

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(технический университет)

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ РЭС

Учебное пособие для курсового проектирования

Утверждено
на заседании Редсовета
30 мая 1994 г.

Москва
Издательство МАИ
1998

Авторы: В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский, Ю.В. Чайка, Ю.И. Борзаков, В.В. Прошунин

Основы конструирования и технологии РЭС: Учебное пособие для курсового проектирования / Авт.: В.Ф. Борисов, А.А. Мухин, В.В. Чермошенский и др. - М.: Изд-во МАИ, 2000. - 128 с., ил.

Учебное пособие предназначено для студентов радиотехнических специальностей в качестве учебно-методического пособия при выполнении курсового проекта по дисциплине "Основы конструирования и технологии РЭС". Пособие ориентирует студентов на системный подход к разработке конструкции и технологии РЭС, поиск и принятие оптимальных технических решений в процессе проектирования.

В пособии изложены цель, задачи, тематика и содержание курсового проекта, определены типовые проектно-конструкторские задачи, даны рекомендации по их решению.

Методические разработки, помещенные в пособие, могут быть использованы и для выполнения конструкторско-технологической части дипломного проекта.

Рецензенты Н.И. Авдеев, Н.М. Парфенов

ISBN 5-7035-2100-9

© **Московский авиационный институт, 1998**

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель и задачи курсового проектирования

Курсовое проектирование по дисциплине "Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств" представляет собой заключительный этап изучения данной дисциплины. Его цель - подготовить студентов к самостоятельному решению проектно-конструкторских задач при выполнении дипломного проекта и последующей работе на предприятиях промышленности.

Задачами курсового проектирования являются:

- систематизация, расширение и углубление теоретических знаний по дисциплине;
- развитие и закрепление практических навыков разработки конструкций и технологии радиоэлектронных средств (РЭС);
- приобретение опыта работы с нормативно-технической документацией, технической литературой и разработки конструкторской и технологической документации на РЭС.

1.2. Тематика курсовых проектов

В курсовом проекте студенту предлагается разработать конструкцию бортового или наземного РЭС различного функционального назначения. Содержание конструкторских и технологических задач курсового проекта соответствует стадиям технического предложения, эскизного и технического проектирования. По сложности разрабатываемое РЭС относится к изделиям первого и более высоких структурных уровней. Возможны три конструктивно-технологических варианта исполнения РЭС:

- на бескорпусных микросборках;
- на корпусных микросборках;
- на интегральных микросхемах широкого применения.

Конструктивно-технологический вариант задает руководитель проекта или по согласованию с руководителем обосновывает студент, выполняющий проект. Содержание проектно-конструкторских и технологических задач, решаемых в проекте, определяется вариантом исполнения конструкции РЭС.

Исходные данные на проектирование выдаются студентам в виде задания на курсовой проект, которое составляет руководитель проекта или по

его указанию студент (см. форму в прил. 1). В задании указывается назначение проектируемого изделия, требования к функциональным и материальным показателям конструкции, условиям эксплуатации и производства. 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 выдается для одного студента и предполагает разработку согласованного с руководителем проекта комплекта конструкторско-технологической документации на изделие и на один из узлов.

Заданием для группы студентов, как правило, является достаточно сложное изделие. Перед группой ставится задача более глубокой проработки конструкции с выдачей соответствующего 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 конструкции в соответствии с ГОСТ 15.001-73. В ТЗ указываются основные технические требования к разрабатываемому изделию, включающие его назначение, объект установки, способ связи с другими устройствами, а также требования к форме, массе и габаритам изделия; условия эксплуатации, транспортировки и другие требования. Структура ТЗ согласно ГОСТ 15.001-73 приведена в прил.2.

Техническое задание на разработку конструкции изделия составляется студентами и согласовывается с руководителем 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. Содержание пояснительной записки зависит от конструктивно - технологического варианта исполнения РЭС.

При разработке конструкции на бескорпусных и корпусных микросборках расчетно-пояснительная записка должна содержать:

- задание на курсовое проектирование,
- введение,
- техническое задание на разработку РЭС,
- анализ технического задания,

- конструкторский анализ схемы электрической принципиальной,
- разработку конструкции микросборки (МСБ),
- разработку конструкции функциональной ячейки РЭС,
- разработку конструкции РЭС,
- оценочные расчеты показателей качества конструкции,
- разработку технологического процесса изготовления микросборки (функциональной ячейки или РЭС в целом),
- заключение,
- библиографию,
- содержание.

При разработке конструкции на интегральных микросхемах широкого применения расчетно-пояснительная записка имеет то же содержание, только вместо разработки конструкции МСБ проводится разработка конструкции печатной платы.

Расчетно-пояснительная записка к курсовому проекту выполняется на листах формата А4. Объем записки не более 25...30 страниц.

Графический материал к проекту содержит схему электрическую принципиальную изделия или отдельного узла и конструкторскую документацию: топологический чертеж микросборки, послойные топологические чертежи, сборочный чертеж корпусной микросборки, чертеж печатной платы, сборочный чертеж функциональной ячейки, сборочный чертеж или чертеж общего вида блока, чертежи деталей, схемы технологического процесса изготовления РЭС. Конкретное содержание графического материала определяется руководителем проекта. Примерный объем графического материала 2...2,5 листа формата А1 (не менее 4...5 из указанных выше чертежей).

Расчетно-пояснительная записка и графические материалы проекта оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ ЕСКД.

Сроки выполнения контрольных объемов проекта устанавливаются учебным графиком.

1.4. Порядок выполнения курсового проекта.

При решении задач курсового проектирования, кроме настоящего пособия, рекомендуется использовать учебно-методические пособия [1-4].

Работу над проектом следует начинать с внимательной проработки методических пособий, подбора литературы в соответствии с рекомендованным библиографическим списком и изучения теоретических вопросов, связанных с решением поставленных в проекте задач. Процесс проектирования можно укрупненно разделить на следующие этапы:

- разработка на основе исходного задания на курсовой проект ТЗ на конструирование РЭС;

- анализ ТЗ и выбор конструктивно-технологического решения РЭС. На этом этапе, с учетом назначения разрабатываемого устройства, частотного диапазона рабочих сигналов, заданного конструктивно-технологического варианта, можно осуществить предварительный выбор конструктивно-технологического решения объекта разработки. Например, при втором варианте исполнения РЭС (на корпусных МСБ) устанавливается, что разработке будет подлежать негерметизированный блок разъемной компоновки на основе базовых несущих конструкций (БНК). Тем самым формируется техническое предложение по теме проектирования. Целесообразность принятого решения необходимо подтверждать ссылками (в пояснительной записке) на соответствующие литературные источники и (или) нормативно-технические документы;

- разработка конструкции РЭС. Данный этап, главный в конструкторском проектировании, наиболее трудоемкий и творческий. При его выполнении помимо данного пособия рекомендуется использовать [1-3, 6, 11, 12], а при оформлении конструкторской документации в "тонких линиях" [13];

- выполнение расчетов, подтверждающих соответствие основных параметров конструкции требованиям ТЗ;

- согласование с руководителем проекта результатов проектирования конструкции РЭС;

- анализ исходных данных, особенностей производства и выбор типового технологического процесса изготовления РЭС;

- разработка структуры технологического процесса и оценка технологичности РЭС;

- оформление расчетно-пояснительной записки и графической части проекта;

- согласование с руководителем проекта итоговых результатов проектирования, подготовка к защите и защита курсового проекта.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИЙ МСБ

2.1. Комплексная оценка технического решения

Технические решения, принимаемые студентами в процессе проектирования, как правило, являются многовариантными, причем каждый вариант характеризуется достаточно широкой совокупностью показателей качества (параметров). Поэтому выбор лучшего решения необходимо производить по результатам комплексной оценки качества каждого варианта и

сравнения этих оценок.

Комплексный показатель качества Q варианта технического решения записывается в виде

$$Q = \sum_{i=1}^n \varphi_i \alpha_i^* \quad (2.1)$$

где φ_i - весовые коэффициенты, определяющие значимость каждого из n дифференциальных показателей качества варианта, α_i^* - нормированные значения показателей.

Для получения комплексной оценки качества варианта технического решения необходимо:

- обосновать набор дифференциальных показателей качества $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, исчерпывающе характеризующих особенности технического решения;
- привести влияние показателей $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ на качество варианта к тенденции повышения или понижения показателя качества Q ;
- произвести нормирование дифференциальных показателей качества варианта;
- обосновать значения весовых коэффициентов.

Выбор дифференциальных показателей качества α_i , в число которых могут входить функциональные, материальные и эксплуатационные параметры элемента, производится в интересах наиболее полного учета в Q всей гаммы свойств (параметров).

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

Нормирование дифференциальных показателей может быть выполнено по следующим соотношениям:

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

$$\alpha_i^* = \alpha_i / \alpha_{i \max},$$

$$\alpha_i^* = \alpha_i / \alpha_{i \text{ ТЗ}},$$

где $\alpha_{i \max}$ - максимальное из значений i -го дифференциального показателя для сравниваемых вариантов; α_i - значение конкретного (рассматриваемого) дифференциального показателя качества, α_i^* - значение i -го дифферен-

циального показателя качества по ТЗ.

Указанные выражения в целом равнозначны. Однако в инженерной практике нормирование дифференциальных показателей обычно выполняется по первым двум формулам.

Весовые коэффициенты φ_i подчеркивают значимость того или иного дифференциального показателя качества по отношению к комплексному показателю качества Q .

Выбор весовых коэффициентов производится из условия

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

где n - число дифференциальных показателей качества варианта; k - некоторое целое число. Обычно полагают $k = 1, 10, 100$ и т.д.

Комплексный показатель качества Q является универсальным и может быть использован при выборе конструктивно - технологического варианта построения РЭС, элементной базы, радиоматериалов, конструкционных материалов и т.д.

2.2. Порядок разработки конструкции микросборки

Исходными данными для разработки конструкции МСБ служат схема электрическая принципиальная и требования технического задания.

Процесс разработки конструкции МСБ можно представить решением следующих задач:

- анализ электрической принципиальной схемы;
- выбор конструктивно-технологического варианта изготовления МСБ;
- расчет геометрических размеров тонкопленочных элементов;
- определение геометрических размеров подложки (платы) и разработка топологии МСБ;
- выбор типоразмера корпуса для корпусирования МСБ;
- выполнение оценочных расчетов показателей качества МСБ;
- оформление конструкторской документации.

2.3. Анализ электрической принципиальной схемы микросборки

Анализ принципиальной схемы проводится с целью:

- изучения (или уточнения) принципа работы и функций отдельных каскадов и цепей;
- классификации элементов принципиальной схемы на элементы и компоненты микросборки;
- формулировки общих требований к взаимному размещению элемен-

тов и компонентов МСБ;

- оценочного расчета по постоянному току электрических режимов элементов и компонентов, выбор компонентов.

При изучении принципа работы схемы следует установить характер преобразования сигналов (аналоговый, цифровой или аналогово-цифровой) и их частотные или временные параметры. Эти особенности определяют ограничения на размещение элементов и компонентов на подложке и конструкцию проводников питания и земли.

В соответствии с принятой терминологией к элементам микросборки относят все элементы электрической принципиальной схемы, которые могут быть выполнены в интегральном (тонкопленочном) варианте: соединительные проводники, контактные площадки, резисторы с номиналами от 10...50 Ом до 0,5...1,0 МОм, конденсаторы емкостью от 10...50 пФ до 0,01 мкФ и др. Остальные элементы принципиальной схемы (полупроводниковые диоды, транзисторы, интегральные микросхемы, конденсаторы емкостью более 0,01 мкФ и другие) причисляют к компонентам микросборки.

Следует иметь в виду, что применение двух и более резистивных материалов снижает технологичность МСБ. Если диапазон сопротивлений резисторов не позволяет их выполнить из одного материала, то должен быть рассмотрен вариант изготовления части резисторов на отдельных резистивных подложках (матрицах). После скрайбирования подложек получают набор тонкопленочных резисторов - компонентов, которые вместе с другими компонентами устанавливаются на подложку при ее сборке.

Повышению технологичности МСБ способствует применение в конструкции навесных конденсаторов вместо тонкопленочных. Такое решение может быть принято по согласованию с руководителем проекта при следующих условиях:

- большая часть емкостей конденсаторов лежит за пределами их реализуемости в тонкопленочном варианте;
- площадь, занимаемая тонкопленочными конденсаторами, превышает суммарную установочную площадь конденсаторов навесных.

Требования к взаимному расположению элементов и компонентов МСБ вытекают из выявленного вида преобразования сигналов, их частотных или временных параметров. При разработке МСБ с цифровым преобразованием сигналов основным критерием размещения служит минимальная длина проводников, возможность выполнения проводников в одном слое с минимальным числом пересечений. Расположение внешних контактных площадок выбирают преимущественно по конструктивным соображениям.

В случае конструирования аналоговой МСБ, выполняющей функции усиления сигналов, следует стремиться к последовательному расположе-

нию функциональных частей схемы от входа к выходу, размещению входных и выходных контактных площадок на противоположных сторонах подложки.

Проводники питания и земли желательно делать большей площади. Между сигнальными проводниками, критичными к электромагнитным наводкам, полезно для уменьшения связи прокладывать проводники земли. С ростом частоты или с уменьшением длительности сигнала уровни наводок на элементах и компонентах МСБ существенно возрастают. Поэтому в высокочастотных МСБ расстояния между сигнальными проводниками должны быть по возможности увеличены, при прокладке проводников следует избегать их параллельности.

Расчет электрических режимов элементов и компонентов МСБ по постоянному току проводится для определения мощности, рассеиваемой резисторами, и напряжений, прикладываемых к обкладкам конденсаторов. Эти данные используются при расчете геометрических размеров элементов и выборе компонентов МСБ.

Возможны несколько подходов к решению задачи:

- расчет по упрощенным эквивалентным схемам, в которых транзисторы условно считаются насыщенными или находятся в режиме отсечки;
- расчет по эквивалентным схемам, где транзисторы заменены источниками тока, равного номинальному току коллектора;
- расчет с использованием справочных данных о внешних электрических параметрах интегральных микросхем (уровни логического нуля и единицы, значения входных токов, выходных напряжений, входных и выходных сопротивлений, коэффициента передачи, токов, потребляемых от источника питания и др.).

При составлении упрощенных эквивалентных схем выбор режима транзистора производится на основе принципа наихудшего случая: токи в цепях схемы должны быть максимальными.

Коллекторные токи транзисторов, взятые из справочных данных, должны соответствовать режиму измерения параметров транзистора.

Перечисленные подходы к расчету электрических режимов элементов принципиальных схем подробно изложены и проиллюстрированы примерами в [21].

После расчета электрической принципиальной схемы МСБ по постоянному току производится выбор навесных компонентов. За исключением случаев, когда принципиальная МСБ построена на бескорпусных радиоэлементах, эта задача для большинства проектов является типовой.

Определенная часть корпусных интегральных микросхем широкого применения (операционные усилители, широкополосные усилители, отдельные типы цифровых интегральных схем) имеют бескорпусные анало-

ги. Поэтому при разработке конструкции МСБ предпочтительным решением является замена корпусной интегральной схемы (ИС) ее бескорпусным аналогом. Справочные данные по бескорпусным ИС приведены в прил.3 и [3].

Корпусная ИС может быть заменена любой другой бескорпусной микросхемой, функциональные возможности которой позволяют выполнить предусмотренные схемой преобразования сигналов.

В случае затруднений с выбором бескорпусной ИС допускается предположение, что по заказу разработчика МСБ предприятие - изготовитель ИС поставляет микросхему данного типа в бескорпусном исполнении. При этом конструктивные параметры ИС принимаются типовыми. Расположение выводов бескорпусной ИС соответствует корпусной.

Полупроводниковые диоды и транзисторы заменяются бескорпусными. Выбор бескорпусных диодов и транзисторов производится по функциональным параметрам, которые должны соответствовать параметрам корпусных приборов. Информация по бескорпусным полупроводниковым приборам приведена в [22].

Справочные данные по бескорпусным резисторам приведены в прил.4.

Конденсаторы постоянной емкости выбирают из группы керамических (K10-9, K10-17в) и группы оксидно-полупроводниковых (K53-15, K53-16, K53-19, K53-22, K53-26 и др.) по номинальному значению, отклонению емкости, напряжению, приложенному к обкладкам и массогабаритным показателям. Для керамических конденсаторов необходимо учитывать группу температурного коэффициента емкости, характеризующего изменение емкости конденсатора в диапазоне рабочих температур. Справочные данные по бескорпусным конденсаторам приведены в прил.5.

Эксплуатационные параметры всех выбранных компонентов должны соответствовать условиям эксплуатации МСБ.

В пояснительной записке должны быть представлены в таблице все выбранные типонаименования компонентов с указанием их установочных (габаритных) размеров, объема, массы, предельных условий эксплуатации, интенсивности отказов и других параметров, необходимых для проведения расчетов показателей качества МСБ. В записке рекомендуется привести эскизы установки навесных компонентов на плату МСБ.

2.4. Выбор конструктивно-технологического варианта изготовления МСБ

На ранних стадиях разработки МСБ требуется учитывать комплекс конструктивно-технологических ограничений, электрические, физико-химические свойства используемых материалов, предполагаемую технологию изготовления платы МСБ. Тем самым в значительной степени объеди-

няются функции разработчика - конструктора и технолога микроэлектронного изделия.

Тонкие пленки плат МСБ общего назначения получают методами термического испарения исходных материалов в вакууме или ионно-плазменного распыления.

Основное внимание следует уделить выбору метода получения конфигурации тонкопленочных элементов, обуславливающего ряд конструкторско-технологических ограничений на разработку платы МСБ. Краткая характеристика методов свободной маски, контактной маски, фотолитографии с последующим селективным травлением одного или двух рабочих слоев дана в [6].

Для получения плат МСБ, содержащих проводники, индуктивности, резисторы и конденсаторы, применяют совмещенный метод. При этом резисторы и первый максимально сложный по топологии слой проводников формируют фотолитографией, а пленочные конденсаторы - методом свободной маски.

Двойная фотолитография с последующим селективным химическим травлением рабочих слоев позволяет лучше использовать площадь подложки, так как ширина проводника в месте перекрытия равна ширине резистора (совмещение слоев обеспечивается автоматически). Однако этот метод требует учета технологической совместимости материалов пленок с точки зрения избирательного удаления отдельных слоев.

В пояснительной записке должна быть дана краткая характеристика методов получения тонкопленочных слоев и формирования конфигурации элементов платы МСБ.

2.5. Разработка топологии плат МСБ

Разработка топологии плат микросборок состоит в определении конфигурации и размеров тонкопленочных элементов и их рациональном размещении на подложке. Разработка топологии производится в следующем порядке: расчет тонкопленочных элементов (резисторов и конденсаторов); составление коммутационной схемы МСБ; выбор типоразмера подложки; оформление топологического чертежа.

2.5.1. Расчет тонкопленочных резисторов

Основными параметрами тонкопленочных резисторов служат: номинальное сопротивление резистора R ; относительная погрешность сопротивления $\gamma_R = \Delta R/R$; мощность, рассеиваемая резистором, P ; геометрические размеры резистора: ширина b и длина l ; коэффициент формы резистора $k = b/l$.

Относительная погрешность сопротивления резистора определяется следующими составляющими:

$$\gamma_R = \gamma_k + \gamma_{p_{кв}} + \gamma_{Rt} + \gamma_{R\tau} + \gamma_{Rk} \quad (2.2)$$

где $\gamma_k = \Delta b/b + \Delta l/l$ - относительная погрешность коэффициента формы; Δb и Δl - абсолютные погрешности выполнения размеров резистора; $\gamma_{p_{кв}}$ - относительная погрешность сопротивления квадрата резистивной пленки ($\gamma_{p_{кв}} \leq 5\%$); $\gamma_{Rt} = \alpha_R \Delta t$, α_R - температурный коэффициент резистивного материала, $\Delta t = \max\{t_{\min} - 20^\circ\text{C}; t_{\max} - 20^\circ\text{C}\}$ - приращение температуры резистора в диапазоне рабочих температур МСБ; $\gamma_{R\tau} = K_\tau \tau$ - относительная погрешность резистора, обусловленная старением, K_τ - коэффициент старения, τ - время работы резистора ($\gamma_{R\tau} \leq 3\%$); γ_{Rk} - относительная погрешность сопротивления контактных переходов резистора ($\gamma_{Rk} = 1...2\%$).

Исходными данными для расчета тонкопленочных резисторов являются: сопротивление резистора R ; относительная погрешность сопротивления γ_R ; мощность, рассеиваемая резистором, P ; диапазон рабочих температур $t_{\min}...t_{\max}$.

Расчет резисторов начинают с выбора резистивного материала. Для этого определяют оптимальное значение сопротивления квадрата резистивной пленки, минимизирующее площадь резисторов, $\rho_{кв \text{ опт}} = \sqrt{\sum R_i / \sum (1/R_i)}$, где R_i - номинальное значение сопротивления i -го резистора. По табл.2.1, в которой приведены параметры резистивных материалов, выбирают материал с сопротивлением квадрата резистивной пленки $\rho_{кв} \approx \rho_{кв \text{ опт}}$ и тем самым определяют другие параметры материала: удельную мощность рассеивания P_0 , температурный коэффициент сопротивления (ТКС) α_R .

С помощью формулы (2.2) находят допустимую относительную погрешность коэффициента формы

$$\gamma_k = \gamma_R - \gamma_{p_{кв}} - \gamma_{Rt} - \gamma_{R\tau} - \gamma_{Rk}.$$

Резистивный материал выбран верно, если $\gamma_k > 0$.

По заданной относительной погрешности γ_R выбирается метод формирования конфигурации резистора: масочный ($\gamma_R = 10...15\%$) или фотолитографический ($\gamma_R = 5...10\%$).

Находят коэффициент формы резистора $k = R/\rho_{кв}$. При масочном методе, если $1 \leq k \leq 10$, резистор выполняется в виде прямоугольной полоски

(рис.2.1, а), если $k > 10$, то резистор выполняется в виде составного или меандра, (рис.2.1, б).

Таблица 2.1

Резистивный материал	$\rho_{\text{кв}}$, Ом/кв	P_0 , Вт/см ²	$\alpha_R \cdot 10^4$, 1/°C	ТУ на резистивный материал	Материал контактных площадок и проводников
Сплав РС-5402	100	2	0.5	ЕТО.021.048.ТУ	Au,Cu,Al*
Хром ЭРХ	500	2	2.0	АМТУ5-30-70	Au,Cu,Al*
Сплав РС-1734	500	2	10.0	ГОСТ2205-76	Au,Cu,Al*
Сплав РС-3710	2000	2	2.0	ГОСТ2205-76	Au,Cu,Al*
Сплав РС-3001	20000	2	1.0	ГОСТ2205-76	Au,Cu,Al*
Сплав РС-3001	30000	2	1.0	ГОСТ2205-76	Au,Cu,Al*
Кермет К50-С	3000	2	3	ЕТО.021.048.ТУ	Au,Al
Кермет К50-С	5000	2	-4	ЕТО.021.048.ТУ	Au,Al
Кермет К50-С	10000	2 ... 3	-5...+3	ЕТО.021.048.ТУ	Au,Al

* - материал имеет ограниченное применение.

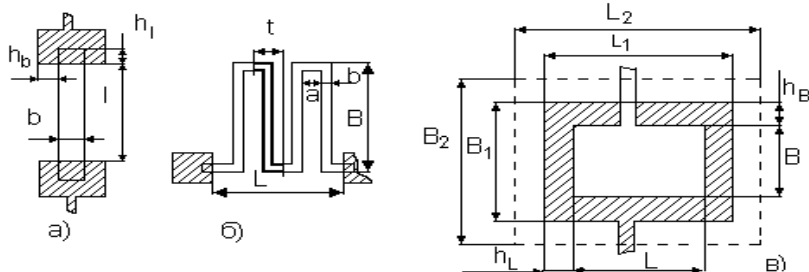


Рис.2.1

Тонкопленочные резисторы в виде прямоугольной полоски при фотолитографическом методе могут иметь коэффициент формы $1 < k < 50$. При коэффициенте формы резистора $k > 1$ находят расчетную ширину резистора $b = \max \{b_{\min}^T, b_{\min}^П, b_{\min}^P\}$, где $b_{\min}^T$ - минимальная технологически реализуемая ширина (при масочном методе $b_{\min}^T = 200$ мкм, при фотолитографическом - $b_{\min}^T = 100$ мкм); $b_{\min}^П = (\Delta b + \Delta l/k) \gamma_k$ - минимальная ширина резистора, обеспечивающая допустимую относительную погрешность коэффициента формы, Δb и Δl - абсолютные производственные погрешности размеров резистора (при масочном методе $\Delta b = \Delta l = 10$ мкм, при фотолитографическом - методе $\Delta b = \Delta l = 5$ мкм), γ_k - допустимая погрешность коэффициента формы, выраженная в относительных единицах; $b_{\min}^P = \sqrt{P/(P_0 k)}$ - минимально допустимая ширина резистора, обеспечивающая заданную мощность рассеяния.

По известной ширине b определяют длину резистора $l = bk$. Если для

формирования конфигурации резистора используется масочный метод или метод фотолитографии, то находят полную длину резистора $l_n = l + 2h_l$, где h_l - необходимое перекрытие резистивного и проводящего слоев (рис.2.1,а), при котором выполняется требование к относительной погрешности сопротивления контактных переходов. Ширина контактной площадки $b_k = b + 2h_b$, где h_b - припуск на совмещение слоев МСБ. Обычно принимают $h_l = h_b = 100...200$ мкм. В случае селективного травления резистивного и проводящего слоев (двойная фотолитография) $l_n = l$, $h_l = h_b = 0$.

Через геометрические размеры находят площадь тонкопленочного резистора $S = bl$.

Элементы тонкопленочной МСБ должны вписываться в координатную сетку, в которой выполняется топологический чертеж. Поэтому размеры b и l округляются до величины Δ , кратной шагу координатной сетки. Чтобы найти значение Δ , необходимо шаг координатной сетки разделить на масштаб, в котором выполняется топологический чертеж.

Проверка результатов расчета состоит в определении фактических значений удельной мощности, рассеиваемой резистором, $P_0^\Phi = P/S \leq P_0$, фактической относительной погрешности коэффициента формы $\gamma_k^\Phi = \Delta b/b + \Delta l/l \leq \gamma_k$, и фактической относительной погрешности резистора $\gamma_R^\Phi = \gamma_k^\Phi + \gamma_{\rho_{кв}} + \gamma_{Rl} + \gamma_{R\tau} + \gamma_{RK} \leq \gamma_R$.

В случае невыполнения хотя бы одного из условий следует увеличить ширину резистора b на величину Δ или относительную погрешность γ_R .

При расчете тонкопленочного резистора с коэффициентом формы $k < 1$ находят длину резистора $l = \max\{l_{\min}^T, l_{\min}^H, l_{\min}^P\}$, где $l_{\min}^T$ - минимальная технологически реализуемая длина резистора (обычно $l_{\min}^T = b_{\min}^T$); $l_{\min}^H = (\Delta l + \Delta b \cdot k)/\gamma_k$ - минимальная длина резистора, обеспечивающая допустимую относительную погрешность коэффициента формы; $l_{\min}^P = \sqrt{Pk/P_0}$ - минимально допустимая длина резистора, обеспечивающая заданную мощность рассеяния. Затем определяют полную длину резистивной пленки $l_n = l + 2h_l$ и ширину резистора $b = l/k$.

Расчет тонкопленочного резистора типа "меандр" (рис.2.1, б) до определения ширины резистора b не отличается от расчета резистора в виде прямоугольной полоски с $k > 1$. Затем находят среднюю длину резистора $l_{cp} = kb$, полную длину резистивной полоски, и количество звеньев резистора (на рис.2.1, б звено условно выделено)

$$n = \sqrt{(a^2 / 4t^2) + (l_{cp} / t)} - a / 2t$$
, где $t = a + b$ - "шаг" меандра, a - расстояние между соседними звеньями. Для минимизации площади резистора обычно полагают $a = b$. Через число звеньев определяют размеры контура

резистора $L = n(a + b)$, $B = (l_{\text{ср}} - a \cdot n) / n$. При методе свободной маски должно выполняться конструкторско-технологическое ограничение $(B - b) / a \leq 10$. Если оно не выполняется, необходимо увеличить расстояние a , положив $a = 2b$, $a = 3b$, и т.д.

Материалы расчета по одному резистору каждого типа (полоска с $k < 1$, $k \geq 1$ и меандр) следует представить в пояснительной записке в виде последовательного расчета по формулам, приведенным выше, а результаты расчета всех остальных тонкопленочных резисторов рекомендуется проводить на ЭВМ по программам, имеющимся на кафедре 404 или разработанным студентом. Результаты расчетов необходимо оформлять в пояснительной записке в виде таблицы (табл.2.2.).

Таблица 2.2

Позиционное обозначение	Номинал, допуск, мощность	Материал	$\rho_{\text{кв}}, \text{ Ом/кв}$	k	$\gamma_{\text{Rt}}, \%$	$\gamma_{\text{R}\tau}, \%$	$b, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$	K_n	n
R_1	10 кОм+10% 40мВт	- Кермет	5000	2	0.5	1.0	0.5	1.0	0.9	-

2.5.2. Расчет тонкопленочных конденсаторов

К основным характеристикам тонкопленочных конденсаторов относятся: номинальное значение емкости C , относительная погрешность емкости γ_c , рабочее напряжение на обкладках конденсатора U_p и геометрические размеры конденсатора B_1, L_1 (рис.2.1, в). Конструктивно тонкопленочный конденсатор представляет трехслойную структуру, состоящую из верхней и нижней обкладок, разделенных диэлектрической прослойкой.

Номинальное значение емкости конденсатора определяется по формуле $C = C_0 S = 0,0885 \epsilon S / d$, где C_0 - удельная емкость материала диэлектрика, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость конденсатора, S - площадь верхней обкладки, d - толщина диэлектрического слоя.

Относительная эксплуатационная погрешность емкости

$$\gamma_C = \Delta C / C = \gamma_{C_0} + \gamma_S + \gamma_{Ct} + \gamma_{C\tau},$$

где ΔC - абсолютная погрешность емкости конденсатора; γ_{C_0} - относительная погрешность удельной емкости диэлектрика ($\gamma_{C_0} = 3 \dots 5\%$); $\gamma_S = \Delta B / B + \Delta L / L$ - относительная погрешность площади обкладки конден-

сатора, ΔB и ΔL - абсолютные погрешности выполнения размера, характерные для выбранного метода изготовления конденсатора; γ_{Ct} - относительная температурная погрешность емкости; $\gamma_{C\tau}$ - относительная погрешность старения емкости. Две последние составляющие относительной погрешности емкости конденсатора находят так же, как и для тонкопленочных резисторов.

От напряжения U_p , приложенного к обкладкам конденсатора, зависит толщина диэлектрического слоя d .

Геометрические размеры конденсатора B и L находят в результате расчета. Они зависят от номинальной емкости C , удельной емкости материала диэлектрика C_0 , относительной погрешности емкости γ_C и напряжения на обкладках конденсатора U_p .

Расчет тонкопленочного конденсатора состоит в выборе по исходным данным материала диэлектрика и определении площади верхней обкладки. Выполнение всех конденсаторов МСБ в едином технологическом цикле возможно при использовании одного материала диэлектрика при одинаковой толщине диэлектрического слоя. Поэтому выбор материала диэлектрика производится для конденсатора, имеющего наименьшее номинальное значение емкости.

При расчете тонкопленочного конденсатора используются следующие исходные данные: номинальная емкость конденсатора C ; относительная эксплуатационная погрешность емкости γ_C ; рабочее напряжение на обкладках U_p ; диапазон рабочих температур $t_{\min} \dots t_{\max}$ и время работы конденсатора τ .

Расчет тонкопленочного конденсатора производится в следующем порядке. По значению C_0 и U_p из табл.2.3 выбирают материал диэлектрика.

Находят толщину диэлектрического слоя, обеспечивающую электрическую прочность конденсатора $d = (2 \dots 4)U_p/E$, где E - диэлектрическая прочность диэлектрика (табл.2.3). Обычно $d = 0,3 \dots 0,5$ мкм.

Определяют удельную емкость диэлектрика, при которой выполняется требование к электрической прочности конденсатора $C_0^E = 0,0885\epsilon/d$, где d выражается в см, C_0^E - в пФ/см².

Находят составляющие относительной эксплуатационной погрешности емкости γ_{C0} , $\gamma_{C\epsilon}$, $\gamma_{C\tau}$ и допустимую относительную погрешность площади верхней обкладки:

$$\gamma_S = \gamma_C - \gamma_{C0} - \gamma_{C\epsilon} - \gamma_{C\tau}.$$

Определяют удельную емкость материала диэлектрика, обусловленную требованием точности номинала емкости конденсатора $C_0^{\Pi} = C(\gamma_S / \Delta L)^2 [K_C / (1 + K_C)^2]$, где $K_C = L/B$ - коэффициент формы конден-

сатора. Если нет особых требований к форме конденсатора, полагают $K_c = 1$.

Таблица 2.3

Наименование материала диэлектрика	$C_0 \cdot 10^{-3}$, пФ/см ²	U_p , В	$E \cdot 10^{-6}$, В / см	ϵ	$\alpha_c \cdot 10^4$, 1 / °C	ТУ на материал
Монокись кремния	5 10	60 30	2...3	5...6	2	БКО.028.004 ТУ
Монокись германия	5 10 15	10 7 5	1.0	11...12	3	ЕТО.021.014 ТУ
Боро-силикатное стекло	2.5 5 10	24 15 10	3...4	4	0.36	ЕТО.035.015 ТУ
Стекло электро-вакуумное С41-1	15 20 30 40	12.6 10...12,6 6,3...10 6,3	3...4	5.2	1,5...1,8	НПО.027.600

Принимают расчетное значение удельной емкости материала диэлектрика $C_0^P \leq \min\{C_0^E, C_0^H\}$, которое должно отвечать технически реализуемым уровням C_0 из табл.2.3.

Находят фактическое значение толщины диэлектрического слоя $d^P = 0,0885\epsilon / C_0^P$, площадь верхней обкладки конденсатора $S = C/C_0^P$ и размеры верхней обкладки $L = \sqrt{K_c S}$, $B = \sqrt{S / K_c}$.

Определяют размеры нижней обкладки $L_1 = L + 2(\Delta L + h_l)$, $B_1 = B + 2(\Delta B + h_b)$

и размеры диэлектрического слоя $L_2 = L_1 + 2(\Delta L + h_l)$, $B_2 = B_1 + 2(\Delta B + h_b)$, где $h_l = h_b = (0,1 \dots 0,2)$ мм - припуски на совмещение слоев.

Полученные размеры конденсатора округляются до величины, кратной шагу координатной сетки (см. расчет тонкопленочных резисторов).

После определения геометрических размеров конденсатора производится проверка расчета. Для этого находят фактические значения относительной погрешности площади верхней обкладки $\gamma_s^P = \Delta L/L + \Delta B/B$ и напряженности электрического поля в конденсаторе $E^P = U_p/d^P$. Расчет произведен верно, если выполняются условия $\gamma_s^P \leq \gamma_s$, $E^P \leq E$.

Обкладки конденсатора чаще всего выполняются из алюминия А99 (ГОСТ 11069-64) при толщине 0,5 мкм. Для повышения адгезии пленки к поверхности подложки нижняя обкладка конденсатора напыляется с подслоем из титана или ванадия.

2.5.3. Составление коммутационной схемы МСБ и выбор подложки

Коммутационная схема представляет собой графическое изображение электрического соединения элементов и компонентов МСБ. В отличие от схемы электрической принципиальной на коммутационной схеме внешние электрические цепи МСБ и компоненты заменяются контактными площадками. Составление коммутационной схемы предшествует разработке топологического чертежа МСБ, поскольку коммутационная схема содержит информацию о количестве контактных площадок, о расположении внешних контактных площадок, о рациональном взаимном расположении элементов и компонентов МСБ, о возможности выполнения проводников в одном слое.

Пример составления коммутационной схемы МСБ транзисторного усилителя по схеме электрической принципиальной (рис.2.2,а) приведен на рис.2.2,б.

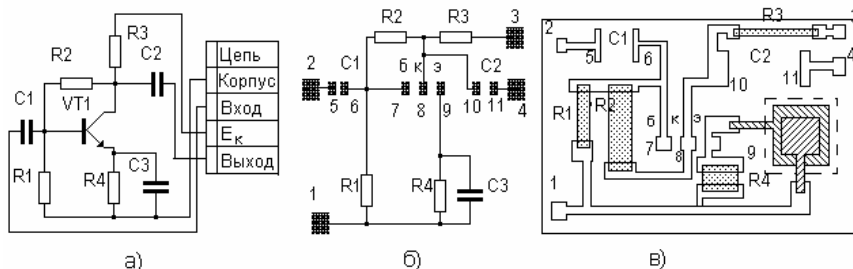


Рис.2.2

Для выбора типоразмера подложки необходимо найти ее площадь $S_{\text{п}} = q_s (S_R + S_C + S_H + S_K)$, где $q_s = 1,5 \dots 2,5$ - коэффициент дезинтеграции площади, S_R , S_C , S_H , S_K - соответственно площади, занимаемые тонкопленочными резисторами, тонкопленочными конденсаторами, навесными компонентами и контактными площадками. Площади S_R и S_C находят в результате расчета тонкопленочных элементов, S_H - по справочным данным на выбранные компоненты. При расчете площади контактных площадок необходимо учитывать, что внешние контактные площадки выполняются размером 1×1 мм и более. Размеры внутренних контактных площадок определяются видом монтажного соединения (пайка, сварка), типом применяемого монтажного инструмента, конструкцией выводов навесного компонента (металлизированная поверхность, гибкие проволочные и ленточные выводы и т. д.). При сварке гибких выводов средние размеры контактных площадок $0,2 \times 0,3$ мм, при пайке $0,3 \times 0,4$ мм. Контактные площадки под пайку конденсаторов К10-9, К10-17, К22-4 устанавливаются согласно

ОСТ 4 ГО.010.214. Рекомендации по установке компонентов даны в [6, 12].

По найденной площади подложки из табл.2.4, в которой приведены рекомендуемые габаритные размеры подложек, выбирают типоразмер с площадью $S \geq S_{\text{п.}}$.

Таблица 2.4

N типоразмера	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ширина, мм	96	60	48	30	24	20	16	12	10	10
Длина, мм	120	96	60	48	30	24	20	16	16	12
N типоразмера	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ширина, мм	5	2,5	16	32	8	8	24	15	20	- -
Длина, мм	6	4	60	60	15	10	60	48	45	- -

Следует иметь в виду, что подложки типоразмеров 3...10 предназначены для использования в стандартных корпусах интегральных микросхем, остальные - в бескорпусных МСБ. Толщина подложек $0,5^{+0,1}$ мм. Перпендикулярность сторон подложки после резки должна быть не более 0,1 мм.

В качестве материалов подложек МСБ, работающих в диапазоне низких и высоких частот, широко используется ситалл СТ50-1, СТ32-1 (ОСТ 11. 094.022-75).

2.5.4. Разработка топологического чертежа МСБ

Топологическим называют чертеж, определяющий взаимное расположение всех элементов МСБ и их соединение на плате (подложке) согласно электрической принципиальной схеме с учетом технологии изготовления. Как правило, топологические чертежи выполняют на нескольких листах: на первом изображается подложка со всеми нанесенными на нее слоями (элементы, соединения, контактные площадки и т. п.), на последующих дается изображение отдельных слоев. По топологическим чертежам изготавливаются маски или фотшаблоны для формирования тонкопленочных элементов.

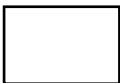
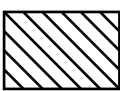
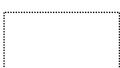
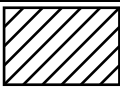
На первом листе указывают позиционные обозначения элементов МСБ в соответствии с электрической принципиальной схемой и номерами контактных площадок. Нумерация внешних контактных площадок начинается с левого нижнего угла подложки в направлении против часовой стрелки.

Внутренние контактные площадки нумеруют последующими порядковыми номерами сверху вниз в направлении слева направо. На чертеже помещают таблицу, отображающую последовательность формирования слоев МСБ и характеристики использованных материалов, таблицы с электрическими характеристиками и данными по изготовлению отдельных слоев.

Размеры таблиц произвольные, допускается введение в таблицу дополнительных граф. На топологических чертежах помещают технические требования на изготовление платы МСБ. Пример схематизированного (без соблюдения масштаба) топологического чертежа МСБ транзисторного усилителя приведен на рис.2.2,в, последовательность формирования слоев МСБ представлена в табл.2.5: резисторы, проводники и контактные площадки, нижние обкладки конденсаторов, диэлектрик конденсаторов, верхние обкладки конденсаторов, защитный слой диэлектрика.

Для улучшения адгезии под тонкопленочные проводники, контактные площадки, нижние обкладки из золота (Зл.999,9 ГОСТ 6.835-72), меди (МБ ТУ11.ЯеО.021.040-72), алюминия (А99 ГОСТ 11069-74) наносится подслей из хрома (ЭРХ ЧМТУ 4-30-70), никрома (Х20СН80 ГОСТ 12766-67) или ванадия (ТУ 48-05-53-71) толщиной 200...500 А°. Для технологической защиты нанесенных на подложку слоев применяют двуокись кремния (ГОСТ 6880-73), фоторезист негативный (ФН-11 ТУ 6-14-631-71), полиимидные лаки. Указанные материалы используются также для межслойной изоляции.

Таблица 2.5.

Условное обозначение	Наименование слоя	Наименование и марка материала слоя	ГОСТ, ТУ материала слоя	Толщина, ° А	Примечание
	Резисторы	Сплав РС-3710	ГОСТ 22025-76	1000	-
	Проводники, контактные площадки	Золото Зл 999,9	ГОСТ 6.835-72	500	Подслей хро-маЭРХ,тол- ° щина 300 А
	Нижняя обкладка конденсатора	Алюминий А99	ГОСТ 11069-74	1000	-
	Диэлектрик	Моноокись кремния	К0.028.004.ТУ	10000	-
	Верхняя обкладка конденсатора	Алюминий А99	ГОСТ 11069-74	1000	-
	Защитный слой	Фоторезист ФН-11	ТУ 6-14-631-71	2мкм	Кроме кон- тактных пло- щадок 1...11

Размеры элементов и их расположение на послойных топологических чертежах задают координатами положения вершин всех элементов, занесенных в таблицу размеров слоя. Нумерацию вершин в пределах каждого элемента начинают с крайней левой нижней вершины, имеющей наименьшее значение координаты X, и продолжают по часовой стрелке. Нумерацию вершин элементов в пределах слоя - с нижнего левого элемента с переходом к следующему ближнему по направлению снизу вверх и слева направо. При большом числе элементов в слое им может быть присвоено буквенное обозначение.

Топология МСБ изображается в масштабе 10:1 или 20:1 в координатной сетке. Шаг координатной сетки равен 0,1 мм, допускается применение шага 0,05 и 0,01 мм. Изображение линий координатной сетки на топологическом чертеже может быть заменено обозначением номера линий сетки (0, 1, 2,... или 0, 5, 10,...). Нумерацию линий начинают от левого нижнего угла подложки.

При разработке топологического чертежа учитываются конструкторско-технологические ограничения, характерные для выбранного метода формирования конфигурации элементов [5, 7]. Более подробно правила оформления топологического чертежа и содержание технических требований изложены в [6].

2.6. Разработка конструкции корпусной МСБ

Использование индивидуального корпуса МСБ обеспечивает ее защиту от дестабилизирующих факторов внешней среды и позволяет достигнуть высоких показателей технологичности конструкции МСБ в целом. Для корпусирования МСБ широкое распространение получили прямоугольные металlostеклянные корпуса типа 1 по ГОСТ 17467-79. На рис.2.3 в качестве примера приведен эскиз стандартного металlostеклянного корпуса 151.15-2. Конструктивно-технологические характеристики корпусов для герметизации МСБ приведены в табл. 2.6.

Основание корпуса выполнено из ленты сплавов 47НД, 29НК ("ковар").

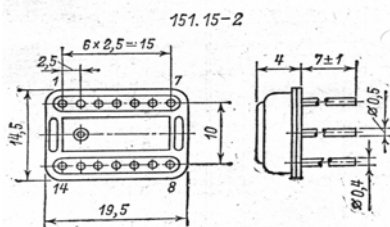


Рис.2.3

Выводы изготавливаются из проволоки этих же сплавов. Изоляция и герметизация выводов осуществляется с использованием стекла С76-4 или С49-2. Детали корпуса покрывают гальваническим никелем толщиной от 6 до 9 мкм. Размеры зоны крепления платы МСБ к основа-

нию выбираются с условием, чтобы зазор между любым краем подложки и элементами конструкции корпуса - стенкой крышки, границей металло-стеклянного спая и т. д. был не менее 0.3...0.5 мм. При этом необходимо стремиться к минимальному расстоянию между внешними контактными площадками и соответствующими выводами основания.

Таблица 2.6.

Типоразмер корпуса	Масса, г не более	Размеры монтажной площадки, мм	Максимальная мощность рассеяния при 20°С, Вт
1203(151.14-2,3)	1,6	15,6 х 6,2	3,2
1203 (151.15-1)	2,0	17,0 х 8,3	1,6
1203(151.15-2,3)	1,6	15,6 х 6,2	3,3
1203(151.15-4,5,6)	2,4	14,0 х 6,2	3,2
1206(153.15-1)	2,8	17,0 х 15,3	2,0
1207(155.15-1)	6,5	16,8 х 22,5	2,5
1210(157.29-1)	14	34,0 х 20,0	4,6
1213(159.49-1)	25	50,0 х 30,0	4,6

Размер внутреннего объема корпуса должен быть таким, чтобы обеспечивался зазор не менее 1...2 мм между поверхностью компонентов, установленных на подложке, и внутренней поверхностью крышки. На крышке и основании в зоне расположения первого вывода должна быть метка, образованная выдавкой или краской. Подложка приклеивается к основанию корпуса клеями ВК-9, ТКЛ-1 ОСТ 4Г0.029.004. Эти же марки клея используются для крепления навесных компонентов к подложке. Толщина клеевого слоя обычно не превышает 100...150 мкм.

Вакуумплотная герметизация корпуса осуществляется аргонодуговой или лазерной сваркой основания и крышки корпуса.

Сборочный чертеж корпусной МСБ должен содержать условные изображения всех внешних контактных площадок, проволочных перемычек. Изображение топологии всех пленочных элементов платы МСБ обязательно. Примеры оформления сборочных чертежей приведены в [6, 13].

3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЭС

В зависимости от формулировки исходных данных разработка конструкции РЭС может быть произведена по одной из возможных логических схем:

- по заданным параметрам РЭС (габаритные, присоединительные, установочные размеры, либо типоразмер базовой несущей конструкции, масса и др.) определяются параметры входящих в РЭС конструктивно-

технологических единиц (функциональных ячеек, модулей, микросборок);

- по заданным параметрам конструктивно-технологических единиц определяются параметры РЭС.

Ввиду того, что в техническом задании, как правило, излагаются требования к РЭС, обратимся к процедуре разработки конструкции блока РЭС в соответствии с первой логической схемой.

Исходными данными для разработки конструкции служат техническое задание и схема электрическая принципиальная. Следовательно, конструктор, приступая к разработке, располагает данными о требованиях к конструкции блока и об элементной базе.

Процедуру разработки конструкции блока можно представить решением цепочки следующих связанных между собой задач:

- выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока;
- выбор системы охлаждения;
- разукрупнение схемы электрической принципиальной;
- разработка конструкции функциональной ячейки;
- разработка конструкции печатной платы;
- проверка выполнения требований ТЗ к конструкции блока.

В курсовых проектах, задачей которых является разработка конструкций РЭС на микросборках, сложность исходной электрической принципиальной схемы может соответствовать конструкции микросборки. В этом случае разработка конструкции РЭС ведется от микросборки к блоку (вторая логическая схема) и задача разукрупнения электрической принципиальной схемы, как правило, не решается. В то же время задача разработки печатной платы ставится в проектах, где конструкция РЭС выполняется на корпусных интегральных схемах.

Рассмотрим более подробно содержание и порядок решения перечисленных выше задач.

3.1. Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока

Выбор типа конструкции и компоновочного решения блока обуславливается объектом установки РЭС, видом и интенсивностью воздействия внешних дестабилизирующих факторов. В свою очередь тип конструкции в значительной степени определяет свойства внутренней структуры блоков РЭС.

В основном применяются три типа конструкций: разъемная, кассетная (версная) и книжная.

Отличительной особенностью **разъемных** конструкций блоков является использование для организации внутриблочных электрических соединений электрических соединителей "вилка-розетка" и кросс-платы, на кото

рой размещаются розетки соединителей.

Конструкция обеспечивает высокую ремонтпригодность: неисправная функциональная ячейка легко вынимается из блока и заменяется на исправную. Однако наличие электрических соединителей снижает надежность (интенсивность отказов электрических контактов относительно высока) и ухудшает массогабаритные показатели блоков. Конструкция находит применение в бытовой, вычислительной, авиационной и контрольно-измерительной аппаратуре.

В **кассетной** конструкции две функциональных ячейки объединяются в кассету. При выполнении ремонтных и профилактических работ кассеты, вращаясь вокруг оси, проходящей через один из углов, раскрываются в вер и допускают проверку во включенном состоянии. Внутриблочные электрические соединения организуются с помощью проволочных жгутов, поэтому в конструкции отсутствуют разъемные электрические соединения. В то же время высокая трудоемкость изготовления жгутов, значительные масса и занимаемый ими объем определяют недостатки блоков кассетной конструкции.

В **книжной** конструкции блоков функциональные ячейки с помощью шарнирных соединений объединяются в пакет, раскрывающийся в виде книги. Различают конструкции блоков с вертикальной и горизонтальной осями раскрытия. В блоках, выполненных на корпусных интегральных микросхемах, несущим элементом конструкции служит каркас, на продольных центральных связях которого закрепляется кросс-плата.

Внешние выводы функциональных ячеек соединяются с контактными площадками кросс-платы с помощью гибких плоских проводов (гибкий плоский кабель, гибкий печатный кабель), что позволяет уменьшить массу и габариты блоков и повысить их надежность. Однако это преимущество достигается за счет снижения ремонтпригодности, особенно на объекте установки, когда оперативное восстановление работоспособности нередко осуществляется путем замены блока.

Книжные конструкции блоков на бескорпусных микросборках выполняются герметичными в металлических коробчатых корпусах. Функциональные ячейки (односторонняя, сдвоенная или двухсторонняя) часто объединяются в пакет с помощью гибкой матрицы-ремня, которая наряду с функцией электрического соединения ячеек берет на себя функции корешка книги. Герметизация блоков осуществляется, как правило, методом паянного шва.

Конструкции книжного типа находят применение в аппаратуре, размещаемой на ракетах, космических объектах и в изделиях, требующих предельной минимизации массогабаритных характеристик изделия.

Более подробный анализ конструкций блоков разъемного, кассетного и книжного типов можно найти в [6, 11].

Выбор компоновочной схемы производится по результатам анализа шести возможных вариантов организации внутренней структуры блока (рис.3.1).

Полезный объем блока можно условно представить в виде четырех объемов: V_1 (пакет ФЯ), V_2 (электрические соединители и межъячеечный монтаж), h_{32} - глубина зоны межъячеечного монтажа, определяемая типом электрического соединителя; V_3 (элементы лицевой панели и монтаж установочных элементов), h_{33} - 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_{34} - глубина зоны задней панели, определяется типами межблочного электрического соединителя и элементов, устанавливаемых на задней панели. Объем блока $V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$.

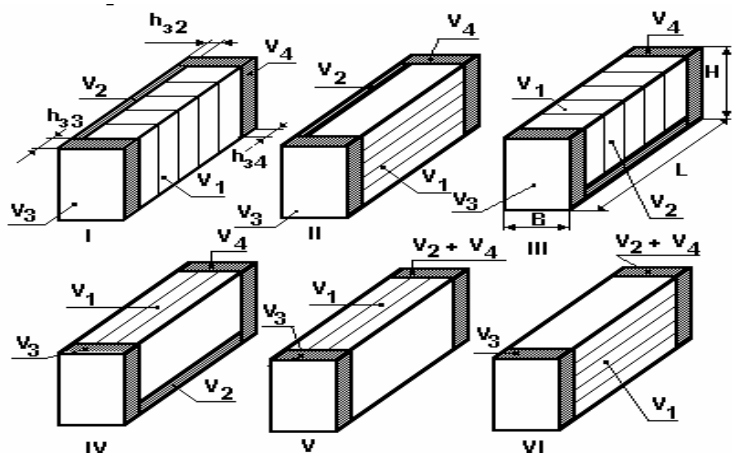


Рис.3.1

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.3.1:

I и II:

$$V_1 = (L^1 - h_{33} - h_{34}) H^1 (B^1 - h_{32}) ; \quad V_2 = (L^1 - h_{33} - h_{34}) h_{32} H^1$$

III и IV:

$$V_1 = (L^1 - h_{33} - h_{34}) (H^1 - h_{32}) ; \quad V_2 = (L^1 - h_{33} - h_{34}) h_{32} B^1$$

V и VI:

$$V_1 = (L^1 - h_{32} - h_{33} - h_{34}) H^1 B^1 ; \quad V_2 = (h_{32} + h_{34}) H^1 B^1 .$$

В блоках РЭС, как правило, $L1 > H1$, $L1 > B1$, $H1 > B1$. Отсюда получаем следующие зависимости:

$$V_1^{V,VI} > V_1^{III,IV} > V_1^{I,II} ; \quad V_2^{I,II} > V_2^{III,IV} > V_2^{V,VI} .$$

Поэтому предпочтительными являются варианты V и VI 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. Вариант V предпочтительнее при набегающем воздушном потоке снизу.

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

3.2. Выбор системы охлаждения

При выборе системы охлаждения используются следующие исходные данные: тепловой поток, рассеиваемый поверхностью теплообмена (корпуса) конструкции P , Вт; площадь поверхности теплообмена (корпуса) S_K , м²; допустимая рабочая температура наименее теплостойкого элемента $t_{эл \min}$, °C; максимальная температура окружающей среды $t_{с \max}$, °C; минимальное давление окружающей среды $H_{с \min}$, мм рт.ст.

Значение теплового потока можно определить через потребляемую от

источников питания мощность P_{Π} , которая обычно указывается в ТЗ, и коэффициент полезного действия изделия η :

$$P = P_{\Pi}(1 - \eta).$$

Площадь поверхности корпуса конструкции находят через взятые из ТЗ габаритные размеры конструкции.

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

$$P_{os} = K_H P / S_K \text{ Вт / м}^2,$$

где $K_H = 1 / (H_{\text{с min}} / H)^{0.5}$ - поправочный коэффициент на давление окружающей среды, $H = 760$ мм рт.ст. - нормальное давление и допустимый перегрев в конструкции $\Delta t_{\text{до п}} = t_{\text{эл min}} - t_{\text{с max}}$.

Значения P_{os} и $\Delta t_{\text{до п}}$ являются координатами точки, положение которой на диаграмме рис.3.2 определяет систему охлаждения конструкции.

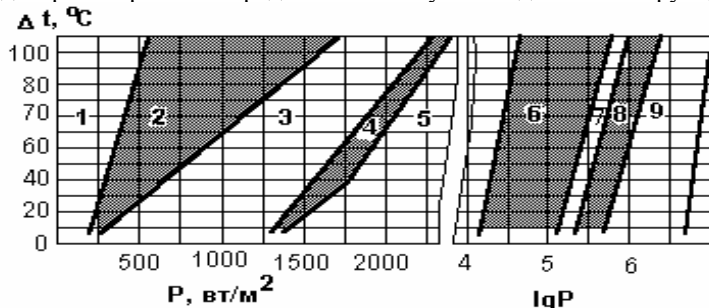


Рис.3.2

Незаштрихованные зоны диаграммы относятся к следующим способам охлаждения: 1 - естественное воздушное, 3 - принудительное воздушное, 5 - принудительное жидкостное, 9 - принудительное испарительное. Заштрихованным зонам соответствует два или более способов 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_{os} и $\Delta t_{доп}$ попадает в заштрихованную зону, то выбор способа охлаждения производится по вероятностным зависимостям, которые для зоны 2 приведены в [13].

В тех случаях, когда габаритные размеры конструкции в ТЗ не указаны, площадь поверхности теплообмена S_K можно найти ориентировочно, используя коэффициенты дезинтеграции объема q_v :

$$S_K = 6(q_v V_{эл})^{2/3},$$

где $V_{эл}$ - 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 воздуховодов.

3.3. Разукрупнение электрических схем

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

- функциональная законченность конструктивно-технологической единицы (КТЕ), в качестве которой может быть функциональная ячейка, модуль, МСБ и т.п.;
- максимальная повторяемость КТЕ в проектируемом или других изделиях;
- увеличение в пределах технических 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 конструкции.

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 схемотехническое, и конструкторское 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 быть соответствующие каждому варианту ожидаемые материальные показатели конструкции и формализованные показатели качества разукрупнения.

Известно, что для любой конструкции РЭС распределение массы можно представить следующим уравнением: $m_k = m_{эл} + m_{нк} + m_c + m_T$, где в правой части составляющие массы элементов, несущих конструкций, соединений и теплоотвода.

Не зависящей от варианта разукрупнения в уравнении является масса элементов, другие составляющие будут существенно изменяться. В частности, масса несущих конструкций $m_{нк}$ 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 конструкции m_k .

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

Общую площадь коммутационных плат можно представить соотношением:

$$S_{пл} = S_p + S_b,$$

где S_p - рабочая площадь, на которой размещаются радиоэлементы и проводники, S_b - вспомогательная площадь (краевые поля, элементы закрепления платы, рамки и т.д.). Легко убедиться, что при выбранном конструктивном оформлении с ростом числа КТЕ составляющая S_b , а следовательно, и $S_{пл}$ будут возрастать, а отношение S_p/S_b - ухудшаться.

Таким образом, названные материальные параметры конструкций (m_k , V_k , $S_{пл}$) могут эффективно использоваться в виде критериальных количественных оценок качества разукрупнения электрических схем на КТЕ.

Оценки являются противоречивыми, поэтому лучший вариант разукрупнения выбирают по заранее выбранному критерию или расчету комплексной оценки по совокупности критериев.

Формализованной оценкой качества разукрупнения электрических схем служит показатель разукрупнения

$$П_p = N_b / N_c ,$$

где N_b - число вентилях (р-п - переходов) в КТЕ, N_c - число внешних электрических соединений. Лучшему варианту разукрупнения соответствует большее значение показателя разукрупнения. При использовании формализованной оценки качества разукрупнения параметр N_b можно заменить числом эквивалентных дискретных элементов

$$N_э = N_{дэ} + N_{из} ,$$

где $N_{дэ}$ - количество дискретных навесных элементов (компонентов) в КТЕ, $N_{из}$ - количество интегральных элементов на кристалле или подложке микросхемы.

3.4. Разработка конструкции функциональной ячейки

Конструкция функциональной ячейки должна соответствовать выбранному типу конструкции блока. В этой связи различают конструкции ФЯ блоков разъемного, кассетного 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 [6, 11, 12].

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 разме-

рам и числу МСБ. Рассмотрим порядок решения перечисленных задач.

3.4.1. Расчет площади печатной платы

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

$$S_{пл} = q_s \sum_{i=1}^n S_{эл\ i}, \quad (3.1)$$

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

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

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

3.4.2. Выбор типоразмера печатной платы

Размеры печатной платы должны соответствовать ГОСТ 32751-79. Значения линейных размеров печатных плат приведены в прил. 6.

Согласно ОСТ 4 ГО.010.009 выбор печатных плат ограничивается следующими типоразмерами: 135x110, 135x240, 140x130, 140x150, 150x200, 170x75, 170x110, 170x120, 170x130, 170x150, 170x160, 170x200 мм.

Для межвидовой унификации ФЯ различных видов аппаратуры широко используют типоразмеры печатных плат, представленные в ОСТ 4 ГО.410.224: 170x75, 170x110, 170x150, 170x200, 170x280, 170x360 мм. Вдоль базовой стороны платы (170 мм) устанавливается розетка соединителя СНП34. При использовании платы типоразмера 360x170 мм на большей стороне (360 мм) устанавливается две розетки соединителя СНП34.

Выбор типоразмера платы определяется условием: $L_x L_y \geq S_{пл}$, где L_x , L_y - линейные размеры платы.

3.4.3. Оценка возможности размещения микросхем на плате ФЯ

На плате цифровой ФЯ корпуса микросхем размещаются в правильном порядке по строкам и столбцам (рис.3.3).

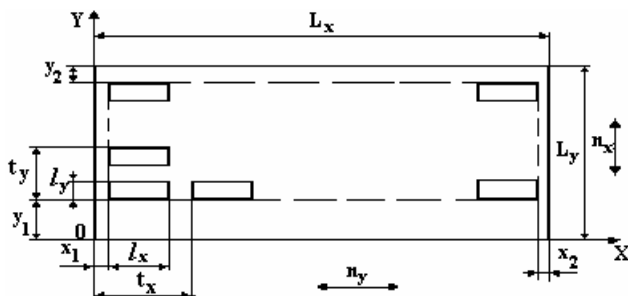


Рис.3.3

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 решения; 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 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 прил.7.

Типоразмер 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 электрорадиоэлементов: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов и др. Поэтому принцип регулярности структуры конструкции становится нереа

лизуемым, в связи с чем возможность размещения радиоэлементов на плате обосновывается выбором необходимой площади платы в соответствии с формулой (3.1).

3.4.4. 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.

По конструкции печатные платы с жесткими выводами и гибким основанием делятся на односторонние, двухсторонние и многослойные.

При выборе типа печатной платы наряду с требованиями технического задания на изделие следует учитывать технико-экономические показатели. Так, например, для плотности отверстий $1,5 \text{ отв/см}^2$ трудоемкость в нормочасах (нч) изготовления односторонней печатной платы в крупносерийном производстве составляет $0,25 \text{ нч/дм}^2$, двухсторонней - 1 нч/дм^2 , многослойной - 2 нч/дм^2 .

Класс точности печатной платы определяется номинальными значениями и точностью выполнения элементов печатной платы (проводящего рисунка). Современная технология позволяет получать платы четырех классов точности. Номинальные значения размеров основных элементов проводящего рисунка платы (рис.3.4) для узкого места приведены в табл.3.1.

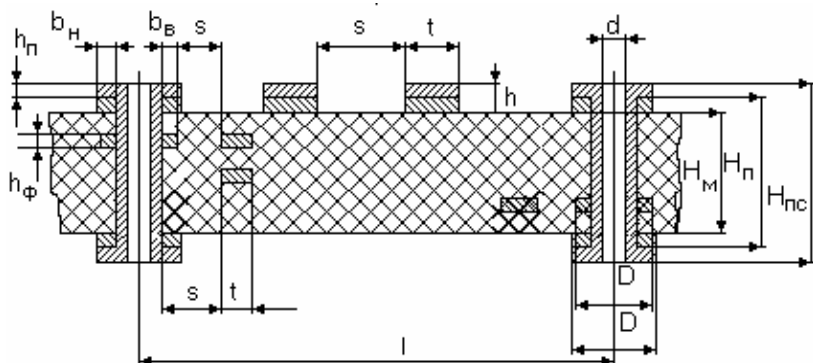


Рис.3.4

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.

Габаритные размеры печатных плат должны соответствовать ГОСТ 10317-79 при максимальном соотношении сторон 5:1. Методика выбора размеров платы изложена выше в разд.3.4.2. Предпочтительны платы прямоугольной формы. Конфигурацию плат, отличную от прямоугольной, следует применять лишь в технически обоснованных случаях.

Таблица 3.1

Конструктивные параметры элемента печатной платы и номинальный размер для класса точности	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс
Минимальная ширина проводников t , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Минимальное расстояние между проводниками s , мм	0,6	0,45	0,25	0,15
Гарантированная ширина пояска в наружном слое b_n , мм	0,3	0,2	0,1	0,05
Гарантированная ширина пояска во внутреннем слое b_v , мм	0,15	0,10	0,05	0,03
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы $k_{дт}$	0,5	0,5	0,33	0,33

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.

Выбор материала печатной платы производится в соответствии с ГОСТ 10316-78 и ГОСТ 23751-79. Наибольшее применение при изготовлении печатных плат находят фольгированные гетинакс и стеклотекстолит. Список рекомендуемых материалов печатных плат приведен в прил. 7 (табл.П 7.4).

Размещение радиоэлементов на плате производится в соответствии с ОСТ 4.ГО.010.009 и должно быть согласовано с требованиями к конструкциям ФЯ и блока. При размещении радиоэлементов необходимо обеспечить высокую надежность и ремонтпригодность конструкции, минимальные массогабаритные характеристики. 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 $d_{по}$:

$$d_{по} \geq k_{дт} h_{пл},$$

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

Минимальный диаметр монтажного отверстия $d_{мо}$:

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

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

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

Минимальный диаметр контактной площадки $d_{кп}$:

$$d_{кп} = 2[b_{н} + (d_{мо}/2) + \delta_0 + \delta_{кп}] + \delta_{ф\phi} + 1.5h_{\phi},$$

где $\delta_0 = 0,07$ мм - погрешность расположения отверстия; $\delta_{кп} = 0,15$ мм - погрешность расположения контактной площадки; $\delta_{ф\phi} = 0,06$ - погрешность фотокопии и фотошаблона; h_{ϕ} - толщина фольги на диэлектрическом основании.

Минимальная ширина проводника $t_{\text{пр}}$:

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

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.3.1), 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 сигнальных проводников печатных плат цифровых ФЯ требуемую площадь поперечного сечения находят по формуле:

$$S_c \geq \rho I / U_{\text{пу}} ,$$

где ρ - удельное сопротивление проводника, I - протекающий по проводнику ток, l - длина проводника, $U_{\text{пу}}$ - запас помехоустойчивости цифровых ИС.

Для проводников питания и земли:

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

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

Запас помехоустойчивости цифровых ИС лежит в пределах 0,4...0,5 В.

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 земли.

Число контактов n_k соединителя косвенного сочленения:

$$n_k = S_{\text{пз}} / (\pi d_{\text{в}} h_{\text{ф}}) ,$$

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

Для соединителя прямого сочленения:

$$n_{\text{п}} = S_{\text{пз}} / S_{\text{кп}} ,$$

где $S_{\text{кп}}$ - площадь контактирования в контактной паре соединителя.

В случае размещения ИС на плате в правильном порядке и схемой разводки цепей питания и земли в соответствии с рис.3.5, требуемая ширина проводников питания и земли может быть найдена по формуле:

$$t = \frac{P_{ис}\rho}{0.01 \cdot U_{п}^2 h_{\phi}} \left[n(n_x + 1)t_x + \frac{n_x^2 + 3n_x}{2} t_y \right], \quad (3.2)$$

где $P_{ис}$ - мощность, потребляемая интегральной микросхемой, $n = n_x n_y$ - число микросхем на плате.

Так как t зависит от соотношения числа микросхем в строке n_x и столбце n_y , то существует оптимальное размещение микросхем на плате, минимизирующее ширину проводников питания и земли. Условие оптимума, полученное из уравнения $(dt/dn_x) = 0$ записывается в виде

$$n_x^2 + 1.5n_x^2 - n^2(t_x / t_y) = 0.$$

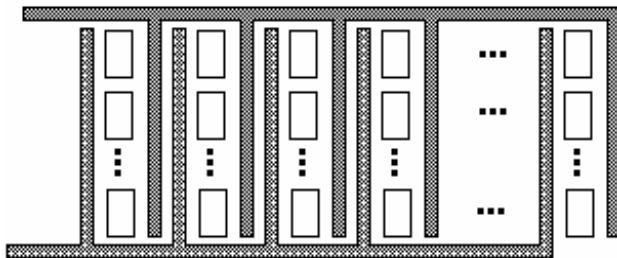


Рис.3.5

Через целочисленное значение n_x и общее число микросхем на плате n находят значение n_y , а по формуле (3.2) - минимальную ширину проводников t_{min} .

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].

3.5. Расчет геометрических размеров ФЯ и блоков

Типовая конструкция бескаркасной ФЯ блока разъемного типа на корпусных микросхемах приведена на рис. 3.6.

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 $h_y = h_{yg}$ при условии, что $h_{yg} > h_{пп} + h_c$, где $h_{пп}$ - толщина печатной платы, h_c - высота вилки соединителя или элемента с максимальной высотой. Если $h_{yg} < h_{пп} + h_c$ или угольник в конструкции отсутствует, то $h_y = h_{пп} + h_c$.

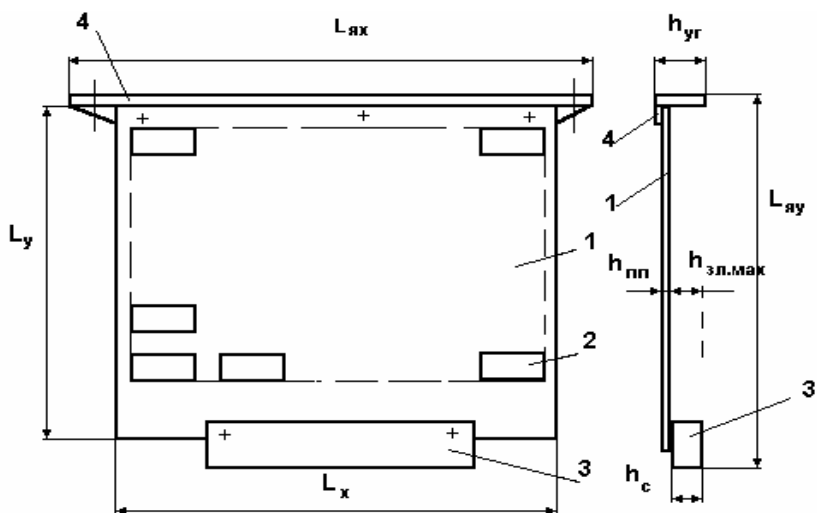


Рис.3.6

Для конструкций ФЯ с печатными контактами соединителя при наличии угольника $h_y = h_{yg}$, при отсутствии: $h_y = h_{пп} + h_{эл.мак}$, где $h_{эл.мак}$ - максимальная высота радиоэлемента, установленного на плате.

В конструкциях ФЯ блоков книжного типа в свободных углах платы монтируются распорные втулки высотой $h_{вт}$, исключаящие контактиро

вание 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.3.7.

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.

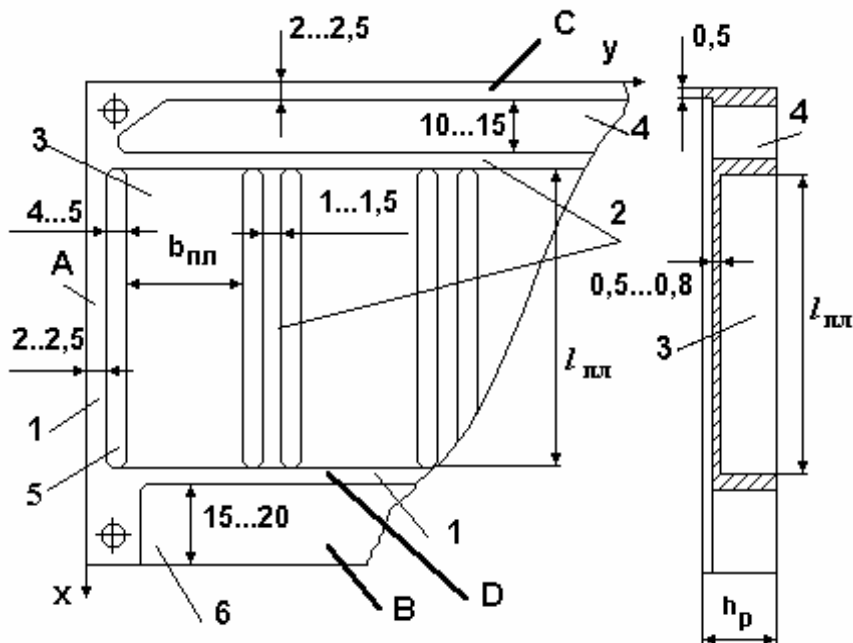


Рис.3.7

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

$$h_{\text{я}} = h_{\text{р}} = h_{\text{МСБ}} + h_{\text{пл}} + h_{\text{пр}} + h_{\text{пп}} + h_{\text{п}} + h_{\text{кл}} + h_{\text{вз}},$$

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

Высота МСБ $h_{\text{МСБ}} = h_{\text{подл}} + h_{\text{к.мак}}$, где $h_{\text{подл}}$ - толщина подложки, $h_{\text{к.мак}}$ - максимальная высота компонента, устанавливаемого на подложке.

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

Толщина воздушных прослоек между элементами соседних ФЯ определяется прогибом основания ячейки при механических воздействиях. С учетом высокой жесткости рамки на изгиб можно принять $h_{\text{вз}} = 1,5$ 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.3.7).

Ширина планки $b_{\text{пл}} = b_{\text{МСБ}} - (2...3)$ мм, где $b_{\text{МСБ}}$ - ширина МСБ.

Длина планки $l_{\text{пл}} = n l_{\text{МСБ}} + (n + 1) l_3$, где n - число МСБ на планке, $l_{\text{МСБ}}$ - 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 $L_z = b_{\text{я}}(n_{\text{я}} + 1) + h_{\text{я}}$, где $b_{\text{я}}$ - шаг размещения ФЯ, $n_{\text{я}}$ - число ячеек в блоке.

Шаг размещения ФЯ $b_{\text{я}} = h_{\text{я}} + b$, где b - расстояние между соседними ячейками. Для обеспечения высокой эффективности конвективного теплообмена в блоке значение b принимают равным 8...12 мм. В блоках РЭС на бескорпусных МСБ $b_{\text{я}} = h_{\text{я}}$, 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. 3.1) размеры пакета ФЯ дополняются глубиной характерных вспомогательных зон. Таким образом, для разъемной конструкции (вариант I) размеры внутреннего объема блока: ширина $B^I = L_{\text{яу}} + h_{32}$, высота $H^I = L_{\text{ях}}$, глубина $L^I = L_z + h_{33} + h_{34}$; вариант III $B^I = L_{\text{ях}}$, $H^I = L_{\text{яу}} + h_{32}$, $L^I = L_z + h_{33} + h_{34}$. Для книжной компоновки блока (вариант IV) $B^I = L_z$, $H^I = L_{\text{яу}} + h_{32}$, $L^I = L_{\text{яу}} + h_{33} + h_{34}$; вариант V: $B^I = L_z$, $H^I = L_{\text{ях}}$, $L^I = L_{\text{яу}} + h_{32} + h_{33} + h_{34}$.

На ранних стадиях разработки РЭС принимают глубину зон h_{32} и h_{34} равной 25...35 мм, а h_{33} - 30...70 мм.

3.6. 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 стандартизованы и обеспечивают размерную взаимозаменяемость аппаратуры. Типы и геометрические размеры блоков самолетной аппаратуры определены ОСТ 4 ГО.410.003 и представлены на рис.3.8, а контрольно-измерительных приборов на рис. 3.9.



Рис.3.8

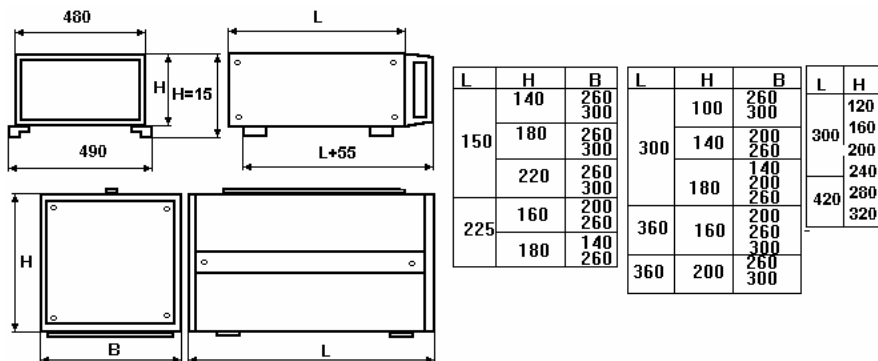


Рис.3.9

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. 3.8 и 3.9) может быть выбран по значениям B^1 , H^1 и L^1 . За минимальные габаритные размеры блока для используемой БНК можно принять $B = B^1 + (7...10)$ мм, $H = H^1 + (7...10)$ мм, $L = L^1 + (7...10)$ мм.

4. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИЙ РЭС

4.1. Оценочные расчеты тепловых режимов конструкций РЭС

Тепловой режим разработанной конструкции должен соответствовать требованию нормального теплового режима: температура в любой точке конструкции t_j не должна превышать допустимой рабочей температуры наименее теплостойкого элемента $t_{эл\ min}$. Следовательно, поверочный расчет теплового режима необходимо доводить до определения температур $t_{эл\ min}$. Однако на практике условия нормального теплового режима кон-

струкции приобретают иное толкование, связанное с особенностями тепловой модели конструкции.

Закономерности процессов теплообмена конструкций РЭС с окружающей средой в значительной мере определяются их структурой. Поэтому многообразие существующих конструкций можно представить классами, для каждого из которых характерна своя тепловая модель и набор показателей, необходимых для оценки теплового режима. Одним из признаков классификации может служить структура нагретой зоны конструкции.

4.1.1. Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкции РЭС с источниками тепла, распределенными в объеме

К данному классу относятся конструкции блоков книжного, веерного и разъемного типов. Общим для названных конструкций является то, что нагретая зона представляет собой объем, занимаемый собранными в блок ФЯ. Самая "горячая" точка конструкции - центр нагретой зоны.

Схематическое изображение конструкции приведено на рис.4.1, а. Блок функциональных ячеек (нагретая зона) 2 размещен в корпусе 1 и закрепляется на корпусе с помощью установочных элементов 3 (бобышек, втулок, кронштейнов, угольников и др.).

При построении тепловой модели принимаются следующие допущения:

- нагретая зона является однородным анизотропным телом;
- источники тепла в нагретой зоне распределены равномерно;
- поверхности нагретой зоны и корпуса - изотермические со среднеповерхностными температурами t_3 , $t_{кв}$ и $t_{кн}$ соответственно.

Тепло от центра нагретой зоны с температурой t_{30} теплопроводностью (эквивалентная тепловая проводимость (σ_3)) выводится на поверхность нагретой зоны.

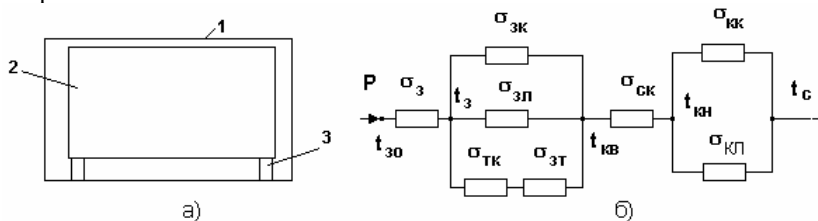


Рис.4.1

С поверхности нагретой зоны посредством конвективной ($\sigma_{3к}$) и лучевой ($\sigma_{3л}$) теплопередачи через воздушные прослойки, теплопроводностью

контакта нагретая зона - установочные элементы (σ_{TK}) и самих установочных элементов ($\sigma_{\text{зТ}}$) тепло передается на внутреннюю поверхность корпуса. За счет теплопроводности стенок ($\sigma_{\text{сК}}$) тепло выводится на наружную поверхность корпуса, откуда конвекцией ($\sigma_{\text{кК}}$) и излучением ($\sigma_{\text{кЛ}}$) переносится в окружающее пространство. Тепловая схема, отражающая процесс теплообмена в конструкции, приведена на рис.4.1, б. Критерияльной оценкой теплового режима конструкций является температура в центре нагретой зоны $t_{\text{з0}}$. Как следует из тепловой схемы:

$$t_{\text{з0}} = t_{\text{з}} + P / \sigma_{\text{з}} ,$$

$$t_{\text{з}} = t_{\text{кВ}} + P / \left[\sigma_{\text{зК}} + \sigma_{\text{зЛ}} + \frac{\sigma_{\text{TK}} \sigma_{\text{зТ}}}{\sigma_{\text{TK}} + \sigma_{\text{зТ}}} \right] ,$$

$$t_{\text{кВ}} = t_{\text{кН}} + P / \sigma_{\text{сК}} ,$$

$$t_{\text{кН}} = t_{\text{с}} + P / (\sigma_{\text{кК}} + \sigma_{\text{сК}}) .$$

где P - тепловой поток, рассеиваемый конструкцией; $\sigma_{\text{з}} = (4\lambda_{\text{з}}l_{\text{х}}l_{\text{у}}) / (cl_{\text{з}})$ - тепловая проводимость нагретой зоны от центра к ее поверхности, $\lambda_{\text{з}}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности нагретой зоны по направлению z , $l_{\text{х}}$, $l_{\text{у}}$, $l_{\text{з}}$ - приведенные геометрические размеры нагретой зоны по соответствующим направлениям осей координат, c - коэффициент формы нагретой зоны, определяемый по графикам рис.4.2, $\sigma_{\text{зК}} = (k\lambda_{\text{в}} / l_{\text{ср}})(S_{\text{з}} + S_{\text{кВ}}) / 2$ - конвективно-кондуктивная тепловая проводимость между нагретой зоной и внутренней стенкой корпуса, k - поправочный коэффициент на конвективный теплообмен в условиях ограниченного пространства [14], $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воздуха для среднего значения температуры воздуха в прослойке, $l_{\text{ср}}$ - среднее расстояние между нагретой зоной и кожухом, $S_{\text{з}}$ - площадь поверхности нагретой зоны, $S_{\text{кВН}}$ - площадь

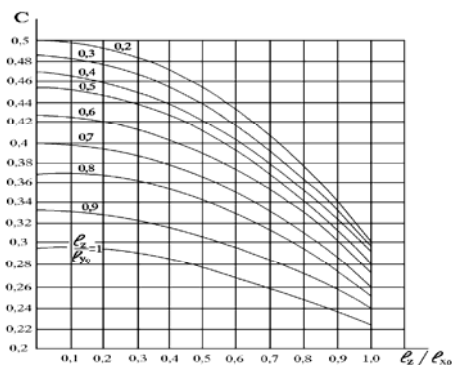


Рис.4.2

внутренней поверхности корпуса ; $\sigma_{3л} = \alpha_{лз} S_3$ - тепловая проводимость теплопередачи от нагретой зоны к внутренней стенке корпуса излучением,

$\alpha_{3л}$ - коэффициент теплопередачи излучением; $\sigma_{тк}$ - тепловая проводимость контакта между нагретой зоной и установочными элементами; $\sigma_{3т} = (n\lambda / l) S_{ср}$ - тепловая проводимость установочных элементов, 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; $\sigma_{ск} = (\lambda_{ск} / \delta_{ск}) (S_{квн} + S_{кн}) / 2$ - тепловая проводимость стенок кожуха, $\lambda_{ск}$ - коэффициент теплопроводности материала корпуса, $\delta_{ск}$ - толщина стенки, $S_{квн}$, $S_{кн}$ - площади внутренней и наружной поверхностей корпуса; $\sigma_{кк} = \alpha_k S_{кн}$ - тепловая проводимость от наружной поверхности корпуса к среде для конвективной теплопередачи, α_k - коэффициент теплопередачи; $\sigma_{кл} = \alpha_l S_{кн}$ - тепловая проводимость от наружной стенки корпуса к среде для теплопередачи излучением, α_l - 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: $\lambda_x = \lambda_z = 0.35 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$, $\lambda_y = 0.09 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$. Оси координат ОХ и ОZ лежат в плоскости плат функциональных ячеек, ось ОУ - перпендикулярна плоскостям плат.

Для условий теплообмена в ограниченном пространстве коэффициент теплопередач излучением $\alpha_{лз}$ может быть принят равным $7 \text{ Вт/(м}^2\text{ }^\circ\text{C)}$.

При малой толщине стенки ($\delta_{ск} = 1.5 \dots 2 \text{ мм}$) 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 α_k и лучевого α_l коэффициентов теплопередач в условиях неограниченного пространства (теплообмен между наружной стенкой кожуха и окружающей средой) можно воспользоваться номограммами рис.4.3 и 4.4.

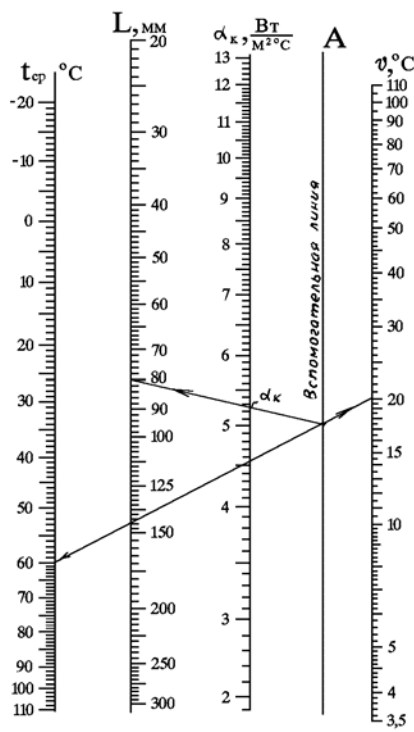


Рис.4.3

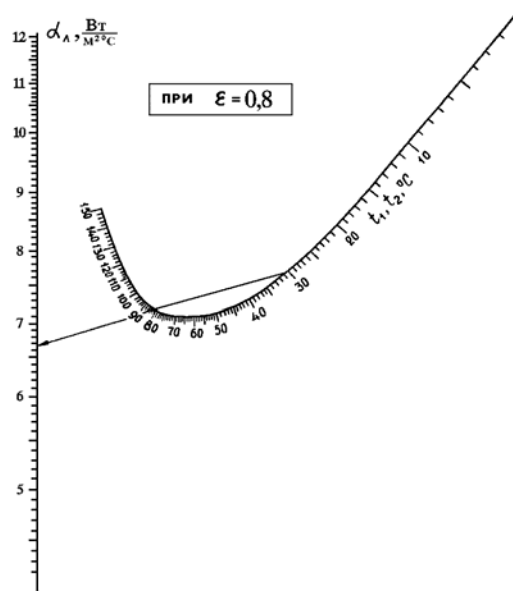


Рис.4.4

4.1.2. Тепловое моделирование и расчет теплового режима блоков цифрового РЭС на микросборках.

Блоки цифровых РЭС на микросборках обычно выполняются в виде конструкций книжного типа. Нагретая зона блока состоит из функциональных ячеек на металлических рамках, выполняющих функции несущих элементов конструкций и кондуктивных теплостокков.

Процессы теплообмена можно представить тепловой моделью конструкций с источниками тепла, распределенными в объеме (см. рис.4.1).

Однако при определении тепловой проводимости между центром и поверхностью нагретой зоны σ_z в конструкции ФЯ блока (см. рис.4.1, б) свойство "дальнего порядка" частично нарушается, поскольку не все элементы конструкции имеют одинаковые геометрические формы, 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").

Как видно из рис. 3.7 тепло по направлению X в конструкции ФЯ и блока передается преимущественно через боковые ребра жесткости рамки А и печатную плату В. Другие элементы конструкции, обладающие относительно высокими коэффициентами теплопроводности, включены последовательно с воздушными прослойками ($\lambda_{\text{в}}=0.025$ Вт/(м·°С)). Аналогичен механизм передачи тепла через элементы конструкции ФЯ в направлении Y. Основными цепями переноса тепла являются верхнее С и нижнее D ребра жесткости.

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

Таким образом, тепловые проводимости ФЯ по направлениям осей координат:

$$\sigma_{\text{яx}}=2 \lambda_{\text{p}} S_{\text{p1}}/l_{\text{p1}},$$

$$\sigma_{\text{яy}}=\lambda_{\text{p}} (S_{\text{p3}}+S_{\text{p4}})/l_{\text{p3}},$$

$$\sigma_{\text{яз}}=(\lambda_{\text{вн}} S_{\text{вн}} + \lambda_{\text{p}} S_{\text{кн}})/l_{\text{вн}},$$

где λ_{p} - коэффициент теплопроводности материала рамки; $S_{\text{p1}}, S_{\text{p2}}, S_{\text{p3}}$ - площади поперечного сечения соответствующих ребер жесткости рамки; $l_{\text{p1}}, l_{\text{p2}}$ - длины ребер жесткости; $\lambda_{\text{вн}}$ - коэффициент теплопроводности материала стягивающих винтов; $S_{\text{вн}}$ - суммарная площадь поперечного сечения винтов; $S_{\text{кн}}$ - площадь теплового контакта между рамками ФЯ;

$l_{\text{вн}}$ - длина винта в пределах рамки или высота рамки. Тепловые проводимости нагретой зоны по направлениям осей координат:

$$\sigma_{3x} = m \sigma_{\text{яx}}, \quad \sigma_{3y} = m \sigma_{\text{яy}}, \quad \sigma_{3z} = \sigma_{\text{яз}} / m,$$

где m - число функциональных ячеек в блоке.

Эквивалентные коэффициенты теплопроводности нагретой зоны по направлениям 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 $\lambda_x = \lambda_0$:

$$l_{x0} = \lambda_x \sqrt{(\lambda_0 / \lambda_x)}, \quad l_{y0} = \sqrt{(\lambda_0 / \lambda_y)}, \quad l_{z0} = l_z.$$

Через отношения l_z / l_{x0} и l_z / l_{y0} по графикам рис. 4.2 находят коэффициент формы нагретой зоны, после чего можно определить тепловую проводимость между центром и поверхностью нагретой зоны

$$\sigma_3 = 4 \lambda_z l_x l_y / (c l_z).$$

4.1.3. 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, размещенной в корпусе.

Упрощенное изображение конструкции приведено на рис. 4.5, а; а тепловая схема на рис. 4.5, 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. 4.1).

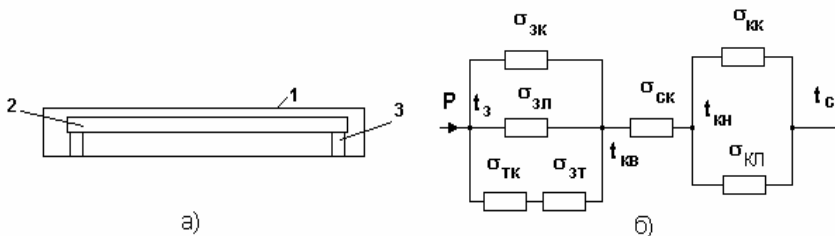


Рис.4.5

Однако размещение тепловыделяющих элементов в плоскости дает возможность при оценке теплового режима ограничиться расчетом среднеповерхностной температуры нагретой зоны, которая с небольшой погреш-

ностью может быть принята в качестве характеристики теплового режима элементов. Структура тепловых проводимостей на тепловых схемах рис.4.1 и рис.4.5 полностью совпадает.

4.1.4. Тепловое моделирование и расчет теплового режима конструкций РЭС с естественной вентиляцией

Естественная вентиляция в конструкциях организуется путем 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:

$$K_{\Pi} = S_{\text{вх}} / (l_1 l_2),$$

где $S_{\text{вх}}$ - 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 $S_{\text{вх}}$.

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

$$\Delta t_{30 \text{ ев}} = C_{\Pi} \Delta t_{30}, \Delta t_{3 \text{ ев}} = C_{\Pi} \Delta t_3, \Delta t_{к \text{ ел}} = C_{\Pi} \Delta t_к,$$

где $\Delta t_{30 \text{ ев}}, \Delta t_{30}, \Delta t_{3 \text{ ев}}, \Delta t_3, \Delta t_{к \text{ ел}}, \Delta t_к$ - перегревы центра нагретой зоны, поверхности нагретой зоны и поверхности кожуха для конструкций с перфорированным (ЕВ) и глухим кожухом, C_{Π} - поправочный коэффициент,

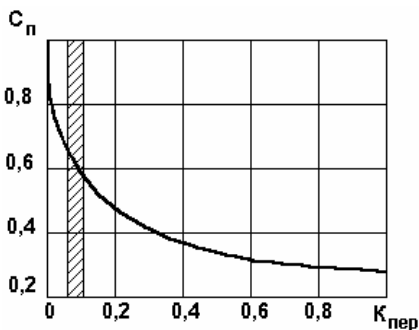


Рис.4.6

являющийся функцией коэффициента перфорации.

График зависимости C_{Π} от коэффициента перфорации приведен на рис.4.6.

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

4.1.5. Тепловое моделирование конструкций с тепловыделяющими элементами, размещенными на металлических основаниях

Данный класс конструкций объединяет конструкции аналоговой МЭА на микросборках. Типичный представитель - конструкции в корпусах типа "пенал". Упрощенное изображение конструкции приведено на рис.4.7, а.

Бескорпусные микросборки 1 размещены на металлическом основании 2, которое устанавливается в корпус 3. Характерная особенность конструкций - передача тепла от элементов микросборок к корпусу преимущественно теплопроводностью через внутреннюю тепловую проводимость тепловыделяющих элементов $\sigma_{вн}$, тепловую проводимость подложки микросборки $\sigma_{п}$ и проводимость клеевого соединения $\sigma_{кл}$ подложки микросборки и основания. Основание и корпус можно принять за изотермические поверхности. 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.4.7, б.

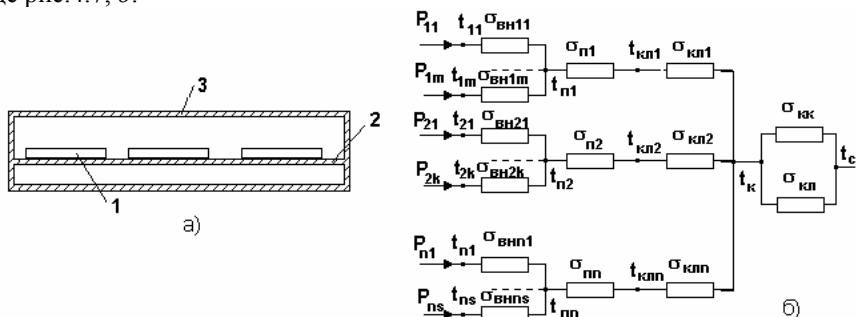


Рис.4.7

Критериальными оценками теплового режима конструкции является температура наиболее теплогруженного или наименее теплостойкого элемента. Температура i -го элемента расположенного на j -й подложке может быть найдена, как

$$t_{ij} = t_{пj} + P_{ij} / \sigma_{вн\ ij} ,$$

$$t_{пj} = t_k + \sum_{i=1}^m P_{ij} \left(\frac{1}{\sigma_{пj}} + \frac{1}{\sigma_{кл\ j}} \right) ,$$

$$t_k = t_c + \sum_{j=1}^n P_j / (\sigma_{к л} + \sigma_{к к}),$$

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

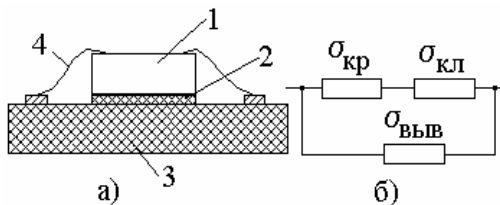


Рис.4.8

(рис.4.8, а) тепло от активной области кристалла стекает на подложку 3 через кристалл 1 ($\sigma_{кр}$) слой клея 2 ($\sigma_{кл}$) и выводы 4 ($\sigma_{выв}$). При известных геометрических размерах элементов и коэффициентах теплопроводности материалов определение проводимостей кондуктивной теплопередачи не вызовет затруднений.

Справочные материалы для расчета тепловых режимов РЭС приведены в прил. 8.

4.2. Оценка вибропрочности планарных конструкций

Конструкция считается вибропрочной, если в ней отсутствуют механические резонансы, а допустимая виброперегрузка на резонансной частоте превышает перегрузку, указанную в техническом задании на изделие.

Отсутствие в конструкциях механических резонансов характеризуется следующим соотношением частот свободных колебаний f_0 любого элемента конструкции и верхней частоты f_v диапазона внешних вибрационных воздействий:

$$f_0 \geq 2f_v.$$

Допустимая величина вибрационной перегрузки рассчитывается по формулам:

$$n_{в до п} = \frac{(2\pi f_0)^2 Z_{до п}}{\mu g}; \quad n_{в до п} = \frac{2\pi f_0 V_{до п}}{\mu g};$$

где $Z_{доп}$ - допустимая величина прогиба упругого элемента конструкции;
 $V_{доп}$ - допустимая виброскорость; m - коэффициент динамичности конструкции.

Таким образом, оценка вибропрочности конструкции сводится к расчету частоты свободных колебаний f_0 и допустимой величины виброперегрузки.

Основной расчетной моделью планарных конструкций служит прямоугольная пластина при определенных условиях на сторонах. Частота свободных колебаний основного тона прямоугольной пластины определяется по формуле:

$$f_0 = \frac{Ch}{a^2} \cdot K_m \cdot K_s \cdot 10^5, \text{ Гц}$$

где C - частотная постоянная; h - толщина пластины, мм; a - большая сторона пластины, мм; $K_m = \sqrt{E\rho_c / E_c\rho}$ - поправочный коэффициент на материал пластины, E, E_c - модуль упругости материала пластины и стали, ρ, ρ_c - плотность материала пластины и стали, $K_s = 1 / \sqrt{1 + m_s / m_{пл}}$ - поправочный коэффициент на нагружение пластины равномерно размещенными на ней элементами, m_s - масса элементов; $m_{пл}$ - масса пластины.

Значение частотной постоянной C для некоторых условий на сторонах (схем закрепления пластины) приведены в прил.9.

Построение расчетных моделей планарных конструкций производится на основе анализа реальных конструкций, выявления характерных особенностей, оказывающих существенное влияние на динамические процессы при вибрации.

Функциональную ячейку на печатной плате, закрепляемую в четырех точках по углам (рис.4.9, а), представляют расчетной моделью пластины, равномерно нагруженной радиоэлементами, со свободным опиранием всех сторон (рис.4.9, б). Принятый способ закрепления обосновывается тем, что при изгибных колебаниях основного тона вдоль каждой из сторон пластины ук-

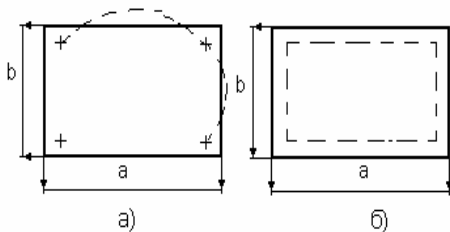


Рис.4.9

ладываются полволны, узлы перемещения совпадают с точками крепления платы. Поэтому наличие точек закрепления не сказывается на параметрах колебаний.

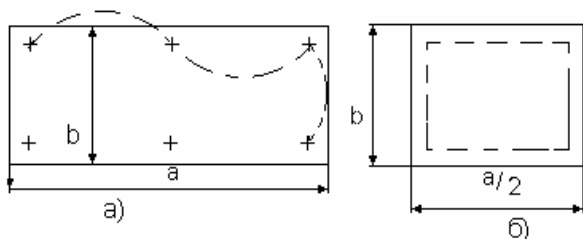


Рис.4.10

сторон $a/2$, b свободно опирающаяся по контуру, с равномерно распределенной нагрузкой (рис.4.10, б). Основной тон свободных колебаний определяется полуволной, укладываемой вдоль сторон (а) и (б) пластины.

Конструкция функциональной ячейки блока разъёмного типа (рис.4.11, а) может быть представлена расчетной моделью в виде нагруженной прямоугольной пластины 1 с жестким закреплением сторон, на которых установлены контрольная колодка 3 и электрический соединитель 2, и свободным опиранием двух других сторон (рис.4.11, б).

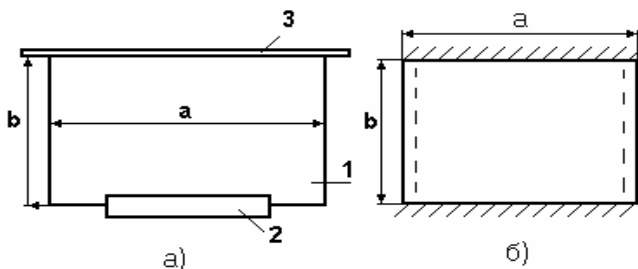


Рис. 4.11.

Принятая схема закрепления обосновывается тем, что электрический соединитель и контрольная колодка по сравнению с печатной платой имеют значительно большую жесткость на изгиб, а расстояние между стенками направляющих, с помощью которых плата устанавливается в блоке, в большинстве случаев существенно превышает толщину печатной платы. Каркасные конструкции функциональных ячеек (печатная плата закреплена на рамке по контуру) обычно моделируют пластиной с жестким закреплением всех сторон. Другой подход к построению расчетных моделей таких конструкций состоит в следующем.

Функциональную ячейку представляют сложной конструкцией, жёсткость которой на изгиб (цилиндрическая жёсткость) определяется как $D = D_{пл} + D_p$, где $D_{пл}$, D_p - соответственно цилиндрическая жёсткость платы и рамки.

Расчёт цилиндрической жёсткости платы производится по формуле

$$D_{пл} = \frac{E \cdot J}{b(1 - \varepsilon^2)},$$

где E - модуль упругости материала, J - момент инерции сечения платы, b - ширина платы, ε - коэффициент Пуассона материала.

Значение D_p можно найти по той же формуле. Однако момент инерции сечения рамки определяют как сумму осевых и центробежных моментов элементарных сечений правильной геометрической формы, на которые разбивается сечение рамки:

$$J_p = \sum J_i + \sum l_i^2 F_i,$$

где J_i ; $l_i^2 F_i$ - соответственно осевой и центробежный момент i -го элементарного сечения, F_i - его площадь, l_i - расстояние в плоскости изгиба сечения между центрами тяжести i -го элементарного сечения и сечения рамки (см. рис.4.12).

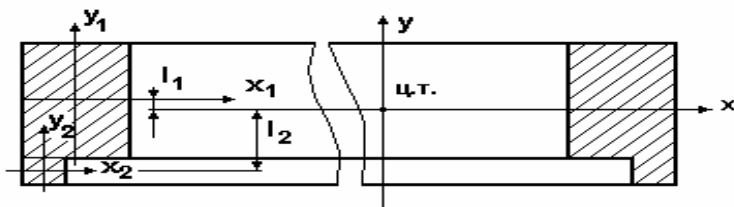


Рис. 4.12

Соотношение для расчета осевых моментов инерции сечений простейших геометрических форм и координат центра тяжести приведены в прил.9.

При выборе сечения рамки необходимо исходить из принципа наихудшего случая: жёсткость конструкции на изгиб в сечении должна быть минимальной, что позволит найти самую низкую частоту свободных колебаний ячейки.

Расчет частоты свободных колебаний ФЯ на металлической рамке производится по формуле:

$$f_{0i} = \alpha_i / (2\pi a^2) \sqrt{\frac{D}{m} \cdot K_3},$$

где α_i - коэффициент, зависящий от схемы закрепления пластины, соотношения сторон и номера тона колебаний i ; m - масса пластины, приведенная к площади; K_3 - коэффициент, учитывающий нагрузку пластины размещенными на ней элементами.

Коэффициент α_i для основного тона колебаний в случае закрепления пластины в четырёх или шести точках по периметру может быть найден по формуле

$$\alpha_i = \pi^2 \left(1 + \frac{a^2}{b^2} \right),$$

где a , b - длина и ширина пластины.

4.3. Оценка герметичности конструкций РЭС

Разработку герметичных конструкций РЭС необходимо завершать оценкой герметичности.

Герметичность конструкций принято характеризовать истечением газа из внутреннего объема блока, количественно выраженным величиной допустимой суммарной течи:

$$B = \frac{Q \cdot P_{ат}^2}{P^2 - P_{ат}^2} \cdot \frac{\eta}{\eta_b} \cdot K, \text{ дм}^3 \text{Па/с}$$

где Q - допустимый поток вытекающего газа, $\text{дм}^3 \text{Па/с}$; $P_{ат}$ - давление окружающей среды, Па; P - давление внутри блока, Па; η , η_b - соответственно вязкость газа, заполняющего конструкцию, и вязкость воздуха, Па·с; K - коэффициент запаса ($K=0,1$).

Допустимый поток газа Q определяется по формуле

$$Q = \frac{V(P_1 - P_2)}{\Delta t},$$

где V - объем блока; P_1 , P_2 - соответственно начальное и конечное давление внутри блока; Δt - время, за которое давление P_1 уменьшится до значения P_2 .

Приняты следующие нормы допустимой суммарной течи: для блоков с внутренним объемом (в $\text{дм}^3 \text{Па/с}$):

$$V < 0,5 \text{ дм}^3 \quad B = 10^{-9},$$

$$V = 0,5 \dots 5 \text{ дм}^3 \quad B = 10^{-6},$$

$$V > 5 \text{ дм}^3 \quad B = 10^{-3}.$$

Оценка герметичности состоит в определении значения В и сравнении его с принятым для блоков данного объема или нахождении по заданной величине В времени Δt , в течение которого обеспечивается герметичность блока.

4.4. Расчет прочности герметичных конструкций

Под действием внутреннего избыточного давления стенки корпуса герметичных конструкций РЭС прогибаются, в материале возникают изгибные напряжения. Условие прочности корпуса выполняется, если напряжение в материале не превышает допустимого, т.е. $\sigma_{и} < \sigma_{и до п}$. Проверка этого условия производится для стенки с максимальными размерами. Расчетной моделью стенки служит пластина с размерами а и b ($a > b$), жестко закрепленными по всем сторонам (рис.4.13).

Напряжение в материале $\sigma_{и}$ и статический прогиб в центре стенки z определяются по формулам:

$$\sigma_{и} = C_1 P (b/h)^2, \quad (4.1)$$

$$z = C_2 P b^4 / E h^3, \quad (4.2)$$

где C_1, C_2 - коэффициенты, зависящие от соотношения сторон пластины a/b , определяются по табл.4.1; P - избыточное давление в блоке, МПа; h - толщина стенки блока, мм; E - модуль упругости материала корпуса, МПа.

Если в (4.1) подставить значение $\sigma_{и до п}$, то можно найти минимальное значение толщины стенки корпуса h, обеспечивающее прочность конструкции.

Через величину h по формуле (4.2) определяется статический прогиб z в центре стенки.

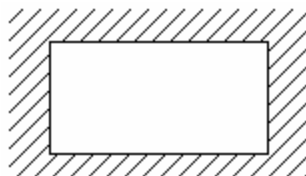


Рис.4.13

Таблица 4.1

a / b	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
C_1	0,3102	0,3324	0,3672	0,4008	0,4284	0,4518
C_2	0,0138	0,0165	0,0191	0,0210	0,0227	0,0241

4.5. 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.

К конструктивным мерам обеспечения ЭМС относятся экранирование и разработка рационального электрического монтажа, способствующего снижению уровня перекрестных и кондуктивных помех.

Экранирование является средством ослабления электромагнитного поля в пределах ограниченного пространства с помощью экрана 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 по условиям работоспособности узла известны напряженности магнитного H_n и электрического E_n поля, то требуемая эффективность экранирования определяется выражением

$$\Theta = 20 \lg (H_n / H_d), \quad \Theta = 20 \lg (E_n / E_d), \text{ дБ}, \quad (4.3)$$

где H_d и E_d - допустимые уровни напряженности магнитного и электрического поля.

4.5.1. Электромагнитное экранирование

Эффективность сплошного электромагнитного экрана в дальней зоне определяется по формуле [12]:

$$\Theta = 20 \lg | \operatorname{ch}(kd) | + 20 \lg | 1 + 0,5[(Z_b/Z_s) + (Z_s/Z_b) \operatorname{th}(kd) |, \text{ дБ}, \quad (4.4)$$

где d - толщина стенки экрана, м; Z_b - характеристическое сопротивления окружающего пространства (для воздуха $Z_b = 377 \text{ Ом}$); k - коэффициент распространения волны в металле; $k = (1 + j) \sqrt{\omega \mu \sigma / 2}$, ω - частота, рад/с; μ и σ - магнитная проницаемость и проводимость материала экрана соответственно; $Z_s = (1 + j) \sqrt{\omega \mu / 2 \sigma}$ - характеристическое сопротивление материала экрана.

При расчете экранирования в ближней зоне, когда расстояние до источника помехи сравнимо с длиной волны помехи, используют формулу (4.4), но значение Z_B зависит от преобладающей составляющей поля помехи и от формы и размеров экрана:

при экранировании электрической составляющей поля

$$Z_B^E = 1/(j\omega\epsilon r),$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость среды,

при экранировании магнитной составляющей поля

$$Z_B^H = -j\omega\mu r,$$

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

4.5.2. 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 [12] рассчитывают из выражения

$$\mathcal{E}_H = 20 \lg \{1 + \mu [1 - (a_1^2/a_2^2)](1/\mu + \mu - 2)\}, \text{ дБ},$$

где a_1 , a_2 - внешний и внутренний размеры экрана цилиндрической, сферической или прямоугольной форм; μ зависит от формы экрана: $\mu=0.25$ для цилиндрического экрана, $\mu=1$ для прямоугольного и $\mu=0.22$ для сферического.

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

$$\mathcal{E}_E = 20 \lg [5r_g / (a^2 a_1 - a a_1^2)], \text{ дБ},$$

где a - расстояние между источником и приемником помехи, м; a_1 - расстояние между экраном и приемником помехи, м; r_g - эквивалентный

радиус экрана, $r_3 \approx \sqrt{S_3/\pi}$; S_3 - площадь экрана.

Для электростатических экранов замкнутой формы

$$\mathcal{E}_E = 20 \lg (60\pi d\sigma), \quad \text{дБ.}$$

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

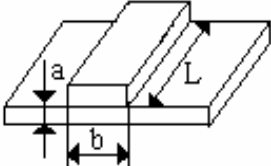
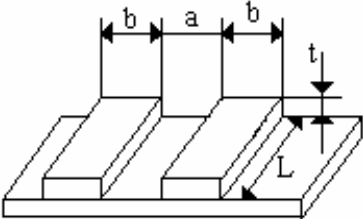
4.5.3. Расчет перекрестных помех в линиях связи

Паразитные параметры линий связи (собственная емкость и индуктивность) вызывают искажение передаваемых сигналов (для цифровых схем - увеличение длительности фронтов импульсов и дополнительную задержку 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. 4.2 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 по допустимой задержке сигнала в линиях связи и допустимому напряжению $U_{\text{п доп}}$ определяются требования к величине паразитных реактивных параметров линий связи и в соответствии с табл.4.2 к геометрическим параметрам проводников: $L < \tau R_{\text{вх}}$ при индуктивном характере связи (рис. 4.14); $C < \tau/R_{\text{вых}}$ при емкостном характере связи (рис. 4.15); $M_{1,2} < U_{\text{п доп}} \tau_{\text{ф}}/I$ при индуктивной взаимной связи (рис. 4.16); $C_{1,2} < U_{\text{п доп}} \tau_{\text{ф}}/U_{\text{р вых}}$ при емкостной взаимной связи (рис. 4.17), где τ – постоянная времени цепи, $\tau_{\text{ф}}$ - длительность фронта импульса.

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

Таблица 4.2

Эскиз линии связи (все размеры в м)	Емкость, взаимная емкость, пФ; индуктивность, взаимоиндукция, мкГн
	$C = \{\epsilon_0(\epsilon + 1)/2bL/a\} \cdot 10^{12}$ $L = 0,4\pi a/b$
	$C = [0,06(\epsilon + 1)L]/\lg[2a/(b + t)]$ $L = 0,004L\{\ln[(a + b)/(t + b)] - [(a - b)/L] + 0,2235(t + b)/L + 1,5\}$ $C_{1,2} = [13,9(\epsilon + 1)L]/\ln(4 + 4a/b)$ $M_{1,2} = 2 \cdot 10^{-8} L \{\ln[2b/(t + b) + (t + b)/L + 1]\}$

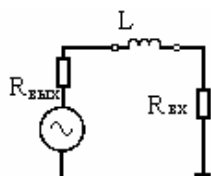


Рис. 4.14

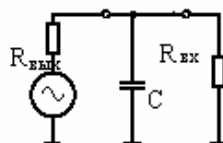


Рис. 4.15

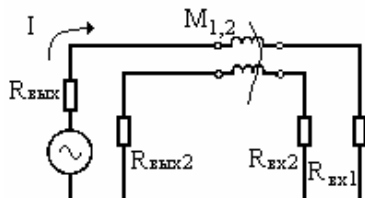


Рис. 4.16

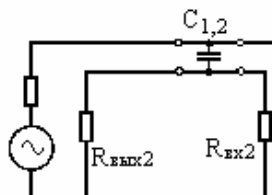


Рис. 4.17

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

4.5.4. Расчет 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 все микросхемы подключены к общему проводу «по цепочке», величина статической помехи определяется падением напряжения на сопротивлении r при протекании суммарного тока потребления n микросхем (рис.4.18):

$$\Delta U_1 = n I_n r_1.$$

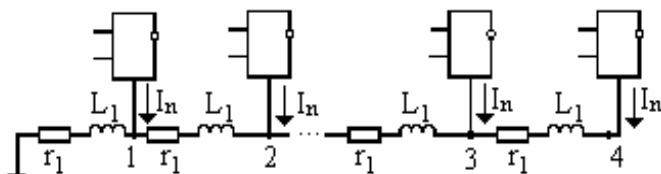


Рис.4.18

Для последней микросхемы в цепочке(точка4) напряжение помехи увеличивается до значения

$$U_n = [n(n + 1)/2] I_n r_1.$$

Отсюда вытекает требование обеспечить малое сопротивление в цепи общего провода и шины питания:

$$r_1 \leq 2U_{\text{п доп}}/I_n(n + 1)n, \quad (4.5)$$

где I_n - ток потребления одной ИС.

В момент переключения микросхем в цепях питания протекает кратковременный импульс тока, значение которого ΔI_n для ТТЛ- микросхем в 3...12 раз превышает статический ток потребления [22] (для КМОП - ИС

равен току перезаряда емкости нагрузки элемента), а длительность приблизительно равна времени переключения логического элемента. Поэтому с учетом динамической помехи $U_{п\text{ дин}}$ аналогично (4.5) должно выполняться условие

$$L_1 \leq U_{п\text{ дин}} \tau_{\phi} / [\Delta I_{п}(n + 1)n] .$$

4.6. Расчет надежности невосстанавливаемых РЭС по внезапным отказам

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности изделия по известным характеристикам надежности элементов и условиям эксплуатации.

Расчет надежности выполняется на основе логической модели безотказной работы РЭС. При составлении модели предполагается, что отказы элементов независимы, а элементы и в целом РЭС могут находиться в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном. Используются две логические схемы надежности: последовательная, когда отказ любого элемента ведет к отказу РЭС, и параллельная, когда отказ элемента не вызывает отказа РЭС. Последовательные логические схемы надежности характерны для нерезервированных РЭС, параллельные - для РЭС с резервированием.

Основными количественными характеристиками надежности являются вероятность безотказной работы РЭС $P(t) = \exp(-\lambda_{\Sigma} \cdot t)$ и среднее время наработки на отказ $T = 1/\lambda_{\Sigma}$, где t - время непрерывной работы изделия, λ_{Σ} - эксплуатационное значение интенсивности отказов РЭС.

Для последовательной логической схемы надежности

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \lambda_{\Sigma i} ,$$

где $\lambda_{\Sigma i}$ - эксплуатационное значение интенсивности отказов i -го элемента, учитывающее внешние воздействия, влияние тепловых и электрических нагрузок элементов, n - число элементов.

Расчет $\lambda_{\Sigma i}$ производится по формуле: $\lambda_{\Sigma i} = a_i \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \lambda_{oi}$, где λ_{oi} - интенсивность отказов элемента в номинальном режиме работы, a_i - поправочный коэффициент на температуру и электрическую нагрузку элемента, k_1 - коэффициент, учитывающий влияние механических воздейст-

вий, k_2 - поправочный коэффициент на воздействие климатических факторов (температура, влажность), k_3 - коэффициент, отражающий условия работы при пониженном атмосферном давлении.

Значения номинальных интенсивностей отказов некоторых элементов РЭС даны в прил. 10 (табл.П.10.1).

Поправочные коэффициенты на температуру и электрическую нагрузку элемента определяются с помощью табл.П.10.2.

Рекомендованные значения коэффициентов нагрузки для радиоэлементов и узлов РЭС даны в табл.П.10.3.

Поправочные коэффициенты k_1 для различных условий эксплуатации РЭС приведены в табл.П.10.4, коэффициенты k_2 и k_3 - соответственно в табл.П.10.5 и табл.П.10.6.

5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭС

Результатом конструирования радиоэлектронного изделия является полный комплект КД на это изделие. Он служит основой для поэтапной подготовки и последующего производства разработанного устройства на специализированном предприятии (радиозаводе), в цехе или на специализированном участке. Организационная форма производства обуславливается сложностью конструкции, "масштабом" и длительностью выпуска продукции. По сути разработка технологического процесса проходит те же стадии, что и при создании КД. В курсовом проекте проработка технологии соответствует задачам технического предложения и (или) эскизного проектирования выпуска продукции на основе типовых техпроцессов, действующих в отрасли.

5.1. Выбор технологических методов изготовления РЭС

Производство РЭС использует широкий спектр технологических методов, устанавливающих общие правила, последовательность и содержание действий исполнителей и (или) оборудования при получении определенного производственного результата. Технологические методы, вообще говоря, универсальны, не связаны с конкретным наименованием, типоразмером или конструктивным исполнением объекта труда. Они весьма разнообразны по сущности реализуемых физических явлений (табл. 5.1). Выбор технологического метода (его конкретного варианта) резко сужает сферу научно-технического поиска, конкретизирует природу и механизмы производственных процессов.

Таблица 5.1

Наименование технологического метода	Сущность явлений, лежащих в основе метода	Примеры вариантов метода, объектов труда
Механическая обработка	Обработка твердых тел, поверхностей резанием , давлением	Токарно-фрезерные работы, штамповка, вырубка
Электрофизическая обработка	Использование электронного оптического метода, плазменной среды, электрических разрядов ...	Ионно-плазменные методы получения пленок, термическое испарение в вакууме ...
Электрохимическая обработка	Растворение материала в электролите под действием электрического тока (поля)	Анодное вытравливание отдельных участков металлических изделий, электрополирование, оксидирование
Гальванопластика	Формообразование изделий (оболочек) по исходным матрицам путем осаждения металла из электролита под действием электрического тока	Изготовление тонких металлических деталей , корпусов
Гальваностегия	Электролитическое осаждение(наращивание) металлических покрытий	Получение разнообразных покрытий (меднение, никелирование , цинкование , золочение...). Нарращивание "гол-стых" пленок
Сборка	Образование различными способами разъемных и неразъемных механических соединений составных частей сборочной единицы	Сборка несущих конструкций РЭС с использованием сварки, пайки , склеивания, заклепок , развальцовок , различных посадок, винтовых соединений
Электрический монтаж	Образование электрических соединений	Получение соединений пайкой, сваркой, накруткой, давлением, склеиванием контактами, с использованием разъемных соединений
Технический контроль	Проверка соответствия предмета труда или протекающего процесса установленным требованиям	Измерительный, регистрационный визуальный (органолептический) контроль, входной, операционный, приемочный контроль

С организационно-технической стороны выбор метода предопределяет состав необходимых средств технологического оснащения, т.е. используемого технологического оборудования и технологической оснастки (приспособлений, инструмента).

В принципе выбор технологического метода - многокритериальная оптимизационная задача, поскольку нередко один и тот же технологический результат может быть получен разными методами, а в рамках одного метода - или различными его вариантами, или при использовании того или иного оборудования. Например, тонкопленочную плату МСБ можно получить термическим испарением материалов в вакууме или магнетронным распылением, электромонтаж можно осуществить термокомпрессией (установка "Контакт - 1А") или ультразвуковой сваркой (установка ЭМ-42А) и т.д. Технико-экономическую эффективность принятых решений при курсовом проектировании следует оценивать исходя из следующих качественных критериев:

- выбранный технологический метод позволяет решить данную конструкторско-технологическую задачу; - выбранный метод, или его технологический вариант обеспечен промышленно изготавливаемым технологическим оборудованием, имеется необходимая технологическая оснастка;

- выбранный метод (его вариант) и технологическое оснащение в сравнении с другими для установленного в курсовом проекте типа производства должны дать наибольший эффект с точки зрения производительности, универсальности (специализированности), требований к обслуживающему персоналу, занимаемым площадям, экологической безопасности и т.п.

При решении конкретной конструкторско-технологической задачи разными вариантами одного технологического метода в пояснительной записке должно приводиться обоснование. Например, почему при электромонтаже используется и пайка, и микросварка?

Предварительный выбор технологических методов (их вариантов) осуществляется на этапах обоснования компоновочного решения конструкции РЭС, уточняется при разработке сборочного и деталировочного чертежей. Окончательные решения закрепляются при разработке структуры технологического процесса. Например, при выборе варианта бескаркасной ФЯ блока разъемного типа устанавливается возможность ее выполнения с односторонним расположением навесных компонентов и размещением их выводов в металлизированных отверстиях печатных плат (ПП).

Отсюда следуют типовые методы: изготовление ПП - комбинированная технология с металлизацией отверстий; электромонтаж - групповая пайка волной припоя или "окунание" в жидкий припой ПП с "набитыми" компонентами.

Следует подчеркнуть, что формальное "размежевание" конструкторских и технологических вопросов разработки РЭС еще возможно (но неэффективно!) при создании низкочастотных устройств на корпусной элементной базе. При проектировании изделий микроэлектроники и аппаратуры на их основе, устройств гигагерцевого диапазона рабочих частот технологические методы обуславливают конструкторские решения или радикально влияют на них.

5.2. Оценка технологичности конструкции

Радиоэлектронное средство технологично, если при производстве и эксплуатации (ремонте) его потребительские качества обеспечиваются при оптимальном (рациональном) расходовании привлекаемых ресурсов (материальных, трудовых, финансовых и т.д.). При единстве достигаемых целей существуют различные методические подходы к оценке технологичности [10], [16]. Ниже рассматривается методика оценки показателей качества, принятая при дипломном проектировании РЭС в МАИ [10].

5.2.1. Расчет конструкторских показателей технологичности

Проводится разработчиками конструкции сборочной единицы по результатам синтеза схемного решения РЭС и выполнения сборочного чертежа (чертежа общего вида) конструкции.

1. Коэффициент повторяемости компонентов и МСБ

$$K_{\text{пов мс}} = 1 - (n_{\text{тр}} / N),$$

где N - общее количество дискретных компонентов, ИМС широкого применения и МСБ. Рассчитывается как суммарное число дискретных (навесных) электрорадиоэлементов (включая электрические соединители - разъемы, тумблеры, переключатели и т.д. - кроме ПП) поименованных в перечне элементов к принципиальной схеме или в спецификации к сборочному чертежу плюс число ИМС и МСБ. Навесные компоненты, входящие в МСБ, в N не засчитываются; $n_{\text{тр}}$ - число типоразмеров компонентов, ИМС и МСБ. Например, два резистора ОМЛТ-1кОм-0,125Вт и ОМЛТ-1кОм-0,5Вт - это два типоразмера: у них разные установочные размеры; две различных по функциям ИМС в корпусах одного типа с одинаковыми установочными размерами - это один типоразмер и т.д.

2. Коэффициент повторяемости материалов

$$K_{\text{пов м}} = 1 - (n_{\text{м}} / n_{\text{дет}}),$$

где n_m - количество марок материалов, применяемых для изготовления составных частей (деталей) конструкции, $n_{дет}$ - количество нестандартных (оригинальных) деталей, изготовленных из этих материалов.

3. Коэффициент стандартизации конструкции

$$K_c = 1 - \frac{n_{ор.к} + n_{дет}}{N + n_{дет}}$$

где: $n_{ор.к}$ - количество нестандартных (оригинальных) электрорадиокомпонентов, включая МСБ (компонентов "частного" применения).

4. Коэффициент использования площади коммутационной платы

$$K_{исп} = S_{зан} / S_{п}$$

где: $S_{п}$ - площадь коммутационной платы (печатной, платы МСБ), $S_{зан}$ - суммарная площадь платы, занятая печатным (тонко-, толсто пленочным) монтажом, а также навесными компонентами, размещенными на свободных от печатного или пленочного монтажа участках платы.

5.2.2. Расчет производственных показателей технологичности

Проводится технологами после (в процессе) разработки технологического процесса (ТП) изготовления детали или сборочной единицы, когда установлено содержание маршрутных карт. При курсовом проектировании оценку производственных показателей следует выполнять по результатам (в процессе) обоснования структуры ТП, т. е. после выполнения разд. 5.3.2 пособия. Приводимые ниже показатели отражают особенности сборочно-монтажных ТП. Вопросы оценки производственных показателей технологичности изготовления деталей (ПП, плат МСБ и т.п.) решаются с консультантом курсового проекта.

1. Коэффициент ограничения числа видов сборочно-монтажных соединений

$$K_{огр} = 1 - (n_{вид} / n_{пар.с}),$$

где: $n_{пар.с}$ - число пар механически и (или) электрически соединяемых любым способом элементов, деталей и составных частей изделия; $n_{вид}$ - число конкретных технологических способов, используемых для образования механических и (или) электрических соединений в паре соединяемых элементов, деталей, частей. Например, при сборке ФЯ применяют развальцовку, приклеивание на теплопроводящий клей, пайку волной припоя и пайку микропаяльником. Развальцовка накладки на ПП - в четырех местах (парах

"накладка - ПП"); приклеивание корпусов ИМС клеем ВК-9 к теплопроводящей шине в пяти местах; пайка волной в 120 точках, пайка микропаяльником - в четырех точках (парах "вывод компонента - контактная площадка ПП").

2. Коэффициент использования групповых методов

$$K_{\text{исп}} = n_{\text{гр}} / n_{\text{тп}} ,$$

где: $n_{\text{тп}}$ - общее количество операций и (или) групп операций, предусмотренных в структуре ТП, т.е. в разработанном варианте структурной технологической схемы (СТС), функционально-технологической схемы (ФТС) или технологической схемы сборки (ТСС) (разд. 5.3.2); $n_{\text{гр}}$ - количество операций и (или) групп операций из $n_{\text{тп}}$, основанных на групповых методах (обработки, монтажа, сборки, регулировки и т.д.). Данный показатель ($K_{\text{исп}}$) точно может быть определен по результатам анализа маршрутной карты ТП.

3. Коэффициент автоматизации и механизации установки и монтажа изделия

$$K_{\text{а.м}} = n_{\text{а.м}} / n_{\text{мон}},$$

где: $n_{\text{мон}}$ - общее количество электрических и (или) механических монтажных и силовых (закрепляющих) соединений; $n_{\text{а.м}}$ - число соединений из $n_{\text{мон}}$, выполняемых автоматизированным и механизированным способом.

4. Коэффициент применения типовых ТП

$$K_{\text{тп}} = n_{\text{тп}} / n_{\text{тп}},$$

где: $n_{\text{тп}}$ - число операций и (или) групп операций из $n_{\text{тп}}$, выполняемых по типовым технологиям, установленным в ОСТ, стандарте предприятия или ином нормативно - технологическом документе отрасли или группы кооперирующихся предприятий.

5.2.3. Комплексная оценка технологичности .

Оценка частных показателей технологичности в баллах B_i производится по формуле

$$B_i = - \frac{K_{\text{н} i} - K_{\text{р} i}}{\Delta K_i} ,$$

где: $K_{\text{н} i}$ - нормативный уровень показателя, действующий на данный момент в отрасли (на предприятии) - табл. 5.2; ΔK_i - эквивалент "одного бал-

ла", отражающий значимость данного показателя технологичности. Он может выражаться в долях от нормативного уровня - табл. 5.2; K_{pi} - расчетное значение частных показателей технологичности, определенных в соответствии с разд. 5.2.1 и 5.2.2. Из последней формулы следует, что приемлемым базовым уровнем технологичности является уровень в четыре балла. В расчетах при получении B_i (такое возможно) принимается значение $B_i = 5$. При $B_i < 0$ принимают $B_i = 0$. Результаты расчетов рекомендуется оформлять в виде таблицы, аналогичной табл. 5.2.

Комплексная оценка технологичности определяется по среднебалльному показателю B_{cp} :

$$B_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m B_i}{m}$$

где: m - количество частных показателей, привлекаемых для анализа технологичности РЭС. В курсовом проекте $m < 8$. В оценках технологичности по "полной программе" $m > 8$ (табл.5.1) [10]. Если $B_{cp} \approx 4$ - изделие технологично, отвечает в целом действующим требованиям. При $B_{cp} < 3.5$ уровень технологичности низок. В выводах к расчетам технологичности необходимо указывать пути улучшения показателей технологичности, резко отклоняющихся от базового значения в 4 балла.

Таблица 5.2

Частные показатели технологичности (K_i)	Нормативное значение K_{ni}	Эквивалент одного балла ΔK_i	Расчетный показатель K_{pi}	Расчетный показатель в баллах B_i
Конструкторские показатели				
Коэффициент повторяемости компонентов и МСБ	0.95	0.2		
Коэффициент повторяемости материалов	0.7	0.25 K_{ni}		
Коэффициент стандартизации	0.85	0.25 K_{ni}		
Коэффициент использования площади коммутационных плат	0.6	0.1		
Производственные показатели				
Коэффициент ограничения числа видов сборочно-монтажных соединений	0.9	0.1		

Коэффициент использования групповых методов	0.4	0.25		
Коэффициент автоматизации и механизации	0.87	0.3		
Коэффициент применения типовых ТП	0.6	0.15		

5.3. Разработка ТП изготовления РЭС

5.3.1. Общий порядок разработки ТП

В данном курсовом проекте из всего обширного спектра задач и проблем разработки ТП конкретного объекта производства подлежат решению три задачи (проблемы):

- анализ исходных данных и особенностей производства;
- выбор типового (группового) ТП;
- разработка структуры ТП и оценка технологичности объекта производства.

По указанию консультанта предметом разработки могут быть также маршрутная карта ТП и (или) операционная карта, а также технологическая инструкция. Объектами производства в зависимости от варианта конструкции выступают коммутационные платы (толсто-, тонкопленочные, ПП), МСБ, ФЯ, или блок.

Анализ исходных данных и особенностей производства конкретизирует технологическую специфику изготавливаемого изделия.

Допустим, объектом производства является коммутационная плата МСБ. Таким образом, изготовлению подлежит деталь, основой ТП являются структуро-формирующие операции. Сущность явлений - физические, физико-химические и иные процессы в основных и вспомогательных материалах и средах, используемых или потребляемых (расходуемых) при изготовлении платы. Собственно исходные данные должны включать: топологию платы с таблицей слоев; послойные топологии; конструкторско-технологические ограничения, связанные, как известно, с предполагаемой технологией изготовления платы; тип производства.

Если объект производства - сборочная единица (МСБ, ФЯ, блок), то исходные данные должны содержать сборочный чертеж со спецификацией или чертеж общего вида; соображения или схемы, характеризующие электрическую структуру сборочной единицы; тип производства. Содержание основных и вспомогательных операций связано с формированием определяющих функциональных и конструктивных признаков изделия (сборка - монтаж), с преобразованием (изменением) параметров и свойств изделия

(регулировка, герметизация) и , наконец, с пассивными процедурами, не влияющими на параметры и свойства объекта производства, но объективно необходимыми для обеспечения результирующего качества изделия (окраска, контроль, упаковка). В процессе сборки - монтажа используются (расходуются) основные (припой) и вспомогательные (флюс) материалы, полуфабрикаты (например, компоненты адгезионных компаундов - клеев) с целью механического закрепления и (или) электрического контактирования конструктивных деталей и комплектующих изделий (пассивных и активных радиокомпонентов, коммутационных устройств и т.д.)

Исходные данные для технологического проектирования, вообще говоря, должны содержать технические условия (ТУ, частные - ЧТУ) на изделие в виде проекта или окончательного варианта.

ТУ (ЧТУ) определяют потребительские качества объекта производства и процедуры их контроля (подтверждения). При курсовом проектировании этот документ не составляется и его заменяют технические требования к РЭС из задания на проект и ТЗ.

Анализ исходных данных необходимо завершать расчетом конструкторских показателей технологичности объекта производства согласно разд.5.2.1.

Выбор типового (группового) ТП на предприятиях может выполняться автоматизированно (формально). Для этого устанавливается технологический код изделия по отраслевому классификатору, определяется "место" объекта производства в соответствующей классификационной группе, затем в технологической базе данных осуществляется поиск типового технологического процесса (ТПП), обеспечивающего (обеспечивающих) изготовление данного изделия в конкретных производственных условиях. При курсовом проектировании "базой данных" являются литературные источники и (или) нормативно - техническая документация по ТПП. Достаточно взять один из указанных ниже источников.

Типовые базовые технологии рассмотрены:

- толсто пленочных плат МСБ в [5, 7, 8];
- тонко пленочных плат МСБ в [5, 7, и 19];
- печатных плат в [11, 16];
- сборки и монтажа МСБ в [7, 10, 20];
- сборки и монтажа ФЯ и блоков в [10, 16].

Разработка структуры ТП фактически представляет собой конкретизацию (структурирование) типового ТП применительно к данному конструктивно - технологическому варианту объекта производства и к определенным производственным условиям (возможностям) предприятия изготовителя. В курсовом проекте основное внимание уделяется первой подзадаче - адаптации ТПП к разработанной конструкции. Следует признать, что при разработке рабочих ТП таких деталей как коммутационные платы (толсто-

тонкопленочные, ПП) выбор вариантов чередования операций невелик. Для сборочных единиц по мере роста их конструктивной сложности или иерархического уровня могут быть предложены различные варианты последовательности выполнения сборочно-монтажных операций примерно на одном и том же оборудовании, один из которых наверняка предпочтителен. Таким образом, при проектировании рабочей технологии не обойтись без ее укрупненного моделирования на ранних этапах разработки ТП - структурные технологические схемы (СТС), уточнения особенностей технологии - функционально - технологические схемы (ФТС) и технологические схемы сборки (ТСС) и исчерпывающей структуризации в виде маршрутной карты (МК) - "маршрута РЭС". На основе МК принимаются окончательные решения по наилучшему варианту ТП, размещению рабочих мест, оборудования, нормированию операций и т.д. Однако путь к ним лежит через синтез и анализ укрупненной структуры (моделей) ТП в форме СТС, ФТС и (или) ТСС, а также схем сборочного состава.

Разработкой одной - двух из перечисленных схем и оценкой на этой основе производственных показателей (разд.5.2.2) и комплексного показателя технологичности (разд.5.2.3) завершается выполнение технологического раздела курсового проекта.

5.3.2. Построение технологических процессов

Установление структуры рабочего ТП, т.е. состава и последовательности выполнения операций, есть его формализация. На начальных этапах разработки ТП и подготовки производства формализацию процесса осуществляют традиционным для современной техники методическим приемом - моделированием. Наглядными и весьма информативными являются графические модели - схемы ТП.

Структурные технологические схемы обычно по группам операций отображают последовательность преобразования исходных материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и (или) сборочных единиц в готовое изделие. Операции группируют таким образом, чтобы каждый графический элемент (прямоугольник) СТС характеризовал совокупность работ и действий исполнителей (оборудования) по получению определенного законченного результата. Критериями для группировки служит использование для данных операций единых средств технологического оснащения, типовых процедур физической, физико-химической обработки, сборки, монтажа, контроля, отраженных в соответствующей документации. Рекомендуется указывать на СТС обозначения соответствующих ГОСТ, ОСТ, СТП, карт ТП и т.д. СТС могут иметь последовательное и параллельное построение, отображая в последнем случае одновременность выполнения соответствующих работ (операций). Они удобны для указания технологического маршрута изготовления изделия по подразделениям предприятия или спе-

специализированным (профильным) участкам цеха. СТС составляют при изготовлении как деталей, так и сборочных единиц.

Функционально-технологические схемы дают более углубленное представление о логико-функциональной структуре ТП (рис. 5.1). Содержание групп основных операций "по ходу" ТП детализируется по подгруппам и (или) отдельным операциям конкретного функционально - технологического назначения, при необходимости поясняется состав операций. Вспомогательные операции (в окружностях) выносятся вверх от линии "хода" ТП, операции технического контроля показываются в треугольниках. Конфигурация фигур графических обозначений на ФТС может быть и иной. ФТС особенно наглядны при проектировании ТП изготовления таких деталей как коммутационные платы. Сборочно-монтажные ТП принято характеризовать схемами сборочного состава и схемами сборки.



Рис.5.1

Схема сборочного состава (схема "веерного" типа) раскрывает конструктивно - технологическую входимость субъектов сборки, состав сборочных комплектов и этапы ("ступени") сборки (рис.5.2).

Строго говоря, она не является схемой техпроцесса, однако, для сложных сборочных единиц позволяет формализовать и рационализировать выбор последовательно - параллельного технологического маршрута. Кроме того, схема сборочного состава необходима для формирования сборочных комплектов из компонентов, конструктивных деталей и других предметов труда, подаваемых на рабочее место для подготовки к монтажу и (или) сборки - монтажа в изделии.

Прямоугольные элементы схем сборочного состава и ТСС должны содержать: в левом секторе - номер позиционного обозначения по сборочному чертежу (чертежу общего вида) или (для электрорадиокомпонентов) по принципиальной электрической схеме; в центре - наименование детали,

компонента, сборочной единицы; в правом секторе - количество поименованных изделий, необходимых для сборки - монтажа.

Рис 5.2.

Технологические схемы сборки как и ФТС, должны отображать основные особенности построения ТП сборочной единицы, давать характеристику технологических методов и средств, используемых для механического крепления деталей, электромонтажа, герметизации, регулировки - контроля и т.д.

ских узлов или сборочных единиц из состава данного изделия (ФЯ, блока), изготавливаемых в едином технологическом цикле.

Выбор базовой детали существенно сказывается на структуре ТП. Обычно за базовую деталь выбирают элементы несущей конструкции, платы, основания корпусов и т.п., которые легко транспортировать, складировать, позиционировать с минимальным применением дополнительной технологической оснастки или тары. Базовой деталью (вернее, элементом) может выступать ранее изготовленная сборочная единица. Например, при финишной сборке пенального модуля СВЧ - собранный корпус этого модуля.

Последовательность сборки - монтажа конкретной конструкции РЭС даже для очевидной базовой детали обычно многовариантна. При разработке ТСС объекта курсового проектирования следует исходить из следующих общих положений:

1. На многие традиционные операции (группы операций, процедуры) сборочно-монтажных процессов разработаны карты типового ТП. Это относится к операциям входного контроля комплектующих изделий, их предмонтажной подготовки, установки многих типов компонентов на платы, приготвлению и применению клеев и компаундов, пайки и т.д.

2. Типовые ТП разработаны на сборку - монтаж стандартных типовых конструкций МСБ [20], ФЯ [4, 16], блоков [4, 16].

3. Регулировочные операции, часто функциональная диагностика и сложный инструментальный (измерительный) контроль проводятся по соответствующим технологическим инструкциям "частного применения"..

4. Общая логика сборки - монтажа конкретной конструкции, отражая ее структурные особенности, должна одновременно удовлетворять простому правилу: результаты данной операции не должны затруднять высококачественное выполнение последующих операций и снижать качество ранее выполненных работ (операций).

6. ОБОЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Обилие стандартных и типовых составных частей, применяемых одновременно во многих деталях, привело к разработке обезличенной десятичной системы обозначения изделий основного и вспомогательного производства и их конструкторских документов во всех отраслях промышленности.

Структура обозначения изделий устанавливается ГОСТ 2.201-80 и состоит из трех частей, разделенных точкой:

- буквенного или буквенно-цифрового кода организации-разработчика;
- кода классификационной характеристики в форме шестизначного десятичного номера;

- порядкового регистрационного номера от 001 до 999, присваиваемого изделиям в пределах каждого номера классификационной характеристики.

При выполнении курсовых и дипломных работ код организации-разработчика устанавливается руководителем (консультантом). Рекомендуется отражать в коде номер учебной группы студента, например, используя в качестве кода буквенное обозначение потока (курса, факультета) и последние 2 или 3 цифры номера группы.

Шестизначный код классификационной характеристики присваивается каждому изделию в соответствии с классификатором ЕСКД и состоит из 5 элементов:

- класс (две цифры, укрупнено характеризующие область применения);
- подкласс (одна цифра);
- группа (одна цифра);
- подгруппа (одна цифра);
- вид (одна цифра).

Выдержки из классификатора ЕСКД для класса 46 «Средства радио-электронные управления, связи, навигации и вычислительной техники» приведены в прил. 11.

Пример присвоения обозначения по ГОСТ 2.201-80 автокорреляционному приемнику непрерывных сигналов:

P512.464125.003

Здесь P512 – код организации-разработчика (номер учебной группы); 46 – вышеуказанный класс; 4 – подкласс 464000 «устройства приемные, передающие, приемно-передающие, антенные»; 1 – группа 464100 «Приемные (кроме телевизионных)»; 2 – подгруппа 464120 «Приемные, кроме связанных, вещательных и телевизионных для непрерывных сигналов»; 5 – вид «Автокорреляционные»; 003 – порядковый номер в пределах кода 464125.

Классификатор ЕСКД содержит подклассы для присвоения кода законченным устройствам (подклассы от 463000 до 466000), функциональным узлам (подклассы от 467000, 468000), а также нефункциональным узлам, включая несущие конструкции и их элементы различного уровня (подкласс 469000).

Следует обратить внимание, что обозначение присваивается каждому изделию, а не отдельному документу (составные части сборочных единиц – детали и более мелкие сборочные единицы так же являются изделиями). Присвоенный изделию код обозначения проставляется на основном конструкторском документе: для детали – на чертеже детали, для сборочной единицы – на спецификации. Все остальные конструкторские документы (сборочные чертежи, электрические схемы, перечни элементов и т.п.), относящиеся к тому же самому изделию, имеют тот же код обозначения, но с до-

бавлением шифра документа (СБ, Э2, ПЭ3 и т.д.). При заполнении спецификации составные части изделия должны указываться только один раз: кодовое обозначение чертежа детали и ее наименование заносятся в раздел «ДЕТАЛИ», а наименование каждой входящей сборочной единицы с кодовым обозначением сборочного чертежа – в раздел «СБОРОЧНЫЕ ЕДИНИЦЫ». В разделе «ДОКУМЕНТАЦИЯ» должны перечисляться только те документы, которые относятся к изделию в целом, но не к его составным частям. Отсюда вытекает, что обозначение всех этих документов будет одинаковым и совпадающим с обозначением изделия, отличаться будет только шифр вида документа. Дополнительные документы, например электрические схемы отдельных функциональных узлов корреляционного приемника, являются частью комплекта конструкторской документации на соответствующие входящие сборочные единицы, и их следует занести в спецификации на эти сборочные единицы низшего уровня.

Обозначение документа указывается в основной надписи (в верхней правой графе на первом листе документа и в соответствующих графах на остальных листах), а на чертежах также в дополнительной рамке на противоположной основной надписи стороне поля чертежа (так называемый «повернутый номер»). Дополнительная рамка располагается вдоль длинной стороны чертежа. Исключением являются чертежи формата А4, на которых дополнительная рамка располагается по короткой стороне параллельно основной надписи.

В процессе разработки рациональной структуры комплектов КД на изделие и его составные части рекомендуется предварительно составлять структурную схему изделия, отражающую иерархичность его конструкции, вхождение составных частей друг в друга. На вершине располагается прямоугольник с наименованием и кодовым обозначением изделия в целом (удобно сборочные единицы обводить двойным прямоугольником, детали одинарным, а покупные изделия располагать над горизонтальной линией, в этом случае двойной прямоугольник символизирует необходимость создания комплекта КД на составное изделие, одинарный – простого изделия, а линия – отсутствие необходимости разрабатывать КД). От этого прямоугольника проводятся линии связи, к которым пристыковывают прямоугольники и линии с обозначениями составных частей изделия. Если среди составных частей имеются сборочные единицы, процесс дробления для них производится аналогично, вплоть до неделимых изделий. Пример подобной структурной схемы приведен на рис. 6.1.



Рис. 6.1

Такая структурная схема позволяет упростить процедуру подбора по классификатору кодов для всех составных частей и присвоения им порядковых номеров, а кроме того, учитывать также и тип производства. Например, схема на рис. 6.1 соответствует мелкосерийному или индивидуальному производству, когда соединение между собой частей несущей конструкции блока приемника (каркаса, передней и задней панели, кожуха и т.д.) и установка и присоединение функциональных узлов выполняются в одном технологическом процессе окончательной сборки.

При подготовке комплекта КД для условий серийного или массового производства целесообразно ввести в структуру промежуточную сборочную единицу (или комплекс) – «Корпус в сборе» (рис. 6.2).



Рис. 6.2

Это отражает тот факт, что корпус может собираться в отдельном технологическом процессе, возможно, даже на другом предприятии, а на окончательную сборку поступает в собранном (или частично собранным в случае комплекса) виде.

ЛИТЕРАТУРА ОСНОВНАЯ

1. Методические указания по разработке и оформлению конструкторской части дипломного проекта для студентов радиотехнических специальностей./Под ред. Б.Ф.Высоцкого.- М.: /МАИ, 1987.

2. Методические указания по оформлению курсовых и дипломных проектов для радиотехнических специальностей / Авт.-сост.: В.Ф.Борисов, А.А.Мухин, Ю.Н.Корниенко и др.- М.: Изд-во МАИ, 1992.

3. Конструирование РЭС: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию/ Авт.-сост.: В.Ф.Борисов, А.А.Мухин, А.С.Назаров и др.- М.: Изд-во МАИ, 1991.

4. Чермошенский В.В. Конструирование и технология производства МЭА: Тексты лекций. - М.: Изд-во МАИ, 1988.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

5. Бондаренко О.Е., Федотов Л.М. Конструктивно - технологический основы проектирования микросборок. - М.: Радио и связь, 1988.

6. Конструирование и расчет БГИС, микросборок и аппаратуры на их основе/Под ред. Б.Ф.Высоцкого. - М.: Радио и связь, 1981.

7. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование./ Под ред. Л.А.Коледова.- М.: Высшая школа, 1984.

8. Красов В.Г., Петраускас Г.Б., Чернозубов Ю.С. Толстопленочная технология в СВЧ микроэлектронике.- М.: Радио и связь, 1985.

9. Лярский В.Ф., Мурадян О.Б. Электрические соединители. - М.: Радио и связь, 1988.

10. Методические указания к выполнению технологической части дипломного проекта по радиотехническим специальностям / Авт.-сост.: Ю.И.Боченков, М.А.Сахаров и др./ Под ред. Ю.И.Боченкова. -М.: Изд-во МАИ, 1991.

11. Несущие конструкции радиоэлектронной аппаратуры. / Под ред. П.И.Овсисера.- М.: Радио и связь, 1988.

12. Парфенов Е.М., Камышная Э.Н., Усачев В.П. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры. Учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1989.
13. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА./ Под ред. Э.Т.Романычевой.- М.: Радио и связь, 1989.
14. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в РЭА.-М.: Высшая школа, 1984.
15. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РЭА. - М.: Сов. радио, 1976.
16. Технология и автоматизация производства радиоэлектронной аппаратуры./ Под ред. А.П.Достанко, Ш.М.Чабарова.- М.:Радио и связь, 1989.
17. ОСТ4 ГО.010.009 Модули электронные 1 и 2 уровней РЭС. Конструирование.
18. ОСТ4 ГО.010.214 Микросборки корпусные. Конструирование.
19. ОСТ 4 ГО.054.028. Микросхемы интегральные гибридные тонкопленочные. Типовые технологические процессы.
20. ОСТ 4 ГО.054.242. Микросборки. Сборки. Типовые технологические процессы.
21. Фомин А.В., Умрихин О.Н. Анализ электрической нагрузки элементов при оценке надежности интегральных радиоэлектронных устройств: Учеб. пособие. - М.: Изд-во МАИ, 1994.
22. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. -М.: Радио и связь, 1989.

ФОРМА ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
КАФЕДРА КОНСТРУИРОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РЭА

ЗАДАНИЕ

на курсовое проектирование по дисциплине
"Основы конструирования и технологии РЭС"

Студент _____ группа _____

Руководитель _____

Срок представления проекта _____ г.

1. Тема проекта: Разработка конструкции и технологии изготовления -

2. Исходные данные

2.1. Наименование и область применения

2.2. Схема электрическая принципиальная (прилагается к заданию)

2.3. Условия эксплуатации _____

Объект установки

3. Требования, предъявляемые к конструкции:

Функциональные параметры

Габариты и масса

Показатели надёжности

Технологические требования

Программа выпуска

4. Объём курсового проекта

4.1. Пояснительная записка(20...30 стр.), содержащая:

4.2. Перечень графического материала

5. Рекомендуемая литература

Задание выдано " ____ " _____ 199__ г.

СТРУКТУРА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

на разработку конструкции 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.

4. Источник разработки

4.1. Перечень научно-исследовательских, хозяйственных работ, экспериментальных образцов или макетов на базе которых выполняется разработка; литература, где приводится схема электрическая, 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. Техническое (тактико-техническое) 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 надёжности

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 (вибрации, 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

Условие транспортирования и виды транспортных средств; необходимость и способы крепления при транспортировании; расстояние транспортирования; скорость 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, изготовление опытных образцов.

7. Комплектность документации, порядок приёмки, сроки

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

8. Приложения

8.1. Схемы электрические структурная, функциональная, 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.

Справочные данные на бескорпусные ИС

Таблица П 3.1

Технические характеристики аналоговых ИС

Тип микросхемы	Функциональное назначение	Обозначение ТУ и ИС	Интервал рабочих температур среды, град	Минимальная наработка на отказ в составе МСБ, ч	Габаритный чертеж (№ рис.)	Тип корпусного аналога
740 УД1-1	ОУ общего применения	6К0.347.011ТУ1	-60...+100	50000	ПЗ.2	153УД1
740 УД4-1	То же	6К0.347.021ТУ	-60...+100	50000	ПЗ.3	153УД6
740 УД5-1	- " -	6К0.347.011ТУ3	-60...+85	50000	ПЗ.1	153УД2
744 УД1-1	- " -	6К0.347.063ТУ	-60...+85	50000	ПЗ.4	544УД1
744 УД2-1	Быстродействующий ОУ	6К0.347.063ТУ	-60...+85	40000	ПЗ.5	544УД2
Б 140 УД17-4	Прецизионный ОУ	6К0.347.004ТУ17	-60...+125	50000	ПЗ.6	140УД17
Б 140 УД17-2	то же	6К0.347.569-01ТУ	-60...+85	50000	ПЗ.6	140УД17
Б 198 НТ1-4	Матрица транзисторов	6К0.347.327ТУ	-60...+125	50000	ПЗ.7	198НТ1
Б 198 НТ5-4	Матрица транзисторов	6К0.347.327ТУ	-60...+125	50000	ПЗ.7	198НТ5
Б 142 ЕН5-4 Б 142 ЕН8-4 Б 142 ЕН9-4	Фиксированный стабилизатор напряжения	6К0.347.303ТУ	-60...+125	50000	ПЗ.8	142ЕН5 142ЕН8 142ЕН9
Б 142 ЕН4-4	Фиксированный стабилизатор напряжения	6К0.347.303ТУ	-60...+125	50000	ПЗ.10	142ЕН4
Б 142 ЕН1Б-4 Б 142 ЕН2Б-4	Регулируемый стабилизатор напряжения	6К0.347.303ТУ	-60...+125	50000	ПЗ.9	142ЕН1 Б
Б 521СА3-4	Прецизионный компаратор напряжения	6К0.347.454-02ТУ	-60...+85	50000	ПЗ.11	521СА3
Б 572ПА1-2	Умножающий 10 разрядный ЦАП	6К0.347.455ТУ	-60...+85	25000	ПЗ.12	572ПА1

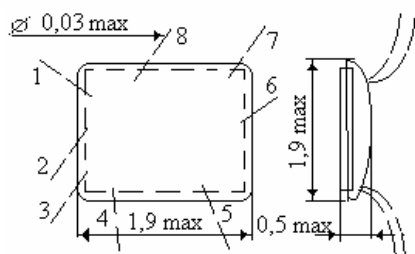


Рис. ПЗ.1.

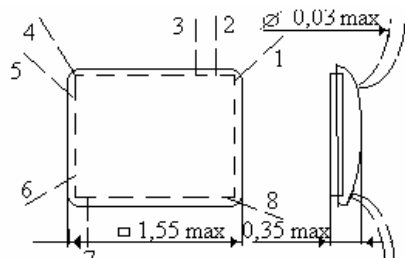


Рис. ПЗ.2.

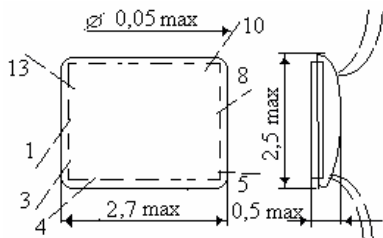


Рис. ПЗ.3.

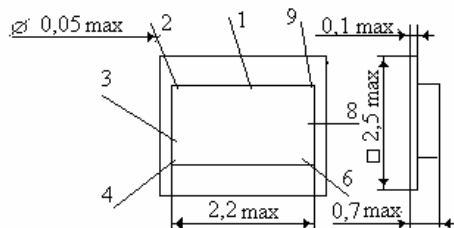
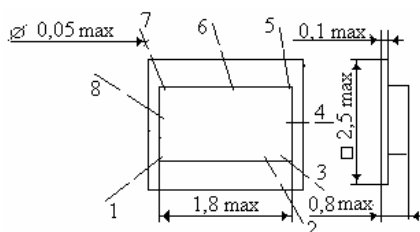


Рис. ПЗ.4.

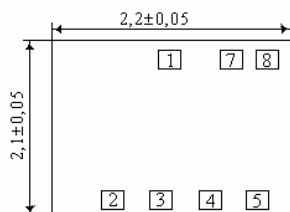
Вывод	назначение	Вы-вод	назначение
1	вх. иинверт.	8	Выход
3	вых. неинверт.	10	- $U_{пит}$
4	+ $U_{пит}$	13	Баланс
5	Баланс		

Вывод	назначение	Вы-вод	назначение
1	Баланс	6	- $U_{пит}$
2	Баланс	8	Выход
3	вх. иинверт.	9	+ $U_{пит}$
4	вых. неинверт.		



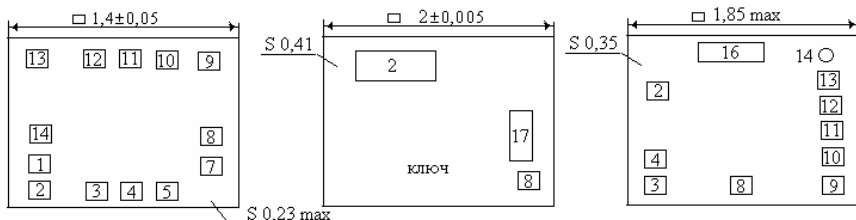
Масса микросхем
 Б744УД1,2... $\leq 0,015$ г.
 Б740УД5 ... $\leq 0,0006$ г.
 Б740УД1А,Б ... $\leq 0,01$ г.
 Б740УД4 ... $\leq 0,006$ г

Рис. ПЗ.5



Вы-вод	назначение	Вы-вод	назначение
1	Баланс	5	Выход
2	вх. иинверт.	7	+ $U_{пит}$
3	вых. неинверт.	8	Баланс
4	- $U_{пит}$		

Рис. ПЗ.6



Масса ≤ 0,022

Рис. ПЗ.7

Масса ≤ 0,04

Рис. ПЗ.8

Масса ≤ 0,05

Рис. ПЗ.9

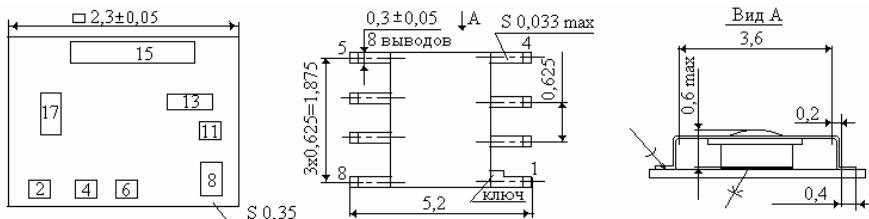


Рис. ПЗ. 10

Масса с рамкой не более 0,06 г.

Рис. ПЗ.11

Вывод	Назначение	Вывод	Назначение
2	Эмиттерный выход	6	Балансировка
3	вх. неинверт.	7	Стробирование, баланс
4	вх. инверт.	8	коллекторный выход
5	- $U_{пит}$	1	+ $U_{пит}$

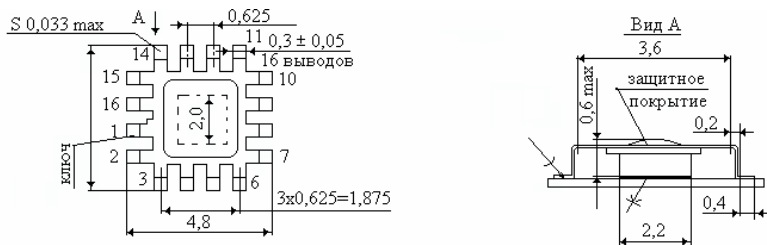


Рис. ПЗ.12

Функциональное назначение цифровых ИС

Тип микросхем	Функциональное назначение	Обозначение ТУ, исполнения	Габаритный чертеж, № рисунка
1	2	3	4
Серия Б533-1 (ТТЛШ-технология)*			
Б533ЛА1-1	2 элемента 4И-НЕ	БК0.347.173-01	ПЗ.14
Б533ЛА2-1	Элемент 8И-НЕ	то же	ПЗ.15
Б533ЛА3-1	4 элемента 2И-НЕ	-"-	ПЗ.13
Б533ЛА9-1	4 элемента 2И-НЕ с открытым коллектором	-"-	ПЗ.13
Б533ЛИ1-1	4 элемента 2И	-"-	ПЗ.13
Б533ЛИ6-1	2 элемента 4И	-"-	ПЗ.16
Б533ЛР11-1	Элементы 2-2И-2ИЛИ-НЕ и 2-3И-2ИЛИ-НЕ	-"-	ПЗ.13
Б533ЛН1-1	6 элементов НЕ	-"-	ПЗ.17
Б533ТВ6-1	2 триггера	-"-	ПЗ.18
Серия 765-1 (КМДП-технология)**			
765ЛА7-1	4 элемента 2И-НЕ	БК0.347.173-13	ПЗ.19
765ЛА8-1	2 элемента 4И-НЕ	то же	ПЗ.19
765ЛА9-1	3 элемента 3И-НЕ	БК0.347.151-ТУ1	ПЗ.34
765ЛЕ5-1	4 элемента 2ИЛИ-НЕ	БК0.347.151-ТУ4	ПЗ.23
765ЛЕ6-1	2 элемента 4ИЛИ-НЕ	то же	ПЗ.22
765ЛЕ10-1	3 элемента 3ИЛИ-НЕ	БК0.347.151-ТУ4	ПЗ.35
765ЛН1-1	6 стробируемых элементов НЕ	БК0.347.151-ТУ3	ПЗ.25
765ЛН2-1	6 элементов НЕ	БК0.347.151-ТУ1	ПЗ.19
765ЛС2-1	4 элемента И-ИЛИ	БК0.347.151-ТУ3	ПЗ.21
765ЛП2-1	4 элемента исключающее ИЛИ	БК0.347.151-ТУ3	ПЗ.23
765ЛП13-1	3 мажоритарных элемента	БК0.347.151-ТУ1	ПЗ.19

1	2	3	4
765ТМ2-1	2 триггера D-типа	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.19
765ТМ3-1	4 триггера D-типа	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.27
765ТВ1-1	2 триггера JK-типа	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.29
765ТР2-1	4 триггера RS-типа	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.28
765ИР2-1	2 регистра сдвига	6К0.347.151-ТУ5	ПЗ.20
765ИР-9	4-разрядный универсальный регистр	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.20
765КП1-1	два 4-канальных мультиплексора	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.20
765КП2-1	восьмиканальный мультиплексор	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.20
765ПУ4-1	6 преобразователей уровня	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.24
765ИД1-1	двоично-десятичный дешифратор	6К0.347.151-ТУ5	ПЗ.20
765СА1-1	12-и разрядная схема сравнения	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.31
765КТ3-1	4 двунаправленных переключателя	6К0.347.151-ТУ4	ПЗ.33
765ИЕ9-1	счетчик-делитель на 8	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.32
765ИЕ10-1	два 4-разрядных счетчика	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.30
765ИЕ11-1	4-разрядный реверсивный счетчик	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.20
765ИЕ14-1	универсальный 4-разрядный реверсивный счетчик	6К0.347.151-ТУ	ПЗ.20
765ИМ1-1	4-разрядный сумматор	6К0.347.151-ТУ1	ПЗ.20
765ИП2-1	4-разрядный компаратор	6К0.347.151-ТУ3	ПЗ.26

* Интервал рабочих температур платы (теплоотвода) под кристаллом 213...358 К; температура кристалла ≤ 385 К; минимальная наработка на отказ в составе МСБ 25000 ч; функциональные и параметрические аналоги ИС серии 533/555.

** Интервал рабочих температур платы (теплоотвода) под кристаллом 213...358 К; минимальная наработка на отказ в составе МСБ 50000 ч; функциональные и параметрические аналоги ИС серии 564.

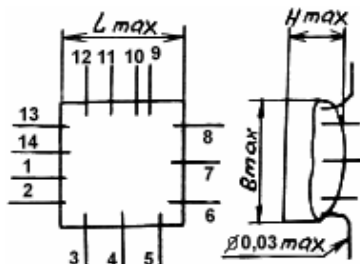


Рис. П.3.13

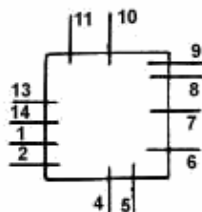


Рис. П.3.14

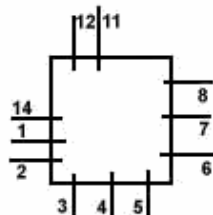


Рис. П.3.15

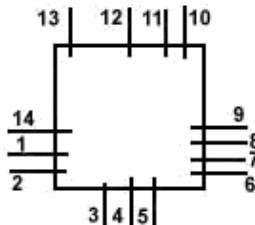


Рис. П.3.16

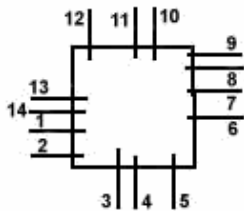


Рис. П.3.17

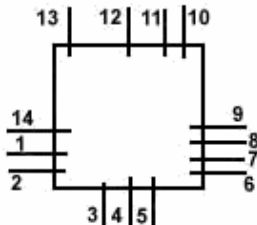


Рис. П.3.18

Таблица П.3.3

Габаритные характеристики ИС

Тип микросхемы	Рисунок	Размеры, мм		
		L max	B max	H max
Б533 ЛА1-1	ПЗ.14	1,25	1,25	0,85
Б533 ЛА 2	ПЗ.15	1,25	1,25	
Б533 ЛА 3	ПЗ.13	1,25	1,25	
Б533 ЛА 9	ПЗ.13	1,25	1,25	
Б533 ЛН 1	ПЗ.17	1,45	1,45	
Б533 ЛИ 1	ПЗ.13	1,25	1,25	
Б533 ЛИ 6	ПЗ.16	1,25	1,25	
Б533 ЛР 11	ПЗ.13	1,25	1,25	
Б533 ТВ 6	ПЗ.18	2,3	1,9	

Масса микросхем не более 0,02 г

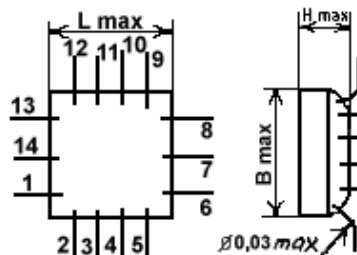


Рис. П.3.19

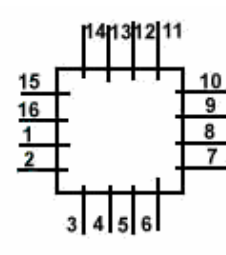


Рис. П.3.20

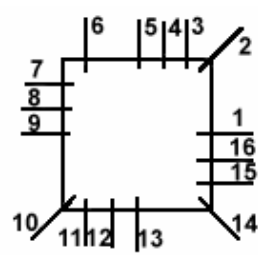


Рис. П.3.21

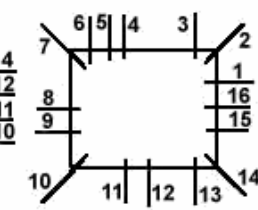
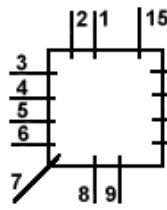
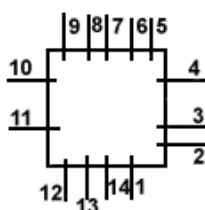
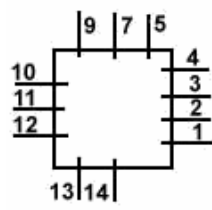


Рис. П.3.22

Рис. П.3.23

Рис. П.3.24

Рис. П.3.25

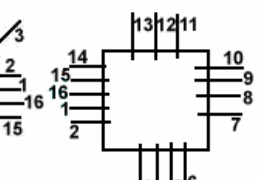
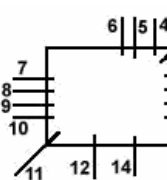
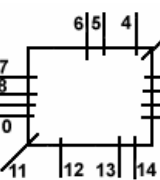
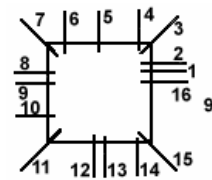


Рис. П.3.26

Рис. П.3.27

Рис. П.3.28

Рис. П.3.29

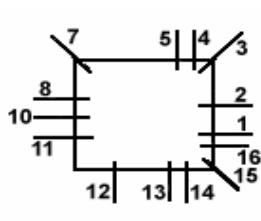
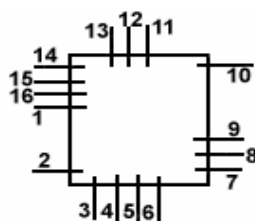
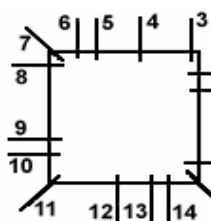


Рис. П.3.30

Рис. П.3.31

Рис. П.3.32

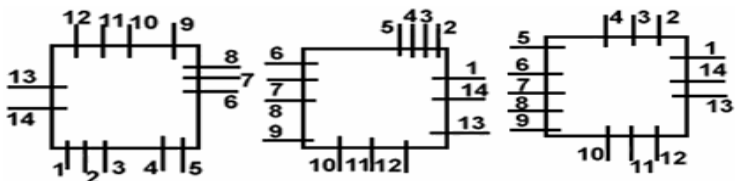


Рис. П.3.33

Рис. П.3.34

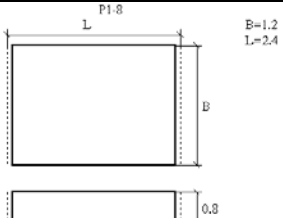
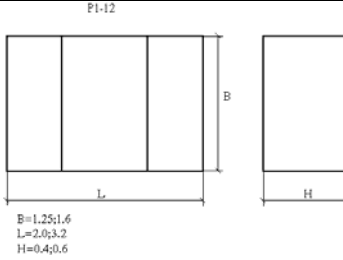
Рис. П.3.35

Таблица П.3.4

Массогабаритные характеристики ИС

Тип ИС	Номер рисунка	Размеры, мм, не более			Масса, мг	Тип ИС	Номер рисунка	Размеры, мм, не более			Масса, мг
		L	B	H				L	B	H	
ЛА7,	ПЗ.19	1,9	1,7	1,0	15	ИР9	ПЗ.20	2,6	2,0	1,0	50
ЛА8						КП1,	ПЗ.20	3,2	3,2	1,0	50
ЛА9	ПЗ.34	1,8	1,7		15	КП2					
ЛЕ5	ПЗ.23	1,6	1,6		20	ПУ4	ПЗ.24	1,8	1,8	0,85	20
ЛЕ6	ПЗ.22	1,6	1,6	0,85	20	ИД1	ПЗ.20	2,1	2,1	1,0	50
ЛЕ10	ПЗ.35	1,8	1,7		15	СА1	ПЗ.31	2,1	2,3		20
ЛН1	ПЗ.25	2,5	2,0		20	КТ3	ПЗ.33	2,0	1,7		15
ЛН2	ПЗ.19	2,0	2,0	1,0	15	ИЕ9	ПЗ.32	2,1	1,9	0,85	20
ЛС2	ПЗ.21	1,9	1,9	0,85	20	ИЕ10	ПЗ.30	2,7	2,7		20
ЛП2	ПЗ.23	1,6	1,6			ИЕ11	ПЗ.20	3,0	3,0		
ЛП13	ПЗ.19	1,7	1,7	1,0	15	ИЕ14	ПЗ.20	2,8	2,8	1,0	50
ТМ2	ПЗ.19	1,9	1,9	1,0	15	ИМ1	ПЗ.20	2,4	2,4		
ТМ3	ПЗ.27	2,3	1,9	0,85	20	ИП2	ПЗ.26	2,3	2,3	0,85	20
ТВ1	ПЗ.29	2,3	1,9	0,85	20	ИК1	ПЗ.20	2,6	2,6	1,0	50
ТР2	ПЗ.28	2,3	1,9	0,85	20						
ИР2	ПЗ.20	2,6	2,7	1,0	50						

Бескорпусные резисторы

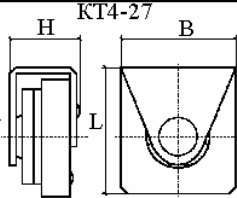
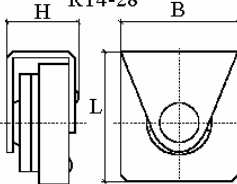
Тип резистора	Классификация. Вариант исполнения. Назначение	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	Номинальная мощность, Вт	Предельное напряжение, В	Допускаемые отклонения сопротивления, %	Диапазон температур, °С	Группа ТКС, 10 ⁻⁶ , 1/°С	Габаритный чертеж корпуса
1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1-8	Металлодиэлектрические в виде кристалла, для навесного монтажа в гибридных микросхемах. Предназначены для работы в электрических цепях переменного, постоянного и импульсного токов.	5.11...121 (121...100)10 ³ 5.11...121 (121...100) 10 ³	0.125 0.125 0.25 0.25	100 100 200 200	±2;±5 ±1;±2;±5 ±2;±5 ±1;±2;±5	-60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70	±150 ±150 ±150 ±150	
P1-12-0.062 P1-12-0.125	Металлодиэлектрические безвыводные резисторы, для навесного монтажа в гибридных микросхемах, для ручной (0.062 Вт) и автоматизированной (0.125 Вт) сборки. Предназначены для работы в электрических цепях переменного, постоянного и импульсного токов.	1...10 ³ 10 ³ ...10 ⁴ 10 ³ ... 10 ⁷ 1... 10 ³ 10 ³ ... 10 ⁴ 10 ⁴ ...2.2*10 ⁷	0.062 0.062 0.062 0.125 0.125 0.125	50 50 50 100 100 100	±10 ±5;±10 ±5; ±10 ±10 ±5; ±10 ±5; ±10	-60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70	±500 ± (100, 500) ±500 ±500 ±500 ±(100, 500) ±500	

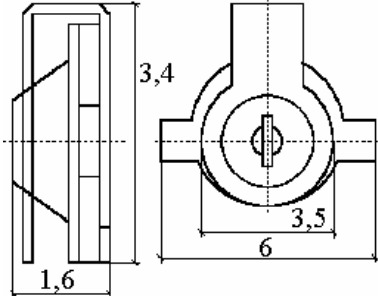
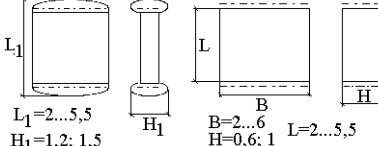
1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1-16	Металлодиэлектрические прецизионные незащищенные безвыводные для навесного монтажа и автоматизированной сборки. Предназначены для работы в высокоточных электрических цепях переменного, постоянного и импульсного токов. Уровень шумов 1...5 мкВ/В.	100...1000 1000...100•10 ³ (100...200)•10 ³	0.125 0.125 0.125	100 100 100	±0.25;±0.5; ±1 ±0.1;±0.25; ±0.5;±1 ±0.25;±0.5; ±1	-60...+70 -60...+70 -60...+70	±(10, 250) ±(10, 250) ±(10, 250)	
C3-3	Лакопленочные композиционные микромодульные. Предназначены для работы в электрических цепях переменного, постоянного и импульсного токов. Уровень шумов 15...40 мкВ/В. Ряд E24.	150...1•10 ³ 100...3.3•10 ⁶	0.025 0.125	30 80	±5;±10; ±20 ±5;±10; ±20	-60...+70 -60...+70	±500;- 1000 ±500;- 1000	

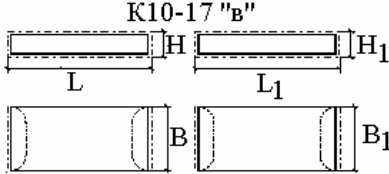
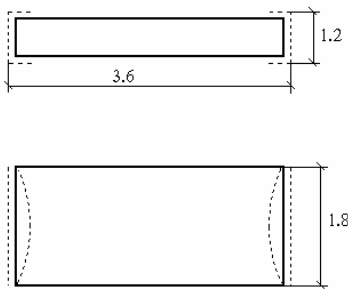
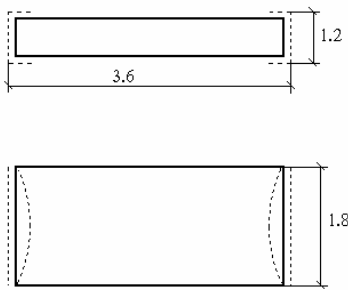
1	2	3	4	5	6	7	8	9
СЗ-3П	Лакопленочные композиционные микромодульные. Предназначены для работы в электрических цепях переменного, постоянного и импульсного токов. Уровень шумов 10 мкВ/В. Ряд Е24.	$200...270 \cdot 10^3$ $100...510 \cdot 10^3$	0.025 0.125	30 80	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+70 -60...+70	$\pm 500; -1000$ $\pm 500; -1000$	СЗ-3П $B=0.35$ $L=3; 6$ $1=2.0; 4.3$
СПЗ-28	Керметные композиционные бескорпусные одинарные однооборотные, с круговым перемещением подвижной системы, для печатного монтажа. Предназначены для работы в цепях переменного, постоянного и импульсного токов. $TKC = \pm(250...500) \cdot 10^{-6}, 1/^\circ C$	$10...1 \cdot 10^6$	1	1000	$\pm 10; \pm 20$	-60...+70	A	СПЗ-28

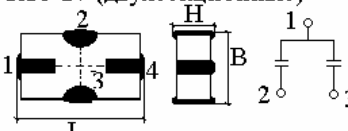
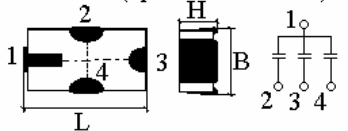
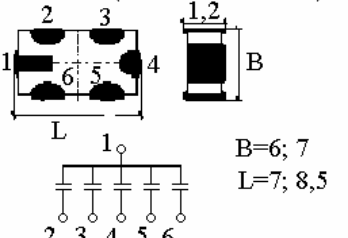
1	2	3	4	5	6	7	8	9
C5-62, C5-62-1	Прецизионные металлофольговые неизолированные бескорпусные, с подгонкой в номинальное сопротивление поставщиком (C5-62) или в аппаратуре потребителем (C5-62-1) высокооточных гибридных микросхем. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов с частотой до 1 МГц. Ряд E96	$51.1...10*10^3$ $100...10*10^3$ $80.6...10*10^3$ $50.5...10*10^3$ $30.1...10*10^3$	0.125 0.125 0.125 0.125 0.125	36 36 36 36 36	± 0.05 ± 0.1 ± 0.25 ± 0.5 ± 1	$-60...+70$ $-60...+70$ $-60...+70$ $-60...+70$ $-60...+70$	$\pm(10; 30)$ $\pm(10; 30)$ $\pm(10; 30)$ $\pm(10; 30)$ $\pm(10; 30)$	C5-62 C5-62-1

Бескорпусные конденсаторы

Тип конденсатора	Классификация. Вариант исполнения. Назначение	Диапазон номинальных емкостей	Номинальное напряжение, В	Допускаемые отклонения емкости, %	Диапазон температур, °С	Группа ТКЕ, $10^{-6}, 1/^{\circ}\text{C}$	Габаритный чертеж корпуса
1	2	3	4	5	6	7	8
КТ4-27	Керамические подстроечные. Выпускаются в конструктивном варианте для интегральных микросхем и печатных схем с креплением пайкой за луженые контакты площадки. Предназначены для работы в цепях переменного, постоянного и импульсного токов.	1...10 пФ 1.5...15 пФ 2...20 пФ 0.4...20 пФ 1...5 пФ 1...5 пФ 2...10 пФ 3...15 пФ 4...20 пФ	16 16 16 25 25 50 50 50 50	± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10	-60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85	-(1000...±600) -(1000...±600) -(100...±600) -(75...±125) -(75...±125) -(75...±125) -(75...±125) -(75...±125) -(75...±125)	 КТ4-27 B=2,6; 4,7 H=1,2; 1,8 L=2,8; 5
КТ4-28	Керамические подстроечные. Выпускаются в конструктивном варианте для интегральных микросхем и печатных схем с креплением пайкой за луженые контакты площадки. Предназначены для работы в цепях переменного, постоянного и импульсного токов.	1...10 пФ 3...15 пФ 4...20 пФ 4...40 пФ 5...25 пФ	25 25 25 25 25	± 10 ± 10 ± 10 ± 10 ± 10	-60...+60 -60...+60 -60...+60 -60...+60 -60...+60	M75 M75 M75 M75 M750	 КТ4-28 B=2,5; 4,3 H=1,2; 1,8 L=2,8; 5

1	2	3	4	5	6	7	8
КТ4-29	Керамические подстроечные. Выпускаются в конструктивном варианте для интегральных микросхем и печатных схем с креплением пайкой за луженые контакты площадки. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов.	2.2...2200 пФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	ПЗЗ	КТ4-29 
		2.2...2200 пФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	M47	
		11...3900 пФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	M75	
		27...8200 пФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	M750	
		36 пФ ...	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	M1500	
		0.015 мкФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Ч20;Н30	
К10-9	Керамические монолитные. Выпускаются незащищенными с лужеными и нелужеными контактными площадками. Предназначены для работы в цепях переменного, постоянного и импульсного токов.	150 пФ...	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Ч20;Н30	К10-9 ЛУЖЕНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ МЕТАЛЛИЗИРОВАННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ  $L_1 = 2...5,5$ $H_1 = 1,2; 1,5$ $B = 2...6$ $H = 0,6; 1$ $L = 2...5,5$
		1000 пФ...	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Н90	
		0.47 мкФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Н90	
		0.015 мкФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Ч20;Н30	
		0.15 мкФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Ч20;Н30	
		0.15 мкФ	25	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+85	Ч20;Н30	

1	2	3	4	5	6	7	8
К10-17 «В»	Керамические постоянной емкости. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	22 пФ...	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	П44	К10-17 "В"  $B = 1,3 \dots 6,6$ $B_1 = 1,3 \dots 6,6$ $H = 1 \dots 1,8$ $H_1 = 1 \dots 1,8$ $L = 1,5 \dots 8$ $L_1 = 1,5 \dots 8$
		0.01 мкФ	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	M47	
		22 пФ...	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	M750	
		0.015 мкФ	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	M1500	
		68 пФ...	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	H50	
		0.027 мкФ	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	H90	
		100 пФ...	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125		
К-10-17-4 «В»	Керамические постоянной емкости. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	470 пФ...	50	± 50	-60...+85		К10-17-4 "В" 
		0.039 мкФ	50	± 50	-60...+85		
		2200 пФ...	60	+80...-20	-60...+85		
		1.5 мкФ					
К-10-17-4 «В»	Керамические постоянной емкости. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	22...820 пФ	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	M47	К10-17-4 "В" 
		68...2700 пФ	50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125	M1500	
		470 пФ...	50	± 50	-60...+85	H50	
		0.022 мкФ	50	± 50	-60...+85	H90	
		2200 пФ...	40	+80...-20	-60...+85		
		0.15 мкФ					

1	2	3	4	5	6	7	8
К10-27	Керамические монолитные, незащищенные. Выпускаются в двух-, трех- и пятисекционных вариантах с лужеными и нелужеными серебряными контактными площадками. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов	Двухсекционные					К10-27 (двухсекционные)  $B=4,5; 6,7 \quad H=1; 1,2 \quad L=4,5...8,5$
			2×0.015 мкФ	16	20;±30	-60...+85	
			2×0.022 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			2×0.033 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			2×0.047 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			2×0.068 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			2×0.1 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
		Трехсекционные					К10-27 (трехсекционные)  $B=4,5; 7 \quad H=1; 1,2 \quad L=4,5...8,5$
			3×6800 пФ	16	20;±30	-60...+85	
			3×0.01 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			3×0.015 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			3×0.022 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			3×0.033 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			3×0.042 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
			3×0.068 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	
		Пятисекционные					К10-27 (пятисекционные)  $B=6; 7$ $L=7; 8,5$
			5×0.022 мкФ	16	20;±30	-60...+85	
			5×0.047 мкФ	16	±20;±30	-60...+85	

1	2	3	4	5	6	7	8
K10-28 "В"	Керамические монолитные. Незащищенные с лужеными и нелужеными контактными площадками (K10-28 "в")	0.22 мкФ 0.33 мкФ	50 50	$\pm 10; \pm 20; \pm 30$ $\pm 10; \pm 20; \pm 30$	-60...+85 -60...+85	- -	К10-28"в" $B=10; 12$ $H=2; 3,5$ $L=6,8; 10,6$ Контактные площадки 0,5
K10-42	Керамические незащищенные группы М47 класса Б. Изготавливаются в водородоустойчивом и неводородоустойчивом исполнении. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	1...4.7 пФ 5.1...9.1 пФ 9.1...22 пФ	50 50 50	± 0.25 $\pm 0.25;$ $\pm 0.5; \pm 5$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+125 -60...+125 -60...+125	МПО МПО МПО	К10-42 Нелуженые (серебряные) Луженые 1,5 1,5 1 1,2 4,3 4,4 0,2 0,2 --- серебряная поверхность --- луженая поверхность
K10-43 "В"	Керамические незащищенные. Конденсаторы изготавливают в водородоустойчивом и неводородоустойчивом исполнении, с лужеными и нелужеными (серебряными) контактными поверхностями. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	21.5...3160 пФ 3200...4640 пФ 47...7500 пФ 7590 пФ... 0.0154 мкФ 0.0156... 0.0205 мкФ 0.0208... 0.0249 мкФ 0.02525... 0.0442 мкФ	50 50 50 50 50 50 50	$\pm 1; \pm 2; \pm 5;$ $\pm 1; \pm 2; \pm 5;$ $\pm 1; \pm 2; \pm 5;$ $\pm 1; \pm 2; \pm 5;$ $1; \pm 2; \pm 5;$ $1; \pm 2; \pm 5;$ $1; \pm 2; \pm 5;$	-60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125	МПО МПО МПО МПО МПО МПО МПО	К10-43"в" Нелуженые (серебряные) Луженые 2,4 2,7 В В₁ 0,5 0,5 --- серебряная поверхность --- луженая поверхность $B=3,2..11$ $L=4..12$

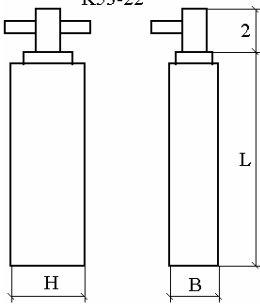
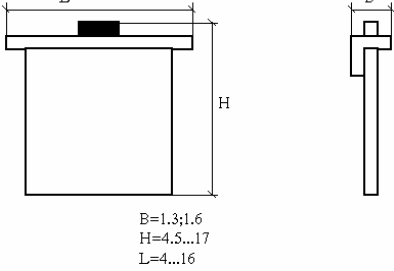
1	2	3	4	5	6	7	8
K10-50 "В"	Керамические. Выпускаются в трех вариантах: а - защищенные (изолированные); б - защищенные (изолированные); в - незащищенные. Конденсаторы варианта «в» изготавливают с лужеными и нелужеными (серебряными) контактными поверхностями. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	22...9100 пФ 0.012... 0.03 мкФ 0.0047... 1.0 мкФ 0.022...3.3 мкФ	25 25 16 16	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $+50; \dots -20$ $+80; \dots -20$	$-60; \dots +125$ $-60; \dots +125$ $-60; \dots +125$ $-60; \dots +85$	МПО МПО Н50 Н90	K10-50 Контактные площадки
K10-60 "В"	Керамические постоянной емкости. Конденсаторы изготавливают с лужеными и нелужеными (серебряными) контактными поверхностями. Конденсаторы изготавливают группы МПО класса Б и группы Н90. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах	680...1500 пФ 3300...3900 пФ 0.015... 0.022 мкФ 0.027... 0.047 мкФ 0.068...0.15 мкФ 0.22; 0.33 мкФ 1.0; 1.5 мкФ 2.2; 3.3; 4.7 мкФ	16 16 16 16 10 10 10 10	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $5; \pm 10; \pm 20$ $+80; \dots -20$ $+80; \dots -20$ $+80; \dots -20$ $+80; \dots -20$	$-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$ $-60; \dots +85$	МПО МПО МПО МПО Н90 Н90 Н90 Н90	K10-60 "В" Нелуженые (серебряные) L' Луженые $B=1,3...4,4$ $H=1,2; 1,4$ $L=1,5...5,5$ $B'=1,4...4,6$ $H'=1,4; 1,6$ $L'=2...6,2$

1	2	3	4	5	6	7	8
K10-73-6B	Керамические. Выпускаются в конструктивном варианте для автоматизированной сборки. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах.	2.2...820 пФ 68...2700 пФ 470 пФ... 0.022 мкФ 2200 пФ... 0.15 мкФ	50 50 50 40	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $5; \pm 10; \pm 20$ $+50 \dots -20$ $+80 \dots -20$	-60...+125 -60...+125 -60...+85 -60...+85	M47 M1500 H50 H90	K10-73-6B $B = 10 \dots 12$ $H = 2 \dots 5$ $L = 6 \dots 12.6$
K15-15	Керамические высоковольтные незащищенные. Выпускаются в бескорпусном, прямоугольном исполнении с лужеными и нелужеными (серебряными) контактными поверхностями. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах.	330 пФ 470 пФ 680 пФ 1000 пФ 1500 пФ 330 пФ 470 пФ 680 пФ 1000 пФ 1500 пФ	1.6 кВ 1.6 кВ 1.6 кВ 1.6 кВ 1.6 кВ 3.0 кВ 3.0 кВ 3.0 кВ 3.0 кВ 3.0 кВ	$\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$ $\pm 20; +50 \dots -20$	-60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70 -60...+70	H20 H20 H20 H20 H20 H30 H30 H30 H30 H30	K15-15 $B_1 = 2 \dots 7.5$ $H_1 = 4$ $L_1 = 6$

1	2	3	4	5	6	7	8
K15-20	Керамические незащищенные. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов при условии защиты межэлектродного промежутка конденсаторов от поверхностного разряда.	0.033 мкФ 0.01 мкФ	2 кВ 3 кВ	+50... -20 +50...-20	-60...+85 -60...+85	H50 H50	K15-20 H=3,4
K21-5	Стеклокерамические изолированные. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов и в импульсных режимах.	56... 1000 пФ 1100... 2200 пФ 2400... 4300 пФ 0.01... 0.02 мкФ	50 50 50 50	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155	П120 П120 П120 П120	K21-5 Металлизированная поверхность H=3,4

1	2	3	4	5	6	7	8
K21-8 «В»	Стеклокерамические незащищенные.	0.1...560 пФ 10...620 пФ 12...620 пФ 15...750 пФ 18...820 пФ 20...910 пФ 22...1500 пФ	250 250 250 250 250 250 250	+50...-20 +50...-20 +50...-20 +50...-20 +50...-20 +50...-20 +50...-20	-60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155	П60 П33 МПО М47 М75 М150 М330	K21-8В Незащищенные $L_2 = 4.2...12.2$ $B_2 = 4.2...12.2$ луженые поверхности
K22-4	Стеклокерамические. Выпускаются в незащищенном варианте с лужеными контактными поверхностями. Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного, пульсирующего и импульсного токов.	33 пФ... 0.027 мкФ 39 пФ... 0.039 мкФ 270 пФ... 0.12 мкФ	25 25 25	+50...-20 +50...-20 +50...-20	-60...+85 -60...+85 -60...+85	M75 M470 H10	K22-4 Незащищенные $B = 2...11.5$ $H = 1.2...2$ $L = 2...14$ луженые контактные поверхности Верхняя поверхность конденсатора
K26-3Б	Тонкопленочные с контактными площадками (безвыводные). Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного, синусоидального токов и в импульсных режимах.	0.01 мкФ 0.00047... 0.0047 мкФ	10 16	$\pm 5; \pm 10; \pm 20$ $\pm 5; \pm 10; \pm 20$	-45...+85 -45...+85	- -	K26-3 *6* $B = 2.8$

1	2	3	4	5	6	7	8
K53-15	Оксидно - полупроводниковые танталовые полярные. Предназначены для работы в цепях постоянного, пульсирующего токов и в импульсных режимах.	2.2...33 мкФ 1.5...15 мкФ 1.0...10 мкФ 0.68...10 мкФ 0.47...6.8 мкФ 0.1...47 мкФ	3 6.3 10 16 20 30	$\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$	-60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85	- - - - - -	K53-15 (незащищенные) B=4;8 H=1.5;2 L=2.5;5;10
K53-16A	Оксидно - полупроводниковые танталовые незащищенные полярные. Предназначены для работы в составе герметизированных узлов аппаратуры в цепях постоянного и пульсирующего токов.	1.5...10 мкФ 1.0...4.7 мкФ 2.2...3.3 мкФ 0.68...2.2 мкФ 0.47...1.5 мкФ 0.33...1.0 мкФ 0.22...0.68 мкФ 0.01...0.47 мкФ	1.6 3 4 6.3 10 16 20 30	$\pm 20; \pm 30$ 20; ± 30 20; ± 30 20; ± 30 20; ± 30 20; ± 30 20; ± 30 20; ± 30	-60...+85 -60...+85 -60...+85 60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85 -60...+85	- - - - - - - -	K53-16A B=1,2; 1,6 H=2,7; 3,4 L=1,7 1,9

1	2	3	4	5	6	7	8
K53-22	Оксидно - полупроводниковые танталовые незащищенные. Предназначены для работы в составе герметизированных узлов аппаратуры в цепях постоянного и пульсирующего токов.	1.5...100 мкФ 1.0...68 мкФ 0.68...47 мкФ 0.47...33 мкФ 0.22...15 мкФ 0.15...10 мкФ 0.1...6.8 мкФ 0.1...4.7 мкФ	3.2 6.3 10 16 25 32 40 50	$\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$	-60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155 -60...+155	- - - - - - - -	 K53-22 B=1...3,1 H=2...4,4 L=2,4...6,5
K53-25	Оксидно - полупроводниковые танталовые незащищенные полярные. Предназначены для работы в цепях постоянного и пульсирующего токов и в импульсных режимах.	4.7...150 мкФ 3.3...1100 мкФ 2.2...68 мкФ 1.5...47 мкФ 1.0...33 мкФ 0.68 мкФ	6.3 10.0 16.0 25.0 30.0 40.0	$\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$ $\pm 20; \pm 30$	-60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125 -60...+125	- - - - - -	 K53-25 B=1.3;1.6 H=4.5...17 L=4...16

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 7

Таблица П 7.1

Шаг установки ИС по осям в зависимости от типа корпуса
и среднего числа задействованных выводов

Корпус по ГОСТ 17467-79	Габариты корпуса, мм	Размер монтажной площадки, мм	Среднее число задействованных выводов	Шаг установки ИС по осям, мм	
				t_x	t_y
1	2	3	4	5	6
1203.14-5			8	22,5	15,0
			9	22,5	17,5
			11	25,0	17,5
			12	25,0	20,0
			14	27,5	22,0
1206.14-5	19,5 × 22 × 5,0	14,0 × 13,7	8	22,5	25,0
			10	25,0	25,0
			12	27,5	25,0
			14	29,0	25,0
1207.14-5	19,5 × 29,5 × 5,0	4,0 × 21,2	8	22,5	32,5
			10	25,0	35,0
			12	27,5	37,5
			14	29,0	39,0
1211.28-5 157.29-1	39,0 × 29,0 × 5,0	34,0 × 20,0	13	42,5	32,5
			20	47,5	32,5
			22	50,0	32,5
			24	52,5	32,5
			26	55,0	32,5
			28	57,5	32,5
2102.14-2(3,5) 201.14-8(9,10)	19,2 × 7,5 × 5,0	4,2 × 3,2	8	22,5	12,5
			9	22,5	15,0
			11	25,0	15,0
			12	25,0	17,5
			14	27,5	17,5
201.16-5(6) 201.16-8 201.16-13(5) 201.16-17	19,5 × 7,5 × 5,5	4,2 × 3,2	8	22,5	12,5
			9	22,5	15,0
	19,2 × 7,5 × 5,5	5,0 × 3,0	11	25,0	15,0
		4,4 × 2,2	12	25,0	17,5
		7,0 × 3,5	14	27,5	17,5
			16	27,5	20,0
201A.16-1	19,2 × 10,0 × 4,7	6,0 × 5,0	8	22,5	15,0
			10	25,0	15,0
			12	27,5	17,5
			14	29,0	17,5

Продолжение таблицы П 7.1

1	2	3	4	5	6
2207.48-5 244.48-1	31,0×25,0×3,8	d=8,0	30	50,0	40,0
			32	52,5	40,0
			34	55,0	40,0
			36	57,5	40,0
			38	60,0	40,0
			40	62,5	40,0
			42	65,0	42,5
			44	67,5	45,0
			46	70,0	47,5
2130.24-5			18	45,0	22,5
			20	47,5	22,5
			22	47,5	25,0
			24	50,0	25,0
311.8-1(2)	39,0×25,0×7,0	d=8	8		
311.10-1	39,0×25,0×7,0	d=8	10		
401.14-3(4) 401.14-5	10,0×6,5×2,3 10,0×6,7×2,2	4,9×2,0	10	12,5	15,0
			11	12,5	17,5
			12	15,0	17,5
			14	15,0	20,0
402.16-21(23, 25, 32) 402.16-33 406.16,5	12,0×9,4×2,7	5,1×3,1 4,1×3,1	14	12,5	20,0
			16	17,5	20,0
402.16-18	12,8×9,4×2,8	5,5×4,5	14	15,0	20,0
4112.16-1(2,3)	12,8×9,4×2,8	5,5×4,5	16	20,0	20,0
4131.24-1(2) 4131.24-3	19,7×16,8×3,1	10,7×8,4 7,5×7,4	18		
			20		
			22		
			24		
4119.28-1(2)	18,3×12,8×3,0	5,0×3,0	13		
			20		
			22		
			24		
			26		
			28		
4122.40-1(2)	25,8×12,8×3,0	6,0×5,0	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
429.42-1(3)	26,6×16,7×2,9	6,2×6,2	30		
			32		
			34		
			36		
			38		
			40		
			42		

Примечание: габаритные размеры и шаги установки корпусных ИС приведены в зависимости от среднего числа задействованных выводов, при котором возможно применение двухсторонних печатных плат с односторонней установкой корпусных ИС или многослойных печатных плат с двухсторонней установкой ИС при числе слоев не менее четырех.

Таблица П 7.2

Краевые поля x_1 (x_2)

Тип корпуса	Размер краевого поля x_1 (x_2)	
	Толщина ПП до 1 мм	Толщина ПП до 2 мм
1203.14-5	5,0	5,0
1206.14-5, 1207.14-5	7,5	7,5
1211.28-5, 2101.14-5, 2130.24-5	2,5	5,0
2207.48-5	5,0	5,0
3101.8-5	2,5	2,5
3103.12-5, 4105.14-5	2,5*	5,0*
4106.14-5	5,0	5,0
4106.16-2	2,0	5,0
4138.42	2,5	5,0

* - Значения ориентировочные

Таблица П 7.3

Краевые поля Y_1 и Y_2

Тип электрического соединителя и число контактов, тип кабеля	Корпус микросхемы или микросборки				
	1203.14-5 1206.14-5 1207.14-5	1211.28-5	Тип 2	Тип 3	Тип 4
1	2	3	4	5	6
Краевое поле Y_1					
ГРПЗ (14, 36, 46, 58)	17,5	20,0	17,5	15,0	17,5
ГРПЗ (24)	15,0	17,5	15,0	12,5	15,0
ГРПМ1-У(31,45,61,90)	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
ГРПМ1-ШУ (122)	27,5	30,0	27,5	25,0	25,0
ГРПМ1-ГУ	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГРПМ9-У	20,0	22,5	20,0	17,5	20,0
ГРПМ9-Н	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРПМ5	17,5	20,0	17,5	15,0	17,0
ГРПМ7 (8)	30,0	32,5	30,0	27,5	30,0
ГРПМ10	22,5	25,0	22,5	20,0	22,5
СНПЗ4 (135)	15,	17,5	15,0	12,5	15,0
ГПК с металличе- скими отверстиями	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
ГПК с контактны- ми площадками	25,0	27,5	25,0	25,0	25,0

Продолжение таблицы П 7.3

1	2	3	4	5	6
ГПК с контактными лепестками, кабель тканый и опрессованный	25,0	27,5	25,0	22,5	25,0
Жгут объемный	35,0	37,5	35,0	35,0	35,0
Краевое поле Y_2					
Контактная колодка с запайкой штырей в металлизированные отверстия	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Колодка с использованием печатных контактных площадок	12,5	15,0	12,5	12,5	12,5
Одиночные пистоны и контакты	10,0	12,5	10,0	10,0	10,0

Таблица П 7.4

Характеристики основных материалов для печатных плат

Марка материала	δ^*	Толщина материала с фольгой, мм	E^*	$T, ^\circ C$	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 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	50	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	300	60...+120	То же
СФПН-1-50 СФПН-2-50	50	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	450	60...+120	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

δ^* - толщина фольги, мкм; E^* - прочность сцепления, г/с

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица П 8.1

Коэффициенты теплопроводности наиболее часто применяемых материалов в Вт/(м·град)

Алюминиевые сплавы	160...180	Олово	64
Брокеритовая керамика	180...200	Пенопласт=0,05-0,2 кг/см	0,04...0,06
Воздух	0,025	Резина	0,11...0,16
Германий	52...58	Ситалл СТ-50-11,1-1,6	1,1...1,6
Гетинакс	0,15...1,18	Стекло кварцевое	1,4...1,5
Кремний	120...130	Сталь конструкционная	45...50
Ковар Н29К18	21	Слюда	0,43...0,6
Керамика 22ХС	18...20	Стеклотекстолит	0,17...1,18
Латунь	100...200	Титановые сплавы	14...16
Магниеые сплавы	120...127	Клеи и компаунды	0,15...0,3
Медь	380...390	Поликор	25...38

Таблица П 8.2

Степень черноты различных поверхностей

Материал 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 холоднокатаная	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

Таблица П 8.3

Параметры сухого воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p \times 10^{-3},$ $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$	$\lambda \times 10^2,$ $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	$\nu \times 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	P_r
-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	2,9	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

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ К ПРОЧНОСТНЫМ РАСЧЕТАМ

Таблица П 9.1

Формулы расчета осевых моментов инерции простейших сечений

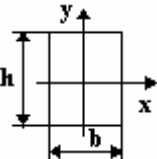
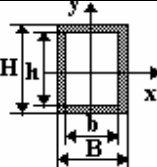
Форма сечения	Расчетные соотношения
	$J_x = bh^3/12$ $J_y = hb^3/12$ При $b = h$ $J_x = J_y = b^4/12$
	$J_x = (BH^3 - bh^3)/12$ $J_y = HB^3 - hb^3/12$
	$J_x = J_y = 0,05d^4$
	$J_x = J_y = 0,05(D^4 - d^4)$

Таблица П 9.2

Физические параметры некоторых материалов

Материал	Параметры материалов				
	Плотность ρ , г/см ³	Модуль упругости $E \cdot 10^{-9}$, Па	Коэффициент Пуассона, ξ	Предел прочности при изгибе $\sigma \cdot 10^{-6}$, Па	Коэффициент демпфирования δ_0
1	2	3	4	5	6
Сплавы алюминия:					
Д1	2,8	71	0,29	410	0,05...0,013
Д16	2,76	71	0,29	520	
В95	2,85	71	0,29	560	
АМц	2,73	71	0,29	520	
АЛ2	2,65	71	0,29	180	0,004...0,0085
АЛ9	2,65	72		200	

1	2	3	4	5	6
АД1	2,71	69,6		58	
Сплавы титана BT6, BT3	4,4...4,9	105	0,25...0,3 3	950	
Сплавы магниевые: МА18 МА2-1	1,48 1,8	45 46		180 280	0,0063...0,0125
29НК (ковар)	8,35	145		480	
Сталь 20	7,82	200	0,25	420..610	
Сталь 45	7,82	200	0,25	420..610	
30ХГСА	7,85	198	0,36	1080	
Бронза	8,27	75..141	0,31	200..1350	
Латунь	8,5	106... 110	0,41	320..700	0,03...0,06
Ситалл СТ50-1	2,65	180	0,26	176	
Керамика 22ХС	3,86	255	0,26	85	
Брокерит-9	2,83	320		100	
Поликор	3,98	392	0,26	200	
Фторопласт-4	2,25	0,47...0,85	22		
Стеклотекстолит СФ СТЭФ	1,85 2,47	30,2 32	0,22 0,279	75 75	0,02..0,1 0,02..0,1
Гетинакс	1,4		11..14		0,03... 0,08

Таблица П 9.3

Частотная постоянная С

Схема закрепления пластины (рис.П 6.1)	Отношение сторон а и b пластины							
	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
1	54	58	86	145	234	352	497	868
2	40	41	56	84	124	176	240	864
3	10	19	58	124	217	336	479	855
4	33	44	76	139	230	349	494	866
5	54	56	69	93	131	181	244	406
6	54	58	76	115	175	254	353	607
7	8	16	38	70	112	165	230	394
8	9	10	13	18	23	28	33	43
9	9	11	18	28	43	62	85	144
10	25	29	47	76	117	170	234	375



Рис. П.9. 1

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ РЭС

Таблица П 10.1

Интенсивности отказов элементов РЭС

Наименование эл-та	$\lambda_{oi} \cdot 10^6, \frac{1}{ч}$	Наименование эл-та	$\lambda_{oi} \cdot 10^6, \frac{1}{ч}$
ИС средней степени интеграции	0,013	Катушки индуктивности	0,02
БИС	0,01	Обмотки электродвигателя	0,08
Транзисторы германиевые:		Реле	0,25*
до 2 мВт	0,4	Соединители	0,065*
до 20 мВт	0,6	Переключатели кнопочные	0,01
до 200 мВт	0,7	Гнезда	
свыше 200 мВт	1,91	Клеммы, зажимы	0,0005
Транзисторы кремниевые:		Провода соединительные	0,015
до 150 мВт	0,84	Кабели	0,475
до 1 Вт	0,5	Изоляторы	0,05
до 4 Вт	0,74	Батареи заряжаемые	1,4
Диоды германиевые	0,157	Предохранители	0,5
Диоды кремниевые	0,2	Электродвигатели:	
Конденсаторы:		асинхронные	8,6
бумажные	0,05	синхронные	0,359
керамические	0,15	вентиляторные	0,25
слюдяные	0,075	Антенны	0,36
стеклянные	0,06	Волноводы жесткие	1,1
электролитические	0,075	Волноводы гибкие	2,6
воздушные переменные	0,034	Выводы высокочастотные	2,63
Резисторы:		Платы печатные	0,7
композиционные	0,043	Пайка печатного монтажа	0,01
пленочные	0,03	Пайка навесного монтажа	0,03
проволочные	0,087	Пайка объемного монтажа	0,02
угольные	0,045	Микрофоны динамические	20
Трансформаторы входные	1,09	Громкоговорители динамические	4
выходные	0,09	Датчики оптические	4,7
звуковой частоты	0,02		
высокочастотные	0,04		
силовые	0,025		
Автотрансформаторы	0,06		
Дроссели	0,34		

Таблица П 10.2

Поправочный коэффициент α_i

Наименование	t °C	Коэффициент нагрузки						
		0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
Транзисторы кремниевые	20	0,16	0,20	0,35	0,43	0,52	0,63	-
	40	0,17	0,23	0,40	0,51	0,59	0,72	
	60	0,19	0,26	0,50	0,61	0,71	0,85	
Транзисторы германиевые	20	0,23	0,35	0,42	0,50	0,70	0,74	-
	40	0,32	0,55	0,66	0,81	1,04	1,22	
	60	0,52	0,86	1,10	1,38	1,65	1,90	
Диоды кремниевые	20	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,88	-
	40	0,92	0,94	0,97	1,00	1,04	1,08	
	60	1,04	1,11	1,16	1,22	1,30	1,39	
Диоды германиевые	20	0,15	0,30	0,39	0,50	0,62	0,74	-
	40	0,23	0,41	0,51	0,63	0,76	0,91	
	60	0,53	0,86	1,13	1,40	1,75	2,13	
Конденсаторы слюдяные негерметичные	20	-	0,08	0,11	0,22	0,27	-	-
	40		0,09	0,13	0,28	0,35		
	60		0,12	0,20	0,45	0,62		
	80		0,22	0,43	0,92	1,46		
Конденсаторы стеклянные, пленочные, бумажные	20	-	0,36	0,49	0,64	0,80	-	-
	40		0,42	0,54	0,80	1,10		
	60		0,61	0,75	1,19	2,00		
	80		0,97	1,40	2,10	2,80		
Конденсаторы оксидные	20	-	0,38	0,40	0,48	0,65	-	-
	40		0,50	0,64	0,90	1,24		
	60		1,60	1,80	2,10	2,30		
	80		4,30	4,40	5,60	7,00		
Резисторы непроволочные	20	0,20	0,35	0,42	0,50	0,60	0,72	1,00
	40	0,33	0,51	0,60	0,76	0,94	1,11	1,71
	60	0,47	0,67	0,82	1,08	1,43	1,70	2,81
	80	0,61	0,84	1,07	1,46	2,05	2,48	4,40
Моточные изделия	20	-	0,10	0,10	0,20	0,30	0,60	1,00
	40		0,20	0,20	0,50	1,20	1,80	3,00
	60		0,30	0,40	1,20	2,50	4,10	8,60

Таблица П 10.3

Рекомендованные значения коэффициентов нагрузки

Изделия	Определяющий параметр, П	K_n , не более
Резисторы непроволочные	Мощность рассеивания	0,5
Резисторы проволочные	Мощность рассеивания	0,6
Конденсаторы	Напряжение, приложенное к конденсатору Реактивная мощность	0,7 0,6
Полупроводниковые диоды	Выпрямленный ток, обратное напряжение Мощность, рассеиваемая на переходе Напряжение на переходе	0,7 0,5 0,7
Транзисторы	Ток коллектора Мощность, рассеиваемая на любом переходе	0,8 0,5
Электровакуумные приборы приемно-усилительные	Ток эмиссии Напряжение на электродах Мощность рассеивания на электродах	0,7 0,8 0,7
Реле электромагнитные	Мощность рассеивания обмоток управления Коммутируемое напряжение Коммутируемая мощность	0,7 0,8 0,5
Штепсельные разъемы	Напряжение на контакте	0,3
Колодки и гнезда	Ток через контакт	0,5
Переключатели, микропереключатели, тумблеры	Коммутируемый ток Коммутируемая мощность	0,5 0,3
Катушки индуктивности, дроссели	Плотность тока	0,8

Таблица П 10.4.

Поправочные коэффициенты k_1

Условия эксплуатации РЭС	k_1		
	при вибрации	при ударных воздействиях	при суммарных воздействиях
Лабораторные	1,00	1,00	1,00
Стационарные	1,04	1,03	1,07
Автомобильные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,40	1,10	1,54
Корабельные	1,30	1,05	1,37
Самолетные	1,46	1,13	1,65

Таблица П 10.5.

Поправочные коэффициенты k_2

Влажность, %	Температу- ра, °C	k_2
60-70	20-40	1,0
90-98	20-25	2,0
90-98	30-40	2,5

Таблица П 10.6.

Поправочные коэффициенты k_3

Высо- та, км	0-1	1-3	3-8	8-15	15- 30
k_3	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

ВЫДЕРЖКИ ИЗ КЛАССИФИКАТОРА ЕСКД

КЛАСС	460000 - СРЕДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ УПРАВЛЕНИЯ, СВЯЗИ, НАВИГАЦИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ				
Подкласс	460000 - Документация (нормы, правила, требования, методы)				
Подкласс	463000 - Устройства вычислительные				
Группа	463100 - машины цифровые (кроме перфорационных, клавишных, кассовых)				
Подгруппа	Вид		Подгруппа	Вид	
Электронные стационарные 463110	463111	10000 оп./с	Электронные для установки	463121	10000 оп./с
	463112	50000 оп./с		463122	50000 оп./с
	463113	500000 оп./с	на подвижные объекты	463123	500000 оп./с
	463114	1 млн. оп./с	463120	463124	1 млн. оп./с
	463115	20 млн. оп./с		463125	20 млн. оп./с
	463116	>20 млн. оп./с		463126	>20 млн. оп./с
	463119	прочие		463129	прочие
Группа	463200 - машины аналоговые и аналого-цифровые				
Подгруппа	Вид				
аналого-цифровые 463260	463261	на операционных усилителях аналого-ориентированные			
	463262	на операционных усилителях сбалансированные			
	463263	на операционных усилителях цифро-ориентированные			
	463269	прочие			
Группа	463500 - передачи, телеобработки данных				
Подгруппа	Вид				
Мультиплексоры передачи данных	463551	центральные программируемые			
	463552	центральные непрограммируемые			
	463553	удаленные программируемые			
	463559	прочие			
Подкласс	464000 - Устройства приемные, передающие, приемо-передающие и др.				
Группа	464100 - приемные(кроме телевизионных)				
Подгруппа	Вид				
импульсных сигналов кроме связных, вещательных и телевизионных 464110	464111	прямого усиления перестраиваемые			
	464112	прямого усиления многоканальные			
	464113	супергетеродинные перестраиваемые			
	464114	супергетеродинные многоканальные			
	464115	автокорреляционные			
	464116	взаимнокорреляционные			
	464119	прочие			
Подгруппа	Вид				
непрерывных сигналов кроме связных, вещательных и телевизионных 464120	464121	прямого усиления перестраиваемые			
	464122	прямого усиления многоканальные			
	464123	супергетеродинные перестраиваемые			
	464124	супергетеродинные многоканальные			
	464125	автокорреляционные			
	464126	взаимнокорреляционные			
	464129	прочие			

Подгруппа	Вид	
связные	464131	с диапазоном частот до 300 кГц
464130	464132	с диапазоном частот от 300 кГц до 30 МГц
	464133	с диапазоном частот от 30 МГц до 300 МГц
	464134	с диапазоном частот от 300 МГц до 3 ГГц
	464135	с диапазоном частот от 3 ГГц до 30 ГГц
	464136	с диапазоном частот свыше 30 ГГц
	464138	комбинированные
	464139	прочие

Группа	464500	- передающие (кроме связанных, вещательных, телевизионных)
--------	--------	--

Подгруппа	Вид	
со средней	464511	с диапазоном частот от 3 МГц до 30 МГц
мощностью	464512	с диапазоном частот от 30 МГц до 300 МГц
излучения до	464513	с диапазоном частот от 300 МГц до 3 ГГц
100 Вт	464514	с диапазоном частот от 3 ГГц до 30 ГГц
464510	464515	с диапазоном частот свыше 30 ГГц
	464516	прочие

Подгруппа	Вид	
со средней	464521	с диапазоном частот от 3 МГц до 30 МГц
мощностью	464522	с диапазоном частот от 30 МГц до 300 МГц
излучения от	464523	с диапазоном частот от 300 МГц до 3 ГГц
100 Вт до	464524	с диапазоном частот от 3 ГГц до 30 ГГц
3 кВт	464525	с диапазоном частот свыше 30 ГГц
464520	464526	прочие

Группа	464600	- приемо-передающие
--------	--------	---------------------

Подгруппа	Вид	
со средней	464621	с диапазоном частот до 3 кГц
мощностью	464622	с диапазоном частот от 3 кГц до 3 МГц
излучения	464623	с диапазоном частот от 3 МГц до 30 МГц
от 100 Вт	464624	с диапазоном частот от 30 МГц до 300 МГц
до 3 кВт	464625	с диапазоном частот от 300 МГц до 3 ГГц
464620	464626	с диапазоном частот от 3 ГГц до 30 ГГц
	464627	с диапазоном частот свыше 30 ГГц
	464628	комбинированные
	464629	прочие

Подкласс	465000	- Устройства ввода, вывода, подготовки данных, процессоры, запоминающие и др.
----------	--------	---

Подкласс	466000	- Устройства телеграфные, факсимильные, уплотнения линий связи, отображения информации и др.
----------	--------	--

Подкласс	467000	- Узлы функциональные: генераторы, усилители, фильтры, антенно-фидерного тракта и др.
----------	--------	---

Группа	467100	- генераторы, усилители
--------	--------	-------------------------

Подгруппа	Вид	Подгруппа	Вид
непрерывных	467111	импульсных	467121
сигналов	467112	сигналов	467122
(кроме СВЧ,	467113	(кроме СВЧ,	467123
квантовых)	467114	квантовых)	467124
467110	467115	параметрич.	467125

	467118 комбинирован.		467128 комбинирован.
	467119 прочие		467129 прочие
Подгруппа	Вид		
генераторы сигналов (кроме СВЧ) 467160	467161	непрерывных (кроме шумовых)	гармонических
	467162	непрерывных (кроме шумовых)	негармонических
	467163	импульсных	
	467164	шумовых	
	467165	качающей частоты	
	467169	прочие	
Группа	467200	- Фильтры	
Подгруппа	Вид	Подгруппа	Вид
с сосредоточенными параметрами пассивные 467210	467211	с сосредоточенными параметрами	467221 верх частот
	467212		467222 нижн. частот
	467213		467223 полосовые
	467214		467224 режекторные
	467215	467220	467225 заградительн.
	467219		467229 прочие
с распределенными параметрами пассивные 467240	467241	с распределенными параметрами	467251 верх частот
	467242		467252 нижн. частот
	467243		467253 полосовые
	467244		467254 режекторные
	467245	467250	467255 заградительн.
	467249		467259 прочие
Подкласс	468000	- Узлы функциональные образования видеосигналов, телефонных телеграфных аппаратов, формирования и обработки сигнала и др.	
Группа	468100	- Образования видеосигналов, анализирующие, отклоняющие, фокусирующие, отклоняющие	
Группа	468200	- Формирования и обработки сигналов	
Подгруппа	Вид	Подгруппа	Вид
кодеры, декодеры 468220	468221	модуляторы,	468231 амплитудные
	468222	демодуляторы	468232 частотные
	468223	468230	468233 временные
	468224		468234 фазовые
	468225		468235 импульсные
	468228		468238 комбинирован.
	468229		468239 прочие
Анализаторы, измерители, подавители помех 468240	468241	модуляторы,	468261 резонанс. линии
	468242	демодуляторы	468263 блогинг-генераторы
	468243	468260	468264 логические
	468244		468269 прочие
	468245		
	468248		
	468249		
Подкласс	469000	- Устройства и узлы нефункциональные средств радиоэлектронных и вычислительной техники	
Группа	469100	- с электротехническими изделиями	

Подгруппа		Вид	Подгруппа		Вид
Каркасные 469110	469111	каркасы	Опорные 469120	469121	тумбы
	469112	рамы		469122	стойки
	469113	секции		469123	столы
	469114	стеллажи		469124	основания
	469115	кассеты		469125	фермы
	469116	кронштейны		469126	колонны
	469117	крестовины		469129	прочие
	469119	прочие			
Панельные 469130	469131	панели	Защитные 469140	469141	кожухи
	469132	шасси		469142	стенки
	469133	платы		469143	двери
	469134	щиты		469144	корпусы
	469135	шкафы		469145	крышки
	469136	коробки		469149	прочие
	469137	колодки			
	469138	радиаторы			
	469139	прочие			
Группа	469200	- с электромеханическими изделиями			
Подгруппа		Вид	Подгруппа		Вид
Каркасные 469210	469211	каркасы	Опорные 469220	469221	тумбы
	469212	рамы		469222	стойки
	469213	секции		469223	столы
	469214	стеллажи		469224	основания
	469215	кассеты		469225	фермы
	469216	кронштейны		469226	колонны
	469217	крестовины		469229	прочие
	469219	прочие			
Панельные 469230	469231	панели	Защитные 469240	469241	кожухи
	469232	шасси		469242	стенки
	469233	платы		469243	двери
	469234	щиты		469244	корпусы
	469235	шкафы		469245	крышки
	469236	коробки		469249	прочие
	469237	колодки			
	469238	радиаторы			
	469239	прочие			
Группа	469400	- с электрорадиоизделиями			
Подгруппа		Вид	Подгруппа		Вид
Каркасные 469410	469411	каркасы	Опорные 469420	469421	тумбы
	469412	рамы		469422	стойки
	469413	секции		469423	столы
	469414	стеллажи		469424	основания
	469415	кассеты		469425	фермы
	469416	кронштейны		469426	колонны
	469417	крестовины		469429	прочие
	469419	прочие			

Панельные 469430	469431	панели	Защитные 469440	469441	кожухи
	469432	шасси		469442	стенки
	469433	платы		469443	двери
	469434	щиты		469444	корпусы
	469435	шкафы		469445	крышки
	469436	коробки		469449	прочие
	469437	колодки			
	469439	прочие			

Группа	469500	- с механическими и электрорадиоизделиями			
--------	--------	---	--	--	--

Подгруппа	Вид	Подгруппа	Вид
Каркасные 469510	469511	Опорные 469520	469521 тумбы
	469512		469522 стойки
	469513		469523 столы
	469514		469524 основания
	469515		469525 фермы
	469516		469526 колонны
	469517		469529 прочие
	469519		

Панельные 469530	469531	панели	Защитные 469540	469541	кожухи
	469532	шасси		469542	стенки
	469533	платы		469543	двери
	469534	щиты		469544	корпусы
	469535	шкафы		469545	крышки
	469536	коробки		469549	прочие
	469537	колодки			
	469539	прочие			

Группа	469600	- с комбинацией изделий (с электромеханическими, электротехническими, оптико-механическими, механическими, электрорадиоизделиями и т.д.)			
--------	--------	--	--	--	--

Подгруппа	Вид	Подгруппа	Вид
Каркасные 469610	469611	Опорные 469620	469621 тумбы
	469612		469622 стойки
	469613		469623 столы
	469614		469624 основания
	469615		469625 фермы
	469616		469626 колонны
	469617		469629 прочие
	469619		

Панельные 469630	469631	панели	Защитные 469640	469641	кожухи
	469632	шасси		469642	стенки
	469633	платы		469643	двери
	469634	щиты		469644	корпусы
	469635	шкафы		469645	крышки
	469636	коробки		469649	прочие
	469637	колодки			
	469639	прочие			

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	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. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИЙ РЭА	6
2.1. Комплексная оценка технического решения	6
2.2. Порядок разработки конструкции микросборки	8
2.3. Анализ электрической принципиальной схемы микросборки	8
2.4. Выбор конструктивно-технологического варианта изготовления МСБ	11
2.5. Разработка топологии плат МСБ	12
2.6. Разработка конструкции корпусной МСБ	22
3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЭС	23
3.1. Выбор типа конструкции и компоновочной схемы блока	24
3.2. Выбор системы охлаждения	27
3.3. Разукрупнение электрических схем	29
3.4. Разработка конструкции функциональной ячейки	31
3.5. Расчет геометрических размеров ФЯ и блоков	39
3.6. Разработка конструкции блоков на основе БНК	42
4. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИЙ РЭС	43
4.1. Оценочные расчеты тепловых режимов конструкций РЭС	43
4.2. Оценка вибропрочности планарных конструкций	52
4.3. Оценка герметичности конструкций РЭС	56
4.4. Расчет прочности герметичных конструкций	57
4.5. Расчеты по обеспечению электромагнитной совместимости в конструкциях РЭС	58
4.6. Расчет надежности невосстанавливаемых РЭС по внешним отказам	63
5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЭС	64
5.1. Выбор технологических методов изготовления РЭС	64
5.2. Оценка технологичности конструкции	67
5.3. Разработка ТП изготовления РЭС	71

6. ОБОЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ	76
ЛИТЕРАТУРА	80
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Форма задания на курсовое проектирование	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Структура технического задания	83
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Справочные данные на бескорпусные ИС	85
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Бескорпусные резисторы	93
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Бескорпусные конденсаторы	97
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Линейные размеры печатных плат	108
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Справочные данные к разработке конструкции ФЯ	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Справочные данные к теплофизическим расчетам	113
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Справочные данные к прочностным расчетам	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Справочные данные для расчета надежности РЭС	117
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. Выдержки из классификатора ЕСКД	121

Борисов Валентин Федорович
Мухин Андрей Александрович
Чермошенский Валерий Васильевич
Чайка Юрий Владимирович
Борзаков Юрий Иванович
Прошунин Валерий Васильевич

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ РЭС

Редактор Е.В.Лисовец

Подписано в печать 15.07.98
Бумага газетная. Формат 60х84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 200.
Зак. 2277/1246. С. 60.

Типография Издательства МАИ
125871, Москва, Волоколамское шоссе, 4