigma_{yY} = \lambda_p (S_{p3} + S_{p4}) / l_{p3}$$

$$\sigma_{yZ} = (\lambda_{BH} S_{BH} + \lambda_p S_{KH.P}) / l_{BH}$$

где λ_p - коэффициент теплопроводности материала рамки; S_{p1}, S_{p2}, S_{p3} - площади поперечного сечения соответствующих ребер жесткости рамки; l_{p1}, l_{p3} - длины ребер жесткости; λ_{BH} - коэффициент теплопроводности материала стягивающих винтов; S_{BH} - суммарная площадь поперечного сечения винтов; S_{KH} - площадь теплового контакта между рамками ФЯ; l_{BH} - длина винта в пределах рамки или высота рамки.

Тепловые проводимости нагретой зоны по направлениям осей координат

$$\sigma_{3X} = m\sigma_{yX}, \quad \sigma_{3Y} = m\sigma_{yY}, \quad \sigma_{3Z} = \sigma_{yZ}/m$$

где m — число функциональных ячеек в блоке.

Эквивалентные коэффициенты теплопроводности нагретой зоны по направлениям осей координат

$$\lambda_X = \sigma_{3X} l_x / (l_y l_z); \quad \lambda_Y = \sigma_{3Y} l_y / (l_x l_z); \quad \lambda_Z = \sigma_{3Z} l_z / (l_x l_y),$$

где l_x, l_y, l_z — геометрические размеры нагретой зоны по направлениям координат.

Эквивалентные размеры нагретой зоны для $\lambda_Z = \lambda_0, l_{z0} = l_z$,

$$l_{x0} = l_x \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda_x}}, \quad l_{y0} = l_y \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda_y}}$$

Через отношения l_z/l_{x0} и l_z/l_{y0} по графикам [4, 24] находят коэффициент формы нагретой зоны C , после чего определяют тепловую проводимость между центром и поверхностью нагретой зоны

$$\sigma_3 = 4\lambda_Z l_x l_y / (C l_z).$$

6.5 Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкций РЭС с источниками тепла, расположенными в плоскости

Модель распространяется на конструкции блоков и модулей РЭС, выполненных на одной плате, закрепленной на кожухе.

Упрощенное изображение конструкции приведено на рис. 6.4,а, тепловая схема - на рис. 6.4,б. Особенностью таких конструкций является распределение источников тепла в одной плоскости. Механизм теплообмена и тепловая модель в целом аналогичны конструкциям РЭС с источниками тепла, распределенными в объеме (см. рис. 6.2,а). Однако размещение тепловыделяющих элементов в плоскости дает возможность при оценке теплового режима ограничиваться расчетом среднеповерхностной температуры нагретой зоны t_3 , которая с небольшой погрешностью может быть принята в качестве характеристики теплового режима элементов. Структуры тепловых проводимостей на тепловых схемах рис. 6.2,б и 6.4,б полностью совпадают.

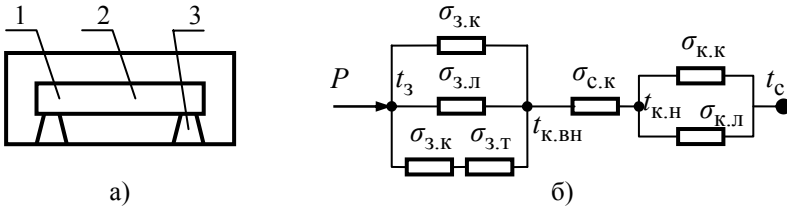


Рис. 6.4. Тепловая модель конструкции блока с планарной нагретой зоной: а — упрощенное изображение конструкции; б — тепловая схема

6.6 Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкций РЭС с естественной вентиляцией

Естественная вентиляция в конструкциях осуществляется за счет перфорации кожухов, что обеспечивает естественное подтекание холодного воздуха к тепловыделяющим элементам и, тем самым, повышает эффективность теплообмена.

Интенсивность свободной конвекции с притоком воздуха извне характеризуется коэффициентом перфорации

$$K_{\Pi} = S_{ВХ} / (L_1 L_2)$$

где $S_{ВХ}$ - суммарная площадь отверстий в нижней стенке кожуха на входе в блок; L_1, L_2 - геометрические размеры стенки.

Обычно коэффициент перфорации $K_{\Pi} = 0,05 \dots 0,1$. Входные и выходные отверстия в кожухе выполняются напротив нагретой зоны плат, причем суммарная площадь выходных отверстий в 1,5...2 раза больше $S_{ВХ}$.

Показатели теплового режима блока с перфорированным кожухом могут быть найдены, если известны показатели для блока с естественным воздушным охлаждением без притока воздуха:

$$\Delta t_{30 \text{ EB}} = C_{\Pi} \Delta t_{30}; \quad \Delta t_{3 \text{ EB}} = C_{\Pi} \Delta t_3; \quad \Delta t_{\text{к EB}} = C_{\Pi} \Delta t_{\text{к}},$$

где: $\Delta t_{30 \text{ EB}}$, Δt_{30} , $\Delta t_{3 \text{ EB}}$, Δt_3 , $\Delta t_{\text{к EB}}$, $t_{\text{к}}$ – перегревы центра нагретой зоны, поверхности нагретой зоны и поверхности кожуха для конструкций с перфорированным (EB) и глухим кожухом; C_{Π} – поправочный коэффициент, являющийся функцией коэффициента перфорации.

График зависимости C_{Π} от коэффициента перфорации K_{Π} приведен на рис. 6.5.

Таким образом, блоки РЭС с естественной вентиляцией можно представить тепловыми моделями блоков с глухими кожухами и после расчета показателей теплового режима ввести поправку на естественную вентиляцию.

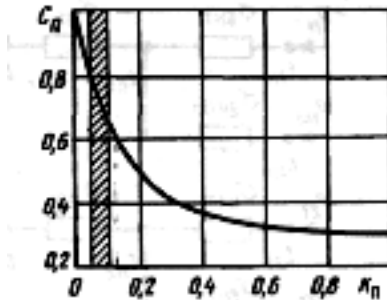


Рис. 6.5. График для определения поправочного коэффициента C_{Π}

6.7 Тепловое моделирование конструкций с тепловыделяющими элементами, размещенными на металлических основаниях

Данный класс объединяет конструкции аналоговых РЭС на микросборках. Типичный представитель - конструкции в корпусах типа «пенал». Упрощенное изображение конструкции приведено на рис. 6.6,а.

Бескорпусные микросборки 3 размещены на металлическом основании 2, которое устанавливается в корпус 1. Характерная особенность конструкций - передача тепла от элементов микросборок к корпусу преимущественно

теплопроводностью через внутреннюю тепловую проводимость тепловыделяющих элементов $\sigma_{ВН}$, тепловые проводимости подложки микросборки $\sigma_{П}$ и клевого соединения $\sigma_{КЛ}$ подложки микросборки и основания. Основание и корпус можно принять за изотермическую поверхность. Передача тепла с поверхности корпуса окружающей среде осуществляется конвекцией и излучением. При условии, что в пределах каждой из n микросборок отсутствует взаимное тепловое влияние между элементами (предусмотрены зоны тепловой защиты элементов) тепловая схема процесса теплообмена в конструкции может быть представлена в виде рис. 6.6,б.

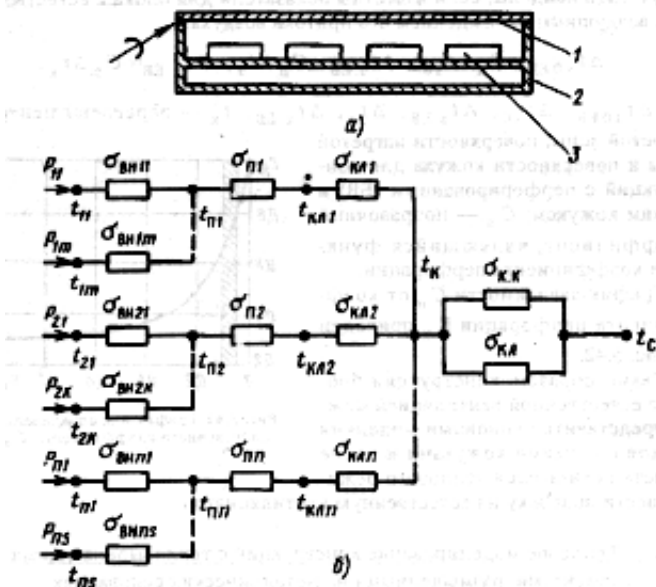


Рис. 6.6. Тепловая модель конструкции пенального типа на микросборках:
 а — схематическое изображение конструкции; б — тепловая схема

Значения внутренних тепловых проводимостей для бескорпусных интегральных микросхем и транзисторов берут из технических условий на элементы или определяют по тепловой схеме рис. 6.7,б. Исходя из способа установки кристалла на подложке (рис. 6.7,а) тепло от активной области кристалла стекает на подложку 3 через кристалл 1 ($\sigma_{КР}$), слой клея 2 ($\sigma_{КЛ}$) и выводы 4 ($\sigma_{ВЫВ}$).

Критериальной оценкой теплового режима конструкции является температура наиболее теплонагруженного или наименее теплостойкого элемен-

та. Температура i -го элемента, расположенного на j -й подложке, может быть найдена как

$$t_{ij} = t_{Пj} + P_{ij} / \sigma_{ВН ij}$$

$$t_{Пj} = t_K + \sum_{i=1}^m P_{ij} (1 / \sigma_{Пj} + 1 / \sigma_{КЛj})$$

$$t_K = t_C + \sum_{j=1}^n P_j / (\sigma_{КК} + \sigma_{КЛ})$$

где P_{ij} - тепловой поток i -го элемента на j -й подложке; P_j - суммарный тепловой поток, выделяемый элементами j -й микросборки; m - число элементов на подложке j -й микросборки; n - число микросборок.

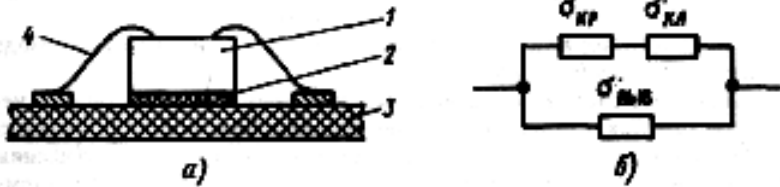


Рис. 6.7. К определению внутренней тепловой проводимости активного бескорпусного элемента.

a - вариант установки на подложке; *б* - тепловая схема

При известных геометрических размерах элементов и коэффициентах теплопроводности материалов определение проводимостей кондуктивной теплопередачи не вызывает затруднений.

7. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В процессе изготовления, транспортировки и эксплуатации РЭС подвергаются различным механическим воздействиям: линейным ускорениям, вибрации (периодическим знакопеременным нагрузкам) и ударам (непериодическим, кратковременным нагрузкам). Нагрузки могут быть направленными вдоль одной оси (линейные ускорения вдоль продольной оси при разгоне ракеты) либо действовать по всем трем взаимно перпендикулярным направлениям (наиболее общий случай).

Аппаратура считается вибропрочной, если она сохраняет работоспособность после воздействия механических нагрузок (например, после транспортировки к месту эксплуатации каким-либо видом транспорта, после выведения спутника на орбиту и т.д.). Аппаратура считается виброустойчивой, если она сохраняет работоспособность во время действия механических нагрузок (например, во время движения). Для виброустойчивой (вибропрочной) аппаратуры при любых оговоренных в техническом задании внешних механических воздействиях должны выполняться следующие условия:

1. Если аппаратура установлена на амортизаторах, то нагрузка на каждый амортизатор не превышает допустимую для данного типа амортизатора, и деформация амортизаторов во всем частотном диапазоне не превышает допустимый прогиб.

2. Усилия, возникающие в элементах крепления вследствие воздействия собственного веса блока или закрепленных элементов конструкции mg , линейного ускорения $ma_{\text{л}}$ и вибрационных ускорений (виброперегрузки) $ma_{\text{в}}$ не превышают величину, определяемую пределом прочности (пределом усталостной прочности при знакопеременных воздействиях) элементов крепления.

3. Прогибы печатных плат при вибрации не превышают допустимый прогиб, определяемый следующим образом [8]:

$$S_{\text{доп}} = \delta_{\text{доп}} \frac{l^2}{L_{\text{Б}}^2} \quad (7.1)$$

где l – размер меньшей стороны платы, м; $\delta_{\text{доп}}$ – допустимая стрела прогиба материала платы на базовой длине $L_{\text{Б}} = 1$ м, определяемая по табл. 7.1.

4. Виброперегрузка и амплитуда колебаний электрорадиоэлементов не превышает значений, оговоренных в технических условиях на эти ЭРЭ.

5. При использовании микросборок с установленными на них бескорпусными компонентами амплитуда колебаний и виброскорость МСБ не должна превышать 0,3 мм и 800 мм/с соответственно.

Таблица 7.1

Толщина листа, мм	Допустимая стрела прогиба на 1 м длины, мм/м ²			
	одностороннее фольгирование		двухстороннее фольгирование	
	гетинакс	стеклотекстоли т	гетинакс	стеклотекстоли т
0,8; 1,0	109	109	55	22
1,5	55	30	27	11
2,0	40	25	20	11
2,5; 3,0	30	15	15	11

Механические воздействия передаются от объекта установки через амортизаторы или элементы жесткого крепления корпусу блока (рис. 7.1, а), далее через элементы внутриблочной несущей конструкции (например, каркас) к точкам крепления ячеек, далее через несущее основание ячейки (печатную плату, металлическую рамку и т.д.) к местам крепления электрорадиоэлементов и микросборок. Вследствие значительной разницы массы и частоты собственных колебаний отдельных элементов конструкции блока приближенно можно считать, что передача колебаний на каждом из упомянутых участков описывается моделью колебательной системы с одной степенью свободы (рис. 7.2).

В том случае, когда блок установлен на амортизаторах (рис. 7.1, б) должны быть выполнены условия рациональной расстановки амортизаторов:

$$\begin{aligned} \Sigma P_i = G ; \Sigma P_i x_i = 0 ; \Sigma P_i y_i = 0 ; \Sigma P_i z_i = 0 ; \\ \Sigma P_i x_i y_i = 0 ; \Sigma P_i y_i z_i = 0 ; \Sigma P_i x_i z_i = 0 , \end{aligned} \quad (7.2)$$

где $G = mg$ – вес блока; P_i – нагрузка, приходящаяся на i -й амортизатор (реакция амортизатора); x_i, y_i, z_i – координаты i -го амортизатора (начало координат выбирается произвольно, но часто удобно принять за начало отсчета центр масс блока).

Амплитуда колебаний блока, установленного на амортизаторах, для любой частоты внешнего гармонического вибрационного воздействия определяется из решения дифференциального уравнения колебательной системы с одной степенью свободы (рис. 7.2):

$$\frac{|S_1|}{|S_0|} = \frac{|a_1|}{|a_0|} = \eta = \frac{\sqrt{1 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}}{\sqrt{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}} \quad (7.3)$$

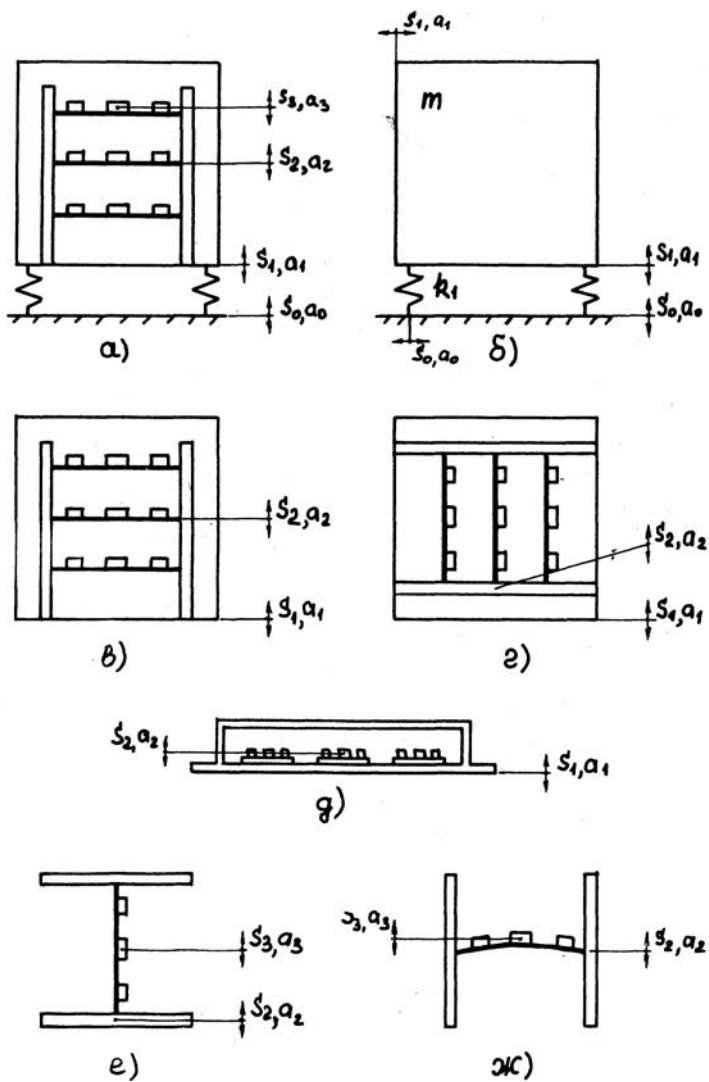
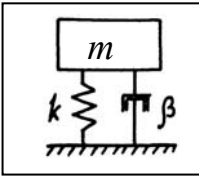


Рис. 7.1

где S_0, S_1 – амплитуды колебаний объекта установки и корпуса блока; a_0, a_1 – вибрационные ускорения объекта установки и корпуса блока; η – коэффициент передачи;



$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sum k_i}{m}}$ – собственная частота колебаний блока на амортизаторах, Гц; $\sum k_i$ – суммарная жесткость системы амортизаторов вдоль оси, параллельной направлению колебаний, Н/м; δ_0 – коэффициент демпфирования амортизаторов.

Рис. 7.2

Поскольку упругий элемент амортизатора испытывает деформацию, что может привести к отказу, необходимо знать амплитуду этой деформации (прогиба):

$$\frac{|S_1 - S_0|}{|S_0|} = \eta^* = \frac{(f/f_0)^2}{\sqrt{(1 - (f/f_0)^2)^2 + 4\delta_0^2 (f/f_0)^2}} \quad (7.4)$$

Амплитуда деформации на любой частоте не должна превышать величину допустимого прогиба для конкретного типа амортизатора.

Справочные данные по различным типам серийно выпускаемых амортизаторов приведены в [4, 5, 22].

Графики зависимостей η и η^* от относительной частоты f/f_0 приведены на рис. 7.3 и 7.4. Наибольшая амплитуда колебаний блока и амплитуда деформации упругого элемента при постоянной амплитуде колебаний объекта установки наблюдается на частоте, близкой к частоте собственных колебаний (явление резонанса). Поэтому проверку допустимой величины амплитуды колебаний и виброускорений (виброперегрузок) следует проводить на частоте резонанса, если она попадает в диапазон частот внешних вибраций, а также на крайних верхней и нижней частотах внешних вибраций.

Поскольку механические колебания объекта установки могут происходить в любом из направлений (если иное не оговорено в техническом задании), а у амортизаторов продольная и поперечная жесткости, как правило, не совпадают, а следовательно, не совпадают частоты собственных колебаний вдоль разных осей, проверку вибропрочности (виброустойчивости) необходимо в общем случае производить вдоль каждой оси отдельно.

В случае жесткого закрепления блока или микроблока на объекте его колебания передаются корпусу блока без изменений:

$$S_1 = S_0 ; a_1 = a_0$$

Различные варианты передачи вибрации от корпуса блока к точкам крепления ячеек представлены на рис. 7.1, в-ж.

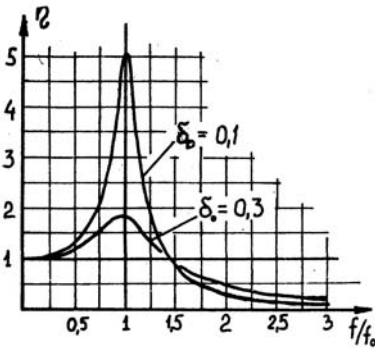


Рис. 7.3

Если колебания корпуса (в данном примере вдоль вертикальной оси) передаются вдоль ребер или стенок каркаса (рис. 7.7, в), то ввиду значительной продольной жесткости несущих элементов каркаса можно считать, что колебания к точкам крепления ячеек передаются без изменений: $S_2 = S_1$; $a_2 = a_1$.

Если вибрация передается перпендикулярно ребрам каркаса (рис. 7.1, з), то для такой конструкции применима модель в виде балки, нагруженной по длине сосредоточенными массами ячеек m_i (рис. 7.5, а, б). Колебания такой системы также описываются моделью с одной степенью свободы (см. рис. 7.2), а значения коэффициентов

передачи $\eta = \frac{|S_2|}{|S_1|} = \frac{|a_2|}{|a_1|}$ и $\eta^* = \frac{|S_2 - S_1|}{|S_1|}$ вычисляются по формулам (7.3) и (7.4). Частота собственных колебаний определяется

$$f_0 = \frac{\varphi}{a^2} \sqrt{\frac{EJ}{m_l}} \text{ Гц,} \quad (7.5)$$

где E – модуль упругости материала балки, Н/м²; J – момент инерции сечения балки, м⁴; m_l – распределенная масса балки, кг/м (рис. 7.5, в); a – длина

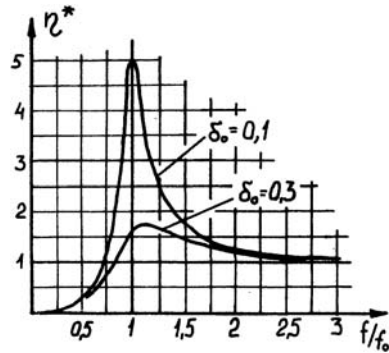


Рис. 7.4

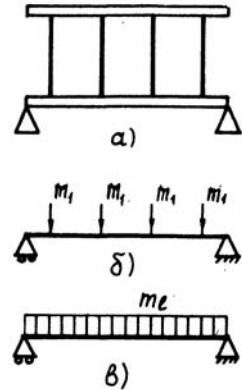

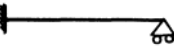



Рис. 7.5

балки (расстояние между опорами), м; φ – коэффициент, зависящий от способа закрепления концов балки (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Способ закрепления	Коэффициент частоты φ			
	Номер гармоники			
	1	2	3	4
	3,56	9,82	19,3	31,9
	2,45	7,95	16,6	28,4
	1,57	6,3	14,1	24,2
	0,56	3,5	9,83	19,3

Приведение набора n одинаковых равномерно распределенных по длине масс ячеек m_l к эквивалентной распределенной массе выполняется по формуле

$$m_l = m_{l0} + \frac{(n+1)m_l}{l} \text{ кг/м.} \quad (7.6)$$

Приведение неравных или неравномерно расположенных масс описано в [2, с. 217-219].

Для конструкции, изображенной на рис. 7.1, д, например, микроблока

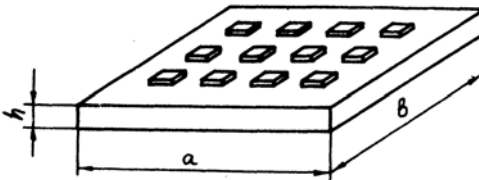


Рис. 7.6


пенальной конструкции с микросборками, прикрепленными ко дну корпуса, характерна передача колебаний блока к микросборкам через упругость стенки блока. В этом случае применяется модель в виде пластины, закрепленной по периметру и нагруженной по

площади массами ЭРЭ и микросборок (рис. 7.6). Колебания пластины вдоль оси, перпендикулярной плоскости пластины, также описываются моделью рис. 7.2 и выражениями (7.3) и (7.4), при этом

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\alpha}{ab} \sqrt{\frac{D}{\left(\frac{m_{пл} + m_{эрэ}}{ab}\right)}} \text{ Гц,} \quad (7.7)$$

где a, b – размеры пластины, м; $m_{пл}$, $m_{эрэ}$ – масса пластины и суммарная масса ЭРЭ, МСБ, кг; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\varepsilon^2)}$ – цилиндрическая жесткость пластины, Н·м; E – модуль упругости, Н/м²; ε – коэффициент Пуансона материала пластины (приложение 1); $\alpha = \pi^2 \sqrt{p \frac{b^2}{a^2} + q + r \frac{a^2}{b^2}}$ – коэффициент, зависящий от формы пластины и условий закрепления на сторонах, значения p, q и r определяются по табл. 7.3.

Таблица 7.3

Эскиз закрепления	Коэффициенты α			Эскиз закрепления	Коэффициенты α		
	p	q	r		p	q	r
	1	2	1		0	0,43	1
	1	2,32	2,44		0,12	0,75	5,14
	1	2,57	5,14		0,12	0,31	0,12
	2,44	2,71	2,44		5,14	0	0
	5,14	2,93	2,42		0,12	0	0
	5,14	3,13	5,14		2,44	0	0
	0	0,13	0		0,12	0,707	2,44
	0	0	1		0,12	0,2	0
	1	0	0		0	0,514	5,14
	1	2	1		0	0,83	2,44

При расчете амплитуды колебаний, передаваемых от точек крепления ячеек к электрорадиоэлементам или микросборкам, применима модель в виде нагруженной пластины (рис. 7.6). Расчет амплитуды колебаний и виброперегрузок зависит от направления колебаний. Если линия колебаний направлена вдоль плоскости ячейки (см. рис. 7.1,е), то ввиду значительной продольной жесткости печатной платы, рамки и т.д. колебания передаются почти без изменений: $S_3 = S_2$; $a_3 = a_2$ (рис 7.1,е). При колебаниях, перпендикулярных плоскости ячейки (рис. 7.1,ж), расчет ведут, как для случая, представленного на рис. 7.1,д. При этом $\eta = \frac{|S_3|}{|S_2|} = \frac{|a_3|}{|a_2|}$ и $\eta^* = \frac{|S_3 - S_2|}{|S_2|}$

определяют по (7.3) и (7.4), f_0 по (7.7); допустимый прогиб $|S_3 - S_2|$ по (7.1).

Для ячейки на печатных платах размеры пластины принимаются равными размерам печатной платы. При определении условий закрепления краев можно руководствоваться следующими правилами (рис. 7.7):

- *защемление края* (в табл. 7.3 обозначено наклонной штриховкой) обеспечивается, если край платы приклеен, приклепан или привинчен в нескольких точках подлине к жесткой рамке или планке, также жестко закрепленной на каркасе блока; если на краю платы закреплен разъемный соединитель с большим числом контактов, который при установке ячейки в блок сочленяется с жестко закрепленной ответной частью соединителя;
- *опирание края* (обозначено штриховой линией) обеспечивается, если край платы скользит вдоль направляющей в каркасе; если край платы прикреплен к нежесткой (например, тонкостенной) или нежестко закрепляемой на каркасе планке или угольнику (в этом случае край платы не может смещаться перпендикулярно плоскости платы, но может поворачиваться);
- *жесткое закрепление в точках* (обозначено крестиками) будет в случае сборки пакета ячеек на стойках, шпильках.

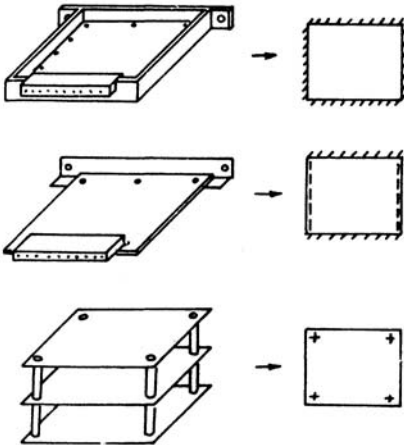


Рис. 7.7

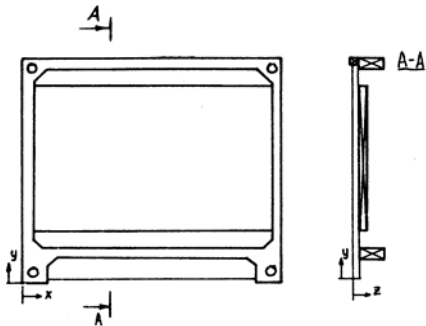


Рис. 7.8

Для ячеек сложной формы или состоящих из неоднородных материалов (цифровые ячейки 4 поколения, печатные платы с рамками или металлическими планками, микроблоки пенального типа и т.д.) расчет ведется по формуле (7.7) за исключением способа определения цилиндрической жесткости. Для примера на рис. 7.8 представлена ячейка на металлической рамке с наиболее слабым сечением при изгибе А-А, для которого и ведется расчет. В

данном случае жесткость ячейки складывается из жесткости печатной платы (7.7) и жесткости рамки

$$D = D_{\text{пл}} + D_{\text{р}} \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (7.8)$$

Для определения цилиндрической жесткости рамки необходимо найти момент инерции сечения рамки:

$$D_{\text{р}} = \frac{E \cdot J_{\text{р}}}{b} \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (7.9)$$

Чтобы рассчитать $J_{\text{р}}$ необходимо разбить сечение рамки на простейшие фигуры. В данном примере сечение разбито на 4 прямоугольника, момент инерции каждого из которых определяется по формуле:

$$J_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \text{ м}^4, \quad (7.10)$$

где h_i – размер прямоугольника вдоль оси z ; b_i – размер вдоль оси y .

Далее необходимо определить координаты z_i центров прямоугольников и координату центра тяжести всего сечения z_0 :

$$z_0 = \frac{\sum b_i h_i z_i}{\sum b_i h_i} \text{ м}. \quad (7.11)$$

После этого находят $J_{\text{р}}$ для подстановки в (7.9), (7.8), (7.7):

$$J_{\text{р}} = \sum \left[J_i + b_i h_i (z_i - z_0)^2 \right] \quad (7.12)$$

Моменты инерции сечений других элементов конструкции, например, корпуса аналогового микроблока пенального типа и т.п., находят аналогично.

Коэффициент демпфирования δ_0 в формулах (7.3), (7.4) зависит от материала упругого элемента (см. приложения 1 и 7) либо определяется экспериментально для сложных конструкций. При $\delta_0 \ll 1$ максимальное значение коэффициента передачи, наблюдаемое при резонансе, приблизительно рассчитывают по формуле:

$$\eta_{\text{р}} \approx \eta_{\text{р}}^* \approx \frac{1}{(2\delta_0)} \quad (7.13)$$

Для типичных конструкций известны ориентировочные значения $\eta_{\text{р}}$: для микроблоков СВЧ пенального типа – около 40, для цифровых ячеек на

металлических рамках – 10...25, для ячеек на платах из стеклотекстолита – 5...12.

Последовательность анализа устойчивости блока к вибрациям:

1. Исходными данными являются диапазон частот и амплитуда (ускорение, перегрузка) вибраций, действующих на объекте установ ки блока (задается в техническом задании).

2. Выявить в конструкции блока элементы, чувствительные к воздействию нагрузок, и определить допустимую для них интенсивность вибрации. Как правило, такими элементами являются электрорадиоэлементы, амортизаторы (допустимые нагрузки для них приведены в ТУ, справочных данных), печатные платы (допустимый прогиб для которых находят по формуле (7.1)), микросборки с бескорпусными компонентами и т.д.

3. Построить аналогично рис. 7.1 модель последовательной передачи колебаний к внутренним элементам блока. Пользуясь формулами (7.3)...(7.12) рассчитать для каждого из передаточных звеньев частоты собственных колебаний. Расчет выполнить для всех возможных направлений вибрации.

4. Если блок установлен на амортизаторах, проверить условие их рациональной расстановки (7.2).

5. Последовательно рассчитать амплитуды колебаний (ускорения, перегрузки, амплитуды деформации) для всех промежуточных звеньев (рис. 7.1, б-ж) вплоть до ЭРЭ, МСБ. Расчет выполнить для всех возможных направлений вибрации и на всех частотах собственных колебаний передаточных звеньев, попадающих в диапазон частот внешних вибраций, а также на граничных частотах диапазона (поддиапазонов) внешних вибраций. При необходимости взаимный перевод амплитуды вибрации S , виброскорости V , ускорения a и перегрузки n на любой частоте выполняется по формулам:

$$V = 2\pi f \cdot S; \quad a = 2\pi f V = (2\pi f)^2 \cdot S; \quad n = a/g; \quad (7.14)$$

где $g = 9,83 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

6. проверить выполнение условий виброустойчивости 1...5 для всех критичных элементов конструкции и в случае нарушения хотя бы одного из них изменить конструкцию блока (увеличить жесткость несущих конструкций блока и ячеек, применить дополнительную виброизоляцию, выбрать более вибропрочные элементы и т.д.), после чего проверку повторить

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Техническое задание на разработку изделия

1. Наименование и области применения.

Наименование и условное обозначение изделия; краткая характеристика области его применения; общая характеристика объекта, в котором используется изделие; возможность использования изделия для постановки на экспорт.

2. Основание для разработки.

Наименование документа, на основании которого выполняется разработка, дата его утверждения.

3. Цель и задачи разработки.

Макет для научных исследований; макет эскизного проекта; макет технического проекта; опытный образец; прибор для серийного производства; прибор для лабораторной работы; комплект конструкторской документации для использования в учебном процессе; программа выпуска изделий. Организация: предприятие или кафедра. Изготовитель.

4. Источники разработки.

4.1. Перечень научно-исследовательских, хозяйственных работ, экспериментальных образцов или макетов, на базе которых выполняется разработка; литература, в которой приводится электрическая схема, описание принципа работы.

4.2. Конструкторские аналоги.

Прототип и характеристика изменений и улучшений. (В случае их отсутствия, указать, что разрабатывается впервые). Литература с описанием аналогов,

5. Технические (тактико-технические) требования,

5.1. Состав изделия и требования к его конструкции.

Наименование, количество, назначение составных частей; габаритные, установочные размеры изделия и его частей; масса изделия и его частей; способы защиты от атмосферных воздействий; требования к защите и исключению помех; требования к ЗИП; требования к размещению органов управления, индикации и настройки; виды покрытий.

5.2. Показатели назначения.

Потребляемая мощность; чувствительность; диапазон частот; точность и пр.; параметры, определяющие целевое назначение изделия,

5.3. Требования к надежности.

Требования к долговечности, сохраняемости и длительности использования; требования к ремонтпригодности; требования к вибро- и ударопрочности, к устойчивости от влияния внешних полей.

5.4. Требования к уровню унификации и стандартизации.

Требования к использованию стандартных, унифицированных узлов, блоков; показатели уровня унификации и стандартизации.

5.5. Требования к безопасности.

Требования к обеспечению безопасности при монтаже, эксплуатации, ремонте.

5.6. Эстетические, эргономические требования.

Требования технической эстетики, эргономики, удобства обслуживания,

5.7. Условия эксплуатации (использования).

Условия, при которых должна обеспечиваться работоспособность изделия; допустимое воздействие климатических условий (температуры, влажности, атмосферного давления, агрессивных сред и т.д.); допустимое воздействие механических нагрузок (вибрационных, ударных и пр.); требования к средствам защиты от вредных испарений, коррозии и т.п.

5.8. Дополнительные требования.

Специфические требования к изделию, другие специальные требования.

5.9. Требования к транспортировке и хранению-

Условия транспортировки и виды транспортных средств; необходимость и способы крепления при транспортировке; расстояние транспортировки; скорости передвижения; требования к необходимой защите от ударов при нагрузке и выгрузке; места хранения; способы хранения в различных условиях.

6. Стадии разработки. Сроки завершения разработки конструкторской документации, изготовления опытных образцов,

7. Комплектность документации, порядок приемки, сроки.

Перечень конструкторской документации опытных образцов; сроки завершения разработки и представления к защите.

8. Приложения;

8.1. Схемы электрические структурная, функциональная и принципиальная.

8.2. Макет прибора, пульта, функционального узла.

8.3. Прототип изделия и его описание.

8.4. Специальная литература, необходимая для разработки.

8.5. Перечень рекомендуемых стандартов.

8.6. Другие необходимые данные.

Примечание. Все численные параметры изделия в ТЗ должны быть указаны с допусками и единицами измерения (если есть). Знак «-» (минус) не допускается и заменяется словом «минус». Например, « 220 ± 10 В», «500 мВт, не менее», «от 20 до 30 мА», «3 кг, не более», «от минус 40.до + 65°C», «не более минус 60дБ».

Приложение 2. Коэффициенты дезинтеграции конструкции блока и функциональной ячейки

Назначение РЭС. Тип конструкций блока. Тип конструкции функциональной ячейки	q_v				q_m			
	Бескорпусная ИС – КТЕ*	КТЕ – ФЯ	ФЯ – блок	$q_{v\Sigma}$	Бескорпусная ИС – КТЕ*	КТЕ – ФЯ	ФЯ – блок	$q_{m\Sigma}$
Цифровая. Разъемный. Односторонняя с МС в корпусах 244.48-1	300	20,3	1,2	7310	10	5,3	1,3	69
Цифровая. Книжный. Двухсторонняя с МС в корпусах 401.14-1, двухплатная	250	6,4	1,8	2880	15	3,2	1,3	62
Цифровая. Разъемный. Двухсторонняя с бескорпусными МСБ 30x48 мм	70	12,6	1,5	1344	3,3	4,3	3,4	48
Цифровая. Книжный. Двухсторонняя с бескорпусными МСБ 30x48 мм на П-образной пластине	70	9	1,6	1008	3,3	5,3	2,4	42
Цифровая. Разъемный. Односторонняя с бескорпусными МСБ 24x30 мм на металлической рамке	70	11	1,5	1155	3,3	7,7	3,2	81
Цифровая. Книжный. Двухсторонняя с бескорпусными МСБ 24x30 мм на металлической рамке	70	5,7	1,5	600	3,3	4,8	3,2	51

Приложение 3. Линейные размеры печатных плат

Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д	Ш	Д
10	10	40	100	60	160	90	110	110	190	140	180		180
	15		120		180		120		200		190		190
	20		140	75	75		130		220		200		200
	30		160		80		140	120	120		220		340
	40	45	45		85		150		130		240	180	180
15	15		50		90		160		140		260		190
	20		60		95		170		150		280		200
	25		70		100		180		160		320		220
	30		75		170	100	100		170		360		240
20	20		80	80	80		110		180	150	150		260
	25		85		85		120		190		160		280
	30		90		90		130		200		170		300
	40		100		95		140		220		180		320
	45	50	50		100		150		240		190		340
	50		60		110		160		280		200		360
	60		75		120		170		320		300	220	220
	80		80		130		180		360	160	160		240
30	30		85		140		190	130	130		170		260
	40		90		150		200		140		180		280
	45		95		160		240		150		190		300
	50		100		180		280		170		200		320
	60	60	60		200	110	110		180		220		340
	80		75		240		120		190		240		360
	90		80	85	85		130		200		260	240	240
40	40		85		90		135		260	160	280		260
	45		90		95		140	135	240		300		280
	50		95		100		150	140	140		320		300
	60		100	90	90		160		150		360		320
	75		120		95		170		160	170	170		340
	80		140		100		180		170		175		360

Примечание: Ш – ширина ПП, Д – длина ПП, выделенные размеры ПП являются предпочтительными.

Приложение 4. Характеристики основных материалов для печатных плат

Марка материала	Толщина фольги, мкм	Толщина материала с фольгой, мм	Прочность сцепления E, Гс	T, °C	Область применения
ГФ-1-35 ГФ-2-35	35	1,5; 2; 2,5; 3 1; 1,5; 2; 2,5; 3	220	60...+85	Одно- и двухсторонние платы без гальванического соединения двух слоев
СФ-1-35 СФ-2-35	35	0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3;	300	-60...+120	Одно- и двухсторонние платы с гальваническим соединением слоев
СФ-1-50 СФ-2-50 СФПН-1-50 СФПН-2-50	50 50	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300 450	60...+120 60...+120	То же одно- и двухсторонние платы с повышенной нагревостойкостью
СТФ-1	35	0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,5; 0,8; 1; 1,5; 2; 2,5	400 450	60...+120	
СТФ-2	35	0,8; 1; 1,5; 2; 3	500	-60...+120	То же
ФТС-1 ФТС-2	20 35 20 35	0,08; 0,15; 0,1; 0,12; 0,19 0,18; 0,27; 0,5 0,14; 0,23; 0,5	300 360 300 360	-60...+120	Гибкие и многослойные ПП
ФДМ-1 ФДМ-2	35	0,25; 0,35	100	-60...+100	Гибкие ПП
СТП-3 СТП-0,25		0,1; 0,12; 0,13		-60...+150	Прокладки для МПП

Приложение 5. Параметры некоторых материалов

Материал	Характеристики металлических материалов								
	Плотность ρ , г/см ³	Удельное сопротивление	Модель упругости $E \cdot 10^{-7}$, Н/м ²	Коэффициент Пуассона ϵ	Коэффициент демпфирования Δ	предел прочности $\sigma_{Br} \cdot 10^{-6}$, Н/м ²	ТКЛР $\alpha \cdot 10^6$, 1/К	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	
Алюминий	2,7	0,279	71	0,29	-	80	23,9	200	
Золото	19,32	0,244	84	-	-	140	14,2	297	
Кремний	2,33	-	109	-	-	-	2,56	120...130	
Медь	8,96	0,169	120	0,41	0,01...0,25	220	16,5	380..390	
Олово	7,3	1,54	41...55	0,21...0,5	-	15..27	23	64	
Никель	8,35	0,78	21	0,38	-	450	13,3	60	
серебро	10,5	0,162	77	-	-	130	19	416	
Сплавы									
Алюминиевый Д1	2,8		71	0,29	0,005	410	22	160...180	
Алюминиевый Д16	2,79		71	0,29	...	520	22		
Алюминиевый В95	2,85		71	0,29	0,013	560	23,6		
Алюминиевый Ал2	2,65		71	0,29		180	21	175	
Алюминиевый Ал9	2,65		72	-		200	1	196	
Танталовый	4,4...4,9	4,5	105	0,25..0,33	-	950	8...10	14...16	
Магниевый МА18	1,48	-	-	-	0,0063	180	35,9	120...127	
Магниевый МА2-1	1,8	-	-	-	...0,0125	280	26		
29НК(ковар)	8,35	-	145	-	-				
42Н	8,12	-	150	-	-				
Сталь 20, Сталь 45	7,82	-	200	0,25	-	420.. 610	11,1..11,7	45	
30ХГСА	7,85		198					-	
X18H10T	7,8		190						
бронза	БрОФ10-1	8,58	75,4			200...300	17	64	
	БрБ-2	8,23	117...141	0,31		Не менее 400	17	64	
	БрБНТ1,9	8,3	128				16,5	64	
латунь	Л68	8,6	0,61	110	0,41	0,03..0,06	320...660	19	86...105
	Л62	8,43	0,66	110	0,41		330...600	20,6	
	ЛЖМц59-1-1	8,5	0,66	106	0,41				

Характеристики диэлектрических материалов

Материал	Плотность ρ , г/см ³	При $f=1$ МГц		Электрическая прочность, кВ/мм	ТКЛР $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/К	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/мК	Предел прочности $\sigma_{вр} \cdot 10^{-6}$, Н/м ²	Модуль упругости, $E \cdot 10^{-9}$, Н/м ²	Коэффициент Пуассона μ	Коэффициент демпфирования Λ
		ϵ	$\text{tg } \delta \cdot 10^4$							
Ситалл Ст50-1	2,65	8,5	20...35	47	5±0,2	1,42	176	-	-	
Ситалл Ст32-1	3,17	10	7	40	3,2		147	180	0,26	
Керамика	22ХС	3,86	10,3	6	5±0,5	8,35	130	255	0,26	
	М7	3,65	-	-	5,6	9,7	85	204	-	
	Брокерит-9	2,83	6,3	6	30	5,3	60...200	100	320	-
	Поликор	3,98	10,5	1...2	50	6,2...8,0	22...32	200	392	0,26
стёкла	2,2...3,05	-	15	40	3,7..9,0	0,8...3,6	50...90	60..75	0,24..0,37	
Фторопласт-4	2,25	2,0..2,1	1,0..2,5	-	80..250	0,25	22	0,47..0,85	-	
ФАФ-4	2,6...2,9	2,6±0,2	$\frac{10}{(10 \text{ ГГц})}$	-	5					
Полистирол	1,06...1,1	2,6..2,7	3...7	-	80	0,09... 0,14				
Стеклотекстолит	1,8									
СФ	1,85	6,0	25	-	3,7	0,16... 0,38	75	30,2	0,22	0,02... 0,1
СТЭФ	2,47	-	-	-	-			32	0,249	
СТ-1	1,75	-	-	-	-			-	-	
НДФ	2,32	-	-	-	-			34,5	0,238	
гетинакс	164	-	-	-	-	0,15... 0,18	-	11...14	-	0,03...
текстолит	165	-	-	-	-	0,27	-	-	-	0,08

Приложение 6. Клей, краски и лаки, применяемые в РЭС

Марка клея	Диапазон рабочих температур	Область применения	Режим отверждения		Толщина клеевого шва, мкм	Нормативно-техническая документация
			время, ч	Температура, °С		
Клеи						
БФ-2 БФ-4	-60...+85	Склеивание пластин трансформаторов, дросселей, крепление бандажа, проклейка обмоток катушек	24...25 2...5 4...4,5	25 160 120	15...80	ГОСТ 12172-74
ВК-9	-60...+125	Дополнительное крепление ЭРЭ, микросхем и МСБ на печатной плате, а также установка бескорпусных ИС и ЭРЭ на подложки	1,5...2 24...25	60 25	30...250	ОСТ 4Г0.054.210
КТ-102	-60...+200	Приклеивание бескорпусных МСБ на планки металлических рамок	72 или 24 затем 6...7	25 25 60	200...300	АБ0.045.374
ПК68	-60...+300	Поверхностная геметизация радиокомпонентов в условиях повышенной влажности и вибрационных нагрузок			200...300	ТУ38-103.508-81
ЛН	-60...+120	Склеивание металлов с полистиролом, крепление проводов и ЭРЭ к платам				ЮГ0.054.006ТУ
ПС	-50...+60	Склеивание деталей быто-вых РЭС	10...20	25	10...50	ЮГ0.054.006ТУ

ТПК-1	-60..+85	Токопроводящие покрытия, контактирование металлических поверхностей	24...25 или 1...2 затем 5...6	25 25 60	30...100	УБ0.028.013.ТУ
Краски						
БМ, КМ, СМ, ЧМ, ЗМ, ЖМ		Маркировка изделий				ТУ 29-02-859-78
Эмали						
МЛ-12 ПФ-115 МС-160 НЦ-25 ЭП-51 ЭП-572 ПФ-19		Нанесение защитных покрытий				ГОСТ 9754-76 ГОСТ 6465-76 ГОСТ 12034 ГОСТ 5406-73 ГОСТ 9640-75 ТУ 6-10-1539-76 ТУ 6-10-1294-78
Лаки						
УР-231 МЛ-92 НЦ-62 НЦ-134 НЦ-132		Влагостойкие защитные покрытия, печатных плат и узлов РЭС				ТУ 6-10-863-76 ГОСТ 15865-70 ОСТ 6-10-391-74 ТУ 6-1291-77 ГОСТ 6631-74

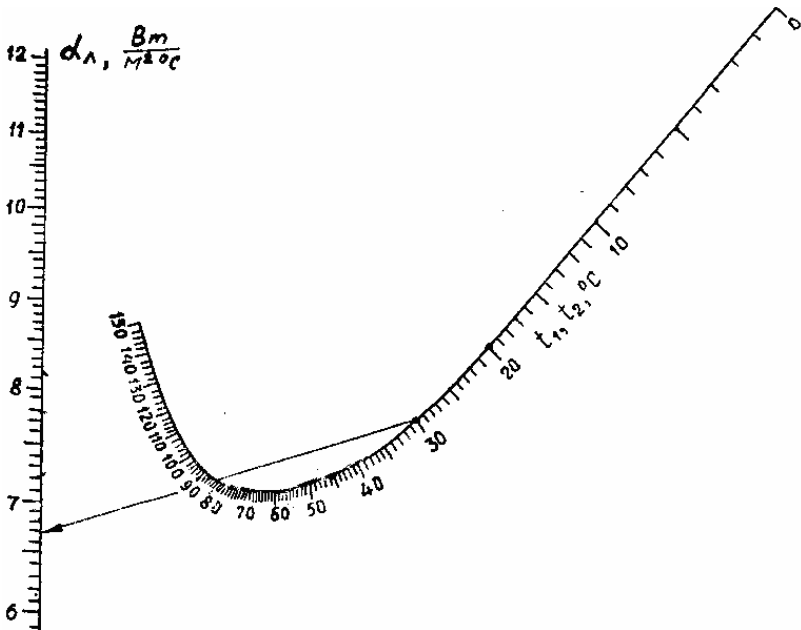
Приложение 7. Степень черноты различных поверхностей

Материалы и состояние поверхности	Температура, С	Степень черноты
Алюминий (полированная пластина)	200...600	0,04...0,06
Алюминий (сильно окислен)	35...500	0,2...0,31
Силуминовое литье (в песчаной форме)	100...500	0,33...0,31
Силуминовое литье (в кокильной форме)	100...500	0,16...0,23
Дюралюминий Д16	50...350	0,37...0,41
Сталь полированная	100	0,06
Сталь листовая холоднокатанная	93	0,075...0,085
Сталь листовая сильно окисленная	25	0,8...0,82
Латунь прокатанная	22	0,06
Латунь тусклая	50...350	0,22
Латунь хромированная	100	0,075
Медь шабренная до блеска	22	0,072
Медь (пластина после нагрева до 600 °С)	200	0,57
Олово, луженое кровальное железо	100	0,07...0,08
Цинк, оцинкованное железо	25	0,23...0,27
Краски эмалевые, лаки различных цветов	20...100	0,92
Краски матовые различных цветов	100	0,92...0,96
Лак черный матовый	40...100	0,96...0,98
Муар серый, черный	20	0,86...0,9
Краска защитно-зеленая	20	0,9
Краска бронзовая	100	0,51
Краска алюминиевая	100	0,28
Алюминиевая фольга	100	0,09

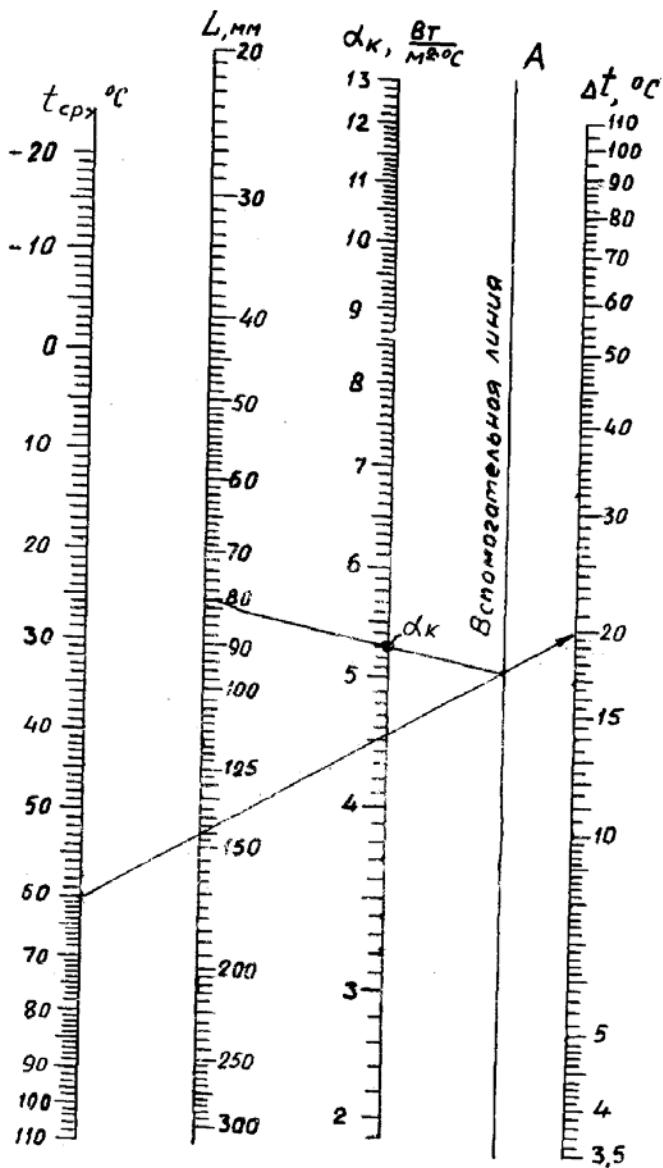
Приложение 8. Параметры сухого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p \cdot 10^{-3},$ Дж/(кг·К)	$\lambda \cdot 10^{-2},$ Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	Pr
-50	1,584	1,010	2,04	9,23	0,728
-20	1,395	1,010	2,28	12,79	0,716
0	1,293	1,000	2,44	13,28	0,707
+10	1,247	1,000	2,51	14,16	0,705
+20	1,205	1,000	2,60	15,06	0,703
+30	1,165	1,000	2,68	16,00	0,701
+40	1,128	1,000	2,76	16,96	0,699
+50	1,093	1,000	2,83	17,96	0,698
+60	1,060	1,000	2,90	18,97	0,696
+70	1,029	1,000	2,97	20,02	0,694
+80	1,000	1,000	3,05	21,09	0,692
+90	0,972	1,000	3,13	22,10	0,690
+100	0,946	1,000	3,21	23,13	0,688

Приложение 9. Номограмма для определения α_d при $\varepsilon=0,8$



Приложение 10. Номограмма для определения α_k для закона «1/4»



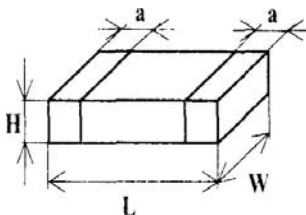
Приложение 11. Воздействия факторов внешней среды

Название группы РЭС	Температура, К	Относит. влажность, при 298К, %	Пониженное давление, кПа	Ветровая нагрузка, м/с, не более	Удары			Вибрации		Акустический шум в полосе 50-1000 Гц, дБ	Линейное ускорение, м/с ²	
					ускорение, м/с ²	длительность, мс	частота повторения, с ⁻¹	диапазон частот, с ⁻¹	ускорение, м/с ²			
Стационарные в отапливаемом помещении	283...328	80	61	-	-	-	-	10...30	19,8	85		
Стационарные не открытом воздухе	233...333	93	61	50	-	-	-	10...30	19,8	85		
Возимые на транспорте	автомобильном	233...333	93	61	70	147	5...10	40...80	4...80	78,5	100	3,12
	гусеничном	233...333	93	61	50	147	5...10	40...80	3...30	19,8	100	
	железнодорожном	233...333	93	61	70	392	5...10	40...80	2...100	19,8	125	3,12
Судовые	большие суда	233...333	93..100	61	50	147	5...10	40...80	4...100	78,5	140	
	малые суда	233...333	93..100	61	70	147	5...10	40...80	5...150	58,9	140	3,12
Носимые и портативные на открытом воздухе	233...333	93	61	50	96	5...10	40...80	10...70	37	85	-	
Носимые и портативные в отапливаемом помещении	283...328	80	61	-	96	5...10	40...80	10...30	10,7	85	-	
Самолетные	233...333	93..100	2	-	117...736	5...15	-	5...2000	1... 196	150	-	
Ракетные	233...333	100	0,12	-	961	5...12	-	0...500	196,2	170	-	
Космические	233...333	-	0	-	-	-	-	1...2500	4,9...59	170	-	

Приложение 12. Постоянные резисторы ТМП отечественного производства

Тип резистора	Обозначение ТУ	Основные технические характеристики	Примечание
P1-11	ОЖО.467.168	Диапазон сопротивлений 1 Ом...3 МОм. Мощность 0,25 Вт. Габаритные размеры $\varnothing 2,5 \times 5,9$ мм ($\varnothing 2,2 \times 5,9$)	Постоянные безвыводные цилиндрические
P1-30	АБШК.434110.011ТУ	Аналог С1-4 ($\varnothing 2,2 \times 5,9$) Мощность 0,25 Вт	То же
P1-12	ОЖО.467.169	Диапазон сопротивлений 10 Ом ... 220 МОм Мощность 0,062 Вт Габаритные размеры 2,0X1,25X0,4 мм Мощность 0,125 Вт Габаритные размеры 3,2X1,6X0,6 мм	Постоянные толсто- пленочные ЧИП-резисторы
P1-16	ОЖО.467.179	Диапазон сопротивлений 10 Ом...1 Мом. Мощность 0,125 Вт. Габаритные размеры 3,2x1,6x0,7 мм	Постоянные прецизионные ЧИП-резисторы
PI-23	АБШК.434110.003 ТУ	Габаритные размеры 3,2x1,6x0,6 мм Сопротивление 0,05 Ом	ЧИП-перемычка
HP 1-29	АЛСР.434310.003 ТУ	Диапазон сопротивлений 10 Ом...1,1 МОм Мощность 0,25 Вт Габаритные размеры 4,4x6,7x4,1 мм	
HP 1-30	АЛСР.434310.002 ТУ	Планарные выводы: шаг 1,25 мм, диапазон сопротивлений 10 Ом...1,1 Мом, мощность 0,25 Вт, габаритные размеры 4,4x6,7x4,1 мм	Базовая конструкция наборов резисторов толсто-пленочных подстроечных

Приложение 13. Обозначение чип-резисторов и чип-конденсаторов зарубежного производства

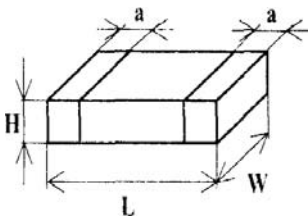


Типоразмер чип резисторов и конденсаторов, например, 1206, означает ширину и длину резистора в сотых долях дюйма 0.12"x0.06"
 Маркировка состоит из 3-х (5%) или 4-х (1%) знаков, где последняя цифра обозначает количество нулей в номинале, измеряемом в Омах. Для обозначения десятичной точки используется буква R

Типовые значения параметров импортных чип-резисторов					
Типоразмер	0402	0603	0805	1206	2512
L, мм	1,0±0,1	1,6±0,1	2,0±0,1	3,2±0,1	6,35±0,1
W, мм	0,25±0,05	0,85±0,1	1,25±0,1	1,6±0,1	3,2±0,1
H, мм	0,35±0,05	0,45±0,05	0,50±0,05	0,55±0,05	0,55±0,05
a, мм	0,20±0,1	0,30±0,2	0,40±0,2	0,50±0,2	0,60±0,2
Rмакс, Вт	0,062	0,1	0,125	0,25	1
Uмакс, В	50	100	300	400	400
Рабочие температуры, С	От минус 55 до +125°С				
Допустимое отклонение	±1%, ±5%,				
Диапазон номинальных сопротивлений	От 10 Ом до 1 Мом по ряду E24 для 1% От 1 Ом до 10 Мом по ряду E24 для 5%				

Приложение 14. Керамические чип-конденсаторы

Диэлектрик	NPO	X7R	Z5U	Y5V
Диапазон номинальных емкостей	0,5 пф...0,01 мкф	470 пф... 1 мкф	10пф... 0,47 мкф	0,012 мкф ... 22 мкф
Типоразмер корпуса	0603, 0805	0603, 0805, 1206	0805, 1206, 2110	0805, 1206, 2110
Допустимое отклонение номинальной емкости *	C, D, J, K, M	J, K, M, Z	M, Z	M, Z
Диапазон рабочих температур, °С	-55... +125	-55... +125	+10... +85	-30... + 85
Температурная стабильность	± 30 ppm/°С	± 15%	+22%... -56%	+22%... -82%
Обозначение группы ТКЕ	МПО	Н20	Н70	Н90
Тангенс угла диэлектрических потерь	0,001 менее 30 пФ 0,0025 более 30 пФ	0,025	0,03	0,05
Сопротивление изоляции	не менее 10 ГОм			



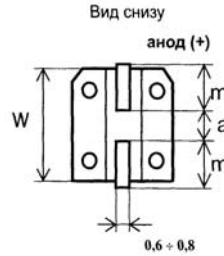
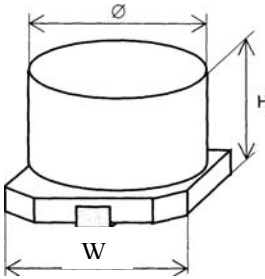
Отклонение от номинала обозначается буквами:
 $C = \pm 0,25$ пф, $D = \pm 0,5$ пф, $J = \pm 5\%$
 $K = \pm 10\%$, $M = \pm 20\%$, $Z = -20 + 80\%$

Типоразмер	L, мм	W, мм	H, мм		a, мм
			мин	макс	
0402	1,0±0,05	0,50±0,05	0,45	0,55	0,2±0,05
0603	1,6±0,2	0,8±0,20	0,7	0,9	0,40±0,25
0805	2,0±0,2	1,25±0,20	0,7	1,25	0,50±0,25
1206	3,2±0,2	1,80±0,20	0,7	1,25	0,75±0,25
1210	3,2±0,3	2,60±0,25	1,0	1,25	0,75±0,25
1812	4,5±0,4	3,20±0,3	—	2,00	0,95±0,25

Приложение 15. Отечественные керамические чип конденсаторы

Тип конденсатора	Обозначение ТУ	Габаритные размеры, мм	Диапазон емкостей	Рабочее напряжение, В	Примечание
К10-17-4В	ОЖ0.460.172	3,2×1,6×1,2	22пФ... 0,15 мкФ	50	Керамические
К10-42	ОЖ0.469.167	1,5×1,4×1,2	1; 1,2; 1,5; 1,8, 2,2...22 пФ	50	Керамические монолитные
К10-43	ОЖ0.460.165	(4...12)× (3,2...11)×2,7	21,5 пФ... 0,0442 мкФ	50	Керамические прецизионные
К10-47	ОЖ0.460.174	(4...12)× (3,2...11)× (1,8...4,5)	10 пФ... 15 пФ	16, 25, 50, 100, 250, 500	Керамические монолитные
К10-50	ОЖ0.460.192	(1,5...55)× (1,3...4,6)× (1,4...2,0)	22 пФ... 3,3 мкФ	10, 25	То же
К10-53	ОЖ0.460.198	3,2×1,6×1,2	0,47 пФ... 6800 пФ	50	Керамические
К10-57	ОЖ0.460.194	(2...3,2)× (1,9...3,0)	1 пФ... 1000 пФ	100, 250 500	Керамические монолитные

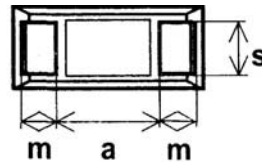
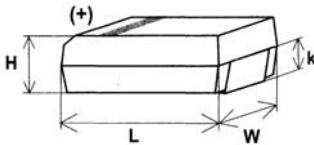
Приложение 16. Электролитические алюминиевые конденсаторы



Диаметр	H	W	m	a
4 мм	5,4±0,2 мм	4,3±0,2 мм	1,8 ±0,2 мм	1,0 ± 0,2 мм
5 мм	5,4±0,2 мм	5,3±0,2 мм	2,1 ±0,2 мм	1,3 ±0,2 мм
6,3 мм	5,4±0,2 мм	6,6±0,2 мм	2,4 ± 0,2 мм	2,2 ± 0,2 мм
10 мм	10,0±0,2 мм	10,3± 0,2 мм	3,5 ±0,2 мм	4,6 ±0,2 мм
12.5 мм	13,5± 0,2 мм	13,6±0,2 мм	4,0 ±0,2 мм	8,0 ±0,2 мм

Диапазон номинальных емкостей	От 4,7 мкФ до 4700 мкФ ряд Е6
Допустимое отклонение номинала	± 20%
Номинальное напряжение	10В 16В 25В 35В 50В
Диапазон рабочих температур	-40 ... +85 °С
Тангенс угла диэл. потерь	0,12 ... 0,35
Ток утечки	(0,01·С·U), но не менее 3 мкА
Минимальная наработка при 85°С	1000 часов

Приложение 17. Электролитические танталовые конденсаторы



Вид снизу

Корпус		Размеры, мм						
Тип	EIA/ LECO	L	W	H	s	m	a (min)	κ
J	1608	1,6 ±0,3	0,8±0,1	0,8±0,1	0,6±0,1	0,3+0,15	—	—
P	2012	2,0 ±0,2	1,25±0,2	1,1 ±0,1	0,9 ±0,1	0,5 ±0,1	—	0,3
A	3216	3,2 ±0,2	1,6 ±0,2	1,6 ±0,2	1,2 ±0,1	0,8 ±0,3	0,8	0,9±0,2
B	3528	3,5 ±0,2	2,8 ±0,2	1,9 ±0,2	2,2 ±0,1	0,8 ±0,3	1,1	1,1±0,2
C	6032	6,0±0,3	3,2 ±0,3	2,5 ±0,3	2,2 ±0,1	1,3 ±0,3	2,5	1,4±0,2
D	7243	7,3 ±0,3	4,3 ±0,3	2,8 ±0,3	2,4 ±0,1	1,3 ±0,3	3,8	1,5±0,2
E	7257	7,3 ±0,3	4,3 ±0,3	4,0 ±0,3	2,4 ±0,1	1,3 ±0,3	3,8	1,5±0,2

Диапазон номинальных емкостей	2,2 мкФ ... 470 мкФ ряд E6
Допустимое отклонение номинала	± 20%
Номинальное напряжение	4В 6,3В 10В 16В 20В 25В 35В 50В
Диапазон рабочих температур	-55 ... +85°C
Тангенс угла диэл. потерь	0,06...0,08
Ток утечки	0,4... 4 мкА (0,008·CU), но не менее 0,4 мкА

Маркировка емкости состоит из 3-х знаков, где последняя цифра обозначает количество нулей в номинале, измеряемом в пикофарадах. На все типоразмеры наносится маркировка емкости, а на типоразмеры В, С, D – маркировка рабочего напряжения.

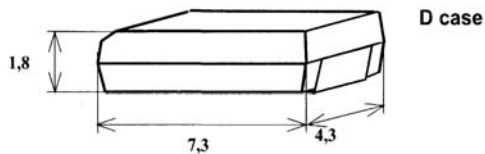
Маркировка рабочих напряжений танталовых чип-конденсаторов

Маркировка	G	J	A	C	D	E	V	T
Напряжение, В	4	6,3	10	16	20	25	35	50

Из отечественных танталовых оксидно-полупроводниковых конденсаторов наибольшее распространение получили:

- К53-36, ОЖ0.464.249 ТУ, (4,2...4,5)×(2...2,5)×(2,5...5,0)мм, 0,1...6,8 мкФ, 3,2...32 В;
- К53-37, АДПК.673546.000ТУ, (1,6...4,0)×(1,6...3,0)×(4,0...7,1)мм, 0,1...100 мкФ, 4...50 В;
- К53-40, ОЖ0.464.264ТУ, 8,0×5,6×(3,2...5,1)мм, 0,1...10 мкФ, 3,2...32 В.

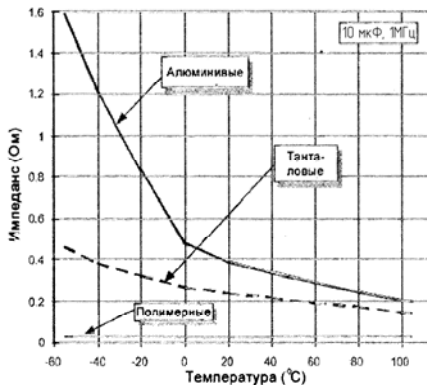
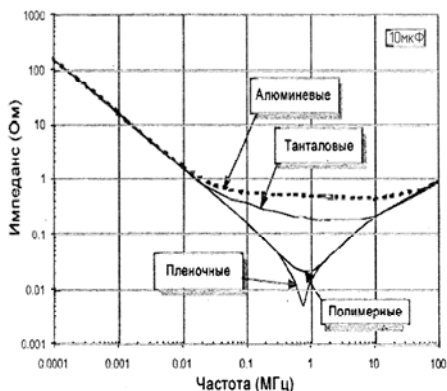
Приложение 18. Полимерные алюминиевые чип-конденсаторы



ULTRA LOW ESR конденсаторы в корпусе D CASE высотой 1,8 мм являются новым типом электролитических конденсаторов. Сопротивление на высоких частотах (1 МГц) на порядок меньше чем у танталовых и не зависит от температуры. Долговечность от 25 до 50 лет.

Диапазон рабочих температур: -40 ... +105 °С

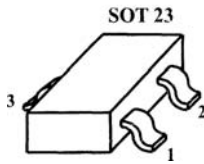
Наименование	Емкость, мкФ	Напряжение, В	$\text{tg } \delta$	Ток утечки, мкА	ESR, мОм, на 400 кГц	Ток пульсаций, А
CD1C8R2R	$8,2 \pm 20\%$	16	0,06	5,2	140	1
CD1B22R	$22,0 \pm 20\%$	12,5	0,06	11,0	90	1,6
CDOK33R	$33,0 \pm 20\%$	8	0,06	10,6	60	1,6
CDOJ47R	$47,0 \pm 20\%$	6,3	0,06	10,6	50	1,6



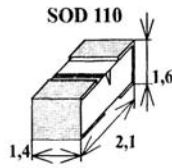
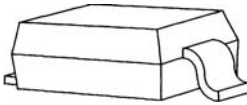
Приложение 19. SMD диоды

Наименование изделия (типономинал)	Тип корпуса	Обозначение ТУ
2A555 A1, B1	КД-34	AA0.339.630
2B112 B9	КТ-46(SOT-23)	AA0.339.684
32B124 A9, АГ9, АК9, АР9	То же	AA0.339.684
2Д123 А91	КТ-47(SOT-89)	AA0.339.570
2Д706 АС9	КТ-46(SOT-23)	AA0.339.582
2Д707 АС9'	То же	AA0.339.583
2Д803 АС9	»	AA0.339.471
2Д908 А1	Н04.16-2В	ДР3.362.026
2Д917 А1	То же	ДР3.362.027
2ДС523 В1	Н02.14.-3В	AA0.339.354
2ДС807 А	То же	AA0.339.653
КА555 А1, Б1	КД-34	АДБК.432130.152
КВ122 А9...Г9	КТ-46(SOT-23)	AA0.336.709
КВ122 АГ9...ГГ9	То же	То же
КВ122 АТ9...ГТ9	»	»
КВ 130 А9		»
КВ 130 АГ9		»
КВ 130 АТ9	»	»
КВ149 АГ2...ВГ2	КД-34	АДБК.432120.111
КВ 149 АТ2...ВТ2	То же	То же
КВ149 А2...В2	»	»
КВ 134 А9, АТ9	»	AA0336.767
КД409 А9, Б9	КТ-46 (SOT-23)	AA0.336.650
КД629 АС9	То же	AA0.336.601
КД704 АС9	»	AA0.336.600
КД805 А9	»	АДБК.432120.075
КС 106 А9		AA0.336.612

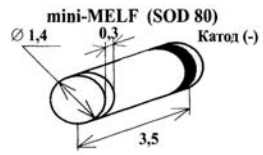
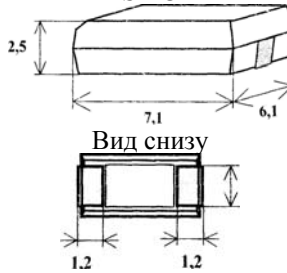
Корпуса SMD диодов



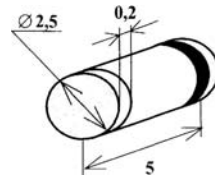
SOD 323



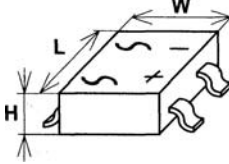
SMC



MELF



Диодные мосты



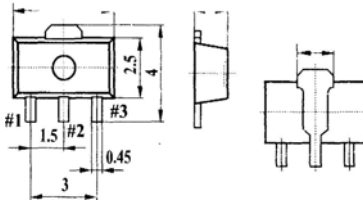
Корпус	L	W	H	m	s
DB	8,5 мм	6,5 мм	3,4 мм	5 мм	10 мм
MB-S	5 мм	4 мм	3,0мм	2,6 мм	6,9 мм

Приложение 20. SMD транзисторы

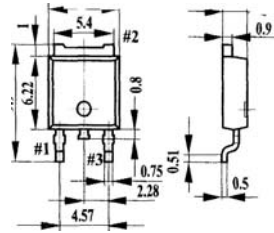
Наименование изделия (типономинал)	Тип корпуса	Обозначение ТУ
2П103 А9, Б9, В9, Г9, Д9	КТ-46 (SOT-23)	АА0.339.776
2П308 А9 ...Е9	То же	АА0.339.618
2П601 А9	КТ-47(SOT-89)	АА0.339.727
2П701 А, Б	КТ-48(SOT-143)	АА0.339.497
2Т214 А9...Е9	КТ-46 (SOT-23)	АА0.339.517
2Т215 А9...Е9	То же	АА0.339.518
2Т3129 А9 . Д9	»	АА0.339.568
2Т3130 А9...Е9	»	АА0.339.569
2Т368 А9, Б9	КТ-46 (SOT-23)	АА0.339.608
2Т370 А9, Б9	То же	ШТЗ.365.067
2Т385 А9	»	АЕЯР.432150.006
2Т664 А91, Б91	КТ-47(SOT-89)	АА0.339.559
2Т665 А91, Б91	То же	То же
2Т988 Б	»	АА0.339.426 ТУ/Д1
2ТС393 А93, Б93	4303.8-1 (Ф0Э.8-1)	ХМЗ .363.000
КТ218 А9...Е9	То же	АА0.336.627
КТ3106 А9	»	АА0.336.840
КТ3126 А9	»	АА0.336.428
КТ3128 А9	»	АА0.336.430
КТ3129 А9...Д9	»	АА0.336.447
КТ3130 А9...Д9	»	АА0.336.448
КТ3151 А9...Е9	»	АА0.336.626
КТ3153 А9	4303.8-1 (Ф0Э.8-1)	АА0.336.703
КТ3169 А91, А9	То же	АА0.336.849
КТ3170 А9		АА0.336.863
КТ3172 А9		АДБК.432143.006
КТ3176 А9	КТ-46	АДБК.432150.098
КТ346 А9...В9	КТ-48	АА0.336.866
КТ368 А9, Б9	То же	АА 0.336.716
КТ370 А9, Б9	КТ-46 (SOT-23)	АА0.336.005
КТ396 А9	То же	АА0.336.839
КТ664 А9, Б9	КТ-47(SOT-89)	АА0.336.602
КТ665 А9...Б9	»	»
КТ666 А 9	»	АДБК.432140.045ТУ
КТ667 А9		То же

Корпуса SMD транзисторов

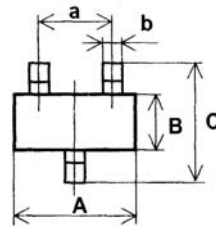
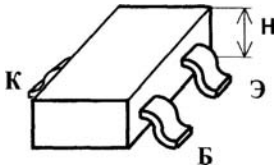
SOT89



TO-252



SOT323 и SOT23



Корпус	Размеры, мм					
	A	B	C	H	a	b
SOT323	2,0±0,2	1,25±0,1	2,1±0,1	Макс 1,0	1,3±0,1	0,3±0,1
SOT23	2,9±0,1	1,35±0,1	2,4±0,1	Макс 1,1	1,9±0,1	0,48±0,1

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструирование и расчет БГИС, микросборок и аппаратуры на их основе / Под ред. Высоцкого Б.Ф. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Компоновка и конструкции микроэлектронной аппаратуры / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. – М.: Радио и связь, 1982.
3. Конструирование аппаратуры на БИС и СБИС / Под ред. Б.Ф. Высоцкого и В.Н. Сретенского. – М.: Радио и связь, 1989.
4. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К., Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. – Л.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. – М.: Высшая школа, 1986.
6. Куземин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронно-вычислительной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1985.
7. Парфенов Е.М., Камышная Э.Н., Усачов В.П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1989.
8. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. П.И. Овсищера, – М.: Радио и связь, 1988.
9. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА. – М.: Сов.радио, 1976.
10. Ляровский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители. – М.: Радио и связь, 1988.
11. Интегральные микросхемы; Справочник / Под ред. Б.В.Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1984.
12. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА/Под ред. Э.Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989.
13. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. — М.: Высшая школа, 1984.
14. Методические указания к курсовому проекту по курсу "Конструирование МЭА"/Под ред. Б.Ф. Высоцкого и Е.М. Тверского, – М.: МАИ, 1984.
15. Методические указания по дипломному проектированию для студентов специальности "Конструирование и производство радиоаппаратуры"/Под ред. Б.Ф. Высоцкого. – М.: МАИ, 1979.
16. Сапожников А.М., Устименко М.Г, Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры». – Харьков, ХИРЭ, 1988,
17. Методические указания по разработке и оформлению конструкторской части дипломного проекта для студентов радиотехнических специальностей / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. – М.: МАИ, 1987.
18. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И, Микросхемотехника. – М.: Радио и связь, 1982,
19. Степаненко И.П, Основы микроэлектроники. – М.: Сов. радио, 1980.

20. Справочник по высшей математике / Под ред. М.Я. Выгодского, – М.: Наука, 1970.

21. Основы конструирования и технологии РЭС: Учебное пособие для курсового проектирования / Борисов В.Ф., Мухин А.А., Чермошенский В.В. и др. – М.: Изд-во МАИ, 2000.

22. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / Под ред. Варламова Р.Г. – М.: Сов. радио, 1980.

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

24. Конструирование радиоэлектронных средств / В.Ф. Борисов, О.П. Лавренов, А.С. Назаров, А.Н. Чекмарев; Под ред. А.С. Назарова. — М.: Изд-во МАИ, 1996.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 2.004-88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах ЭВМ

ГОСТ 2.102-68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 2.103-68 ЕСКД. Стадии разработки

ГОСТ 2.104-68 ЕСКД. Основные надписи

ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам

ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы

ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.

ГОСТ 2.113-75 ЕСКД. Групповые и базовые конструкторские документы

ГОСТ 2.120-73 ЕСКД. Технический проект

ГОСТ 2.123-93 ЕСКД. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании

ГОСТ 2.201-80

ГОСТ 2.301-68 ЕСКД. Форматы

ГОСТ 2.413-72 ЕСКД. Правила выполнения конструкторской документации изделий, изготавливаемых с применением электрического монтажа

ГОСТ 2.413-84

ГОСТ 2.414-80 ЕСКД. Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов

ГОСТ 2.415-68 ЕСКД. Правила выполнения чертежей с обмотками

ГОСТ 2.417-78 ЕСКД. Платы печатные. Правила выполнения чертежей (с изм. 1991 г.)

ГОСТ 2.601-95 ЕСКД. Эксплуатационные документы

ГОСТ 2.602-95 ЕСКД. Ремонтные документы

ГОСТ 2.701-84 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению

ГОСТ 2.702

ГОСТ 2.710

ГОСТ 3.1201-85 ЕСТД. Система обозначения технологической документации

ГОСТ 7.32-2001 Отчет о научно-исследовательской работе

ГОСТ 15.001-73

ГОСТ 10316-78

ГОСТ 10317-79 Платы печатные. Основные размеры

ГОСТ 23751-86. Платы печатные. Основные параметры конструкции

ОСТ 4.Г0.010.030

ОСТ 4 Г0.410.003

МЭК 60297 (Евромеханика)

DIN 41612 (интерфейс Евромеханика)

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Курсовое проектирование по дисциплине «Основы проектирования РЭС»	3
1.1 Цель и задачи курсового проектирования	3
1.2 Тематика курсовых проектов	3
1.3 Содержание и объем курсового проекта	4
1.4 Порядок выполнения курсового проекта	5
2. Дипломное проектирование	6
2.1 Цель и задачи дипломного проектирования	6
2.2 Тематика, содержание и объем конструкторских дипломных проектов	6
2.3 Тематика, содержание и объем технологических дипломных проектов	8
2.4 Тематика, содержание и объем исследовательских дипломных проектов	9
3. Схемотехнические задачи конструкторского проектирования РЭС	11
3.1 Техническое задание и его анализ	11
3.2 Конструкторско-технологический анализ электрической принципиальной схемы	12
3.3 Разукрупнение электрических схем РЭС	14
3.4 Выбор и оценка технического решения	16
3.5 Электрические расчеты в дипломных проектах	18
4. Разработка конструкции РЭС	20
4.1 Выбор системы охлаждения	20
4.2 Обоснование компоновочной схемы РЭС	22
4.3 Разработка конструкции функциональной ячейки	24
4.4 Расчет геометрических размеров ФЯ и блоков	30
4.5 Разработка конструкции блоков на основе БНК	33
4.6 Система базовых несущих конструкций «Евромеханика»	35
5. Расчеты по обеспечению электромагнитной совместимости в конструкциях РЭС	38
5.1 Электромагнитное экранирование	39
5.2 Электростатическое и магнитостатическое экранирование	40
5.3 Расчет перекрестных помех в линиях связи	41
5.4 Расчет перекрестных помех по цепям питания	43
6. Расчеты тепловых режимов РЭС	45
6.1 Методы теплового моделирования конструкций РЭС	45
6.2 Методы расчета тепловых режимов РЭС	46
6.3 Тепловое моделирование и расчет теплового режима РЭС с источниками тепла, распределенными в объеме	48
6.4 Тепловое моделирование и расчет теплового режима блоков цифровых РЭС на микросборках	52

6.5 Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкций РЭС с источниками тепла, расположенными в плоскости	54
6.6 Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкций РЭС с естественной вентиляцией.....	54
6.7 Тепловое моделирование конструкций с тепловыделяющими элементами, размещенными на металлических основаниях	55
7. Расчет устойчивости конструкции к механическим воздействиям	58
Приложения	68
Приложение 1. Техническое задание на разработку изделия.....	68
Приложение 2. Коэффициенты дезинтеграции конструкции блока и функциональной ячейки	70
Приложение 3. Линейные размеры печатных плат	71
Приложение 4. Характеристики основных материалов для печатных плат	72
Приложение 5. Параметры некоторых материалов.....	73
Характеристики диэлектрических материалов.....	74
Приложение 6. Клеи, краски и лаки, применяемые в РЭС.....	75
Приложение 7. Степень черноты различных поверхностей.....	77
Приложение 8. Параметры сухого воздуха.....	78
Приложение 9. Номограмма для определения $\alpha_{\text{д}}$ при $\epsilon=0,8$	78
Приложение 10. Номограмма для определения $\alpha_{\text{к}}$ для закона «1/4»	79
Приложение 11. Воздействия факторов внешней среды	80
Приложение 12. Постоянные резисторы ТМП отечественного производства	81
Приложение 13. Обозначение чип-резисторов и чип-конденсаторов зарубежного производства.....	81
Приложение 14. Керамические чип-конденсаторы.....	82
Приложение 15. Отечественные керамические чип конденсаторы.....	83
Приложение 16. Электролитические алюминиевые конденсаторы	84
Приложение 17. Электролитические танталовые конденсаторы.....	84
Приложение 18. Полимерные алюминиевые чип-конденсаторы	86
Приложение 19. SMD диоды.....	87
Приложение 20. SMD транзисторы	89
Библиографический список.....	91
Нормативные ссылки.....	93

Тем.план 2007, поз.

Борисов Валентин Федорович
Митюшин Михаил Федорович
Мухин Андрей Александрович
Шишков Алексей Николаевич
Чайка Юрий Владимирович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЭС

Редактор
Компьютерная верстка *Ю.В. Чайка*

Подписано в печать
Бум. офсетная. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. . Уч-изд. л. . Тираж 200 экз.
Зак. . С. .

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