

ТЕМА 1. Основные понятия и определения

1.1. Определение конструкции радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Классификация аппаратуры по назначению, объекту управления и конструктивным признакам. Этапы развития конструкций и основные задачи на современном уровне.

Конструкция характеризует структуру и свойства изделия, под которым понимается любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Изделия различают по видам:

деталь—изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций;

сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии-изготовителе с помощью сборочных операций;

комплекс—два изделия и более (состоящих, в свою очередь, из двух частей и более), не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций;

комплект—два изделия и более, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (комплект запасных частей, инструмента).

Под радиоэлектронным средством (РЭС) понимают изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы радиотехники и электроники.

Одновременно с развитием радиотехники и электроники изменялось понятие РЭС. Вначале РЭС назывались *аппаратурой*. Когда она использовалась в основном для связи, имело место понятие *радиоаппаратуры*. Когда же ее стали использовать для решения технических задач (обнаружение целей, наведение, навигация и т. д.), появилось понятие *радиотехнической аппаратуры*. Развитие ЭВМ и систем автоматики (в том числе электронных АТС) привело к понятию *электронной аппаратуры*, в которой передача и преобразование информации осуществлялись методами электроники. Дальнейшее усложнение аппаратуры привело к понятию *радиоэлектронной аппаратуры*, в которой прием, обработка, хранение и передача информации осуществлялись методами как радиотехники, так и электроники. Включение в состав радиоэлектронной аппаратуры различных электромеханических исполнительных устройств, систем питания, теплоотвода и контроля привело к понятию «радиоэлектронное средство».

Радиоэлектронные средства предназначены для передачи, приема, хранения и преобразования информации, представленной в виде непрерывных или дискретных электромагнитных сигналов. Устройства, работающие с непрерывными электромагнитными сигналами, называют *аналоговыми*, а устройства, работающие с дискретными сигналами,— *цифровыми*. Кон-

струкции их существенно различны. в состав РЭС входят как аналоговые, так и цифровые устройства, в свою очередь включающие дискретные электрорадиоэлементы (ЭРЭ) — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, полупроводниковые приборы (транзисторы, диоды, тиристоры, светодиоды, фотодиоды и т. д.), а также узлы в интегральном исполнении (интегральные схемы и элементы функциональной микроэлектроники).

Под конструкцией (от лат. *constructio* — составление, построение) понимается совокупность деталей и материалов (тел) с разными физическими свойствами, находящихся в определенной физической связи (электромагнитной, тепловой, механической), обеспечивающая выполнение заданных функций с необходимой точностью и надежностью под влиянием внешних и внутренних воздействий и воспроизводимая в условиях производства. Конструкция определяет взаимное расположение частей в пространстве, способы их соединения, характер взаимодействия, а также материал, из которого они изготовлены. Конструкция РЭС отличается рядом особенностей, которые выделяют ее в отдельный класс среди других конструкций:

1) иерархической структурой, под которой подразумевается последовательное объединение более простых электронных узлов в более сложные (*Конструкторская иерархия* реализуется с помощью уровней разукрупнения РЭС, габаритные размеры которых стандартизованы. Конструкции нижестоящего уровня совместимы с конструкциями вышестоящих уровней. По конструктивной сложности различают следующие уровни разукрупнения РЭС: шкаф, блок, ячейка. Если устройства являются не только конструктивно, но и функционально законченными, то они называются *модулями*. Различают (ГОСТ 26632—85) следующие уровни разукрупнения РЭС в модульном исполнении по конструктивной сложности: радиоэлектронный модуль третьего уровня (РЭМ 3) — функционально законченный радиоэлектронный шкаф, пульт, стойка, выполненные на основе базовой несущей конструкции третьего уровня и обладающие свойствами конструктивной и функциональной взаимозаменяемости; модуль второго уровня (РЭМ 2) — блок или рама; модуль первого уровня (РЭМ 1) — ячейка, плата. Модуль нулевого уровня (РЭМ 0) конструктивно совместим с модулем первого уровня и реализует преобразование информации или преобразование сигналов. Обычно это элементы (ЭРЭ, ИС, элементы функциональной микроэлектроники), не имеющие самостоятельного эксплуатационного применения. Совокупность уровней разукрупнения РЭС определенного назначения образует *конструктивную систему*. Известны конструкционные системы РЭС измерительных приборов, электронной вычислительной аппаратуры, телевизионной, связной аппаратуры и др.);

2) доминирующей ролью электрических и электромагнитных связей;

3) наличием неоднородностей в электрических соединениях, приводящих к искажению и затуханию сигналов, а также паразитных связей, порождающих помехи (наводки);

4) наличием тепловых связей, что требует принятия мер защиты термочувствительных элементов;

5) слабой связью внутренней структуры конструкции с ее внешним оформлением.

Приведём конкретное определение для конструкции РЭА:

Конструкция РЭА - это устройство (система), предназначенная для выполнения определённых заданных функций по преобразованию, формированию и обработке электрического сигнала, удовлетворяющая совокупности требований в процессе производства и эксплуатации.

В настоящее время существует большое число РЭА и их конструкций, которые можно классифицировать по: 1) функциональному назначению системы (самолетный метеонавигационный радиолокатор, ЭВМ управления робототехническим комплексом, слуховой аппарат на эффекте костной проводимости и т. д.); 2) функциональному назначению отдельных устройств (пульт станка с ЧПУ, индикатор РЛС); 3) по объекту установки (наземная, морская и бортовая); 4) частотному диапазону сигналов (низкие частоты — блок питания, устройство автоматики; высокие частоты — блок усиления видеосигнала, блок гетеродина устройства связи; СВЧ — маломощный усилитель, усилитель мощности и т. д.); 5) по конструктивной сложности (ИС, плата, блок, шкаф, пульт, стойка); 6) типу производства (единичное, серийное, массовое).

Классификация по функциональному назначению и по объекту установки часто являются доминирующими, так как объект установки РЭС в решающей степени определяет специфику конструкции (защита от дестабилизирующих факторов, масса, форма, габариты, энергопотребление, стоимость, надежность).

Классификация аппаратуры по назначению:

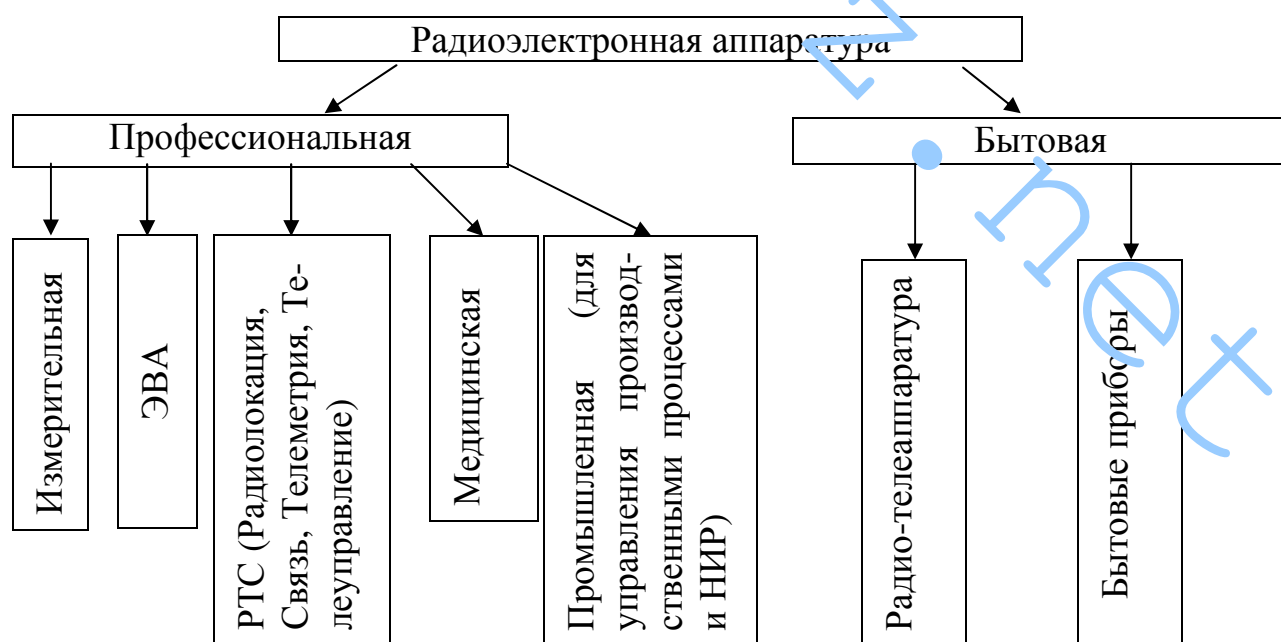


Рис.1.1.1. Классификация аппаратуры по назначению.

Классификация аппаратуры по объекту установки:

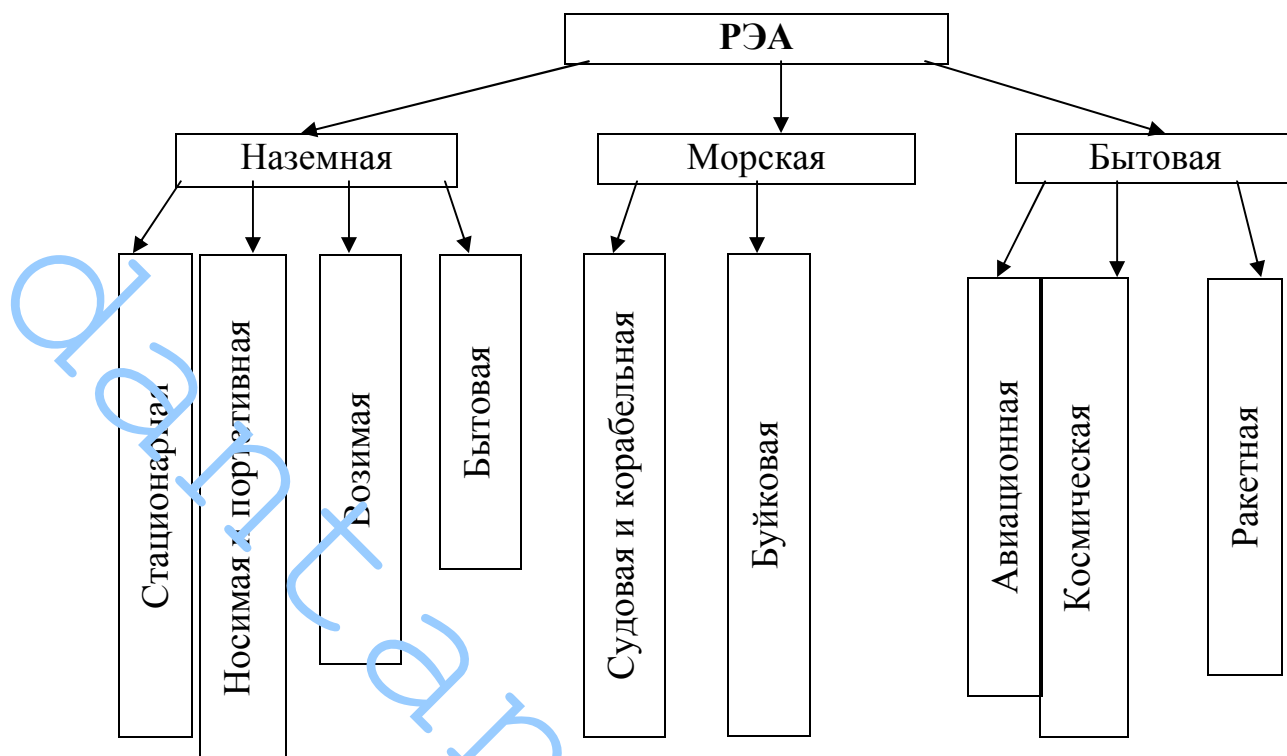


Рис.1.2. Классификация аппаратуры по объекту установки

Самостоятельно:

- 1) этапы развития конструкций и основные задачи на современном уровне;
- 2) указать размещение на объектах носителях;
- 3) определить условия эксплуатации и их особенности.

(Лит-ра: Гель П.П.: Введение, стр. 23-26; справочник Варламов стр.67-92, 94-108).

1.2. Определение процесса конструирования. Этапы разработки конструкции. Понятие и применение микроминиатюризации.

Конструкция создается *в процессе конструирования*, под которым понимают мыслительную, оформительскую и организаторскую деятельность. Основным содержанием конструирования является прогнозирование некоторой будущей структуры на основании современных данных, нахождение и отражение найденных связей между частями конструкции в конструкторской документации и внедрение ее в производство и эксплуатацию. Одним из наиболее важных результатов конструирования является получение новой информации, которую можно использовать в последующих разработках. Эта информация может иметь позитивный (новое решение) или негативный характер. Отрицательный результат тоже полезен, так как позволяет избежать повторения ошибок.

Конструирование является частью общего процесса проектирования или разработки изделия, содержащего такие взаимосвязанные этапы, как разработка структурной и принципиальной электрических схем, собственно конструирование, разработка технологии изготовления, внедрение изделия в производство и эксплуатацию.

В общем случае, **конструирование РЭА – это составная часть процесса разработки РЭУ, включающая в себя поиск решения сложных взаимосвязанных задач, близких к оптимальным. Конечной целью данного процесса является создание комплекта конструкторской документации, предназначенной для производства РЭА.**

Конструирование может осуществляться либо только человеком (вручную), либо с использованием ЭВМ.

Конструирование является сложным и трудоёмким процессом, поэтому для выполнения поставленных задач, конструктору необходимы знания в области схемотехники, материаловедения, сопротивления материалов, современной технологии, физических процессов, происходящих при работе РЭУ и многих других прикладных дисциплин.

Стадии разработки РЭА

Перед тем как рассматривать этапы разработки конструкции необходимо дать определение понятию «проектирование»:

Проектирование – это процесс создания проекта, то есть прототипа или прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния.

Таким образом прямое определение проектирования электронных средств следующее:

Проектирование электронных средств – это процесс создания совокупности документов (расчётов, чертежей и т.р.) и прототипа или опытного образца разрабатываемого изделия.

ГОСТ 2.103-68 устанавливает следующие стадии разработки:

- техническое предложение;
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект.

Основой для разработки является *техническое задание* (ТЗ), содержание которого устанавливает ГОСТ. В ТЗ излагаются назначение и область применения разрабатываемой ЭА, технические, конструктивные, эксплуатационные и экономические требования к ЭА, условия по ее хранению и транспортированию, требования по надежности, правила проведения испытаний и приемки образцов в производстве.

На стадии *технических предложений* проводится анализ существующих технических решений, патентные исследования, проработка возможных вариантов создания ЭА, выбор оптимального решения, макетирование отдельных узлов ЭА, выработка требований для последующих этапов разработки.

На стадии *эскизного проектирования* осуществляют конструкторскую и технологическую проработку выбранного варианта реализации ЭА; изготов-

ливается действующий образец или серия ЭА; проводятся их испытания в объеме, достаточном для подтверждения заданных в ТЗ технических и эксплуатационных параметров; организуется разработка в полном объеме необходимой конструкторской документации, которой присваивается литера «Э»; прорабатываются основные вопросы технологии изготовления, наладки и испытания элементов, узлов, устройств и ЭА в целом.

На стадии *технического проекта* принимаются окончательные решения о конструктивном оформлении ЭА и составляющих ее узлов, разрабатывается полный комплект конструкторской и технологической документации, которой присваивается литера «Т», изготавливается опытная серия ЭА, проводятся испытания ЭА на соответствие заданным в ТЗ техническим и эксплуатационным требованиям. Результаты технического проектирования являются основой для разработки полного комплекта рабочей конструкторской документации, которой присваивается литера «О».

В последующем осуществляется *технологическая подготовка производства*, выпуск установочной серии и организация серийного (массового) выпуска ЭА.

Стадии разработки ТЗ, технических предложений и ЭП включаются, как правило, в *научно-исследовательскую работу* (НИР), а стадии разработки технического проекта и технологической подготовки производства — в *опытно-конструкторскую разработку* (ОКР).

В последние годы применительно к продукции технического назначения используется термин **жизненный цикл**, под которым понимаются все этапы создания изделия, начиная с разработки ТЗ и кончая эксплуатацией готовых изделий с последующей утилизацией. Жизненный цикл ЭА, разделенный на этапы ее разработки, изготовления и эксплуатации, представлен на рис. 1.3. Здесь к эскизному проектированию можно отнести этапы 1—6, к техническому проекту - этапы 7—19. В двойную рамку на рис. 1.3 заключены те этапы, полное или частичное выполнение которых зависит от участия в их выполнении специалистов-конструкторов и специалистов-технологов.

Все вышесказанное относится к вновь создаваемой ЭА, основанной на использовании принципиально новых технических решений. В настоящее время в связи с развитием предприятий, специализирующихся на разработке и производстве отдельных узлов и устройств ЭА, появилась возможность существенного сокращения трудовых и временных затрат на создание крупносерийных или массовых изделий (так называемые *сборочная* или «*отверточная*» технология). В этом случае разработчикам ЭА необходимо тщательно подобрать комплектующие изделия, чтобы созданная ими аппаратура была технологичной в изготовлении, удобной в эксплуатации и конкурентоспособной, а также выполнить ряд работ, предусмотренных схемой на рис. 1.3, например, выпуск документации, проведение испытаний и т. д.

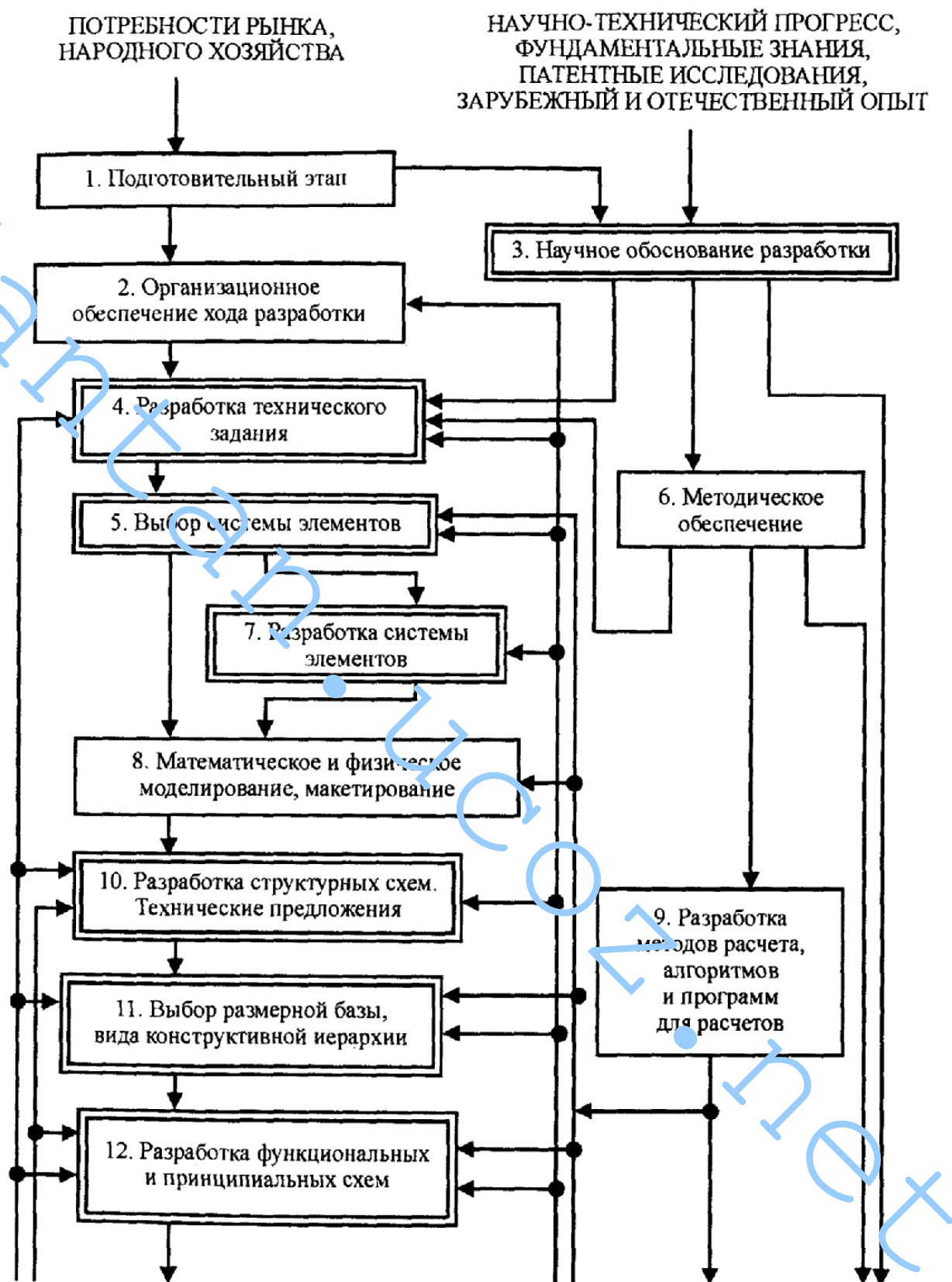
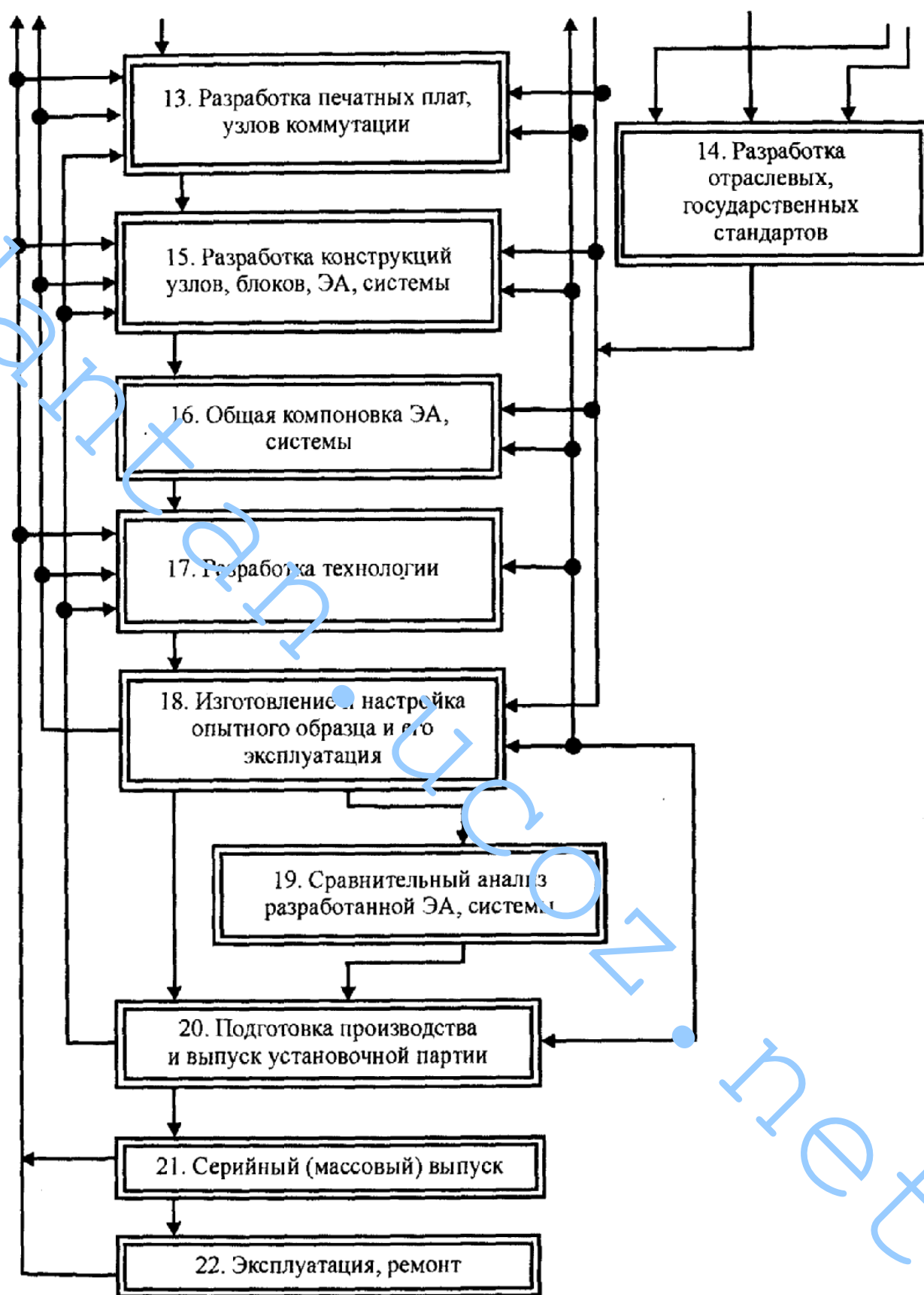
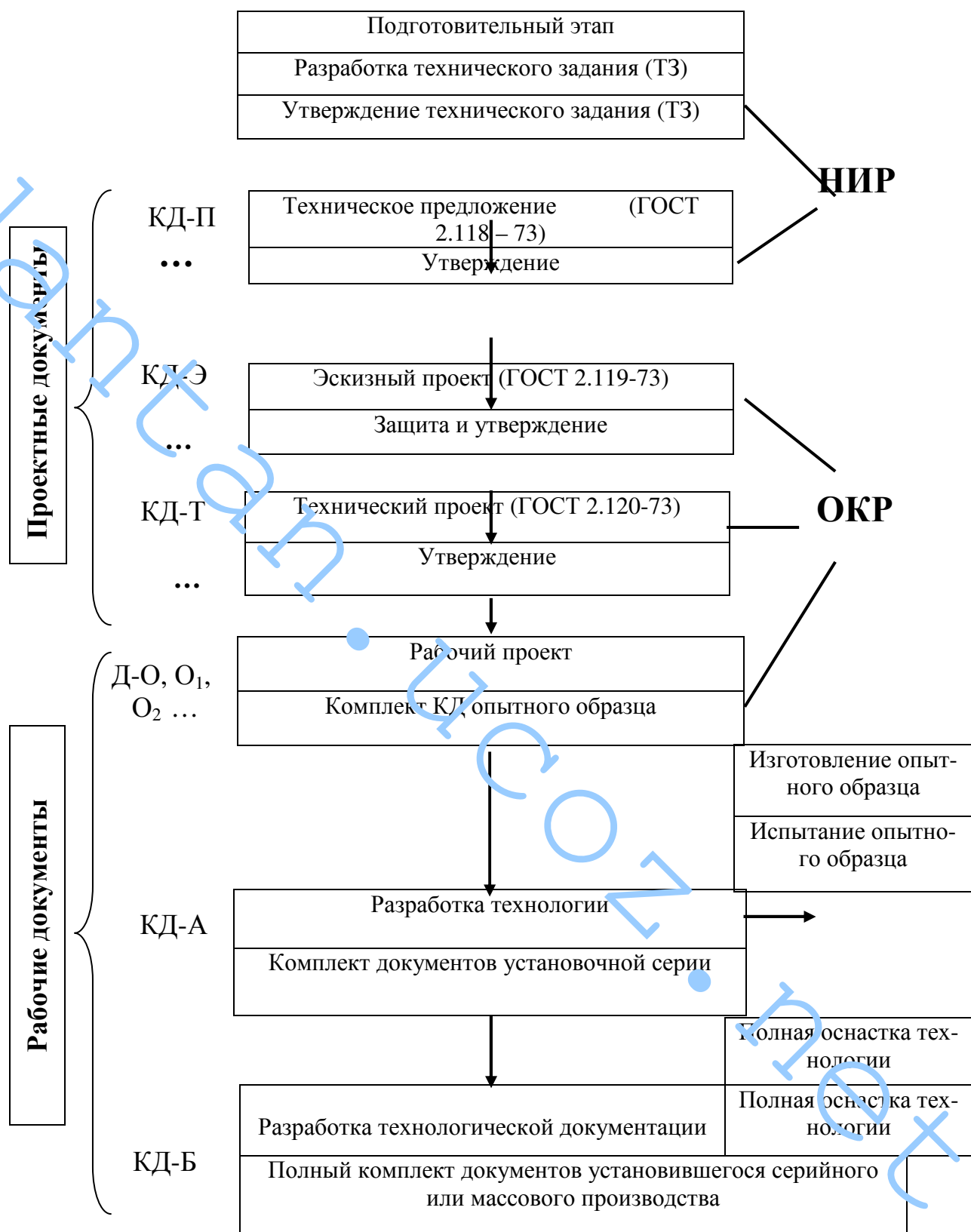


Рис. 1.3. Этапы разработки электронной аппаратуры



Окончание рис. 1.3.

Упрощенная схема стадий разработки электронных средств:



Самостоятельно: Раскрыть и изучить содержание этапов и в первую очередь ТЗ [Лит-ра: Варламов. Справочник стр. 148]

НИР

1. **Фундаментальность;**
2. **Прикладное применение;**
3. **Разработка.**



Самостоятельно: Принципы заключения договоров.

Расширение областей использования и усложнение РЭС ведут к увеличению числа входящих в них элементов и компонентов, что повышает стоимость, габариты, массу, энергопотребление и снижает надежность РЭС. Вначале для улучшения этих параметров осуществляли *миниатюризацию* элементов (например, применяли электровакуумные лампы типа «дробь», «желудь», «пальчиковой» серии). Развитие интегральной гибридной и полупроводниковой технологии позволило резко уменьшить размеры элементов и перейти к *микроминиатюризации*.

Для дальнейшего улучшения параметров РЭС используют различные системотехнические, схемотехнические, конструкторские и технологические решения, в совокупности называемые *комплексной микроминиатюризацией*. Это увеличение степени интеграции ИС и модулей, разработка методов структурного резервирования, сложение мощностей маломощных источников излучения СВЧ, отвод тепла с помощью «тепловых труб», защита от механических воздействий с помощью вязкоупругих компаундов, защита от влаги бескорпусных элементов к составу блока общей оболочкой, использование микромощных элементов на основе КМДП - структур и транзисторных пар, изготовленных в едином технологическом цикле, замена электромеханических узлов электронными и т. д. Актуальность комплексной микроминиатюризации не снижается, так как отношение объема, занимаемого элементами в интегральном исполнении, к объему РЭС составляет 1:10 и менее.

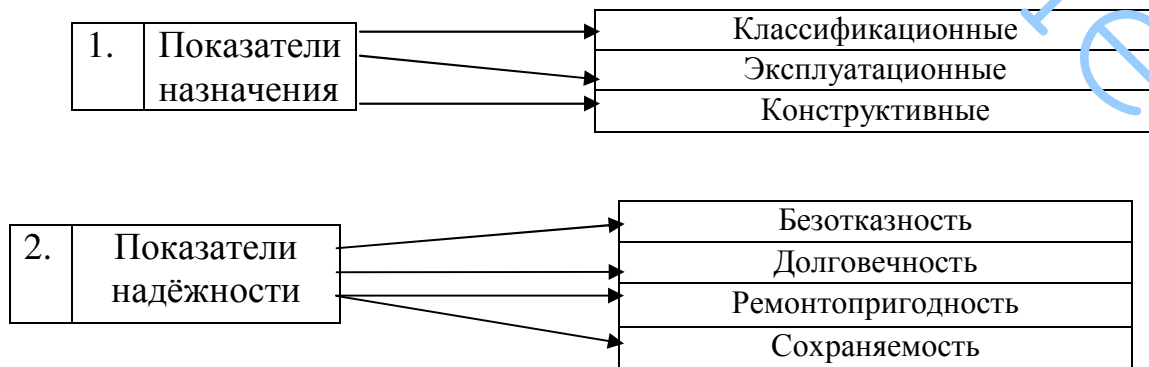
1.3. Качество конструкции Основные характеристики и показатели качества

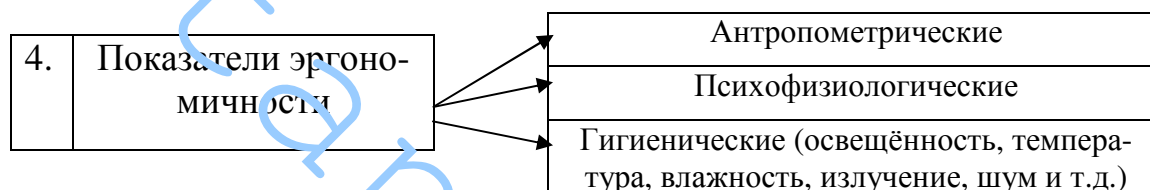
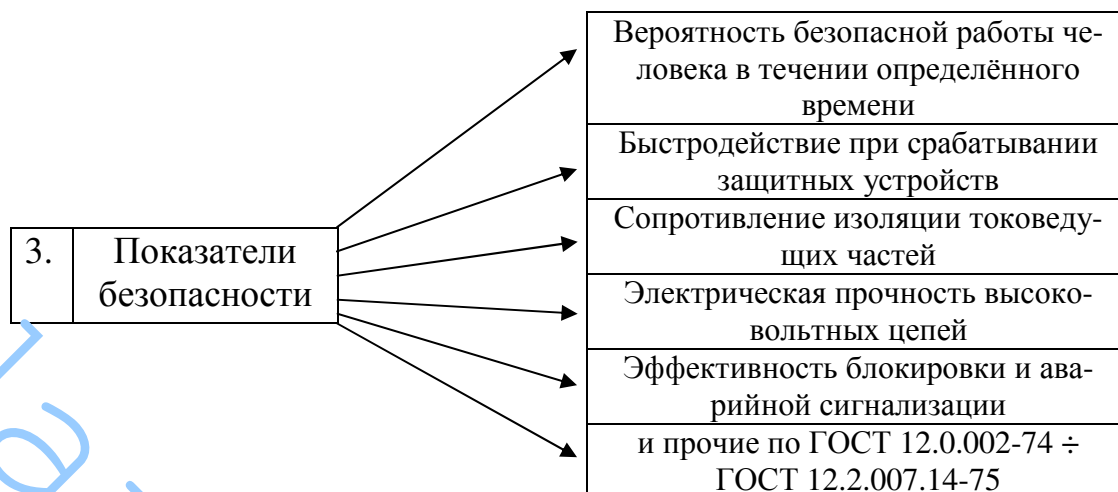
Качество конструкции определяется совокупностью свойств конструкции, обуславливающих её способность удовлетворять определённым потребностям в соответствии с её назначением.

Оценить качество конструкции – это значит определить уровень качества посредством сравнения с лучшими аналогами имеющихся как базовыми. Уровень качества всегда относителен.

Показатели качества

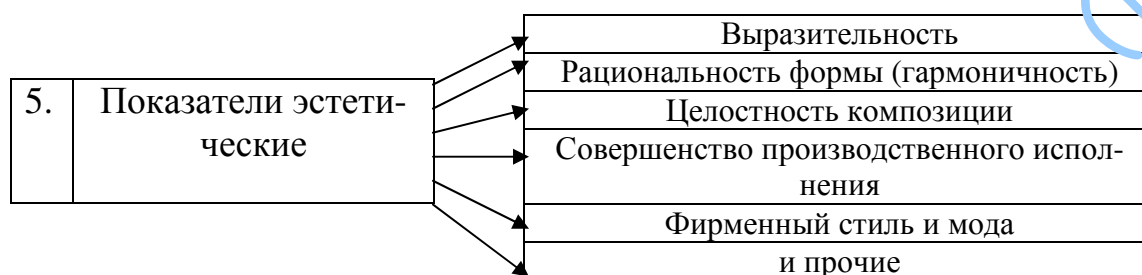
Качество электронной аппаратуры оценивают группой показателей качества:

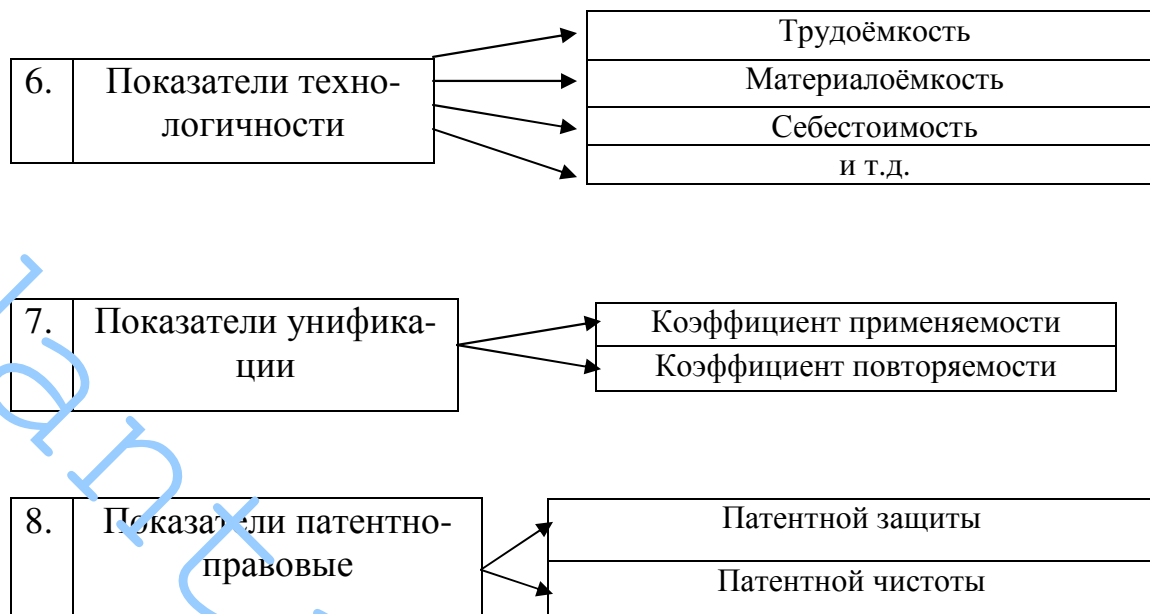




Эргономика — научная дисциплина, комплексно изучающая человека (группу людей) в конкретных условиях его (их) деятельности, связанной с использованием машин (технических средств). Человек, машина и среда рассматриваются в эргономике как сложное, функциональное целое, в котором ведущая роль принадлежит человеку.

Эргономические показатели конструкции делятся на **гигиенические** (освещенность, вентилируемость, температура, напряженность электрического и магнитного полей, токсичность, шум, вибрация), **антропометрические** (соответствие конструкции изделия размерам и форме тела человека и его частей, входящих в контакт с изделием), **физиологические и психофизиологические** (соответствие конструкции изделия силовым, скоростным, зрительным возможностям человека), **психологические** (соответствие конструкции изделия возможностям восприятия и переработки информации, закрепленным и вновь формируемым навыкам человека).





Все показатели могут быть абсолютными и относительными. *Абсолютные показатели* характеризуют конструкции РЭС без учета достигнутого ранее уровня, а *относительные* — с его учетом. Примерами абсолютных показателей, сохранивших свое значение и поныне, являются масса, габариты. С возникновением интегральных схем появились новые абсолютные показатели: степень интеграции ИС, плотность компоновки РЭС, плотность теплового потока, удельная мощность, удельная масса, минимальная суммарная длина электрических связей.

Относительные показатели (уменьшение массы, объема, энергопотребления) стали особенно актуальными для РЭС в микроэлектронном исполнении.

Рассмотрим подробнее новые абсолютные и относительные показатели. *Степень интеграции* численно равна десятичному логарифму числа элементов, входящих в ИС. Интегральные схемы со степенью интеграции элементов больше третьей называют большими (БИС). Чем выше степень интеграции схемы, тем более компактное РЭС можно создать.

Комплексный показатель качества

Качество конструкции в целом оценивается количественно комплексным показателем.

Качество готового изделия характеризуется:

- 1) качеством конструкции (техническим уровнем - уровень качества конструкции (УКК));
- 2) качеством изготовления изделия.

В идеале – УКК должен совпадать с уровнем качества изделия (УКИ).

Оценка проводится в три этапа:

- 1) производится выбор номенклатуры показателей качества конструкции для конкретного случая;

- 2) подбираются аналоги и выбирается базовое изделие ;
- 3) заполняется карта технического уровня и качества изделия (продукции);
- 4) производится расчёт УКК.

1.4. Техническая документация: состав и назначение

На всех этапах жизненного цикла (разработка — производство — эксплуатация) ЭА сопровождает *техническая документация* (ТД). Состав этой документации и ее содержание регламентируется Государственными стандартами. В настоящее время в стране действует большое количество стандартов, которые сгруппированы по направлениям жизненного цикла изделий в следующие комплексы:

- единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- единая система технологической документации (ЕСТД);
- единая система программной документации (ЕСПД);
- единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСЗКС), и др.

Основная задача стандартизации — обеспечить единую нормативно-техническую, информационную, методическую и организационную основу проектирования, производства и эксплуатации изделий. При этом обеспечивается использование единого технического языка и терминологии, взаимобмен документацией между предприятиями без ее переоформления, совершенствование организации проектных работ, возможность автоматизации разработки ТД с унификацией машинно-ориентированных форм документов, совершенствование способов учета, хранения и изменения документации и др.

1.5. Единая Система Конструкторской документации (ЕСКД). Структура ЕСКД. Виды изделий и конструкторских документов. Комплектность КД. Порядок условного обозначения.

Государственные стандарты, входящие в ЕСКД, устанавливают взаимосвязанные единые правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения конструкторской документации на изделия, разрабатываемые и выпускаемые предприятиями всех отраслей промышленности.

Конструкторские документы (КД) — графические и текстовые документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта, утилизации.

Стандартам ЕСКД присваивают обозначения по классификационному принципу. Номер стандарта составляется из цифры, присвоенной классу стандартов ЕСКД, одной цифры после точки, обозначающей классификационную группу стандартов в соответствии с табл. 1.1, числа, определяющего поряд-

ковый номер стандарта в данной группе, и двузначной цифры (после тире), указывающей год регистрации стандарта. Например, обозначение стандарта ЕСКД «ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» имеет вид: ГОСТ 2.701—84, т. е. ГОСТ — категория нормативно-технического документа (государственный стандарт), 2 — класс (стандарты ЕСКД), 7 — классификационная группа стандартов, 01 — порядковый номер стандарта в группе, 84 — год регистрации стандарта.

Таблица 1.1. Классификационные группы стандартов в ЕСКД

Шифр группы	Содержание стандартов в группе
0	Общие положения
1	Основные положения
2	Классификация и обозначение изделий в КД
3	Общие правила выполнения чертежей
4	Правила выполнения чертежей изделий машиностроения и приборостроения
5	Правила обращения КД (учет, хранение, дублирование, внесение изменений)
6	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
7	Правила выполнения схем
8	Правила выполнения документов строительных, судостроительных и горных дел
9	Прочие стандарты

К графическим конструкторским документам относятся:

чертеж детали — изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

сборочный чертеж (СБ) — изображение сборочных единиц и другие детали, необходимые для сборки и контроля;

чертеж общего вида (ВО) — определяет конструкцию изделия, взаимодействие его основных частей и поясняет принцип работы изделия;

теоретический чертеж (ТЧ) — геометрическая форма (обводы) изделия и координаты расположения основных частей;

габаритный чертеж (ГЧ) — контурное изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;

электромонтажный чертеж (ЭМ) — данные для электрического монтажа изделия;

монтажный чертеж (МЧ) — контурное изображение изделия и данные для его установки на месте эксплуатации;

установочный чертеж (УЧ) — данные для установки изделия;

схема — составные части изделия в виде условных изображений или обозначений и связи между ними;

К текстовым конструкторским документам относятся:

спецификация — определяет состав сборочной единицы, комплекса, комплекта;

ведомость спецификаций (ВС) — перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости;

ведомость ссылочных документов (ВД) — перечень документов, на которые имеются ссылки в КД на изделие;

ведомость покупных изделий (ВП) — перечень покупных изделий, примененных в разрабатываемом изделии;

ведомость разрешений применения покупных изделий (ВИ) — перечень покупных изделий, разрешенных к применению по ГОСТу;

ведомость держателей подлинников (ДП) — перечень организаций-хранителей подлинников примененных в изделии документов;

ведомость технического предложения (ВТ) — перечень документов, вошедших в техническое предложение;

ведомость эскизного проекта (ЭП) — перечень документов, вошедших в эскизный проект;

ведомость технического проекта (ТП) — перечень документов, вошедших в технический проект;

пояснительная записка (ПЗ) — описание устройства и принципа действия разработанного изделия, а также обоснование разработки;

технические условия (ТУ) — требования к изделию, его изготовлению, контролю качества, приемке и поставке;

программа и методика испытаний (ИМ) — технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, порядок и методы их контроля;

таблица (ТБ) — данные, сведенные в таблицу;

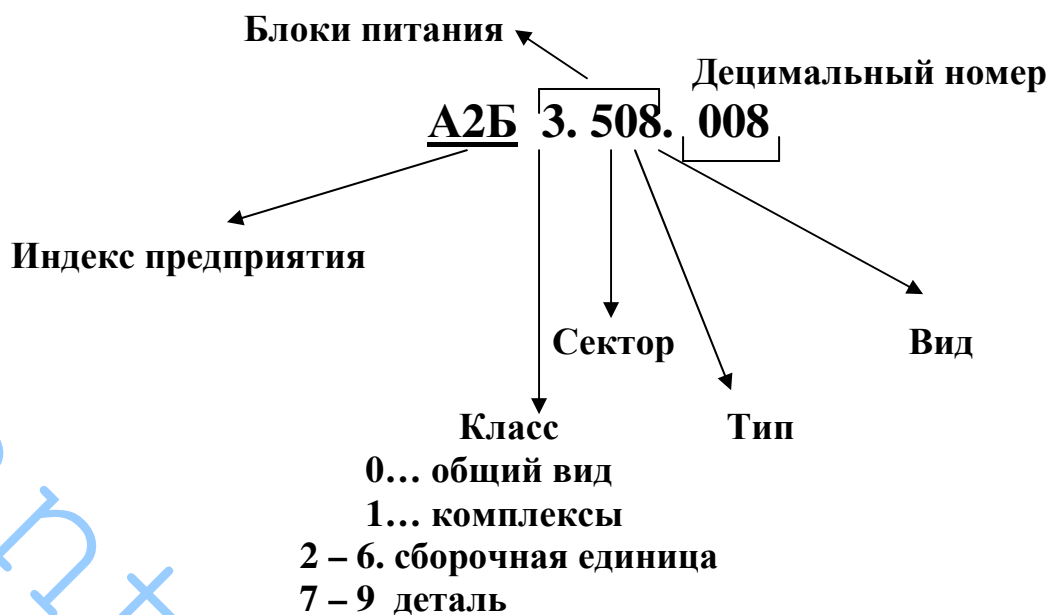
расчет (РР) — расчеты параметров и величин, например, расчет размерных цепей, расчет на прочность, расчет теплового режима и др.;

эксплуатационные документы — документы для использования при эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия в процессе эксплуатации;

ремонтные документы — данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях;

инструкция (И) — указания и правила, используемые при изготовлении изделия (сборке, регулировке, контроле и т. п.);

патентный формуляр (ПФ) — документ, содержащий результаты патентного поиска, осуществленного при разработке изделия. В нем содержится оценка патентоспособности, патентная чистота и технический уровень разработанного изделия, материала, процесса, метода.



По классификатору

Н0.000.005

Единая десятичная система классификации промышленной и с/хозяйственной продукции (ЕДСКП) предусматривается 10 классов.

Класс 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .
Секторов 100 (от 0 до 99) по 10 в каждом классе.
Типы по 10 в каждом секторе.
Виды по 10 в каждом типе.

Класс	Сектор	Тип	Вид
0.	0.0	0.00	0.000
1.	1.0	1.00	1.000
1.	1.0	1.01	1.001
2.	2.0	2.00	2.000
3.	3.0	3.00	3.000
4.	.	.	..
5.	.	.	.
6.	.	.	.
7.	.	.	.
8.	.	.	.
9.	9.9	9.99	9.999

Схемная документация

В общем объеме КД, выпускаемой в процессе разработки изделий, в том числе ЭА, существенное место занимает схемная документация.

Схема — графическая конструкторская документация, на которой в виде условных изображений или обозначений показаны составные части изделия и связи между ними.

Схемы применяют при изучении принципа действия механизма, прибора, аппарата при их изготовлении, наладке и ремонте, для понимания связи между составными частями изделия без уточнения особенностей их конструкции.

Схемы являются исходным базисом для последующего конструирования отдельных частей и всего изделия в целом.

По виду элементов, входящих в состав изделия, связей между ними и назначения схемы подразделяют на виды (табл. 1.3) и типы (табл. 1.4). В соответствии с обозначениями, приведенными в таблицах, устанавливается код схемы. Так, схема ЭЗ — схема электрическая принципиальная, схема К2 — схема кинематическая функциональная и т. д.

Таблица 1.3. Виды схем

Наименование схемы	Обозначение
Электрические	Э
Гидравлические	Г
Пневматические	П
Газовые	Х
Кинематические	К
Вакуумные	В
Оптические	Л
Энергетические	Р
Комбинированные	С

Таблица 1.4. Типы схем

Наименование схемы	Обозначение
Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные	3
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Общие	6
Расположения	7
Объединенные	0

Составляющими частями схем являются:

элемент схемы — составная часть схемы, которая не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное значение (микросхема, резистор, трансформатор и др.);

устройство — совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, модуль). В ряде случаев устройство может не иметь определенного функционального назначения;

функциональная группа — совокупность элементов, выполняющих определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию;

функциональная часть — элемент, устройство или функциональная группа, имеющие строго определенное функциональное назначение;

функциональная цепь — линия, канал на схеме, указывающие на наличие связи между функциональными частями изделия;

линия взаимосвязи — отрезок линии на схеме, указывающий на наличие связи между функциональными частями изделия;

линия электрической связи — линия на схеме, указывающая путь прохождения тока, сигнала и др.

При проектировании ЭА используются следующие виды схем:

структурные схемы (Э1), определяющие основной состав ЭА и ее функциональные части, их назначение и взаимосвязи. Их разрабатывают на начальных стадиях проектирования ЭА, их используют как для разработки схем других типов, так и для общего ознакомления с ЭА;

функциональные схемы (Э2), поясняющие процессы, происходящие в отдельных функциональных частях и узлах ЭА. Они являются основой для разработки принципиальных схем и применяются при наладке, ремонте и эксплуатации ЭА;

принципиальные схемы (Э3), определяющие полный состав элементов и связей между ними и дающие полное представление о принципе работы отдельных узлов и устройств ЭА. Эти схемы являются основой для разработки полного комплекта конструкторской документации на ЭА;

схемы соединений (Э4), показывающие соединения составных частей ЭА и определяющие провода, жгуты, кабели и другие соединительные изделия, а также места их присоединения и ввода. Их используют как при выпуске КД на ЭА, так и при ее ремонте и эксплуатации;

схемы подключений (Э5), показывающие внешние подключения ЭА. Эти схемы используют при монтаже ЭА на месте эксплуатации и при ее ремонте;

общие схемы (Э6), определяющие составные части ЭА и соединения их между собой на месте эксплуатации;

схемы расположения (Э7), устанавливающие взаимное расположение отдельных устройств ЭА, а также соединяющих их жгутов, кабелей и т. д.

При проектировании схем любых видов необходимо придерживаться правил, изложенных в соответствующих стандартах. Так, для схем цифровой техники схемы электрические выполняются по правилам, установленным Государственными стандартами с использованием условных графических обозначений (УГО).

ТЕМА 2. Общая характеристика РЭА и конструкции РЭА как большой системы

2.1. Радиотехническая система (РТС)

Под системой понимается ограниченное множество элементов, объединённых некоторыми связями и образующих единое целое. Это понятие распространяется и на РТС.

Часть элементов системы, выполняющих некоторое функционально завершённое преобразование, называют подсистемой.

Под РТС необходимо понимать конструкцию РЭА. Качество РТС или конструкции зависит от учёта существующих внутренних взаимосвязей и внешних воздействующих факторов среды.

Системы, применяемые для обработки, преобразования и передачи сигналов, весьма разнообразны по принципам внутреннего устройства и внешним характеристикам. Для того чтобы их можно было сравнивать и классифицировать, сформулируем исходные понятия.

В структуре системы можно выделить *вход*, на который подается исходный сигнал, и *выход*, откуда снимается преобразованный сигнал.

2. 2. Конструкция РЭА как сложная система. Иерархия конструкции • конструктивные уровни.

Изменение методов конструирования современных РЭС по сравнению с аппаратурой первых поколений характеризуется: 1) более широким использованием системного подхода, что увеличило роль конструктора и технолога на всех этапах проектирования изделия; 2) снижением длительности цикла и трудоемкости конструкторских работ благодаря широкому использованию методов автоматизированного конструкторского проектирования; 3) более широким использованием стандартизации.

Конструкция РЭС как большой системы имеет следующие признаки: 1) высокую сложность (состоит из большого числа устройств, узлов и компонентов); 2) связь с внешней средой (в том числе с человеком-оператором); 3) иерархическую структуру (обладает свойством централизованного управления—подчинение низших уровней высшим).

По составу РЭС могут включать следующие системы: сбора информации (содержащие различные датчики и линии связи); приема и передачи информации; обработки и хранения информации; связи с человеком-оператором; питания; обеспечения нормальных режимов работы (защита от влаги, тепловых, механических, радиационных, биологических, электромагнитных воздействий). Обычно РЭС состоят из большого числа устройств, узлов и ЭРЭ, так как выполнение сложных РЭС в едином технологическом цикле часто невозможно по экономическим соображениям.

Вернёмся к ЭА.

Снизить затраты на разработку, изготовление и освоение производства ЭА, обеспечить совместимость и преемственность аппаратурных решений при одновременном улучшении качества, увеличении надежности и срока службы позволяет использование *модульного принципа конструирования*.

Под *модульным принципом конструирования* понимается проектирование изделий ЭА на основе конструктивной и функциональной взаимозаменяемости составных частей конструкции — *модулей*.

Модуль — составная часть аппаратуры, выполняющая в конструкции подчиненные функции, имеющая законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженная элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями и с модулями низшего уровня в изделии.

Модульный принцип конструирования предполагает *разукрупнение* (*разбивку, расчленение*) электронной схемы ЭА на функционально законченные подсхемы (части), выполняющие определенные функции. Эти подсхемы чаще всего разбиваются на более простые и так до тех пор, пока электронная схема изделия не будет представлена в виде набора модулей разной сложности, а низшим модулем не окажется корпус МС. Модули одного уровня объединяются между собой в ЭА на какой-либо конструктивной основе (несущей конструкции).

Возможен и другой подход к проектированию, когда частям детально разработанной функциональной схемы изделия ставятся в соответствие схемы выбранной серии *микросхем*, а электрическая схема изделия как бы «покрывается» электрическими схемами микросхем. При этом отдельные части схемы изделия могут оказаться не покрытыми микросхемами существующих серий, тогда такие подсхемы реализуются дискретными *электро-радиоэлементами* (ЭРЭ). В результате будет получен набор корпусов МС и ЭРЭ, реализующий схему изделия. Эти корпуса и ЭРЭ устанавливаются и коммутируются между собой в модулях следующего уровня иерархии, которые устанавливаются и коммутируются в модуле более высокого уровня, и т. д. В зависимости от сложности проектируемого изделия будет задействовано разное число уровней модульности (уровней конструктивной иерархии).

Конструкция современной ЭА представляет собой некоторую *иерархию* модулей (порядок в расположении модулей от низшего к высшему), каждая ступень которой называется *уровнем модульности*. При выборе числа уровней модульности проводится *типизация* модулей, т. е. сокращение их разнообразия и установление таких конструкций, которые выполняли бы самые широкие функции в изделиях определенного функционального назначения. Функциональное многообразие изделий достигается использованием различного числа уровней модульности с возможностью конструктивного оформления высшего и, следовательно, самого сложного модуля в виде законченного изделия.

Выделяют четыре основных и два дополнительных *уровня модульности*. Под *основными* понимаются уровни модульности, широко применяемые в разнообразной аппаратуре, под *дополнительными* — используемые в специ-

альной аппаратуре, но не всегда. Иерархия модулей и их входимость (установка) приведены на рис. 3.1, где модули разных уровней отделены двойными вертикальными линиями.

Модулем *нулевого уровня* является *электронный компонент*. В зависимости от исполнения аппаратуры модулем нулевого уровня служат ЭРЭ и МС.

Модуль *первого уровня* — *типовой элемент замены* (ТЭЗ) — представляет собой ПП с установленными на ней модулями нулевого уровня и электрическим соединителем.

Модуль *второго уровня* — *блок*, основными конструктивными элементами которого является *панель* с ответными *соединителями* модулей первого уровня. Межблочная коммутация выполняется соединителями, расположенными по периферии панели блока. Модули первого уровня размещаются в один или несколько рядов. На рис. 3.1 показан однорядный блок.

Модуль *третьего уровня* — *стойка*, в которой устанавливаются блоки или 2—3 рамы.

Модулем *уровня 0,5* является микросборка, состоящая из подложки с размещенными на ней бескорпусными микросхемами. Межмодульная коммутация обеспечивается введением по периферии подложки контактных площадок. Модуль вводится для увеличения плотности компоновки аппаратуры.

Модуль *уровня 2,5* представляет собой раму, в которой размещаются 6—8 блоков. Рама применяется в стоечной аппаратуре, использующей небольшие по размерам модули первого уровня.

Модульный принцип конструирования предусматривает несколько уровней коммутации:

1-й уровень — коммутация печатным и (или) проводным монтажом электронных компонентов на плате;

2-й уровень — коммутация печатным или объемным монтажом ответных соединителей модулей первого уровня в блоке;

3-й уровень — электрическое объединение блоков или рам в стойке и стоек между собой жгутами и кабелями;

уровень 0,5 — электрическое соединение выводов бескорпусных микросхем пленочными проводниками;

уровень 2,5 — коммутация блоков в раме проводами, жгутами или кабелями.

При разработке несложной аппаратуры высшие уровни модульности отсутствуют. Полная модульность используется только в сложной аппаратуре, например в супер-ЭВМ.

Выражение *функционально-узловой метод* проектирования широко распространено в отечественной литературе. Этот метод дает подход к разбивке функциональной схемы изделия на узлы (подсхемы), конструктивно выполненные на ПП модулями первого уровня. В действительности задача проектирования ставится шире, так как сложная аппаратура воплощает не одну схему, а, как правило, несколько структурных или функциональных схем.

Поэтому целесообразно говорить о *модульном принципе проектирования*, подразумевая под этим принципы выделения (разукрупнения, разбивки) схем на функциональные группы разных уровней сложности (узлы, устройства, комплексы, системы) для реализации их конструктивными модулями.

Конструктивным модулям можно поставить в соответствие схемные модули, которые так же имеют многоуровневую иерархию и представляют собой функциональные узлы, устройства, комплексы, системы (табл. 2.1.).

Таблица 2.1. Связь между конструктивной и схемной модульностью

Конструктивная модульность	Схемная модульность
Корпус микросхемы	Логический, запоминающий элемент
ТЭЗ	Функциональный узел
Блок	Устройство
Рама	Комплекс
Стойка	Система

Необходимо отметить, что приведенная в табл. 2.1 связь конструктивной и схемной модульности условна. Она имеет отношение к аппаратуре, реализуемой на микросхемах малой степени интеграции, и в общем случае зависит от функциональной сложности проектируемого изделия и степени интеграции применяемых МС. Дело в том, что в больших интегральных схемах (БИС) реализуются целиком устройства (например, преобразователи, запоминающие устройства) или их крупные фрагменты. Весьма возможно, что несложная система будет конструктивно выполнена на одной печатной плате.

При разбивке структурных и функциональных схем необходимо удовлетворить многим и порой противоречивым требованиям:

- функциональной законченности, когда выделяемая подсхема должна обладать необходимой полнотой и выполнять частные функции по приему, обработке, хранению и передаче информации;
- минимизации внешних связей подсхем, либо, если электрические соединители модулей выбраны (заданы), чтобы число внешних связей не превысило число контактов соединителя;
- максимального заполнения отводимого конструктивного пространства (поверхности) модулями (компонентами) (по этой же причине компоненты не должны существенно отличаться между собой по габаритным размерам и массе);
- модули (компоненты) подсхем должны рассеивать приблизительно одинаковые мощности во избежание местных перегревов;

- модули (компоненты) подсистем не должны быть чрезмерно чувствительными к электрическим, магнитным и электромагнитным помехам и не должны создавать чрезмерных помех.

Соблюдение требований функциональной законченности покажем на примере разработки конструкции супергетеродинного приемника, состоящего из следующих подсистем: входной цепи, усилителя радиочастоты, преобразователя частоты, усилителя промежуточной частоты, детектора, усилителя звуковой частоты. При реализации конструкции радиоприемника каждый функциональный узел можно выполнить на отдельной плате и в то же время всю схему радиоприемника — на одной плате. В том и другом случае функциональная законченность будет иметь место, но во втором случае общее число внешних связей меньше, и надежность, если все прочие элементы схемы и конструкции одинаковы, окажется выше. Функциональная законченность будет отсутствовать, если на одной плате выполнена схема входной цепи и часть усилителя радиочастоты, а на другой плате — оставшаяся часть усилителя радиочастоты и преобразователь частоты. Функциональная законченность подсистем сокращает число межмодульных электрических соединений, позволяет вносить конструктивные изменения на более поздних стадиях проектирования, упрощает и удешевляет контроль модулей.

Модули высших уровней поставляются разработчикам ЭА в виде *базовых несущих конструкций* (БНК), которые представляют собой деталь или совокупность деталей, предназначенных для размещения, монтажа составных частей аппаратуры и обеспечения устойчивости ЭА в условиях внешних воздействий. Под БНК понимается стандартная несущая конструкция, служащая для разработки разнообразной ЭА определенного назначения.

Структурное образование конструктивных уровней для РЭА и ЭВА несколько отличается от структуризации ЭА, рассмотренной выше.

Так, для РЭА характерны следующие модульные уровни:

Нулевой уровень – это элементный базис (ЭГЭ и полупроводниковые элементы).

Переход на элементную базу МЭА (микроэлектронные изделия) позволило: 1) расширить возможности системного подхода; 2) распространить его на РЭА и на РЭС в целом; 3) снизить стоимость и массогабаритные характеристики при одновременном повышении надежности путем замены механических и электромеханических компонентов электронными (в микроэлектронном исполнении), использования элементов в интегральном исполнении с новыми свойствами (транзисторных пар, изготовленных в едином технологическом цикле, жидкокристаллических индикаторов и т. д.).

Первый уровень – функциональные узлы, модули и ИМС-ы ;

Второй уровень – блоки и стойки;

Третий уровень – полиблоки, шкафы и моноблоки.

Для ЭВА:

Нулевой уровень – ИМС;

Первый уровень – ячейки (типовой элемент замены – ТЭЗ);

Второй уровень – панель, субблок, блок;

Третий уровень – стойка и ЭВМ;
Четвёртый уровень – ЭВМ.

Стандартизация при модульном конструировании

Ускорение разработки и производства аппаратуры, увеличение ее серийности, снижение стоимости можно достигнуть унификацией, нормализацией и стандартизацией основных параметров и типоразмеров печатных плат, блоков, приборных корпусов, стоек, широким применением модульного принципа конструирования.

В основе стандартизации модулей и их несущих конструкций лежат типовые функции, свойственные многим электронным системам. Для использования при проектировании модульного принципа конструирования разработаны ведомственные нормалю и государственные стандарты, устанавливающие термины, определения, системы типовых конструкций модульных систем.

Конструкционная система прежде всего должна представлять многоуровневое семейство модулей с оптимальным составом набора, обеспечивающим функциональную полноту при построении аппаратуры определенного назначения. Все модули системы должны быть совместимы между собой по конструктивным, электрическим и эксплуатационным параметрам.

Базовым называется принцип конструирования, при котором частные конструктивные решения реализуются на основе стандартных конструкций модулей или конструкционных систем модулей (базовых конструкций), разрешенных к применению в аппаратуре определенного класса, назначения и объектов установки.

При разработке базовых конструкций должны учитываться особенности современных и, что более важно, будущих разработок. При этом частные конструктивные решения обобщаются, а основные свойства и параметры закладываются в конструкции, которые стандартизируются, поставляются и рекомендуются для широкого применения.

Базовые конструкции не должны быть полностью конструктивно завершенными, необходимо предусматривать возможность их изменения (в основном косметического характера) для создания модификаций аппаратурных решений. Иерархическое построение базовых конструкций с гибкой структурой и числом уровней не более четырех является вполне достаточным для разработки ЭА любой сложности.

При стандартизации параметры конструкций объединяются в *параметрические ряды*, характеризующиеся совокупностью числовых значений на основе принятых градаций и диапазонов. Если в качестве параметров ряда используют геометрические размеры конструкции, то говорят не о параметрических, а о *размерных рядах*. Оба вида рядов получили широкое распространение.

Оптимальными с позиций стандартизации следует считать ряды, обеспечивающие наибольший экономический эффект от их использования и *опе-*

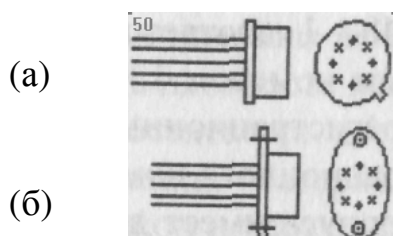
режающую стандартизацию, т. е. сокращение объема работ, связанных с пересмотром стандартов и их модернизацией (опережающая стандартизация позволяет увеличить сроки действия стандартов).

Модули нулевого уровня

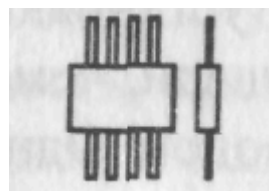
На низшем нулевом уровне конструктивной иерархии ЭА находятся МС. Корпуса МС служат для защиты помещенных в них полупроводниковых кристаллов, подложек и электрических соединений от внешних воздействий, а также для удобства при сборке и монтаже модулей первого уровня. Кристаллы или подложки МС приклеивают или припаивают к основанию корпуса, а выходные контакты подсоединяют к выводам корпуса пайкой или сваркой.

Корпуса микросхем бывают металлостеклянными, металлокерамическими, металлопластмассовыми, стеклянными, керамическими и пластмассовыми. В первых трех разновидностях корпусов крышка выполняется металлической, а основание — стеклянным, керамическим или пластмассовым. Металлическая крышка обеспечивает эффективную влагозащиту при хорошем отводе теплоты от кристалла, снижает уровень помех.

В пластмассовых и керамических корпусах крышку и основание выполняют из однородного материала. Основание корпуса соединяют с крышкой пайкой, сваркой или спайкой. Некоторые корпуса получают путем заливки формы корпуса пластмассой. На корпус МС наносится маркировка в соответствии с ее условным обозначением и выполняется нумерация выводов относительно *ключа* или *метки*. По форме проекции тела корпуса на установочную плоскость и расположению выводов корпуса делят на типы и подтипы (например, Перпендикулярное по окружности — расположение выводов относительно установочной плоскости, Круглая - форма проекции тела корпуса на установочную плоскость — к рис.(а); Перпендикулярное по окружности — расположение выводов относительно установочной плоскости, овальная - форма проекции тела корпуса на установочную плоскость — к рис.(б);



(в)



Параллельное по двум противоположным сторонам - расположение выводов относительно установочной плоскости, прямоугольная - форма проекции тела корпуса на установочную плоскость — к рис.(в)).

Для правильной установки МС на плату корпуса имеют ориентир (ключ), расположенный в зоне первого вывода (выводы нумеруются слева направо или по часовой стрелке со стороны расположения выводов). Ключ

делается визуальным в виде металлизированной метки, выемки или паза в корпусе, выступа на выводе и пр. В поперечном сечении выводы корпусов имеют круглую, квадратную или прямоугольную форму. Шаг между выводами составляет 0,625; 1,0; 1,25; 1,7 и 2,5 мм.

Типы корпусов микросхем подразделяются на типоразмеры, каждому из которых присваивается шифр, обозначающий тип корпуса и двузначное число порядкового номера типоразмера. Затем через точку указывается количество выводов корпуса. Например, корпус с 48 выводами и условным обозначением 4113.48—1 соответствует корпусу четвертого типа, 41-му подтипу с порядковым номером 13. Последняя цифра условного обозначения — порядковый регистрационный номер. Для МС в экспортном исполнении вместо регистрационного номера вводится латинская буква *E*.

Каждый тип корпуса имеет достоинства и недостатки. Корпус с *плоскими выводами* для установки и монтажа требует на печатной плате почти вдвое больше площади, чем тех же размеров корпус, но с ортогональным расположением выводов. Однако установка таких корпусов возможна с двух сторон платы. Жесткие *штыревые выводы* с ортогональной ориентацией относительно плоскости основания позволяют устанавливать микросхемы на плату без дополнительной поддержки даже при жестких вибрационных и ударных нагрузках. При совместной установке микросхем и ЭРЭ для упрощения монтажных работ следует рекомендовать корпуса со штыревыми выводами. Пластмассовые корпуса дешевы, обеспечивают хорошую защиту от механических воздействий, но хуже других типов корпусов защищают от климатических воздействий, перегрева.

Микросборки

Наивысшая плотность компоновки ЭА имеет место при использовании *бескорпусных* компонентов. Однако установка и монтаж последних непосредственно на печатной плате не обеспечивает высокой плотности компоновки из-за низкой разрешающей способности монтажа (на сегодняшний день возможности печатного монтажа практически исчерпаны). Введение в конструкцию промежуточного элемента — подложки — устранил этот недостаток.

Бескорпусные активные компоненты фиксируются клеем на подложке, на которой методом *тонко-* или *толсто пленочной* технологии выполняются проводники, контактные площадки цепей входа и выхода, пленочные *пассивные* компоненты. Подобные конструкции называют *микросборками*. Фактически микросборки представляют собой бескорпусные гибридные МС индивидуального применения. Интегральные микросхемы микросборок не обязательно должны быть согласованы по входу и выходу. Пассивная часть схемы микросборки обеспечит необходимую согласованность. По технологии производства микросборки не отличаются от гибридных микросхем, а по функциональной сложности и степени интеграции соответствуют БИС. В отличие от универсальных БИС, используемых в разнообразной аппаратуре,

микросборки разрабатывают под конкретную аппаратуру для получения высоких показателей ее *микроминиатюризации*, уменьшения потерь полезного объема аппаратуры. Хотя разрешающая способность толсто пленочной технологии ниже тонкопленочной, в ней сравнительно легко удается реализовать многослойные конструкции, повысить плотность компоновки.

Высокая насыщенность монтажа достигается использованием новых материалов и увеличением слоев коммутации. Материалом подложек микросборок могут быть некоторые виды стекол и керамики. Легкость получения гладких поверхностей и дешевизна являются основными преимуществами стекол. Однако низкая теплопроводность, препятствующая рассеиванию больших мощностей, хрупкость, трудность получения сложных форм подложек ограничивает их применение. Керамику отличает большая механическая прочность, лучшая теплопроводность, хорошая химическая стойкость, но и повышенная стоимость и относительно грубая поверхность.

В качестве материалов подложек используется ситалл (материал на основе стекла), поликор (керамика на основе окиси алюминия), гибкие полиимидные пленки. Размеры ситалловых подложек обычно не превышают 48x60 мм, поликоровых — 24x30 мм.

Для увеличения механической жесткости и тепловой стойкости гибкие пленки чаще всего фиксируют на пластине из алюминиевого сплава. Максимальные размеры таких подложек составляют 100x100 мм, плотность разводки 5 линий/мм (минимальная ширина и зазоры между проводниками по 0,1 мм), шаг внутренних контактных площадок 0,3.. 0,5 мм, внешних — 0,625 мм.

Модули первого уровня

При конструировании модулей первого уровня выполняются следующие работы:

- изучение функциональных схем с целью выявления одинаковых по назначению подсхем и унификации их структуры в пределах конкретного изделия, что приводит к уменьшению многообразия различных подсхем и, следовательно, номенклатуры различных типов ТЭЗ;
- выбор серии микросхем, корпусов микросхем, дискретных ЭРЭ;
- выбор единого максимально допустимого числа выводов соединителя для всех типов модулей (за основу принимают число внешних связей наиболее повторяющегося узла в наборе узлов изделия с учетом цепей питания и нулевого потенциала и 5... 10 %-ного запаса контактов на возможную модификацию);
- определение длины и ширины печатной платы. Ширина платы, как правило, кратна или равна длине соединителя с учетом полей установки и закрепления платы в модуле второго уровня. Требования по быстродействию и количество устанавливаемых на плату компонентов влияют на ее длину;
- собственно конструирование печатной платы;
- выбор способов защиты модуля от перегрева и внешних воздействий.

Широкое распространение получила плоская компоновка модуля, когда

компоненты схемы устанавливают в плоскости платы с одной или двух сторон. Для плоской компоновки характерна малая высота установки компонентов по сравнению с длиной и шириной платы. Простота выполнения монтажных работ, легкость доступа к компонентам и монтажу, улучшенный тепловой режим являются основными преимуществами плоской компоновки. Если для внешней коммутации модуля вводится соединитель, то подобную конструкцию называют ТЭЗ.

При большом числе внешних цепей на ТЭЗ устанавливают несколько соединителей, располагающихся на одной или нескольких сторонах платы.

В блоках транспортируемой аппаратуры печатные платы модулей, как правило, закреплены жестко на несущей конструкции. Модули первого уровня коммутируются между собой приборными соединителями печатного монтажа, непосредственной подпайкой проводов к монтажным отверстиям плат, с использованием переходных штырьков и колодок.

Соединители обеспечивают наиболее быструю и легкую замену модулей и бывают прямого и косвенного сочленения.

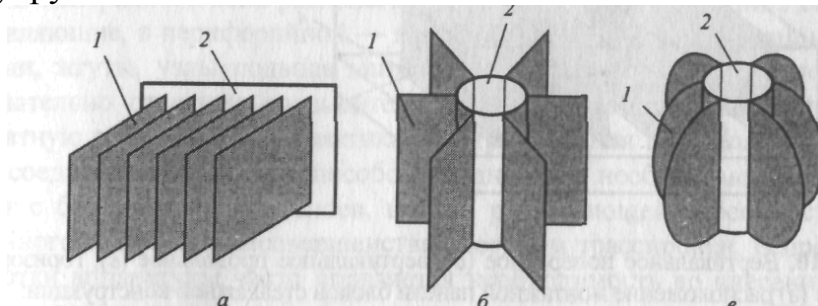
При конструировании печатных плат необходимо решать задачи:

- выбора проводниковых и изоляционных материалов, формы и размеров печатных плат, способов установки компонентов;
- определения ширины, длины и толщины печатных проводников, расстояний между ними, диаметров монтажных и переходных отверстий, размеров контактных площадок;
- трассировки печатного монтажа;
- оформления конструкторской документации.

Модули второго уровня

К модулям второго уровня относятся *блоки* различных видов.

Возможные компоновочные формы блоков: параллелепипед, цилиндр, сфера. При одинаковых физических объемах блоков сферическая форма обеспечивает минимальную длину линий связей. Однако форма ТЭЗ в виде полукруга не является технологичной.



При конструировании блоков ЭА применяют стеллажный, этажерочный и книжный варианты конструкций в форме параллелепипеда в негерметичном и герметичном исполнении.

Блоки стеллажного типа компонуются из ТЭЗ, которые устанавливаются в один или несколько рядов перпендикулярно монтажной панели. Основным

конструктивным элементом блока является каркас с монтажной панелью и соединителями. В зависимости от ориентации в пространстве монтажной панели существуют три разновидности компоновочных схем блоков.

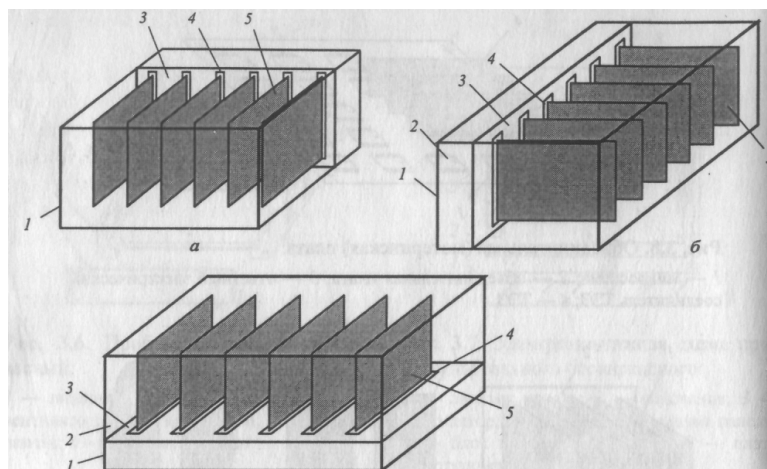


Рис.2.4. Вертикальное поперечное (а), вертикальное продольное (б), горизонтальное (в) расположение монтажной панели блоков стеллажной конструкции: 1 — каркас; 2 — лицевая панель; 3 — монтажная панель; 4 — соединитель; 5 — ТЭЗ

Блоки с защитными кожухами и крышками являются самостоятельными изделиями (приборами) и в таком виде эксплуатируются. Обычно на переднюю панель прибора настольного типа устанавливают элементы индикации, измерительные узлы, элементы управления (кнопки, тумблеры и т. п.), электрические соединители. Элементы управления и соединители, не требующие частого доступа, а также предохранители выносят на заднюю панель. При компоновке изделий необходимо обеспечить свободный доступ к электрическим соединителям монтажных панелей для контроля и к ТЭЗ для их замены. Если монтажная панель ориентирована горизонтально, крышку и поддон прибора необходимо выполнять съемными, если вертикально — лицевую и заднюю панели нужно делать съемными или откидными.

При комплектации блоками рам и стоек шкафового типа в конструкцию блоков не вводят кожухи или крышки. При значительной длине ТЭЗ (например, кассетной конструкции из нескольких плат) блок с вертикальным поперечным расположением монтажной панели можно устанавливать непосредственно в стойку.

Конструктивное исполнение блоков весьма разнообразно, но у всех блоков можно отметить обязательное наличие монтажной панели (шасси), каркаса, направляющих и элементов фиксации в модуле высшего уровня. Упростить проектирование, контроль, наладку аппаратуры, а также получить функционально законченные блоки высокой плотности компоновки возможно при разработке нескольких блоков конструкционной системы на разное число ТЭЗ. Для этого разрабатывают несколько типоразмеров основных базовых деталей блоков и, в первую очередь, монтажных панелей.

Направляющие вводятся в конструкции для быстрого сочленения ТЭЗ с ответными частями соединителей без заклинивания, зажима или перекоса,

поддержки платы ТЭЗ при ударах и вибрациях, создания пути для кондуктивного отвода теплоты. Для входа и перемещения платы в направляющих по краям платы предусматривают свободную от печатного монтажа зону шириной 2—3 мм. Длина направляющих зависит от длины платы ТЭЗ. Различают коллективные направляющие, предназначенные для установки одновременно нескольких ТЭЗ, и индивидуальные.

В качестве конструкционных материалов направляющих используется пластмасса и металл.

Кроме рассмотренных компоновочных схем блоков возможны различные их комбинации. Например, блок состоит из двух *субблоков*, объединенных в книжную или откидывающуюся конструкцию, а каждый субблок имеет стеллажную или этажерочную компоновку.

Ориентация и расстояния между платами ТЭЗ зависят от технических требований на аппаратуру, теплового режима, характера и направлений внешних воздействий. Выбор варианта конструкции диктуется производственными и техническими требованиями на основе анализа основных определяющих факторов. Производственные условия рекомендуют применять однотипные конструкции ТЭЗ, элементов несущих конструкций, фиксации, крепления, монтажа.

В зависимости от сложности ЭА и возможностей объекта эксплуатации в герметичный корпус блока устанавливают один или несколько пакетов модулей первого уровня. Компактные герметичные блоки могут размещаться в любом месте объекта эксплуатации, что является преимущество подобной компоновки, но при этом возрастают длины электрических соединений между блоками. Установка блоков на специально вводимую несущую конструкцию (раму) позволяет разместить блоки компактно в одном месте уменьшить длины связей, но масса аппаратуры увеличивается за счет рам.

Необходимо отметить, что в каждом конкретном случае выбор конструктивного исполнения блока решается комплексно и, в первую очередь, с учетом ограничений, накладываемых объектом эксплуатации.

Модули третьего уровня

Модуль третьего уровня конструктивной иерархии — шкафовая стойка, стойка, шкаф — предназначен для установки и коммутации блоков или рам и обеспечения их работоспособности в составе ЭА.

Конструктивной основой любой стойки является каркас, обычно изготавливаемый из стального уголкового профиля или труб прямоугольного или квадратного сечений, использование которых по сравнению с уголковым профилем позволяет снизить материалоемкость конструкций. Чаще всего каркас стойки выполняется цельносварным.

Установку и закрепление блоков на каркасе стойки, минуя раму, используют, если ТЭЗ имеет длину, позволяющую полезно использовать всю глубину стойки (глубина стойки, как правило, варьируется в пределах 600...800 мм). Однако при конструировании ЭА на МС печатная плата ТЭЗ может

иметь существенно меньшие размеры. При малой Длине платы и установке блоков непосредственно в стойку возникает необходимость в использовании стоек малой глубины, которые при механическом воздействии могут легко упасть. Предотвратить этот недостаток возможно:

- искусственным увеличением глубины стойки и площади опоры, что приведет к потерям объема стойки и уменьшению плотности компоновки аппаратуры — одного из основных показателей конструкции;
- жестким закреплением основания стойки на объекте эксплуатации;
- использованием блоков с вертикальным продольным расположением монтажной панели, позволяющим размещать ТЭЗ по всей глубине стойки;
- установкой рам в стойку.

Компоновка стоек вставными разъемными блоками широко используется при конструировании транспортируемой (бортовой) аппаратуры и стоек электропитания. Внешняя коммутация блоков осуществляется приборными или приборно-кабельными соединителями, обеспечивающими быструю замену блоков. Введение приборно-кабельного соединителя обеспечивает работу ЭА при частично выдвинутом или удаленном из стойки для контроля блоке, но приводит к увеличению длин соединений и, как следствие, понижению быстродействия.

Часто в одной и той же стойке размещаются неразъемные и разъемные вставные блоки. Первые, как правило, осуществляют обработку информации, а вторые — охлаждение и снабжение электропитанием блоков обработки информации.

Шкафная стойка рамной конструкции комплектуется из блоков, глубина которых во много раз меньше глубины каркаса стойки. В этом случае блоки устанавливают в промежуточную конструкцию — раму. В стойке размещают несколько рам. Количество рам зависит от глубины стойки и рамы. Глубина рамы несколько больше глубины устанавливаемых в стойку блоков (с учетом объема межблочной коммутации). В единую конструкцию рамы объединяются каркасом стойки.

Рама в стойке служит для установки и коммутации неразъемных и разъемных вставных блоков.

При числе рам в стойке больше трех одна из рам жестко закрепляется на каркасе, остальные выполняются выдвижными и поворачивающимися вокруг подвески.

Коммутацию в стойке рам между собой удобно выполнять плоским объемным или печатным жгутом. Для этой цели со стороны подвески рам на боковой поверхности устанавливают соединители внешней коммутации. Эти же соединители на неподвижной раме можно использовать для межстоечной коммутации. В качестве дополнительных соединителей внешней коммутации можно рекомендовать крайние соединители ТЭЗ блоков.

ТЕМА 3. Ограничения при конструировании

3.1. Состав исходных данных на конструирование РЭА

Разработка ТЗ на изделие и частных ТЗ на разработку конструкции составных частей изделия выполняется в предпроектный период во время научно-исследовательской работы (НИР).

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

Техническое задание выполняется на основе исходного документа — заявки на разработку. В заявку на разработку входят исходные данные: назначение изделия, предполагаемый изготовитель, ориентировочная потребность в изделии, стоимость разработки и сроки, технико-экономическое обоснование, основные требования и условия эксплуатации. При разработке технического задания эти данные получают существенное развитие, перекрестную оценку специалистов различных служб в процессе согласования с ними текста ТЗ.

Особое место в ТЗ занимает раздел технических требований. Он обычно содержит десять подразделов:

Подраздел 1 «Состав изделия и требования к конструктивному устройству» приводятся, как правило, восемь пунктов:

- 1) наименование, число и назначение основных частей;
- 2) конструкторские требования (габаритные, установочные, присоединительные размеры и др.); 3) масса; 4) требования по охране окружающей среды; 5) требования взаимозаменяемости; 6) требования устойчивости к моющим средствам; 7) требования помехозащищенности и предотвращения помех, влияющих на расположенные рядом устройства; 8) требования к ЗИП по виду (одиночный или групповой) и составу.

Подраздел 2 «Показатели назначения» указываются радиотехнические параметры функционирования: мощность, чувствительность, разрешающая способность и др.

Подраздел 3 «Требования надежности» включает в себя требования долговечности, безотказности, сохраняемости и ремонтпригодности.

Подраздел 4 «Требования технологичности» регламентирует показатели технологичности производственной и эксплуатационной (по ремонту, техническому обслуживанию).

Подраздел 5 «Требования к уровню унификации и стандартизации» устанавливаются минимальные показатели, которые должны быть достигнуты в конструкции.

В *подразделах 6, 7 и 8* указываются требования безопасности, эстетические и эргономические требования, требования к патентной чистоте. В последнем случае приводят перечень стран, в отношении которых эта чистота должна быть соблюдена.

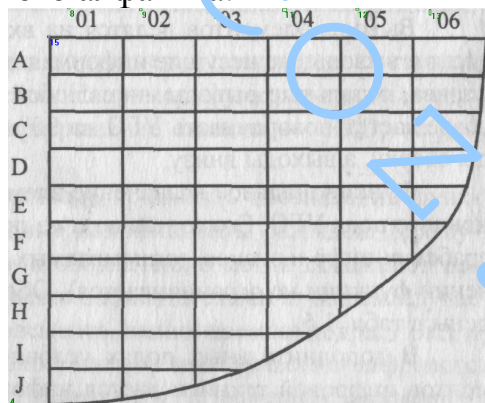
В подразделе 9 «Условия эксплуатации» должны быть предусмотрены следующие пункты: 1) условия эксплуатации, в которых конструкция должна сохранять работоспособность; 2) допустимые кратковременные воздействия климатических факторов; 3) механические воздействия; 4) виды обслуживания (постоянное или периодическое, необслуживаемое использование), необходимое количество и квалификация персонала.

Раздел 10 «Указания к упаковке, транспортированию и хранению» содержит перечень допустимых транспортных средств, условия и сроки хранения.

Кроме технических требований, в ТЗ устанавливаются экономические, производственные и другие требования, определяются необходимые для данного случая стадии разработки. Отдельные проектные стадии могут не назначаться, если конструкция несложна или если проводится модернизация, не связанная с принципиальными изменениями. В ТЗ обязательно оговариваются сроки прохождения стадий, объем финансирования, состав комплекта КД (ГОСТ 15.001—73).

3.2. Особенности выполнения схем. Условные графические обозначения на схемах для ЭА

При большой графической насыщенности чертежей схем допускается делить поле листа на колонки, ряды, зоны или применять метод координат. При делении листа на зоны (рис. 3.1) колонки обозначают по верхней кромке листа слева направо порядковыми номерами с постоянным количеством знаков в номере (00,01,02,..., 10, ...,20), а ряды — по вертикали сверху вниз прописными буквами латинского алфавита.



Ширину колонки принимают равной ширине минимального основного УГО элемента, а высоту ряда — основной минимальной высоте УГО. Обозначение зоны состоит из обозначения ряда и обозначения колонки, например, C03, K12. Электрические связи с входными выводами показывают входящими линиями листа схемы, начиная с левой стороны или сверху листа. Связи с выходными выводами показывают исходящими линиями, заканчивая их на правой стороне или внизу листа.

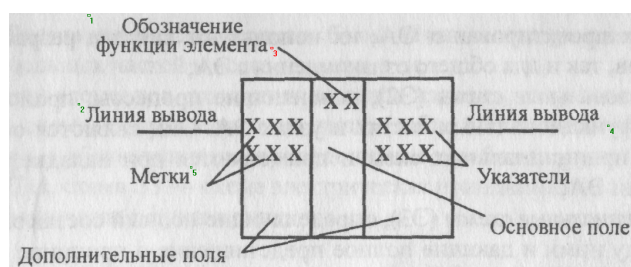


Рис. 1.4. УГО логического элемента

УГО элементов строятся на основе прямоугольника. В общем виде УГО может содержать основное и два дополнительных поля (рис. 3.2). Размер прямоугольного поля по ширине зависит от наличия дополнительных полей и числа помещенных в них знаков (меток, обозначения функций элемента), по высоте — от числа выводов, интервалов между ними и числа строк информации в основном и дополнительных полях. Согласно стандарту ширина основного поля должна быть не менее 10 мм, дополнительных — не менее 5 мм (при большом числе знаков в метках и обозначении функций элемента эти размеры соответственно увеличивают), расстояние между выводами — 5 мм, между выводом и горизонтальной стороной обозначения — не менее 2,5 мм и кратно этой величине. При разделении групп выводов интервалом величина последнего должна быть не менее 10 мм и кратно 5 мм.

Выводы элементов делятся на входы, выходы, двунаправленные выводы и выводы, не несущие информации. Входы изображают слева, выходы справа, остальные выводы — с любой стороны УГО. При необходимости разрешается поворачивать УГО на 90° по часовой стрелке, располагая входы сверху, а выходы внизу.

Функциональное назначение элемента указывают в верхней части основного поля УГО. Его составляют из прописных букв латинского алфавита, арабских цифр и знаков, записываемых без пробела (число знаков в обозначении функции не ограничивается). Обозначения основных функций приведены в табл. 3.1.

В дополнительных полях условного графического обозначения элементов цифровой техники дается информация о функциональных назначениях выводов, указатели, метки (табл. 3.2).

Таблица 3.1. Обозначения основных логических элементов

Наименование функции	Обозначение	Наименование функции	Обозначение
И	&, И	Регистр	RG
ИЛИ	1	Регистр со сдвигом вправо	RG →
Сложение по модулю 2	M2	Регистр со сдвигом влево	RG ←
Эквивалентность	=		
Исключающее	-1	Регистр с реверсным	

ИЛИ « <i>n</i> и только <i>n</i> »		сдвигом	RG ↔
Логический порог	$\geq n$	Одновибратор	S
Мажоритарность	$\geq M$	Пороговый элемент	TH
Дешифратор	DC	Формирователь сигнала	F
Шифратор	CD	Вычислитель	CP
Сравнение	--	Процессор	P
Полусумматор	HC	Память	M
Сумматор	SM	Управление	CO
Монтажное И	&, $\diamond$	Перенос	CR
Монтажное ИЛИ	1, $\diamond$	Прерывание	INR
Кодовый преобразователь	X/Y	Передача	TF
Триггер	T	Прием	RC
Триггер двухступенчатый	TT	Ввод-вывод	IO
Счетчик:	CT	Арифметика	A
двоичный	CT2	Мультиплексор	MUX
десятичный	CT10	Демльтиплексор	DMX
Задержка	DL	Селектор	SL
Генератор	G	Дискриминатор	DIC или
Усилитель	$\triangleright$	Ключ	SW
Усилитель мощности	$\triangleright \triangleright$	Нелогический элемент	*

Для указания сложной функции допускается построение составной метки, образованной из основных меток. Например, функция «данные контрольные» отображается как DSO, «разрешение записи» — ERD «строб считывания» — RDM.

Допускается в качестве меток вывода применять обозначения функции, порядковый номер, а также весовые коэффициенты разрядов. Для нумерации разрядов в группах выводов к обозначению метки добавляют номера разрядов. Позиционное обозначение элемента схемы в общем случае состоит из вида, номера и функции элемента, записываемых подряд. Вид и номер элемента являются обязательной частью его буквенно-цифрового обозначения и присваиваются всем элементам и устройствам. Буквенные коды групп элементов схем приведены в табл. 3.3.

Таблица 1.6. Обозначение выводов

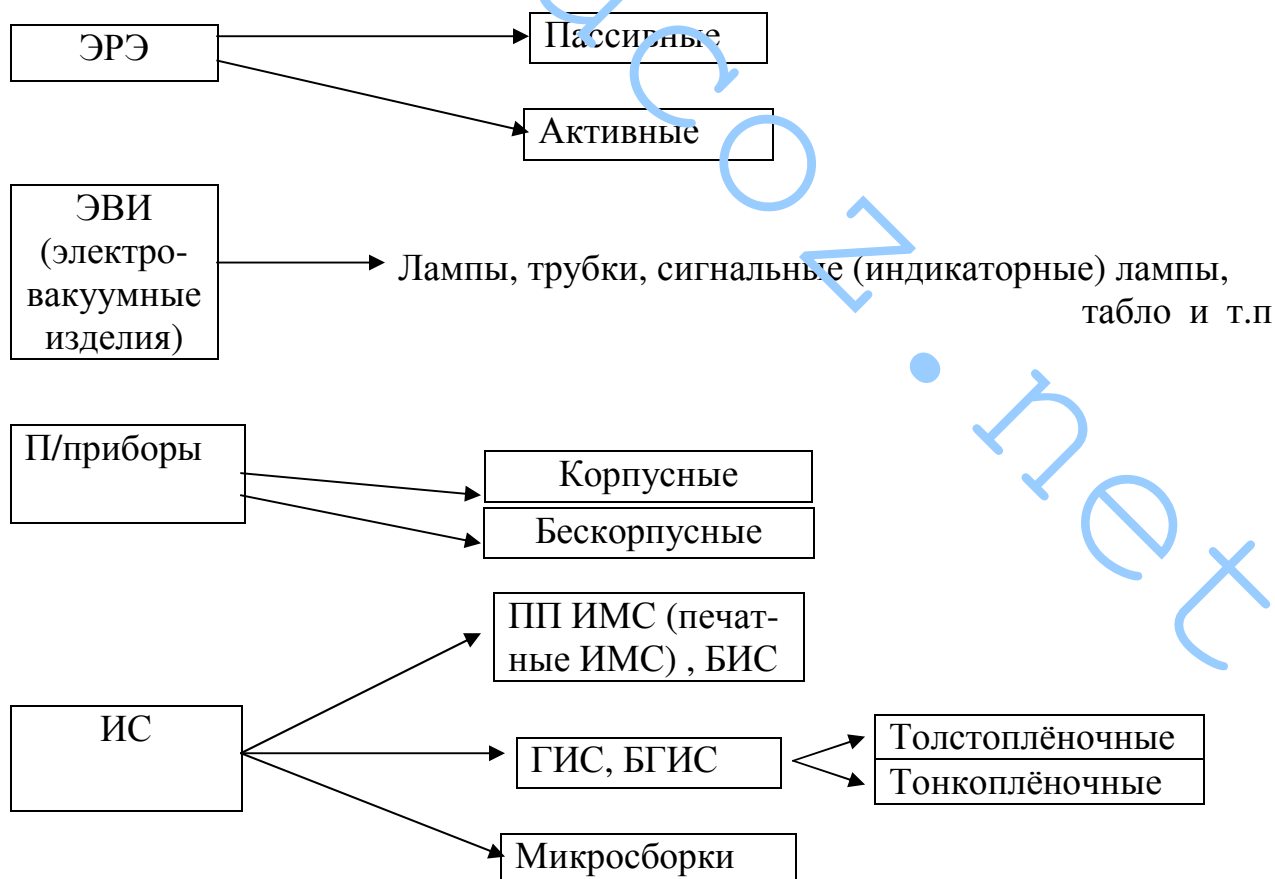
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Установка:		Считывание	RD
в состояние «л»	S_n	Условный бит (флаг)	FL
в состояние «1»	S	Условие	CC

в состояние «0» сброс	R SR	Шина Инверсия Байт	B IN BY
Разрешение уста- новки уни- версального RS- триггера:		Бит	BIT
в состояние «1»	S	Запрет	DE
в состояние «0»	R	Буфер	BF
сброс	SR	Выбор	SE
Разрешение установки JK- триггера:		Готовность	RA
в состояние «1»	J	Данные	D
в состояние «0»	K	Заем	BR
Адрес	A	Запись	WR
Перенос	CR	Запрос	RQ
Переполнение	OF	Знак	SI
Повтор	RP	Конец	END
Приоритет	PR	Команда	INS
Пуск	ST	Контроль	CH
Разрешение	E	Маркер	MR
Расширение	EX	Младший	LSB
Сдвиг	→ > ← <	Начало	BG
Синхронизация	SYN	Эмиттер:	
Строб, такт	C	общее обозначение	E
Ожидание	WI	MPN	E → или E >
Ответ	AN	RNF	E ← или E <
Вывод питания от источника напря- жения	U	Газа	B
Указатель питания цифровой части - элемента	U#	Вывод для подклю- чения:	
Коллектор	K	ёмкости резистора индуктивности	C R L
		Вывод с состоянием высокого импедан- са	◇ или L
Состояние Средний Старший	SA ML MSB	Открытый вывод	◇ или R

Таблица 3.3. Буквенные коды групп элементов

Группа видов элементов	Первая буква кода	Группа видов элементов	Первая буква кода
Схемы интегральные, микросборки	D	Конденсаторы	C
Элементы разные	E	Резисторы	R
Предохранители	F	Приборы электро-вакуумные	V
Приборы измерительные	P	Катушки индуктивности, дроссели	L
Устройства коммутационные	S	Реле	K
Трансформаторы	T	Устройства индикационные и сигнальные	H
Соединители контактные	X	Генераторы	G

3.3. Современная элементная база



ИЭПА (изделия
электропривода
и автоматики)

Примеры.....

КИП (кон-
трольно-
измерительные
приборы)

Примеры.....

ЭРИ

КИ (коммутационные изделия): соединители, пере-
ключатели и пр.)

МПК (микропроцессор-
ные комплексы)

волокон-оптические ка-
бели с соединителями

На данный момент существует 6 степеней интеграции ИМС:

- ИС 1: микросхема, содержащая до 10 элементов и компонентов включительно;
- ИС 2: от 10 до 100 элементов и компонентов включительно;
- ИС 3: от 100 до 1000...; - ИС 4: от 1000 до 10 000...;
- ИС 5: от 10 000 до 100 000...; - ИС 6: от 100 000 до 1 000 000....

Классификация ПП ИМС по функциональному назначению:

1. генераторы;
2. детекторы;
3. коммутаторы и ключи;
4. логические элементы;
5. многофункциональные схемы;
6. модуляторы;
7. наборы элементов;
8. преобразователи;
9. схемы вторичных источников питания;
10. схемы задержки;
11. схемы селекции и сравнения;
12. триггеры;
13. усилители;

- 14.фильтры;
- 15.формирователи;
- 16.элементы запоминающих устройств;
- 17.элементы арифметических и дискретных устройств.

Самостоятельно: Рассмотреть и привести примеры по видам.

Ряд отдельных функциональных ИМС образуют серию, из которых можно построить законченное РЭУ.

Например, есть серии специальных ИМС, используемых в специфичных условиях или спец. назначения.

Самостоятельно: Условные обозначения ИМС, корпусов ИМС.

Устно и без записи объяснить следующие пункты:

Роль элементной базы в обеспечении надёжности и микроминиатюризации РЭА;

Выбор элементной базы при решении задачи повышения качества РЭА и ЭА.

3.4. Микроминиатюризация и компоновочные размеры – габариты и масса

Основные положения микроминиатюризации, способы её достижения и влияние её на качество и надёжность РЭА были рассмотрены в темах 1 и 2, а компоновочные размеры рассмотреть самостоятельно (Справочник конструктора РЭА, Варламов)

3.5. Стандартизация. Категории и классы стандартов

Стандартизация устанавливает обязательные нормы на параметры продукции, производственные процессы, НТД при проектировании изделий; обеспечивает повышение качества продукции, однородность, взаимозаменяемость, унификацию и снижение трудоёмкости производства.

Основные положения стандартизации изложены в ГОСТ 1.0 - 68.

Согласно Единой Государственной Системе Стандартизации (ЕГСС) стандарты делятся на 3 категории:

ГОСТы (гос. общесоюз. стандарты) – утверждаются комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров РФ.

РСТ – утверждаются Советами Министров союзного значения. Распространяются на виды продукции, выпускаемые предприятиями союзно-республиканского и местного подчинения союзной республики.

ОСТы (отраслевые стандарты) – утверждаются соответствующими министерствами, являющимися ведущими в производстве данного вида продукции. Распространяются на предприятия конкретной отрасли, для изделий

унифицированных в конкретной отрасли. Имеются также межотраслевые системы стандартов.

СТП (стандарты предприятий) – утверждаются руководством предприятий. Распространяются на конкретном предприятии, для изделий унифицированных на данном предприятии, могут ограничивать применяемость материалов и комплектующих изделий.

За внедрением, соблюдением и внесением изменений в стандарты следит специальная служба – государственный надзор. Положение о госнадзоре изложено в Инструкции РД 50-110-80.

Примеры межотраслевых систем стандартов (классы):

ЕСТД и ЕСКД; ЕСЗКС – един. сис. защиты от коррозии и старения материалов изделий; ЕССП – ед. сис. стандартов в приборостроении; ССЭТЭ – сис. стандартов эргономики и технич. эстетики и другие.

Международная система стандартов

ISO - крупнейшая международная организация по стандартизации.

Высший орган – Генеральная Ассамблея, имеет 4 основных комитета:

- исполнительный (ISO/исполком);
- комитет по изучению научных принципов по стандартизации (ISO/СТАКО);
- комитет помощи развивающимся странам (ISO/ ДЕВКО);
- аттестационный комитет (ISO/СЕРТИКО) и свыше 150 технических комитетов(ТК), которые разрабатывают рекомендации и стандарты.

Членами ISO являются свыше 70 стран мира. РФ выполняет функции секретариата в более чем 20 ТК.

В ISO в качестве ее электротехнического отдела входит Международная электротехническая комиссия (МЭК) – она содействует унификации стандартов в области электротехники, радиотехники и электроники.

САМОСТОЯТЕЛЬНО: Разобрать способы стандартизации: типизации; унификации; агрегатирования. Показатели уровня стандартизации, унификации и типизации. [Савровский, Проектирование ТП РЭА, МИРЭА, 1979 г].

3.6. Технологичность конструкции

Раздел не будет рассматриваться так как он в полной мере изучается на дисциплине «Технология производства РЭС».

3.7. Климат и климатические зоны.

Климат – характерная для данной области (региона) на поверхности земли совокупность типичных изменений атмосферных процессов, обуславливаемых географическими координатами, уровнем солнечной радиации, строением земной поверхности, вертикальным теплообменом и прочими определяющими метеорологическими факторами за длительное время (20-30 лет).

В зависимости от размеров пространства земной поверхности различают макро-, мезо- и микроклимат.

Макроклимат определяется географическими координатами, положением по отношению к океану, большими горными массивами и регулярными циркуляциями воздуха.

Мезоклимат определяется местными влияниями (изменение рельефа поверхности, влияние рек или озёр).

Микроклимат определяется локальным изменением климатических факторов в малых объёмах.

Основными климатическими факторами внешней среды являются:

- температура;
- относительная влажность воздуха, его плотность и движение;
- наличие твёрдых и газообразных примесей (пыль, песок, активные вещества);
- атмосферное давление;
- солнечная радиация;
- биологические: грибковые образования (плесень), микроорганизмы (насекомые и грызуны);
- осадки (туман, дождь, град, снег, иней, соляной туман).

По ГОСТ 15150-69 различают 6 макроклиматических районов:

1. умеренный – У ($t^{\circ}\text{C} = +40 \div -45^{\circ}\text{C}$);
2. холодный – ХЛ ($t^{\circ}\text{C} > -45^{\circ}\text{C}$);
3. влажный тропический – ТВ ($t^{\circ}\text{C} \geq 20^{\circ}\text{C}$ при влажности $\geq 80\%$ 12 или более часов в сутки непрерывно в течение 2-12 месяцев в году);
4. сухой тропический – ТС ($t^{\circ}\text{C} > +40^{\circ}\text{C}$);
5. умеренно холодный морской – М;
6. тропический морской – ТМ.

Классификация климатического исполнения РЭА по макроклиматическим зонам:

- Т – тропическое исполнение – наземная РЭА для районов ТВ и ТС;
- О – наземная РЭА для всех районов;
- ОМ – морская РЭА с неограниченными районами плавания;
- В – пригодная для всех районов на суше и на море.

Территория РФ поделена на 4 климатические зоны:

I – суровая и длительная зима со среднемесячной температурой $-32\div+21^{\circ}\text{C}$;

II – умеренная зима $t^{\circ}\text{C} = -14\div +21^{\circ}\text{C}$;

III – континентальный климат с холодной зимой, жарким летом большая солнечная радиация, $t^{\circ}\text{C} = -20\div +25^{\circ}\text{C}$;

IV – жаркое лето, большая солнечная радиация и среднемесячная $t^{\circ}\text{C} = -15\div +28^{\circ}\text{C}$.

САМОСТОЯТЕЛЬНО:

1. Влияние КФВС (климатических факторов внешней среды) на аппаратуру. [Преснухин стр. 4-7]
2. Категории размещения на объекте [Гель стр.24-25].

3.8. Механические воздействия на РЭА. Классификация объектов размещения РЭА и связанных с ними механических воздействий. Пути обеспечения совместимости РЭА и объекта установки по механическим воздействиям при проектировании.

Механические воздействия и их классификацию изучить САМОСТОЯТЕЛЬНО [Варламов стр.71-74; Ненашев стр. 222-227]

Классификация объектов размещения РЭА и связанных с ними механических воздействий.

Характер и интенсивность воздействия климатических, механических и радиационных факторов зависят от тактики использования и объекта, на котором эксплуатируется ЭА. По виду объекта установки ЭА можно разделить на три большие группы: стационарные, транспортируемые и портативные. Государственные стандарты классифицируют ЭА в зависимости от условий эксплуатации и вида объекта установки на стационарные, портативные и транспортируемые, а также на группы.

Стационарная ЭА — это аппаратура, эксплуатируемая в отапливаемых и неотапливаемых помещениях, бункерах, подвалах, помещениях с повышенной влажностью, на открытом воздухе, в производственных цехах (ЭА 1-й 2-й групп). Условия эксплуатации и транспортирования такой аппаратуры характеризуются весьма широким диапазоном рабочих ($-50\ldots+50^{\circ}\text{C}$) и предельных ($-50\ldots+65^{\circ}\text{C}$) температур, влажностью до 90...98 %, вибрацией до 120 Гц при 4...6 г, наличием многократных (до 5 %) и одиночных (до 75%) ударов, воздействием дождя до 3 мм/мин и соляного тумана с дисперсностью капель до 10 мкм и содержанием воды до 3 г/м³.

Транспортируемая ЭА — это аппаратура, устанавливаемая и эксплуатируемая на автомобилях и автоприцепах, железнодорожном и гусе-

ничном транспорте, на судах различных классов (ЭА 3-, 4- и 5-й групп), на борту самолетов, ракет, космических аппаратов искусственных спутников Земли (бортовая ЭА — 8-я группа). Специфика работы этого вида аппаратуры предопределяет повышенное воздействие механических факторов. Каждый вид транспорта имеет собственные вибрационные характеристики. Для предупреждения повреждения такой ЭА необходимо, чтобы вся она и отдельные ее части имели собственные частоты колебаний вне диапазона частот вибрации того транспортного средства, на котором машина эксплуатируется или перевозится.

На ЭА, установленную на *автомобильном транспорте*, могут воздействовать вибрация частотой до 200 Гц и удары, вызванные неровной дорогой. При движении *железнодорожного транспорта* возможны внезапные толчки, как следствие изменения скорости движения (при маневрировании возникают удары с ускорением до 40 g). Биение колес о стыки рельсов вызывают вибрацию с частотой до 400 Гц при ускорении до 2 %. Особо жестким воздействиям подвергается конструкция ЭА, эксплуатируемая на *гусеничном транспорте* (танках, транспортерах, самоходной артиллерии, тракторах). Здесь вследствие «стука» гусениц частота вибраций может достигать до 7000 Гц с амплитудой $\pm 0,025$ мм. Удары, вызванные неровной дорогой, отдачей орудия при выстреле, попаданием снаряда в корпус, могут быть большой силы и сопровождаться вибрацией. Кроме того, постоянно воздействие акустического шума с уровнем до 150 дБ.

Если ЭА установлена непосредственно на *орудийной площадке*, то наибольшую опасность для нее представляет ударная волна — главная причина толчков и вибраций. Величина сообщаемых ударной волной вибраций¹¹ Ударов зависит от массы и поверхности корпуса ЭА. Чем больше масса и поверхность корпуса ЭА, тем эффект действия ударной волны меньше.

ЭА в *морском исполнении* устанавливаются на больших сравнительно тихоходных кораблях, малых быстроходных судах, подводных лодках, а также орудийных площадках береговой артиллерии. Характерными условиями работы таких машин является наличие вибраций, ударных нагрузок и агрессивной (морской) атмосферы.

Вибрация на судне вызывается работой винтов, гребного вала, главного и вспомогательного двигателей и гидродинамическими силами, возникающими при движении судна по неспокойному морю. Диапазон частот вибраций на кораблях сравнительно невелик и обычно не превышает 25 Гц. Амплитуда вибраций также невелика, величина ее зависит от места расположения. Так, на крейсере наибольший уровень вибраций приходится на кормовую часть: частота 0...25 Гц с амплитудой до 25 мм. На более мелких судах, например на сторожевом корабле, больший уровень вибраций характерен для носовой части: частота до 1000 Гц с амплитудой до 1 мм.

Морской воздух, окружающий ЭА, установленную на корабле, содержит много различных активных веществ, постоянно влияющих на ее работоспособность. Поэтому ЭА этого класса должны обладать высокой коррозионной стойкостью, плеснестойкостью, водо- и брызгозащищенностью.

Бортовая ЭА устанавливается на самолетах, вертолетах и ракетах различного класса, управляемых снарядах, искусственных спутниках Земли (ИСЗ) и космических аппаратах. На самолетах электронная аппаратура находится, как правило, в фюзеляже. При этом на нее воздействуют вибрационные нагрузки частотой до 500 Гц с амплитудой до 10 мм, и акустический шум, уровень которого достигает 150 дБ при частоте 50... 10000 Гц.

Аппаратура, устанавливаемая на борту ракет различных классов и назначения, находится в наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения воздействия вибраций, ударов и ускорений. Вибрации ракет в полете носят очень сложный характер, определяемый совместным воздействием работающего ракетного двигателя и аэродинамических эффектов. Характер вибраций обычно беспорядочный, и поэтому она охватывает широкий диапазон частот. Например, мощные ракетные двигатели, работающие на жидком топливе, имеют частотный диапазон вибраций в несколько сотен герц. С уменьшением мощности двигателя частота вибраций увеличивается и может доходить до нескольких тысяч герц. Поэтому на вычислительную аппаратуру, установленную, например, на борту ИСЗ, при доставке на орбиту воздействие вибраций происходит на всем диапазоне частот.

Наибольшее воздействие на ЭА оказывают вибрации двигателей малых ракет на твердом топливе, а также больших двигателей на жидком топливе. Частота вибраций составляет 2500 Гц при ускорениях до 20 g. Характер таких вибраций синусоидальный. В момент запуска ракеты и при ее полете на бортовую аппаратуру воздействует акустический шум, уровень которого достигает 150 дБ. Акустический шум малых ракет максимален в момент старта.

Ускорение, развиваемое двигателем больших ракет на жидком топливе, обычно не превышает 15 g. Максимальное ускорение ракет, находящихся на управляемой орбите, не превышает 10 g, а малых ракет на твердом топливе — 50 g. Атмосферное давление в негерметизированной аппаратуре в процессе движения ракеты изменяется от нормального до практически нулевого значения. Большим изменениям подвергаются окружающая температура, содержание влаги и вредных веществ в атмосфере.

Портативная ЭА (6- и 7-я группы) включает микрокалькуляторы, ЭВМ типа «ноут-бук», специализированные вычислители, находящиеся в распоряжении геолога, топографа, строителя, солдата и офицера армии и др. Сюда же можно отнести переносную радиоприемную и радиопередающую аппаратуру, небольшую медицинскую технику и т.д. Небольшие габариты, малая мощность потребления, высокая надежность и сравнительно небольшая стоимость делают этот класс аппаратуры незаменимым для проведения расчетов, не требующих сложного программирования, осуществления экспериментов и исследований и т. д.

Условия работы портативной ЭА должны соответствовать зоне комфорта человека, которая характеризуется температурой окружающей среды 18...24 °С, уровнем акустического шума 70...85 дБ, влажностью 20...90 % и высотой над уровнем моря до 3000 м. Если температура становится меньше -17 °С или выше +43,5 °С, уровень шума достигает 120 дБ, влажность со-

ставляет меньше 1 %, а высота над уровнем моря больше 6000 м, то считается, что такие условия превышают физиологические возможности человека, и он может в них существовать единицы или десятки минут.

Физические возможности человека ограничивают максимально допустимой массой переносимой им аппаратуры. С этой точки зрения портативная аппаратура делится на легкую (до 29 Н для мужчин и до 16 Н для женщин), среднюю (соответственно до 147 Н и 80 Н) и тяжелую (до 390 Н и до 216 Н).

На портативную аппаратуру может воздействовать вибрация частотой до 20 Гц с ускорением до 2 g и удары до 10 g при длительности 5... 10 мс.

Различают и другие виды ЭА, эксплуатируемые, например, в условиях химического производства, в составе системы управления артиллерийского снаряда и др. Для них характерны сверхбольшие значения одного—трех внешних факторов, на устойчивость к которым и проектируется конструкция такой ЭА. Так, для работы в условиях химического производства главным является устойчивость к агрессивной среде, а для артиллерийского снаряда — удар, ускорение и температура окружающей среды.

САМОСТОЯТЕЛЬНО: Защита РЭА от динамических нагрузок [Преснухин стр. 160-179]

САМОСТОЯТЕЛЬНО: Источники и приёмники паразитных наводок [Варламов стр. 58-66]

Защита конструкции от воздействия помех

Помеха — непредусмотренный при проектировании ЭА сигнал, способный вызвать нежелательное воздействие, выраженное в виде нарушения функционирования, искажения передаваемой или хранимой информации и т. п. Помехами могут быть напряжения, токи, электрические заряды, напряженность поля и др. Источники помех весьма многообразны по физической природе и подразделяются на внутренние и внешние.

Внутренние помехи возникают внутри работающей аппаратуры. Источниками электрических помех являются блоки питания, цепи распределения электроэнергии, термодпары, потенциалы, возникающие при трении. Источниками магнитных помех являются трансформаторы и дроссели. При наличии пульсаций выходного напряжения вторичных источников электропитания цепи распределения электроэнергии, тактирующие и синхронизирующие цепи следует рассматривать как источники электромагнитных помех. Значительные помехи создают электромагниты, электрические двигатели, реле и электромеханические исполнительные механизмы устройств ввода и вывода информации ЭА. Внутренними помехами являются помехи от рассогласования волновых сопротивлений линий связи с входными и выходными сопротивлениями модулей, которые эти линии соединяют, а также помехи, возникающие по земле.

Под *внешними помехами* понимаются помехи сети электропитания, сварочных аппаратов, щеточных двигателей, передающей радиоэлектронной ап-

паратурой и пр., а также помехи, вызванные разрядами статического электричества, атмосферными и космическими явлениями, ядерными взрывами.

Действие на аппаратуру внешних помех по физической природе аналогично действию внутренних помех.

Приемниками помех являются высокочувствительные усилители, линии связи, магнитные элементы, характеристики которых изменяются под действием полей рассеивания источников помех. Помехи проникают в аппаратуру непосредственно по проводам или проводникам (гальваническая помеха), через электрическое (емкостная помеха), магнитное (индуктивная помеха) или электромагнитное поле. Многочисленные проводники, входящие в состав любой аппаратуры, можно рассматривать как приемопередающие антенные устройства, принимающие или излучающие электромагнитные поля.

Гальваническая связь возникает в результате протекания токов и падения напряжений на электрических соединениях конструкций.

Радикальным способом устранения гальванической помехи является устранение цепей, по которым проходят совместные токи питания и земли как чувствительных к помехам схем, так и сравнительно не чувствительных мощных схем. Таким образом, по проводам, связывающим модули в систему, передаются как полезные сигналы, так и сигналы помехи. Эффективным схемным средством селективного ослабления помехи при отсутствии ослабления и искажения сигнала является использование *помехоподавляющих фильтров*.

Фильтры характеризуются *частотой среза $f_{ср}$* и *коэффициентом фильтрации K_f* , равным отношению сигнала на входе и выходе фильтра. В табл. 3.4 приведены электрические схемы и характеристики фильтров. Зная спектр частот полезного сигнала и помехи, задаваясь ослаблением помехи до приемлемых значений (в идеальном случае до нуля), по характеристикам выбирают схему фильтра или составляют многосвязный, состоящий из нескольких фильтров.

Сетевые фильтры — полосопропускающие фильтры, передающие на выход только частоту сетевого напряжения и в то же время не допускающие передачи помех по проводам в сеть от источника электропитания. В схеме сетевого фильтра, приведенной на рис. 3.2, конденсатор C_1 ослабляет противофазные, а конденсаторы C_2 , C_3 и трансформатор TU — синфазные помехи (симметрирующий трансформатор TU с одинаковым направлением намоток имеет высокое сопротивление синфазным помехам и низкое противофазным). Сопротивление TU переменному току частоты сети фактически равно активному сопротивлению его обмоток. Для защиты аппаратуры от перенапряжений первичной сети в схему сетевого фильтра вводят газоразрядники, варисторы, стабилитроны, предохранители ($PЦ$).

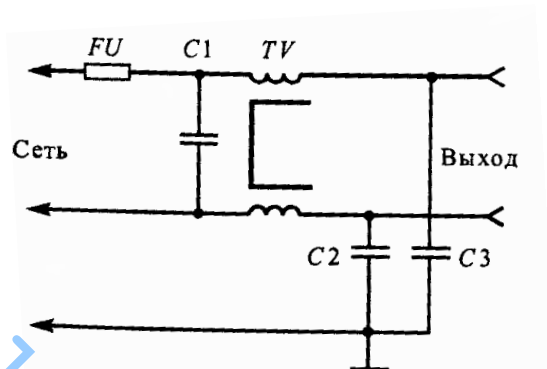


Рис. 3.2. Схема сетевого фильтра

Таблица 3.4. Избирательные однозвенные электрические фильтры

Наименование фильтра	Схема	Характеристика
Низкочастотный	Вход — [Capacitor] — Выход	
Высокочастотный	Вход — [Inductor] — Выход	
Полосопропускающий	Вход — [Capacitor] — [Inductor] — Выход	
Полосоограничивающий	Вход — [Inductor] — [Capacitor] — Выход	

Экраны включаются в конструкцию для ослабления нежелательного возмущающего поля в некотором ограниченном объеме до приемлемого уровня. Возможны два варианта защиты. В первом случае экранируемая аппаратура размещается внутри экрана, а источник помех — вне его, во втором — экранируется источник помех, а защищаемая от помех аппаратура располагается вне экрана. Первый вариант используют при защите от внешних помех, второй - внутренних. В обоих вариантах в качестве экранов используются металлические оболочки.

В ЭА функции экранов чаще всего выполняют кожухи, панели и крышки приборов блоков и стоек, при выборе материалов и расчете толщины которых кроме соображений эффективности экранирования необходимо учиты-

вать требования обеспечения механической прочности, жесткости, надежности соединения отдельных элементов, минимума массы.

Отверстия и щели в экранах уменьшают эффективность экранирования, поэтому, конструируя экран, их необходимо исключать или свести к минимуму. Однако полностью от них избавиться невозможно. Щели возникают, если аппаратура защищается крышками и панелями (лицевыми, монтажными и др.), устанавливаемыми и закрепляемыми на каркасе. Отверстия вводятся в кожух для установки соединителей, элементов управления, индикации, обеспечения нормального теплового режима. Эффективность экрана не ухудшится, если в его конструкции выполнены отверстия, максимальные размеры которых не превышают $1/2$ минимальной длины волны экранируемого сигнала. Чтобы помеха не проникала через вентиляционные отверстия, на внутренних поверхностях кожухов с отверстиями закрепляется металлическая сетка с размером шага не более $1/2$ минимальной длины волны помехи.

3.9. Требования, предъявляемые к конструкции ЭА

Вновь разрабатываемая ЭА должна отвечать тактико-техническим, конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надежностным и экономическим требованиям. Все эти требования взаимосвязаны, и оптимальное их удовлетворение представляет собой сложную инженерную задачу. Кроме того, эти требования должны отвечать рекомендациям соответствующих государственных стандартов. Например, для средств вычислительной техники действуют следующие стандарты.

- Средства вычислительной техники. Общие технические требования, правила приемки, методы испытаний, маркировка, упаковка и хранение.
- Машины вычислительные, электронные цифровые общего назначения. Общие технические требования.
- Средства технические малых электронных вычислительных машин. Общие технические требования.
- Машины вычислительные электронные персональные. Типы, основные параметры. Общие технические требования.
- И другие.

Все эти требования содержатся в ТЗ на разрабатываемую ЭА.

Тактико-технические требования включают, в первую очередь, требования к параметрам ЭА, характеризующим ее потребительские качества (для ЭВМ — это быстродействие, объем оперативной, постоянной и внешней памяти, разрядность команд и данных, языки программирования и др.) Эти требования в основном удовлетворяются на ранних стадиях разработки ЭА, когда определяется состав аппаратуры, ее структура, требования к отдельным устройствам и т. д. Учитывая необходимость работы будущей ЭА в составе управляемой ею системы, необходимо предусмотреть их техническую, программную, информационную и эксплуатационную *совместимость*.

В конструкции ЭА должны быть предусмотрены меры защиты от воздействия климатических и механических факторов.

К **конструктивно-технологическим требованиям** относятся: обеспечение функционально-узлового принципа построения конструкции ЭА, технологичность, минимальная номенклатура комплектующих изделий, ремонтпригодность, защита от несанкционированного доступа, удобный доступ к узлам и элементам, обеспечение безопасной работы оператора.

Функционально-узловой принцип конструирования, применяющийся в ЭА третьего и последующего поколений, заключается в разбиении принципиальной схемы аппаратуры на такие функционально законченные узлы, которые могут быть выполнены в виде идентичных конструктивно-технологических единиц. Применение этого принципа конструирования позволяет автоматизировать процессы изготовления и контроля конструктивных единиц, упростить их сборку и наладку, организовать их производство на разных предприятиях.

Понятие *технологичность* включает правила и положения, определяемые возможностями предприятия-изготовителя ЭА и влияющих на эффективность ее производства и эксплуатации. Аппаратура, технологичная для одного предприятия, может оказаться нетехнологичной для другого. Причинами этого могут быть: неравномерный уровень развития предприятий, их различие в технической оснащенности, уровне и культуре производства.

Понятие технологичности тесно связано с понятием *экономичности* конструкции ЭА. Наиболее технологичные конструкции, как правило, и наиболее экономичны в условиях производства. Технологичность конструкции ЭА в существенной степени определяется рациональным выбором ее структуры, которая должна разрабатываться с учетом автономного, отдельного изготовления и наладки ее основных элементов, узлов, блоков. Конструкция ЭА более технологична, чем меньше регулировочных и доводочных операций приходится выполнять после ее окончательной сборки. В этом плане идеальная технологичность у ЭА, которая, будучи собранной из отдельных узлов, выполняет заданные функции сразу же после включения электропитания.

В технологичной конструкции должны максимально использоваться унифицированные, нормализованные и стандартные детали и материалы. Необходимость разработки новых материалов с улучшенными свойствами или новых технологических процессов должна быть технически и экономически обоснована. В технологичной конструкции максимально используют взаимозаменяемость, регулируемость, контролепригодность, инструментальная доступность узлов и элементов.

К **эксплуатационным** требованиям относят простоту управления и обслуживания, предусмотрение различных мер сигнализации опасных режимов работы (выход из строя, обрыв заземления, открывание дверей шкафов и т. д.), наличие в комплекте ЭА аппаратуры и инструментов, обеспечивающих профилактический контроль и наладку конструктивных элементов.

С эксплуатационными требованиями тесно связаны требования обеспечения нормальной работы оператора: организация его рабочего места, возможность подхода ко всем устройствам ЭА, безопасная работа при отладке и ремонте. Важна также такая организация пульта управления ЭА и расположение клавиш на нем, клавиатуре и дисплея (для персональных машин), которая бы отвечала современным эргономическим требованиям и требованиям инженерной психологии. Внешний вид ЭА должен быть эстетичным, а органы управления должны быть удобными, доступными и не вызывать напряжения органов чувств у оператора.

Требования по надежности включают конкретные количественные характеристики: вероятность безотказной работы за определенный отрезок времени, среднюю наработку на отказ, среднюю наработку на сбой, среднее время восстановления работоспособности, срок службы, коэффициент технического использования, средний срок сохраняемости, коэффициент готовности.

К **экономическим требованиям** относят минимально возможные затраты времени, труда и материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию ЭА; минимальную стоимость ЭА после освоения ее в производстве; минимальные затраты на эксплуатацию, обслуживание и плановые ремонты.

В заключение приведем некоторые из характеристик, которыми должна обладать, например, электронно-вычислительная аппаратура в соответствии с рекомендациями, изложенными в приведенных в начале этого параграфа государственных стандартах.

Для ЭВМ общего назначения предусмотрено 6 классов производительности до $20 \cdot 10$ и более коротких операций в секунду с минимальной емкостью оперативной памяти не менее 4 Мбайт. Для персональных ЭВМ предусмотрено 5 типов исполнения с разрядностью от 8 до 32, производительностью не менее $4 \cdot 10$ коротких операций в секунду, емкостью ОЗУ не менее 8 Мбайт.

ЭВМ общего назначения должны отвечать следующим показателям надежности. Средняя наработка на отказ в зависимости от класса машины должна составлять 500—2000 ч. Среднее время восстановления работоспособности выбирается из ряда: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 ч. Средний срок службы с учетом восстановительных работ должен быть не менее 10 лет. Коэффициент технического использования должен быть не менее 0,95 из расчета круглосуточной работы в течение одного года. Средний срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию установлен не менее 9 месяцев. Коэффициент готовности должен быть не менее 0,98.

Для персональных ЭВМ средняя наработка на отказ должна быть не менее 15000 ч, среднее время восстановления работоспособности не должно превышать 0,25 ч, а время готовности не должно превышать 2 мин.

Средняя наработка на отказ микрокалькуляторов установлена не менее 20000 ч, срок службы не менее 10 лет, а время готовности не более 30 с.

Более подробно рассмотреть все требования САМОСТОЯТЕЛЬНО [Гелль стр.23-66].

3.10. Экономические основы конструирования

Рассмотреть самостоятельно, учитывая следующие вопросы:

1. Зависимость стоимости РЭА от заданных функциональных показателей её качества;
2. Оценка экономической целесообразности модернизации и разработки новой РЭА широкого применения;
3. Конструктивные особенности РЭА и их связь с экономическими характеристиками;
4. Связь взаимозаменяемости со стоимостью;
5. Зависимость стоимости РЭА от материалов, полуфабрикатов и типовых изделий;
6. Сформулировать экономические требования к РЭА.

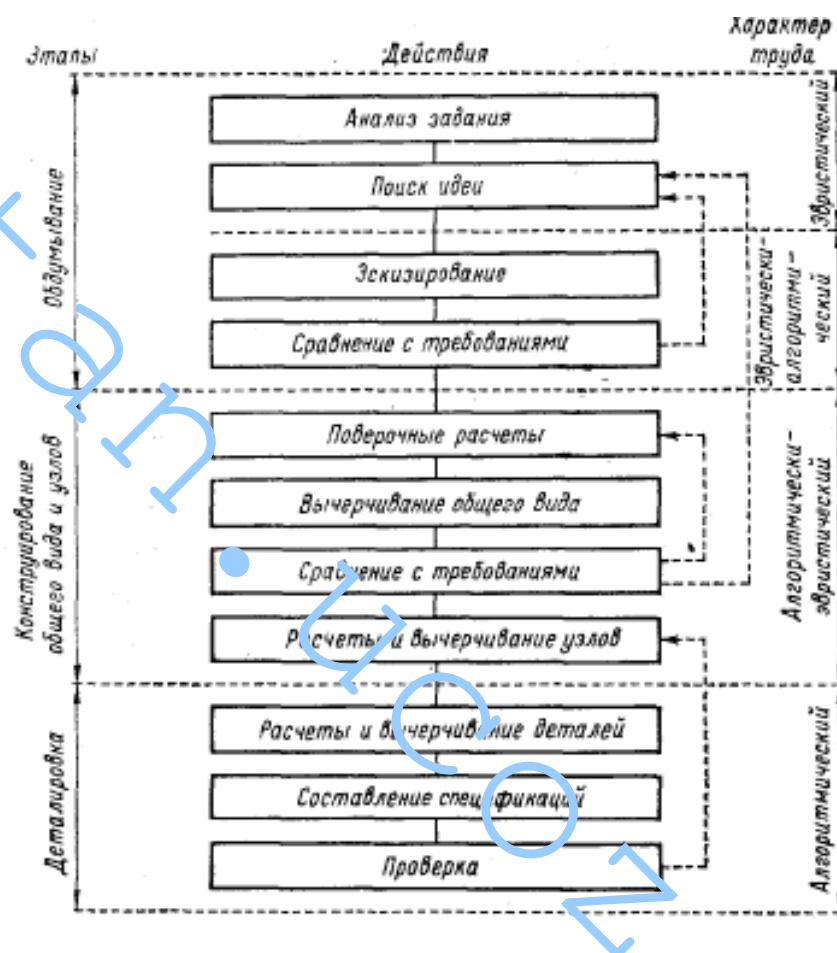
[Фролов А.Д. стр. 398-428]

ТЕМА 4. Общие вопросы конструирования РЭА

4.1. Организация процесса конструирования. Стадии разработки по ЕСКД, НИР и ОКР.

Эти вопросы были рассмотрены нами на первых занятиях при изучении 1 темы.

4.2. Методологические принципы конструирования.



Процесс конструирования как процесс труда неоднороден (рис. 4-1). На разных его этапах совершаются различные действия с существенно отличающимся характером труда — от эвристического до алгоритмического. Эвристическим будем называть труд, основанный на способности исполнителя выбирать, обдумывать и принимать решения в сложных многокритериальных ситуациях. За исключением элементарных случаев эта работа не может выполняться ЭВМ на существующем уровне техники.

Алгоритмическим (нормативным) будем называть труд, для которого может быть задан алгоритм, т. е. инструкция, содержащая конкретные шаги процедуры для выполнения задания и требующая от исполнителя способности действовать точно так, как это предусмотрено заранее. К алгоритмическому труду относятся расчеты, выполняемые по методике, детализация (вычерчивание деталей и простых узлов по чертежу общего вида), составле-

ние спецификаций и большинства разделов в текстовых документах, проверка КД нормоконтролем.

Эти две крайние характеристики труда конструктора присутствуют в процессе конструирования неизоллированно, часто сочетаясь друг с другом, но удельный вес эвристического труда обязательно уменьшается к концу процесса, а алгоритмический — обязательно растет.

При обдумывании конструкции в самом начале чисто эвристическими являются анализ задания и поиск идей. Сравнение с количественными требованиями задания уже начинает включать в себя элементы алгоритмического труда, процесс принимает эвристически-алгоритмический характер. При конструировании общих видов доля алгоритмического труда возрастает, трудовые действия конструктора все более подчиняются алгоритмам процедур, правил и т. д. При детализовке все действия конструктора носят алгоритмический характер.

Многошаговый поиск синтез — анализ — синтез. Процесс поиска конструкторских идей и решений является трудно формализуемым эвристическим трудом конструктора.

Вернемся к самому началу процесса конструирования — к стадии технического предложения, когда формируется первичный вариант конструкторского решения. Часто самый первый вариант формируется еще раньше — при разработке технических требований ТЗ, потому что записать требования так, чтобы их осуществление было реальным делом, можно лишь опираясь на мысленный образ заданного к разработке объекта. Практически основой такого образа является конкретный прототип, предшественник искомой конструкции, в котором чего-то недостает или есть что-то лишнее. Конструктор мыслит образами и описывает их словесно (вербально), или математически (числом либо соотношением величин), или графически (рисунком или чертежом).

Конструирование РЭА в сравнении с конструированием других промышленных изделий отличается особой сложностью функциональных внутренних связей между частями конструкции: кроме пространственных и механических необходимо устанавливать сложные электрические связи и ограничивать электромагнитные поля, температуру и температурный градиент на заданных участках внутри изделия.

Оценка значимости связей, рассматриваемая в определенном контексте (необходимые, лишние, вредные), целиком зависит от решаемой конкретной задачи. Конструктор сам принимает решение, какие связи существенны, а какие нет, т. е. решение о тривиальности зависит от квалификации конструктора. Но в общем виде необходимыми функциональными связями являются: 1) электрические, определяемые монтажными соединениями; 2) пространственные и механические, определяемые компоновкой и закреплением элементов. Лишними связями, которые в конструкции должны быть ограничены верхним пределом, являются электромагнитные и тепловые связи. Эти связи возникают как побочный результат формирования первых трех необходимых

связей. Лишние связи представляют потенциальную опасность тем, что при неблагоприятных обстоятельствах могут перейти во вредные.

Установление структуры проектируемой конструкции и связей в ней представляет собой процесс синтеза. Процесс синтеза при конструировании всегда сопровождается анализом получаемых результатов для внесения коррективов в синтез, т. е. протекает шаговая процедура приближения к оптимальному по схеме синтез — анализ — синтез.

Взаимосвязь между теорией и практикой в проектной части процесса конструирования оказывается сложной. Их связывает интуиция конструктора. Теория не создает алгоритма, по которому можно однозначно действовать при оптимизации конструкции (кроме простейших конструкций). Теория в конструировании РЭА создает систему взглядов на условия обеспечения каждого требования с учетом взаимных воздействий и помех. Учет основан на научно обоснованных компромиссах для известных конструктору предшествующих частных случаев. На базе этой системы взглядов при опытном и тренированном мышлении возникают интуитивные решения. Каждый раз их подвергают научному анализу и расчету, с тем чтобы вновь сформулировать задачу дальнейшего шага по пути совершенствования предмета разработки.

Таким образом, при конструировании РЭА попеременно действуют синтез и анализ: опирающийся на опыт и научную систему взглядов синтез, требующий развитой интуиции, и анализ, подвергающий контролю, расчету и коррекции продукт синтеза.

Интенсификация интеллектуального процесса поиска решений. Применяют следующие четыре основных приема для интенсификации психологического процесса: аналогию, инверсию, эмпатию и мозговой штурм.

Прием **аналогии** используют как для преодоления, так и для увеличения инерции мышления. Инерция мышления полезна, если стоит задача с наибольшей точностью повторить решение, найденное ранее в прототипе, внося изменения чисто количественно (изменить один-два размера и т. п.). Для разрушения инерции мышления аналогию необходимо искать между далекими по характеру задачами, выбирая в целях конструктивного решения аналогию из какой-либо далекой области. Например, идея вскрытия герметичного корпуса модуля путем надрыва шва заложной в шов проволокой взята из конструкции консервной банки.

Прием **инверсии** основан на взгляде на явление с иной, часто противоположной стороны. Например, обращение вреда в пользу при устранении самоотвинчивания резьбовых соединений: попадание краски в резьбу затрудняет разборку резьбового соединения, но именно поэтому может быть использовано для законтривания.

Прием **эмпатии** (вживание в образ) позволяет конструктору ощутить мельчайшие подробности работы узла или протекающих в нем процессов, для того чтобы обнаружить недочеты, неразличимые при взгляде со стороны. Например, ощущение себя тепловым потоком, текущим от мощного, закрепленного на печатной плате транзистора, позволяет образно представить, ощу-

тить преграды на его пути: неплотности и переходные слои в зоне контакта транзистора и платы, тепловое сопротивление самой платы при растекании теплового потока, неплотности в зоне прижима платы к массивному тепло-стоку. Одновременно с этим конструктор может «ощутить» конвективное рассеяние тепла и такие важные физические явления, как взаимное перемещение сопрягаемых деталей из-за различия коэффициентов расширения или накапливание внутренних напряжений при нагреве и охлаждении. .

Прием **мозгового штурма** направлен на возбуждение коллективного генерирования новых идей по преодолению тупика в процессе выработки решения при создании конструкции. Проводится мозговой штурм следующим образом. Назначается временная (на 2—3 часа) группа специалистов, зарекомендовавших себя творчески способными, работающими в различных подразделениях предприятия, в составе 5—8 человек. Перед группой, собранной в отдельной комнате, оснащенной магнитофоном для записи высказываний, ставится хорошо сформулированная конкретная задача: как преодолеть возникшее техническое противоречие? Важно тщательно подготовить формулировку задачи, чтобы она была полной и лаконичной. Затем члены группы по очереди кратко (1—3 мин) высказывают любые, в том числе на первый взгляд абсурдные, идеи. Разрешается другим участникам развивать высказанные предложения, но без слов критики или одобрения. На этом работа группы заканчивается.

Магнитофонную запись выступлений передают для тщательного анализа в подразделение, которое сделало заявку на мозговой штурм. Обычно это подразделение на период анализа записи усиливают несколькими специалистами родственного направления. В результате могут быть найдены удачные идеи, подлежащие более детальной проработке. Но даже если все выдвинутые идеи будут в конечном счете отвергнуты, мозговой штурм будет содействовать преодолению инерции мышления и продвижению в последующем продуктивных идей самими конструкторами данного подразделения.

Использование ЭВМ при конструировании и производстве РЭС.

При автоматизированном конструкторском проектировании можно выделить этапы обработки информации, подробно изложенные в разделе «руководство пользователя» каждого пакета прикладных программ, входящего в САПР: 1) ввод и синтаксический анализ информации о проектируемом объекте; 2) формирование базы данных проектирования; 3) формирование исчерпывающей информации об объекте проектирования в виде, удобном для выполнения проектных процедур; семантический контроль ее; 4) выполнение проектных процедур; 5) занесение проектной информации в архив; 6) выпуск документации.

Ввод и синтаксический анализ (контроль) информации о проекте включает следующие процессы: 1) ввод в ЭВМ информации о проекте и перекодировка при этом осуществляется контроль правильности кодирования вводимой информации; 2) запись вводимой информации в базу данных САПР в виде,

удобном для последующего анализа; при этом контроль в основном связан с полнотой вводимой информации и ориентирован на конкретную конфигурацию вычислительных средств; 3) синтаксический контроль (анализ), когда распознается принадлежность входного теста формализованному языку и формируется определенный набор таблиц, используемых на последующих этапах проектирования.

Формирование базы данных проектирования требует ввода трех видов информации: 1) определяющей структуру и назначение системы проектирования (выбор комплекса программных и аппаратных средств)—перечень сведений о технологии производства, форме документов, комплектующих изделиях, характере аппаратуры для выполнения документации (алфавитно-цифровое печатающее устройство, графопостроитель, координатограф и т. д.); 2) о типе изделия, его параметрах, стандартных узлах, форме документов и т. д.; обычно эти сведения хранятся в базе данных САПР; 3) определяющей сущности проектируемого объекта с учетом его отличительных особенностей; эта информация является переменной для различных объектов (перечень элементов, схема соединений, сведения о фиксированных цепях и местах, запрещенных для трассировки, и т. д.). При этом учитываются *ограничения на конструкцию, обусловленные используемой САПР* (тип ЭВМ, емкость оперативной памяти, быстродействие алгоритмов).

Формирование информации для обеспечения процесса проектирования состоит в преобразовании имвольного представления объекта в структуры данных, удобные для последующего проектирования. Этот процесс называется транслированием.

Проектные процедуры включают последовательность операций, решающих конкретную задачу (компоновку, размещение, трассировку и т. д.). Проектная информация записывается в архив и выпускается конструкторская документация (сборочный чертеж, спецификации, ведомость покупных изделий, таблица цепей, эскиз и таблица размещенных элементов, эскиз трассировки и таблица неразведенных цепей, перечень элементов электрической схемы, перфолента для изготовления фотошаблонов, перфолента для сверлильного станка, перфолента для контрольного оборудования, перечень сформированных документов, таблица замен эквивалентных контактов, матрица соединений элементов схемы, архивный набор данных).

4.3. Схемотехнический анализ при разработке РЭА и его задачи.

[Варламов Компоновка РЭА стр. 85-90; Справочник Варламова Стр.173-176]

Анализ ТЗ был рассмотрен нами на предыдущих занятиях.

Конструкторский анализ электрической схемы РЭС

Прежде чем приступить к конструкторской разработке электромонтажа, необходимо провести анализ электрической схемы — принципа работы, специфики элементной базы, требований к источникам питания и тепловой совместимости. Оцениваются следующие характеристики элементной базы: быстродействие, помехоустойчивость, габариты, требования к установке и формовке выводов, методы крепления, необходимость теплоотвода и т. д. Оцениваются токи и напряжения в схеме путем поверочного расчета или по картам напряжений, составленных схемотехниками. Анализируется чувствительность элементов к тем или иным помехам: тепловым шумам во входных цепях, помехам по цепям питания и заземления, перекрестным помехам. Выявляются элементы и связи, способные создавать помехи, а также элементы, наиболее чувствительные к помехам. Особое внимание следует обращать на однородность элементов по быстродействию (выявляются элементы с необоснованно завышенным быстродействием) и по температурному диапазону работы (уточняются элементы с заниженным температурным диапазоном). Определяются тепловыделяющие элементы и намечаются меры их теплоизоляции, а также определяется тип производства элементов (серийное, массовое), их стоимость и дефицитность. В результате анализа вырабатываются требования к компоновке отдельных узлов и РЭС в целом, намечаются те или иные конструктивные решения по реализации электрических связей (межконтактная коммутация и контактирование). В том случае, если принятые меры не обеспечивают электромагнитной совместимости или других характеристик РЭС (габаритов, массы, стоимости, надежности и т. д.), разрабатываются другие варианты конструкции.

При разработке конструкции электрических соединений аналогового узла особое внимание уделяется технологичности конструкции: использованию несущей конструкции из латуни или другого металла с покрытием (лужение и др.) для облегчения контактирования с земной шиной в ближайшей к элементу точке; использованию конструкций электрических соединений, поддающихся автоматизации и механизации (печатные платы и шлейфы, контакты для группового контактирования, стежковый монтаж, контактирование накруткой, наличие контактных площадок для автоматизированных контрольных устройств); обеспечению надежных соединений экранов с земной шиной (в том числе ВЧ-соединителей с оплеткой коаксиальных кабелей); удобству подготовки компонентов к сборке и монтажу (защистка изоляции, формовка выводов, лужение контактных площадок и т. д.). При изготовлении экранов следует использовать высокопроизводительные методы формообразования и сборки (штамповка, прессование, термическое распыление и т. д.), минимальное количество драгоценных металлов, дефицитных и токсичных материалов.

4.4. КОМПОНОВКА БЛОКА И РАСЧЕТ КОМПОНОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Пространственная компоновка. Задача размещения элементов в пространстве с точки зрения формализации оказывается более трудной, чем на плоскости. Поэтому, как правило, пространственную компоновку выполняют вручную. Решение задачи пространственной компоновки с помощью вычислительной техники возможно при однотипных составляющих элементах. Например, шкафы вычислительной машины состоят из типовых ячеек и задача сводится к оптимальному размещению ячеек в заданном ограниченном пространстве по критерию минимизации длины соединительных проводников между ячейками.

Компоновка — одна из наиболее сложных и ответственных задач конструирования радиоэлектронной аппаратуры. Ручной процесс компоновки отнимает много времени, так как приходится рассматривать несколько возможных вариантов и выбирать оптимальный для заданных условий применения РЭА и процесса производства. Производя компоновку, конструктор должен учесть состав элементной базы, удобство эксплуатации, обеспечить высокую ремонтопригодность и предусмотреть мероприятия по защите РЭА от внешних воздействий и внутренних дестабилизирующих факторов.

Компоновка позволяет произвести оценку электромагнитных и тепловых связей, рассчитать кинематические связи, оценить основные конструкторско-технологические решения и рассчитать основные показатели качества конструкции. На стадии компоновки уделяется решать такие важные вопросы, как совместимость РЭА с объектом и оператором, определить форму будущего изделия и правильность размещения органов регулировки, индикации и контроля.

По результатам компоновки составляется компоновочная схема (схема размещения, габаритный чертеж), которая позволяет произвести оценку конструкторско-технологической реализации конструкции и глубже понять ее связь с объектом установки.

К настоящему времени известно несколько методов компоновки (рис. 4-2), отличающихся друг от друга принципами формализации, приемами выполнения и способами пространственного размещения составляющих элементов.

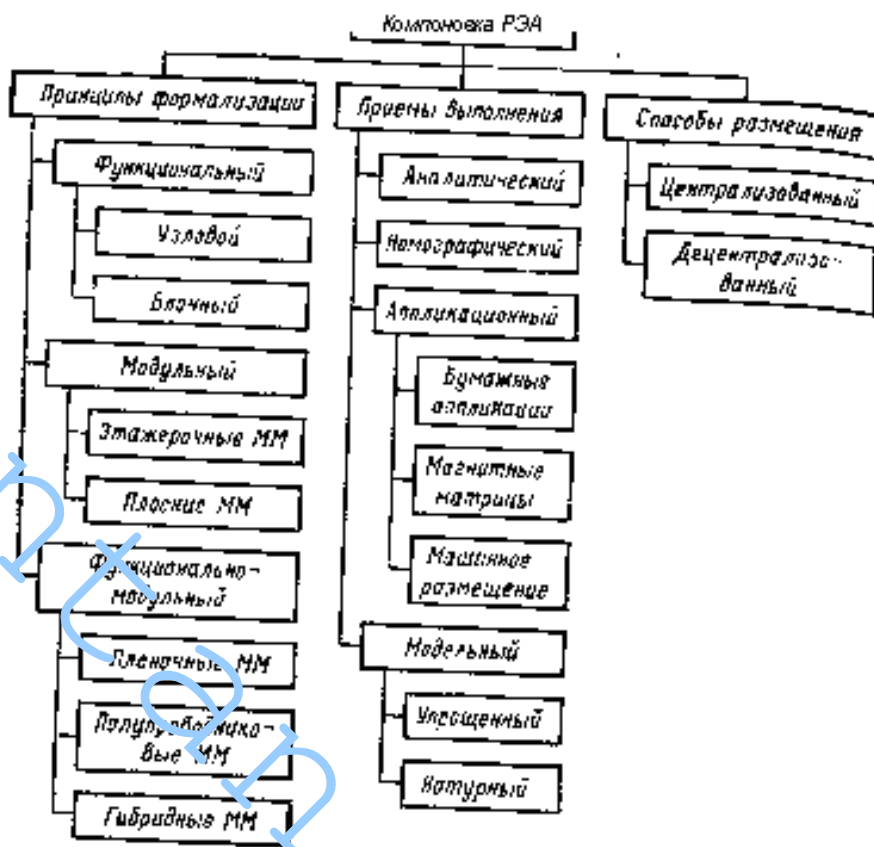


Рис. 4.2 Методы компоновки РЭА

ММ — микромодули

Этапы **компоновочных работ**. Компоновка электронной — аппаратуры выполняется методом последовательных приближений. На первом этапе, когда решается вопрос об укрупненной компоновке аппаратуры в целом, главный конструктор, пользуясь укрупненными и компоновочными характеристиками (габариты, масса, объем, надежность и др.), распределяет будущие части РЭА и их предполагаемые характеристики. Если полученные сведения позволяют дать положительный ответ на вопрос о возможности создания РЭА с заданными свойствами применительно к конкретному носителю, то составляются сводные таблицы, структурные схемы и схемы соединений отдельных частей системы.

На втором этапе на основании данных, полученных на первом этапе, определяется требуемое число операторов, их взаимосвязь и проводится эскизная компоновка рабочих мест. Основой для этих работ служат данные о характере, виде и потоке информации, поступающей к оператору. Определяется вид и характер органов управления, индикации и контроля. Точная оценка внешних компоновочных параметров пультов управления требует участия специалистов по инженерной психологии и художников-конструкторов. По результатам анализа и обсуждения разрабатываются эскизные чертежи рабочих мест операторов и необходимые изменения структурной схемы РЭА с учетом ввода дополнительных согласующих и автоматизированных систем.

На третьем этапе компоновки решается задача эскизного размещения РЭА на объекте установки. Окончательно решаются вопросы, связанные с формой и габаритами отдельных частей РЭА. Просматриваются варианты системы охлаждения, виброзащиты и герметизации. Согласовываются места входа и выхода кабельных вводов, расположение электрических разъемов, определяются источники возможных излучений, решаются вопросы взаимозаменяемости и ремонтпригодности на объекте установки.

На различных этапах компоновки используются различные приемы компоновочных работ (см. рис. 4-2): аналитический, номографический, аппликационный, модельный.

Аналитическая и номографическая компоновка используется на ранних стадиях проектирования РЭА и позволяет получить ориентировочную оценку укрупненных характеристик конструкции. При аналитической компоновке подсчитывается число элементов каждого вида и ориентировочный объем каждого элемента. Затем с учетом достижимого коэффициента заполнения объема подсчитывают объем конструкции. Для сложной аппаратуры этот метод оказывается малоприменимым в силу громоздкости вычислений. В ряде случаев можно воспользоваться номограммами, которые приводятся в нормативных документах. Аналитическая и номографическая компоновки проводятся по принципиальной электрической схеме, поэтому этот метод не обладает достаточной наглядностью и не дает возможности оценить пространственную компоновку.

Аппликационная и модельная компоновки позволяют получить эскизы, на основании которых разрабатывают конструкторскую документацию. Эти методы используются на последних этапах компоновочных работ.

При плоскостной аппликационной компоновке трассировка связей осуществляется автоматически с помощью ЭВМ. Результатом конструирования является эскиз конструкции, полученный на графопостроителе, или фотошаблон, полученный на фотонаборной машине, управляемой ЭВМ.

Модельная компоновка позволяет получить пространственные модели сложной формы. Объемные составляющие части изготавливают из пенопласта в виде упрощенных геометрических форм: кубов, цилиндров, параллелепипедов и др. Крепление таких моделей к несущей конструкции осуществляется с помощью клея или постоянных ферритовых магнитов. Эскиз компоновки можно получить фотографированием модели либо зарисовкой.

Натурная компоновка предполагает использование реальных конструкций. Для натурального макетирования используются узлы, блоки, приборы. Благодаря этому создается большая наглядность. Натурная компоновка позволяет решать на макете ряд сложных задач, которые графически бывает очень трудно представить.

Часто на практике натурную компоновку используют вместе с модельной, когда часть блоков или устройств заменяется их моделями. Очень часто такой прием используется при макетном размещении РЭА на новых типах самолетов, при этом удается решать такие вопросы, как удобство работы с аппаратурой, доступность, обеспечение ремонтпригодности и пр.

При общей компоновке РЭА не только решаются задачи взаимного расположения составляющих частей, но определяется форма и число таких частей, входящих в одну конструктивно законченную часть второго структурного уровня.

Сложные радиотехнические устройства, как правило, выпускаются малыми партиями, а иногда и в единичном экземпляре. Для того чтобы в этих условиях обеспечить технологичность выпускаемых изделий, конструктор должен увеличить объем применяемости входящих деталей и узлов. Объемом применяемости называют число единиц данной детали (узла), содержащееся во всей продукции, выпускаемой предприятием или отраслью. Крупные партии деталей или узлов, обусловленные высоким объемом применяемости, позволяют резко снижать трудоемкость и затраты на технологическую оснастку. Поэтому при выполнении компоновочных работ необходимо использовать типовые базовые несущие конструкции: типовые платы, ячейки, кассеты. Под компоновкой блока понимают взаимное расположение и ориентацию ячеек или других конструктивных элементов (элементы электрической коммутации, электромеханические элементы и др.) в заданном объеме блока. Блоки микроэлектронной аппаратуры строятся на ячейках или кассетах. В настоящее время наибольшее распространение получили блоки разъемной или книжной конструкции. Нормативно-технические документы регламентируют выбор несущих конструкций блоков в зависимости от типа носителя и условий эксплуатации.

Требования по механическим воздействиям влияют на зазоры между платами; зазоры выбираются с учетом возможной деформации печатных плат. Действующие механические нагрузки определяют конструкцию несущих элементов блока (рамки, каркасы, ребра жесткости и пр.), элементов крепления кассет и ячеек, а также элементов крепления блока в стойке, на стеллаже и т. п.

Климатические факторы оказывают влияние на конструктивное исполнение корпуса блока. При легких климатических условиях корпус блока делают негерметичным, а при тяжелых — герметичным.

Ужесточение механических и климатических условий эксплуатации аппаратуры приводит к увеличению вспомогательного объема блока. Увеличение механических нагрузок требует повышения механической жесткости и прочности блока, так же как и герметизация блока с целью защиты элементов от повышенной влажности и большого перепада давлений. Повышение прочности и жесткости корпуса достигается за счет увеличения толщины стенок, введения ребер жесткости, фланцевых соединений и т. д. Все это приводит к увеличению вспомогательного объема блока и его общего объема.

Как один из основных факторов, влияющих на габаритные размеры блока, выступает применяемая элементная база и число электрорадиоэлементов, размещенных в блоке.

Самостоятельно: [Варламов справочник стр. 166-172; Варламов Компоновка РЭА стр.6-42]

КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Исходные понятия, терминология, четыре главных критерия выбора. Для установления и анализа критериев выбора конструкции печатных плат должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1) исходные понятия, терминология, четыре главных критерия выбора; 2) габаритный критерий; 3) критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя; 4) критерий числа слоев; 5) материал основания.

Необходимо установить исходную терминологию. Выделим восемь основных терминов. **Печатный узел (УП)** — печатная плата со всеми электрически и механически подсоединенными к ней навесными элементами и всеми выполненными операциями обработки (пайка, покрытия и т. д.). **Печатная плата (ПП)** — листовой материал, вырезанный по определенному размеру, содержащий необходимые отверстия и рисунок, обеспечивающие в дальнейшем электрическое и механическое соединение навесных элементов. **Основание печатной платы** — листовой материал, вырезанный по определенному размеру и подготовленный для того, чтобы нести на себе рисунок и навесные элементы. **Заготовка ПП** — листовой материал с поверхностью в состоянии поставки, подлежащий разрезке по размеру оснований ПП.

Рисунок ПП — конфигурация проводникового или изоляционного слоя. **Проводящий рисунок ПП** — рисунок ПП, образованный проводниковым материалом. **Печатный проводник** — непрерывная проводящая полоска или площадка в проводящем рисунке. **Контактная площадка** — часть печатного проводника на поверхности, в отверстии или в толще основания, используемая для соединения навесных элементов или для контрольных подсоединений.

При конструировании печатных плат используются четыре главных критерия выбора: габаритный критерий, критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя, критерий числа слоев, критерий материала основания. Помимо главных критериев, должны учитываться вспомогательные, которые служат для проверки и уточнения, с несложной коррекцией конструкции, выбранных по главным критериям решений. К вспомогательным критериям относятся электрические ограничения по паразитным параметрам, тепловые ограничения, ограничения по массе, по трудоемкости изготовления, по безотказности, ремонтпригодности и др. В комплексности использования всех имеющих отношение к делу критериев состоит, как известно, успех конструирования.

Габаритный критерий. Выбор габаритов ПП (длина a и ширина b) связан с разбиением электрической схемы блока на функционально законченные части. Наиболее отчетливо эта связь заметна в электрических схемах с регулярной структурой, что типично для цифровой техники. В таких схемах легко выделить многократно повторяющиеся части, мало отличающиеся друг от друга. При уточнении электрической схемы эти различия следует убрать, введя избыточность в те схемы, где дополнительные элементы отсутствуют. Если же дополнительные элементы могут помешать, то предусматриваются проволочные перемычки, которые могут быть легко устранены. В результате

выявляются части электрической схемы блока, которые могут быть выполнены на ПП и использованы в данном блоке несколько раз. Следует оценить возможность унификации такой схемы и за пределами блока. Таких ПП может быть выделено несколько. Их выполняют в виде электронных модулей, и при эксплуатации РЭА они играют роль типовых элементов замены ТЭЗ, входящих в ЗИП.

Размерные преимущества малых ПП перед большими проявляются в ослаблении отрицательного влияния таких явлений, как коробление, ухудшенный теплообмен в центре платы, пониженная ремонтпригодность.

Коробление ПП происходит вследствие слоистой структуры основания, содержащего диэлектрические и проводящие (металлические) слои, расширение которых при нагревании и сжатие при охлаждении различно. Чем больше длина платы, тем коробление значительнее, т. е. больше опасность обрыва проводников, замыкания, отрыва паяных контактов при температурных деформациях. Температурные деформации относятся к медленно действующим механическим деформациям. Динамические деформации в результате вибрационных и ударных перегрузок и линейных ускорений, передаваемых на ПП от объекта, на котором установлена РЭА, также уменьшаются с уменьшением размера ПП.

Ухудшение теплоотвода из центра платы, протекающего по механизму теплопроводности, наблюдается с увеличением размеров ПП. Это вызвано увеличением пути теплооттока к краю ПП, где осуществлен основной тепловой контакт с корпусом блока, который по отношению к массе ПП играет роль бесконечного радиатора.

Заниженная ремонтпригодность платы большого размера связана с тем, что затрудняется поиск неисправности, а при агрегатном способе ремонта путем замены велика стоимость такого большого печатного узла.

Вместе с тем надо учитывать, что при использовании нескольких малых ПП вместо одной большой неизбежно выявляются два отрицательных момента: 1) требуются дополнительные переходные контакты или соединители разъёмного типа, что повышает трудоемкость сборки и может снизить безотказность, и 2) требуется больше крепежной арматуры, что также повышает трудоемкость и, кроме того, повышает массу. Поэтому в технически обоснованных случаях ряд рекомендованных типоразмеров ПП нагущается в сторону увеличения размеров сторон, в том числе и стороны *a*. Это допускается, когда модуль и блок вырождены и печатный узел поступает на сборку непосредственно в моноблок, пульт и т. д. Примером могут служить ПП для телевизоров, вещательных приемников и других устройств, не подвергаемых большим тепловым ударам и механическим воздействиям.

Критерий плотности рисунка и толщины проводящего слоя. Предыдущий габаритный критерий тесно связан с той плотностью, с какой может быть выполнен рисунок. По ГОСТ 23751—79 установлены три класса плотности рисунка: малая, средняя и высокая.

Выбранный конструктором класс плотности рисунка должен быть проверен по норме допустимых рабочих напряжений для проводников, лежащих

в одной плоскости, а также по плотности тока (из расчета предельной допустимой плотности тока в печатном проводнике 20 А/мм^2) и по допустимым потерям на постоянном токе.

Плотность тока и потери зависят от толщины проводящего слоя, которая регламентирована тремя значениями: 10, 20 и 35 мкм. Если потери не существенны для работы электрической схемы (но не для сигнальных цепей, когда падение напряжения сигнала может уменьшить отношение сигнал-шум), то конструктор должен предпочитать толщину 10 мкм для повышения точности и для экономии меди. Плотность тока, если она окажется недостаточной из расчета принятого выше значения 20 А/мм^2 , может быть увеличена на порядок при переходе на металлическое основание.

Критерий числа слоев. По числу слоев различают односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП) и многослойные (МПП) печатные платы. Односторонней называют ПП с проводящим рисунком на одной стороне основания, в отличие от двусторонней, где рисунок выполнен на обеих сторонах. Многослойной называют ПП, состоящую из чередующихся изоляционных слоев с нанесенными на них проводящими рисунками, причем между рисунками выполнены необходимые межслойные соединения.

ДПП с дополнительным монтажом прямыми отрезками изолированного провода будем обозначать ДППдм. Таким способом топологические возможности ДПП доводятся до уровня МПП с четырьмя и более слоями. На долю дополнительного проводного монтажа приходится до 50 % числа всех соединений в готовой ПП. Проволочные перемычки, спаиваемые на поверхность ПП дополнительно к печатным проводникам, являются обычным явлением для печатных узлов: из-за топологических трудностей трассировки разрешается до 5 % числа всех необходимых соединений выполнять с помощью навесных проволочных перемычек, спаиваемых вручную. В ДППдм напайка перемычек осуществляется монтажным роботом, перфолента для управления которым составляется одновременно с разработкой топологии рисунка ДППдм.

Материал основания. Выбор толщины и материала основания оказывает основное влияние на свойства ПП: жесткость, собственную емкость, теплопроводность. Установлен размерный ряд значений толщины оснований ПП — как гибких, так и жестких:

0,1 – 0,2 – 0,4	-	0,8 – 1,0 – 1,5 – 2,0 – 3,0
Гибкие		Жёсткие

Наибольшее распространение в отечественной практике нашла толщина 1,0 мм и 1,5 мм, которая допускает получение металлизированных отверстий в основании соответственно 0,32 мм и 0,48 мм (минимальный допустимый диаметр). Если толщину основания выбирают с точки зрения жесткости печатного узла, то надо учитывать, что жесткость пропорциональна толщине в кубе.

4.5. Конструирование электрических и механических соединений

Разъёмные и неразъёмные механические соединения

Число контактов РЭС соизмеримо с числом основных функциональных элементов (и даже превышает это число). Поэтому стоимость производства и надежность эксплуатации РЭС в значительной степени определяются конструкцией контактов и технологией их реализации в производстве. Основным назначением контактного соединения является передача электрической энергии от одного проводника к другому. Кроме того, контакт является: элементом конструкции, предназначенным для крепления элементов; точкой возможного разрыва цепи, облегчающей ее монтаж и обслуживание; точкой испытания схемы; каналом передачи тепла, выделяемого в элементах.

Основные виды контактных соединений (неразъемные, ограниченно-разъемные, разъемные) появились задолго до появления РЭС в микроэлектронном исполнении. Однако создание микроэлектронной аппаратуры потребовало их дальнейшего развития с целью минимизации габаритов и массы, увеличения надежности; снижения стоимости производства и эксплуатации, обеспечения работы с милливольтовыми и микроамперными сигналами; повышения граничной частоты, обеспечения минимума излучения в окружающее пространство и т. д.

Неразъемные контактные соединения являются наиболее распространенными в конструкциях РЭС ввиду их высокой надежности, малых габаритов и низкой стоимости. Малые габариты обуславливают также хорошие частотные свойства контактов. Неразъемные контактные соединения реализуются пайкой, сваркой, клейкой. Преимуществами контактирования пайкой являются простота процесса и хорошая ремонтопригодность. Технология накладывает ограничения на конструкцию. Так, для того чтобы припой заполнил зазор между металлизацией отверстия в плате и вставляемым в это отверстие выводом, зазор должен составлять 0,1 ... 0,15 мм. При меньшем зазоре припой будет пористым, при большем — он может не проникнуть на всю толщину платы. В первом случае капиллярный эффект будет велик, а во втором — слишком мал. При *контактировании сваркой* необходимо обеспечить локализацию тепла. Сварка с медной фольгой не дает стабильного качества из-за высокой теплопроводности меди (10 ... 20% сварных контактов могут быть перегреты или недогреты). Поэтому материал контактной поверхности под сварку выбирается с меньшей, чем у меди, теплопроводностью (никель, нержавеющая сталь).

Контактирование клейкой осуществляется с помощью токопроводящего клея, состоящего из мелкодисперсного серебра и эпоксидной связки. Ввиду высокой стоимости, неконтролируемого размера контактного соединения, низкой стабильности во времени этот метод широкого применения не нашел.

Контактные соединения, осуществляемые методом *фрикционно-пластической деформации* (для контактирования корпусов из легких, напри-

мер магнелиевых, сплавов), выполняются с помощью металлических заклепок или самонарезающих винтов. Для защиты от коррозии место контакта защищается компаундом.

Ограниченно-разъемное контактное соединение может осуществляться прижимом контактируемых поверхностей с помощью жесткого (земляная клемма на несущей конструкции), упругого металлического или эластичного полимерного контакта. Эластичный контакт может быть получен путем нанесения на силиконовую резину или покрывающую ее полиимидную пленку проводящих линий, а также с помощью эластомера с наполнителем из мелкодисперсного серебра, меди, никеля, графита. При использовании позолоченных проводящих линий переходное сопротивление составляет около 0,003 Ом. В зависимости от количества наполнителя оно для эластомера с наполнителем может меняться от 0,1 до 1000 Ом. Эластомерные контакты могут выполняться и в разъемном варианте. Преимуществами эластомерных контактов являются исключение арматуры, простота сборки и разборки, улучшенные частотные характеристики (работоспособность вплоть до частот 3...5 ГГц), повышенная виброустойчивость (при достаточном прижиме).

Разъемные контактные соединения позволяют увеличить ремонтпригодность при эксплуатации и упростить сборку РЭС. Однако при этом увеличиваются масса, габариты и стоимость контактного соединения. Кроме того, ресурс разъемных соединений не превышает нескольких тысяч соединений/разъединений, а устойчивость к механическим и климатическим воздействиям значительно хуже, чем у неразъемных соединений. В конструкции РЭС широко применяются низко- и высокочастотные разъемные соединители. Различают *низкочастотные соединители* непосредственного контактирования (печатная плата — розетка соединителя), косвенного контактирования (вилка — розетка соединителя), с нулевым усилием сочленения.

Необходимость использования соединителей с нулевым усилием сочленения обусловлена: увеличением контактного давления с целью снижения переходного сопротивления; недопустимым увеличением усилия стыковки/расстыковки соединителя при числе контактов более 50; короблением плат, вызывающим неравномерное поджатие контактов и затрудняющим стыковку/расстыковку соединителей. Использование таких соединителей позволяет замыкать контакты в нужном порядке, например шины заземления — шины питания — сигнальные шины при включении и в обратном порядке при выключении.

Соединение радиочастотных кабелей между собой и с РЭС или их частями осуществляется с помощью высокочастотных (коаксиальных) соединителей, которые различаются по типу соединения (резьбовое, врубное, байонетное) и по применению (кабельное, приборное, переходное, разветвительное).

Требования к контактным соединениям. Одни требования являются общими для разъемных и неразъемных соединений, а часть — специфичными для того или иного вида контактных соединений. *Общими требованиями*

ями являются минимальные переходное сопротивление соединения и его не-стабильность, достаточная механическая прочность.

Разъемные контактные соединения характеризуются *дополнительными параметрами*: переходным сопротивлением (Ом) после заданного числа соединений / разъединений: $0,01 + (20...30)\%$ для новых контактов; не более 0,02 Ом после заданного числа соединений/разъединений; отсутствием гальванических пар при работе с микротоками; отсутствием перегрева при работе с большими токами; минимальным усилием соединения/разъединения контактов. Контактные пары, предназначенные для *разъемного соединения коаксиальных кабелей*, характеризуются следующими *дополнительными параметрами*: максимальной граничной частотой (превышение частоты может вызвать перегрев контактов); допустимой и номинальной мощностью; коэффициентом стоячей волны по напряжению; степенью излучения энергии.

Основными параметрами неразъемных контактных соединений являются: незначительное воздействие технологических факторов на соседние участки; хорошая ремонтпригодность; возможность механизации и автоматизации технологического процесса контактирования. *Неразъемные контактные соединения ИС* должны отвечать следующим *дополнительным требованиям*: прочность соединения должна быть не ниже прочности соединяемых элементов, возможность соединения элементов из различных материалов и различных типов размеров (например, золотой проволоки диаметром 40 мкм и алюминиевой контактной площадки толщиной 1 мкм).

При разработке конструкций электрических соединений *определяют*: сечение жил связей; конструкцию проводников (одножильный, многожильный, серебряный, луженый, с изоляцией или без нее, коаксиальный, экранированный, высоковольтный, низковольтный, печатный, пленочный и т. д.); конструкцию совокупности проводников (скрутка проводников, жгут круглого сечения, плоский кабель, печатный монтаж платы и т. д.); методы крепления отдельных проводников и их совокупности; расстояние между отдельными проводниками; взаимное расположение проводников (ортогональное, под углом, параллельное); конструкцию контактных соединений (разъемные и неразъемные); расположение элементов согласования и фильтрации. При этом учитываются не только схемотехнические, но и технологические факторы: номенклатура используемых технологических процессов, их стабильность, характеристики оборудования и оснастки, параметры материалов конструкции; их устойчивость к технологическим воздействиям.

Конструирование объёмного монтажа

Несмотря на худшие массогабаритные и экономические параметры (по сравнению с печатным монтажом), электрические соединения из объемного провода используются в опытном производстве (не надо изготавливать фотошаблонов), для выполнения навесных электрических соединений в ИС (в дополнение к планарному монтажу и для соединения контактных площадок ИС

с внешними выводами), для осуществления длинных или высокочастотных связей и т. д. В настоящее время промышленность выпускает обширную номенклатуру объемных проводов: одножильные без изоляции (золотые, алюминиевые, медные, медные луженые); с изоляцией (волокнуистой, пластмассовой, резиновой, лаковой); экранированные; коаксиальные кабели; многожильные кабели (опрессованные, тканые, клееные, собранные и увязанные в круглый жгут).

При проектировании таких контактных соединений необходимо придерживаться следующих рекомендаций: 1) минимальный внутренний радиус изгиба проводника должен быть не менее диаметра провода (с изоляцией); 2) провода питания (переменного тока) следует свивать для уменьшения возможных наводок; 3) провода, подводящие к сменным элементам, должны иметь некоторый запас по длине, допускающий повторную заделку провода; 4) провода не должны касаться острых металлических кромок; 5) монтажные провода должны обеспечивать свободный доступ к элементам конструкции при изготовлении, осмотре, контроле и ремонте; 6) монтажные провода целесообразно свивать в жгут, при этом обеспечивается возможность расчленения монтажных операций на ряд более простых и уменьшается стоимость монтажных работ.

Провода без изоляции диаметром 10 ... 150 мкм используют в основном для электрических соединений ИС и микросборок. Выбор конкретного проводника зависит от ряда факторов: силы протекающего тока, возможности автоматизированного монтажа (в этом случае относительное удлинение должно быть не более 3 ... 7%), требований по прочности, стоимости, методу контактирования (пайка, сварка), допустимости провисания провода. Золотая проволока более дорогая, но хорошо поддается пайке и сварке, совместима практически со всеми материалами контактных площадок, но менее прочная. Провода из алюминия и его сплавов более дешевые, лучше совместимы с алюминиевыми контактными площадками, но способствуют возникновению трещин на границе раздела провода и контактной площадки, что особенно опасно при дополнительных механических нагрузках, например из-за внутренних напряжений в герметизирующем полимере. Для золотых проводов используется в основном термокомпрессионная сварка, а для алюминиевых — ультразвуковая. Если провисание недопустимо, то используют более прочный провод, предусматривают его промежуточное крепление каплей компаунда (если длина перемычки превышает 3 мм).

Провода с изоляцией. Для реализации электрических соединений в пределах платы, блока, шкафа наряду с печатным монтажом широко используют монтаж объемными проводами с изоляцией и их сборками в виде скрученных пар (бифиляров), скрученных троек, плоских кабелей и круглых жгутов. В ряде случаев монтаж объемными проводниками экономичнее, чем с помощью печатных плат (например, если плата большая и насыщенная, а монтаж объемным проводом выполняется автоматизированным методом). Электрические соединения объемным проводом позволяют вносить измене-

ния и облегчают ремонт, но затрудняют воспроизводимость параметров электрических связей (волнового сопротивления, паразитных параметров). Провода, предназначенные для скруток, могут быть одножильные (МНВ) и многожильные (МНВ-Г). В первом случае контактирование осуществляется накруткой, во втором — пайкой.

Использование ленточных (плоских) проводов и кабелей позволяет снизить габариты и массу электрических соединений на 40 ... 60% и более при значительном увеличении плотности компоновки, а также уменьшить трудоемкость монтажа на 20 ... 40% благодаря применению средств механизации и автоматизации. Прочность ленточных проводов на разрыв в 3 ... 5 раз выше, чем прочность обычных монтажных проводов; расположение жил в одной плоскости увеличивает гибкость соединительных устройств. У ленточных кабелей лучше теплоотвод и выше стабильность электрических параметров, особенно при применении экрана из фольгированного диэлектрика. В производстве удобны плетеные кабели, представляющие совокупность проводов, переплетенных изолирующей нитью. Разрезанием скрепляющих нитей можно освободить нужный проводник в том или ином месте кабеля.

Иногда в РЭС применяют кабели, основой которых является резиновый ремень с перфорированными отверстиями. Монтажные провода типа ГФ, ГФЭ, МГТФ, МГТФЭ пропускают через отверстия и распаивают на платах. Монтаж гибких матриц на основе резиновых ремней поддается автоматизации.

Иногда используются жгуты круглого сечения, которые получают увязкой некоторого количества одиночных проводников. Длинные проводники укладывают с наружной стороны жгута, экранированные проводники и проводники малых сечений — внутри жгута.

Автоматизированные методы электро монтажа различаются в основном способами контактирования: накрутка, сварка, пайка. Наиболее распространен монтаж накруткой. Используют изолированные провода с медной посеребренной жилой диаметром 0,16 ... 0,5 мм. При ручной работе производительность монтажа 175 соедин./ч, при автоматической 900 ... 1000 соедин./ч. Недостатком метода является большой объем контактного узла (необходимо 4 ... 6 витков на одно соединение и до трех соединений на одном штыре), что также ухудшает частотные характеристики узла. Контактные штыри располагают с шагом 2,5(2,54) и 1,25(1,27) мм. Минимальное сечение штырей 0,3 x 0,3 мм.

Стежковый монтаж основан на автоматическом приложении трасс и контактировании их пайкой или сваркой. При контактировании пайкой трассы прокладываются с помощью полой иглы с медным проводом диаметром 0,16...0,32 мм, проходящей через отверстия в плате. Пайке подвергаются петли, выходящие с противоположной от трасс стороны. Скорость монтажа пайкой при ручной работе 150 соедин./ч, а в автоматическом режиме 375 соедин./ч. При контактировании сваркой она осуществляется со стороны проложенных трасс из никелевого провода к стальным штифтам, запрессованным в печатную плату, или к печатным контактными площадкам из меди, имеющим по-

крытие из нержавеющей стали. Скорость контактирования в автоматическом режиме 400...500 соедин. в час. *Метод протыкания изоляции* основан на непрерывной покладке и прижиге медного провода диаметром 0,25 мм к контактам, имеющим вырезы.

Конструирование печатного монтажа

Печатный монтаж широко используется в конструкции РЭС. Он выполняется в виде печатных плат или гибких печатных кабелей (шлейфов). В качестве оснований для печатных плат используется диэлектрик или покрытый диэлектриком металл, а для гибких печатных кабелей—диэлектрик. Для изготовления печатных проводников диэлектрик часто покрыт медной фольгой толщиной 3...50 мкм либо медной или никелевой фольгой толщиной 5...10 мкм. По числу слоев печатные платы делятся на односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП); используются также двусторонние печатные платы с дополнительным монтажом из объемного изолированного провода (ДППдм).

Печатный монтаж выполняется *субтрактивными методами*, основанными на травлении фольгированного диэлектрика, *аддитивными* и *полуаддитивными*, основанными на селективном осаждении проводящего покрытия, и *методами послойного наращивания*.

Субтрактивные методы. Из субтрактивных методов наибольшее применение нашли *химический негативный* и *комбинированный позитивный*. Первый используется для получения односторонних печатных плат, внутренних слоев МПП и гибких печатных шлейфов. Его преимуществом является высокая точность геометрии проводников из-за отсутствия процессов гальванического осаждения меди. Вторым методом получают ДПП и МПП из фольгированного травящего диэлектрика. Способность диэлектрика к подтравливанию особенно важна для МПП, где от этого зависит надежность межслойных соединений. ДПП выполняются без использования травящего диэлектрика. Печатные платы характеризуются плотностью монтажа, которая в зависимости от ширины проводников и зазоров может быть трех классов. Недостатками субтрактивных методов являются невозможность получения проводников с шириной менее 150 мкм и большой отход меди при травлении.

Аддитивный и полуаддитивный методы и *методы послойного наращивания* позволяют увеличить плотность монтажа по сравнению с плотностью монтажа МПП, полученных субтрактивными методами. Метод послойного наращивания был разработан для фольгированного стеклотекстолита, но не нашел широкого применения из-за высокого процента брака и длительности цикла изготовления. Развитием этого метода явилось выполнение многослойных структур с использованием керамики и сквозного анодирования алюминия. Аддитивный и полуаддитивный методы позволяют получить более узкие проводники и зазоры между ними благодаря использованию более тонких проводящих слоев (5...20 мкм), а также сэкономить медь, осаждаемую

только в местах размещения проводящих трасс. Кроме того, при браковке платы рисунок может быть стравлен и нанесен вновь. Самое сложное здесь — получение хорошей адгезии проводников к основанию платы.

Некоторые методы печатного монтажа — метод открытых контактных площадок, выступающих выводов, послойного наращивания фольгированного диэлектрика, попарного прессования — в новых разработках не используются. Метод открытых контактных площадок применим только для корпусированной элементной базы и имеет ряд технологических трудностей при сборке. Метод выступающих выводов сложен и часто не обеспечивает минимизации помех. Метод металлизации сквозных отверстий применяется в основном для наземной аппаратуры, где перепады температуры сравнительно невелики и мала вероятность разрушения межслойных металлизированных переходов из-за разницы расширения диэлектрика и меди.

Аддитивный и полуаддитивный методы. Примером полуаддитивной технологии является технологический процесс изготовления *МПП на основе полиимидной пленки*. Полиимиды относятся к классу термостойких (от -200 до $+400^{\circ}\text{C}$) высокомолекулярных соединений. Полиимидная пленка имеет малую усадку (до $0,08\ldots 0,1\%$), разнотолщинность (до ± 3 мкм), плотность инородных включений ($0,1\ldots 0,2\text{ см}^{-2}$). В процессе изготовления проводят травление отверстий в пленке, металлизацию ее методом напыления трехслойной структуры $\text{Cr} - \text{Si} - \text{Cr}$ толщиной $1\ldots 2$ мкм, травление рисунка проводников, селективное гальваническое наращивание слоя меди толщиной до 20 мкм, защиту сплавом олово — висмут.

Из полученных таким образом пленок с двусторонней коммутацией можно создавать многослойные структуры путем спаивания слоев в вакууме. Размеры таких оснований (по зарубежным источникам) могут достигать 406×355 мм и ограничиваются оборудованием для напыления проводящего слоя. Расчетами установлено, что использование оснований на многослойных полиимидных пленках (МПП ПИ) позволяет получить (при установке на них бескорпусных ИС) плотность компоновки узла не меньшую, чем на кремниевой пластине, но при лучших экономических показателях, так как применение узлов, выполненных полностью на кремниевых пластинах, выгодно в том случае, когда процент выхода годных составляет более 80% для кристаллов размером 5×5 мм и более $90\ldots 95\%$ для кристаллов размером 7×7 мм. Известны МПП ПИ с числом слоев до 30 .

Преимуществом такой структуры является высокая плотность электрических соединений и уменьшение теплового сопротивления ввиду малой толщины и высокой теплопроводности полиимида. К недостаткам следует отнести сравнительно невысокую жесткость, что требует размещения структуры МПП ПИ на основании из алюминиевого сплава, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) которого близок ТКЛР полиимидной пленки, возможность расслоения при нагреве или длительных вибрационных воздействиях. В обычных многослойных структурах слои соединены между собой еще и компаундом.

На основе структур МПП ПИ изготавливают одно- и двусторонние, а также многослойные гибкие печатные шлейфы. Кроме полиимида в качестве основы для таких шлейфов используют лавсан и фторопласт, однако шлейфы из полиимида лучше работают на изгиб (выдерживают до 10000 перегибов с радиусом 0,5... 1,0 мм). Длина шлейфов ограничена активным сопротивлением проводящих линий.

Керамические платы. Одним из перспективных методов увеличения плотности компоновки является использование в качестве основания керамики, на которую методом трафаретной печати наносят проводники (из проводящих паст) и резисторы (из резистивных паст). В процессе обжига подобной структуры при температуре около 600...700° С происходит вжигание проводников и резисторов в основание, предварительно обожженное при температуре около 1600° С. В результате получают прочную, герметичную, химически инертную монолитную структуру со стабильными при эксплуатации размерами и высокой теплопроводностью; ТКЛР подобной структуры близок ТКЛР кремния, что позволяет непосредственно монтировать на такую подложку бескорпусные кристаллы БИС или кристаллы, помещенные в керамический микрокорпус (кристаллоноситель, кристаллодержатель). Недостатками многослойных керамических подложек являются большая масса и трудно контролируемая усадка при спекании, что затрудняет повторяемость геометрических размеров подложек и волнового сопротивления линий связи. Кроме того, большая диэлектрическая проницаемость керамики ($\epsilon = 8,5...9,5$) обуславливает значительную паразитную связь между проводниками, расположенными в разных слоях, что особенно нежелательно для быстродействующих схем.

Платы на металлическом основании. В тех случаях, когда требуются хороший теплоотвод (источники питания), низкая стоимость и высокая прочность (микрокалькуляторы), хорошее согласование по ТКЛР платы и устанавливаемых на нее элементов (торговая аппаратура) или требуются подложки сложной формы, в качестве основания платы можно использовать подложки из металла или сплава, покрытые диэлектриком. Подложки из алюминиевых сплавов анодируются, стальные подложки покрываются слоем эмали (фарфора) толщиной 0,1 мм. Для обеспечения работы в широком диапазоне температур необходимо, чтобы ТКЛР навесных элементов (ЭРЭ, ИС) и платы различался не более чем на $0,5-10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Если ТКЛР отличается на большее значение, то навесные элементы монтируются с помощью гибких выводов или монтажное основание выполняется достаточно эластичным (например, из полиимидной пленки). Если навесные элементы кремниевые, то можно использовать подложки из инвара.

4.6. Электромагнитная совместимость РЭА (ЭМС). Виды паразитных связей. Экранирование. Цепи заземления. Наводки, возникающие в соединительных цепях

САМОСТОЯТЕЛЬНО: [Гель стр. 370-383; Ненашев стр. 116-127, 135-151; Варламов справочник стр. 58-66]

4.7. Обеспечение электрической прочности РЭА

Обеспечение электрической прочности РЭС особенно актуально для мощной передающей аппаратуры, в которой используются высокие питающие напряжения и широкий спектр частот сигналов (от нескольких мегагерц до нескольких гигагерц), а также для элементов в интегральном исполнении и печатных плат, где зазоры между токоведущими дорожками малы и напряженность электрического поля может достигать больших значений при небольших напряжениях. Кроме того, пробивное напряжение снижается при пониженном давлении газа, при повышении температуры диэлектрика, при сорбции влаги пылью и полимерными материалами.

Явление образования под действием электрического поля проводящего канала в диэлектрике называют *электрическим пробоем*. У твердых диэлектриков кроме пробоя по объему возможен пробой по поверхности в окружающей среде (газе или жидкости). После пробоя газообразного или жидкого диэлектрика свойства нарушенного участка обычно восстанавливаются (если пробой не охватил весь объем), а в твердом диэлектрике остается след в виде пробитого, прожженного или проплавленного отверстия чаще всего неправильной формы.

Газ сам по себе — идеальная изоляция, сопоставимая по свойствам с вакуумом, пока в нем не появятся свободные заряды (электроны, ионы), создающие ток. Появление свободных зарядов является следствием ионизации: ударной (под действием электрического поля), термической, под воздействием излучения (ультрафиолетового, рентгеновского, гамма-излучения).

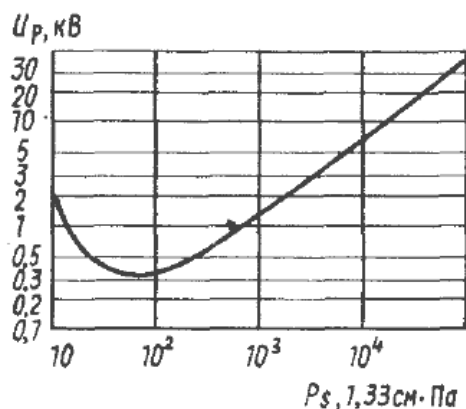


Рис. 4.1. Кривая Пашена $U_p = f(Ps)$ для разрядного напряжения воздушного промежутка s с равномерным полем при $T = 20^\circ\text{C}$

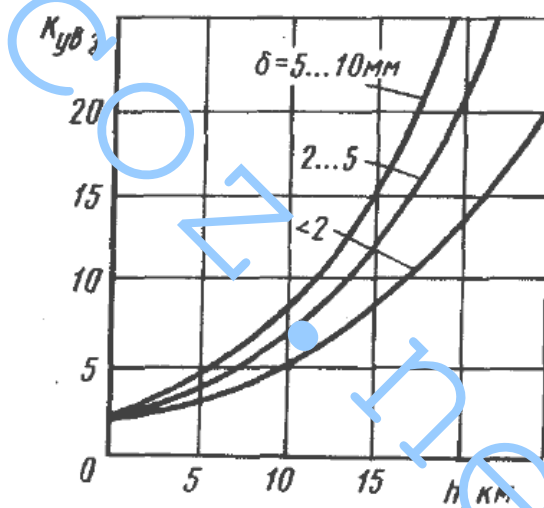


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента увеличения зазора $K_{увз}$ между компонентами РЭС от высоты над уровнем моря h при различных зазорах δ

Зависимость пробивного напряжения воздуха от произведения длины пробивного промежутка на давление в нем характеризуется кривой Пашена

(рис. 4.1). Кривая имеет минимум при малых давлениях газов. Поэтому для обеспечения электрической прочности при пониженном давлении (например, для аппаратуры, работающей на больших высотах, и для компонентов внутри вакуумированного гермокорпуса) необходимо увеличивать расстояние между токоведущими элементами в $K_{\text{вз}}$ раз (рис. 4.2) или заполнять гермоблоки инертным газом под избыточным давлением (например, азотом под давлением 0,13 МПа).

Для твердых диэлектриков существенное значение имеет поверхностный пробой. Напряжение пробоя зависит от природы окружающей диэлектрик среды, содержания влаги, формы электродов и наличия загрязнений на поверхности диэлектрика и веществ, способных поглощать влагу (например, глины). Для повышения пробивного напряжения платы покрывают лаком, исключают острые углы при трассировке печатных проводников, проводят сушку плат перед нанесением лака, следят за содержанием пыли и влаги в газовой среде технологических помещений. В твердом диэлектрике может произойти электрический или тепловой пробой. Последний может возникнуть при повышении температуры диэлектрика или частоты сигнала, увеличивающих ионизацию молекул диэлектрика.

Одним из методов повышения пробивного напряжения деталей из твердых диэлектриков является увеличение длины пробивного промежутка благодаря установке дополнительных ребер (высоковольтные изоляторы). Расчет ожидаемого пробивного напряжения осуществляется с учетом давления, температуры, частоты сигнала, влажности, формы электродов. Для подводной аппаратуры и аппаратуры в герметичном исполнении предусматриваются установка влагопоглотителей, заполнение кремнийорганической пастой с наполнителем из цеолита, ограничение времени непрерывной работы под водой (например, до пяти лет).

Методы расчёта электрической прочности конструкции САМОСТОЯТЕЛЬНО [Гелль стр. 420-428].

4.8. Тепловой режим РЭА. Виды теплового режима. Обеспечение нормального теплового режима.

Тепловой режим характеризуется совокупностью температур всех элементов, из которых состоит РЭС, т. е. его температурным полем. Основными тенденциями эволюции современных РЭС в микроэлектронном исполнении являются увеличение их сложности и снижение габаритов, с одной стороны, и увеличение требований к стабильности параметров—с другой. Эти тенденции противоречивы, так как увеличение сложности и уменьшение габаритов приводят к увеличению напряженности теплового режима, а требование обеспечения стабильности параметров системы связано с необходимостью его облегчения.

Увеличение напряженности теплового режима характеризуется плотностью теплового потока, который в конце 60-х годов составлял 0,1 ...0,3

Вт/см², в 70-е годы—0,5... 1,0 Вт/см², а в перспективе к 2000 г. ожидается, что он составит 8... 10 Вт/см². Эффективность и качество конструкций РЭС в значительной степени зависят от их способности отводить теплоту. Так, удельная мощность на единицу объема и массы составляет для источников вторичного электропитания на дискретных элементах и печатных платах 20... 30 Вт/дм³ и 25... 30 Вт/кг соответственно, на микросборках в металлическом корпусе —100... 150 Вт/дм³ и 60...80 Вт/кг и на основе металлических подложек, охлаждаемых 200-300 Вт/дм³ и 180...300 Вт/кг. Эти данные приведены без учета параметров системы охлаждения, масса, габариты, потребляемая мощность, стоимость, надежность которых могут быть соизмеримы с параметрами охлаждаемого источника питания.

В процессе производства, хранения и эксплуатации РЭС может подвергаться воздействию положительных и отрицательных температур, обусловленных влиянием окружающей среды, объекта установки и тепловыделения самого РЭС. В наземных условиях температура окружающей среды может меняться от -88 °С (станция Мирный в Антарктиде) до + 90 °С (нагрев темных поверхностей в странах с жарким и сухим климатом). Диапазон изменения температуры в атмосфере на высотах до 80 км (рис. 3.2) может достигать ±100°С. Для космоса этот диапазон еще шире: от -150 до +300 °С, что является результатом прямого и отраженного от Земли излучения Солнца, собственного излучения Земли, космического излучения, экранирования от излучения планет и частей объекта установки РЭС.

Диапазоны изменения температуры внутри объектов, где установлены РЭС, достигают в отапливаемых помещениях + 5... + 50 °С; на наземных подвижных объектах -60... +60 °С; на самолетах -70...+150°С и т.д. Кроме того, на объекте установки аппаратуры могут быть локальные источники тепла (двигатели) и холода (баки с охлажденным горючим, резервуары с охладителем для повышения чувствительности фотоприемников). Само РЭС является, как правило, источником теплоты вследствие того, что его КПД менее 100%. КПД приемника на электровакуумных лампах составляет менее 1%, модулей активной фазированной антенной решетки—около 1... 1,5%, транзисторного усилителя — 50...60%, т.е. значительное количество подведенной к аппаратуре энергии выделяется в виде теплоты. Если эта энергия не рассеивается в элементах конструкции или окружающем пространстве, то повышаются температура устройства и интенсивность отказов (например, для блоков РЭС с воздушным охлаждением при изменении температуры от 40 до 70° С интенсивность отказов увеличивается в 2... 6 раз. Если температура в любой точке температурного поля РЭС не выходит за допустимые (с точки зрения надежности элементов) пределы, то тепловой режим называется *нормальным*.

Тепловой режим характеризуется напряженностью и стационарностью. Если плотность теплового потока не превышает 5 мВт/см² (перегрев поверхности аппаратуры относительно окружающей среды не более 0,5 °С), то режим считается *нетеплонапряженным*. В теплонапряженном режиме требует-

ся обеспечение нормального теплового режима, например за счет естественной конвекции.

Стационарный тепловой режим характеризуется неизменностью температурного поля во времени вследствие наступления термодинамического баланса между источниками и поглотителями тепловой энергии. *Нестационарный тепловой режим* характеризуется зависимостью температурного поля от времени. Этот режим имеет место при быстром изменении подведенной к РЭС мощности P (включении и выключении, разовых и повторно-кратковременных режимах работы), когда часть ее идет на нагрев конструкции (P_n), часть рассеивается в окружающем пространстве (P_p) и часть идет на обеспечение полезных функций РЭС ($P_{\text{н}}$). Баланс энергии в этом случае описывается соотношением $P = P_n + P_{\text{н}} + P_p$. Тепловой режим становится стационарным, когда в результате установившегося термодинамического равновесия между окружающей средой и изделием нагрев изделия прекращается ($P_{\text{н}} = 0$) и соотношение для баланса энергии имеет вид $P = P_n + P_p$.

Воздействие отрицательных и положительных температур может снизить надежность устройства. Различают параметрическую надежность, характеризующую постепенным отклонением выходных параметров от номинальных значений, и надежность, характеризующую интенсивностью внезапных (катастрофических) отказов. *Причинами постепенных отказов*, вызванных тепловыми воздействиями, являются: снижение изоляционных свойств материалов; увеличение токов утечки; снижение пробивного напряжения; изменение коэффициента усиления и нулевого тока коллектора транзистора; изменение параметров магнитных сердечников (снижение индуктивности насыщения при повышении температуры или пропадание магнитных свойств при достижении точки Кюри); изменение емкости конденсаторов, электрической прочности, потерь; изменение сопротивлений резисторов; увеличение тепловых шумов в резисторах и транзисторах и т. д. Все эти явления могут привести к искажению сигналов до уровня, при котором нормальное функционирование РЭС становится невозможным.

Внезапные отказы РЭС, вызванные изменением температуры, обусловлены: нарушением целостности элементов конструкции вследствие различия ТКЛР ее материалов (обрыв проводников; растрескивание металlostеклянных спаев; отслаивание и растрескивание подложек; появление внутренних напряжений, приводящих к нарушению паяных, сварных и клеевых соединений, растрескиванию компаундов; заклинивание кинематических пар и т. д.); замерзанием влаги, приводящим к расширению микротрещин в подложках; отслаиванием печатных проводников, расслаиванием МПП; конденсацией влаги, создающей закорачивающие перемычки и условия для возникновения электрохимической коррозии; затвердеванием или размягчением резины, что снижает качество герметизирующих прокладок и элементов амортизации; изменением вязкости смазок; выделением газообразных составляющих из диэлектрических конструкционных материалов, что ведет к снижению электрической прочности и образованию агрессивных сред; старением припоев (перекристаллизация, образование пор) и т. д.

Электрорадиоэлементы и механические части РЭС характеризуются *термостойкостью*, под которой понимается способность материалов и компонентов кратковременно выдерживать воздействие высоких и низких температур, а также резких изменений температуры (термударов). Термостойкость определяют по температуре, соответствующей началу существенных изменений свойств или параметров компонентов, обусловленных различными физико-химическими процессами. Например, термостойкость р-п-переходов транзистора ограничена при высоких температурах собственной проводимостью кристалла полупроводника, а также явлением кумулятивного разогрева, приводящего к недопустимому возрастанию нулевого тока коллектора и пробоем р-п-перехода. Считается, что допустимая температура для германиевого перехода составляет 85...110 °С, для кремниевого 125...150 °С, для непропитанных волокнистых материалов (бумага, картон, натуральный шелк) +90 °С; для материалов из стекловолокна, пропитанного эпоксидными лаками, +133 °С. В тех случаях, когда конструкция не обеспечивает нормального теплового режима обычных элементов, могут быть использованы элементы, работающие в широком температурном диапазоне благодаря введению устройств термкомпенсации. Это усложняет электрическую схему и конструкцию, ухудшает энергетические и массогабаритные параметры, стоимость РЭС и не всегда обеспечивает требуемую надежность.

Системы обеспечения теплового режима РЭС

Для обеспечения теплового режима РЭС используются системы обеспечения нормального теплового режима (СОТР), каждая из которых характеризуется особенностями структуры, интенсивностью теплоотвода, техническими показателями (массой, габаритами, потребляемой мощностью, стоимостью, надежностью и т. д.).

Особенности структуры СОТР определяются: режимом работы системы, зависящим от соотношения температуры внешней среды и температуры РЭС (нагревание, охлаждение, термостатирование); характером связи хладагента с внешней средой (хладоагент — внешняя среда, хладоагент изолирован от внешней среды, комбинированная система); режимом работы РЭС (непрерывный, периодический); способом передачи теплоты (конвекция, теплопроводность, излучение, за счет термоэлектрического эффекта; комбинированный способ); способом поглощения теплоты (за счет термоаккумулирующих свойств окружающей среды и материалов конструкции, за счет термоэлектрического эффекта).

Кроме того, структура СОТР определяется областью использования с учетом условий, в которых работает система (на Земле, в атмосфере, в космосе, стационарно, на подвижном объекте и т. д.), уровнем разукрупнения РЭС (ИС, ячейка, блок, стойка и т. д.), видом аппаратуры (лазер, мощный прибор СВЧ, быстродействующая ЭВМ и т. д.).

Если средняя температура окружающей среды близка нормальной для РЭС, то система должна обеспечить изоляцию от влияния быстрых изменений температуры внешней среды. Это достигается применением пассивных

(теплоизоляция, отражающие покрытия) или активных (нагрев, охлаждение, реверс) *систем термостатирования*. Если средняя температура окружающей среды значительно отличается от нормальной для РЭС, то используются системы для уменьшения этой разности путем дополнительного нагревания или охлаждения РЭС до средней температуры окружающей среды. Охлаждение используется в тех случаях, когда необходимо уменьшить влияние выделяющейся в аппаратуре теплоты, отвести тепловой поток от аппаратуры и затем рассеять его. Это осуществляется с помощью различных систем охлаждения, для которых имеют значение такие факторы, как способ передачи теплоты, тип хладагента и его связь с окружающей средой, режим работы аппаратуры и способ поглощения теплоты.

Во всех случаях, когда объект не содержит нестабильных источников теплоты и мала теплопроводность внешних электрических связей, защиту объекта от быстрых внешних тепловых воздействий можно осуществить с помощью теплоизоляции: вакуумной (сосуд Дьюара); экранно-вакуумной; специальными материалами.

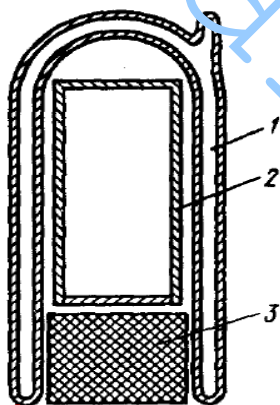


Рис. 4.3. Пассивный термостат:

1 — сосуд Дьюара; 2 — камера термостата; 3 — теплоизоляционная пробка

Простейшим пассивным термостатом является сосуд Дьюара (рис. 4.3), который применяют для термостатирования малогабаритных узлов. Сосуды с диаметром внутренней полости 25 мм и внешним диаметром 40 мм при длине 90 мм устойчивы к воздействиям вибрации в диапазоне частот от 10 до 200 Гц при ускорении до 15 g и к ударным перегрузкам с ускорением до 150g. Сосуд Дьюара имеет теплопроводность, значительно меньшую теплопроводности пористой изоляции, при равной толщине. Если волокнистую, порошковую или ячеистую изоляцию расположить в вакууме (например, между стенками сосуда Дьюара), то коэффициент теплопроводности λ снижается на два порядка, например для аэрогеля до 0,02 мВт/(м×К). Достоинствами изоляции теплоизоляционными материалами являются сравнительно низкая стоимость (перлит), низкий коэффициент теплопроводности (аэрогель), высокая эффективность (вакуумно-стекловолокнистая теплоизоляция диаметром волокна около 1 мкм, удельной плотностью 150...200 кг/м³, с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,5...0,6$ мВт/(м×К) в диапазоне температур 300... 79 К).

Дальнейшего уменьшения λ можно достичь, используя для космических объектов или для сосудов Дьюара экранно-вакуумную изоляцию, представляющую собой чередующиеся слои тонкой (5... 15 мкм), обычно алюминиевой, фольги и изолирующих прослоек из стеклобумаги, капроновой сетки, рифленой полиэтилентерефталатной пленки (майлара) и других материалов. Высокая эффективность теплоизоляции достигается благодаря как высокой экранирующей способности (коэффициенты экранирования слоев перемен-

жаются), так и низкой теплопроводности между слоями. Конструктивно такая теплоизоляция представляет многослойные (8 ...60 слоев на 1 см толщины) маты шириной 0,5... 1,5 м, длиной до 10 м, толщиной 10... 30 мм. Из этих матов можно сшивать многослойные защитные экраны, повторяющие форму защищаемых устройств. Подобная изоляция может также располагаться и между стенками сосуда Дьюара. Для уменьшения потерь на теплопроводность расстояние между экранирующими слоями должно быть в 10 раз больше толщины диэлектрических прокладок. Иногда металлическая пленка толщиной 0,02...0,04 мкм напыляется на основание из полиимидной или майларовой пленки. Для уменьшения эффективного коэффициента теплопроводности $\lambda_{эф}$ плёнка может золотиться.

Для лучших 60-слойных структур $\lambda_{эф} = 0,014...0,017$ мВт/(мК), а масса их в несколько раз меньше массы порошковых материалов. Алюминиевая фольга имеет высокую отражающую способность, малую массу, низкую стоимость. Для изготовления экранов используют мягкую фольгу, отожженную при температуре 400...450 °С и имеющую шероховатость поверхности $Kz = 0,025 ...0,05$. Для снижения степени черноты содержание примесей в алюминии не должно превышать 0,5%. Фольга тоньше 5 мкм имеет малую прочность, а толще 15 мкм — способствует увеличению теплового потока по твердому телу.

В качестве межслойных прокладок используют пленку толщиной 0,005...0,012 мм и иногда в качестве основы экранов — рифленую полиэтилентерефталатную пленку (ПЭТФ-ОА), позволяющую обходиться без прокладок.

При конструировании пассивных термостатов необходимо учитывать, что увеличение теплового сопротивления теплоизоляции целесообразно лишь до величины, равной тепловому сопротивлению электрических выводов из термостатируемого объема. Если колебания температуры внутри камеры превышают допустимое значение, то между камерой и объектом термостатирования должен быть размещен тепловой демпфер, в противном случае — материал с хорошей теплопроводностью.

Активное термостатирование позволяет поддерживать температуру с необходимой точностью, что особенно важно для таких объектов, как задающие генераторы частоты. В большинстве случаев термостатируется не сам объект, а изотермическая камера с объектом (рис. 3.6). По точности поддержания температуры различают грубые ($\pm 0,5^\circ\text{C}$), средней точности ($\pm 0,1 ...0,5^\circ\text{C}$) и прецизионные ($\pm 0,05^\circ\text{C}$) системы активного термостатирования ТЭС. В состав активных термостатов входят измерители температуры (датчики), подогреватели (охладители), изотермические камеры, системы регулирования. Толщина стенок изотермической камеры должна выравнивать температурный градиент, вызванный распределением теплового потока нагревателя (охладителя). В термостатах высокой точности поддержания температуры стационарных устройств внутреннюю камеру изготавливают из красной меди, в термостатах меньшей точности и бортовых устройствах — из алюминия и его сплавов. При проволочном нагревателе толщина стенок термостатов со-

ставляет 1... 3 мм; при пленочном нагревателе толщину стенок камеры можно уменьшить до 0,5 ...1мм; в термостатах высокой точности толщину стенок камеры желательно увеличивать до 3... 10 мм. Тепловое сопротивление между датчиком температуры и камерой термостата должно быть минимальным, воздушные зазоры недопустимы. Постоянная времени датчика должна быть меньше, чем время изменения возмущающего воздействия. Для уменьшения тепловых потерь внешняя теплоизоляция камеры должна иметь максимально возможное тепловое сопротивление. Для малогабаритных термостатов высокой точности рекомендуется применять вакуумную, вакуумно-порошковую и особенно вакуумно-слоистую изоляцию. При использовании пористой изоляции вместо вакуумной энергопотребление термостата из-за потерь возрастает в 3,8...4,2 раза.

Если разница между средними температурами среды и аппаратуры велика, то используют СОТР, работающие *в режиме нагрева или охлаждения*. Нагрев используют для РЭС, работающих в северных, высокогорных районах или в открытом космосе (в тени). В остальных случаях используют СОТР, служащие для охлаждения.

Система обеспечения теплового режима может охватывать отдельные узлы, блоки или систему в целом. Так, жидкостная СОТР часто используется только для охлаждения мощных приборов СВЧ в передатчиках, а блоки обработки информации ею не охватываются. Стационарные РЭС имеют, как правило, общую СОТР.

Вещество, отводящее теплоту, называется *хладоагентом*. Это может быть газ, жидкость, твердое тело. В качестве хладоагента может быть использована окружающая среда (воздух для аппаратуры наземных и низколетящих объектов; вода (для аппаратуры, устанавливаемой на плавсредствах); материалы конструкции РЭС (при отводе тепла за счет теплопроводности). Для высоколетящих объектов или РЭС с большой теплонапряженностью, установленных на летательных аппаратах, использование в качестве хладоагента окружающей среды нецелесообразно. В комбинированных СОТР в качестве хладоагента выступают как окружающая среда, так и другие вещества. Изоляция хладоагента позволяет создавать высокоэффективные автономные (например, самолетные) жидкостные системы.

Режим работы аппаратуры влияет на тепловой режим и конструкцию СОТР. Аппаратура может работать непрерывно или периодически. Непрерывный режим работы бывает иногда кратковременным (РЭС головки наведения противотанковой ракеты).

Возможности того или иного вида СОТР и их конструкция в значительной степени определяются способом передачи теплоты (теплообмена): конвекция, теплопроводность, излучение.

САМОСТОЯТЕЛЬНО: Методика расчёта тепловых режимов [Гелль стр. 301-312; Фролов 248-299]; Защита РЭА от климатических и механических воздействий [Гелль стр.438-480; Фролов стр.307-347] .

4.9. Разработка конструкции РЭА высших структурных уровней

Характерные компоновочные схемы блоков и приборов

Компоновочные схемы блоков определяются количеством и видом составляющих элементов (дискретных радиодеталей, модульных узлов или микросхем) и их расположением. На компоновочные схемы блоков значительное влияние оказывают вспомогательные элементы (ручки, направляющие, фиксаторы, разъемы и т. п.) и выбранная модульность размеров.

В настоящее время блоки РЭА, как правило, komponуются из субблоков вида печатных плат, на которых могут быть собраны весьма сложные устройства из различных модулей, микромодулей и микросхем. Габариты и вес этих элементов одного порядка с габаритами и весом обычных дискретных компонентов. Отличие РЭА, собранной на модулях, микромодулях или микросхемах, заключается в том, что ее субблоки имеют большее количество промежуточных соединений, чем субблоки с дискретными компонентами, которые выполняются с использованием многослойного печатного монтажа. Определенная однотипность элементов позволяет использовать меньшую градацию блоков и подразделять их на субблочные, книжные и кассетные.

Малый вес современных компонентов и требования к высокой доступности явились причиной широкого распространения двух-платных конструкций. Первая плата является передней панелью блока. Она соединена цилиндрическими, прямоугольными или уголковыми деталями с задней панелью, на которой обычно ставится разъем. Если используются компоненты типа длинных переключателей, а остальных деталей мало, то в таком блоке никаких промежуточных шасси или плат не делается, так как детали и монтаж укрепляются на выводах переключателей, панелей, ламп и т. п.. При необходимости могут быть установлены одно или несколько промежуточных плат-шасси из металла или изолятора (в последнем случае ими обычно являются печатные платы). Можно снять заднюю стенку и использовать П-образные скобы для обеспечения высокой доступности монтажа и элементов.

Модульные функциональные узлы в таких блоках могут быть установлены в один или несколько этажей или рядов параллельно или перпендикулярно печатной плате блока с промежуточными соединениями (схемы 8 и 9). При вертикальной установке для повышения прочности конструкции используют дополнительные силовые элементы. Часто субблоки собирают в книжную (схема 10) или веерную конструкцию. Соединения узлов между собой выполняют пайкой, разъемами или комбинированным способом.

Несущие элементы блоков могут быть сварными, клепанными, штампованными со сборкой на винтах, литыми или прессованными. Для повышения прочности несущих элементов используют вытяжки, гнутые балочные и рамочные профили, ребра жесткости и пр.. При необходимости жесткость конструкции в целом достигается за счет использования дополнительных стяжек. При использовании в качестве основы узла легких материалов типа пенополиуретана рекомендуется их армировать (оклеивать) стеклотканью. Бло-

ки в корпусах закрепляются замками, защелками или винтами, управление которыми должно быть со стороны лицевой панели. При наличии разъемных соединений контакты разъемов должны быть разгружены от механических усилий.

При составлении или выборе компоновочных схем блоков необходимо помнить об обязательных вспомогательных элементах: ручках для вынимания и переноски, направляющих, фиксаторах, разъемах, защитных конструкциях монтажа и элементов и т. д.

Малые размеры передних панелей блоков и малый вес блоков являются причиной использования малых по размерам ручек, которые могут быть выполнены в виде кнопок, крючков или специальной формы конца передней панели. Используются также съемные ручки, ручки-ключи или скрытые ручки и т. д. Выбор того или иного варианта диктуется конкретными условиями эксплуатации данной РЭА.

Малый вес блоков, субблоков и узлов (часто выполняемых в виде плоских конструкций на платах) позволяет использовать сравнительно простые направляющие.

Назначением фиксаторов является как закрепление блока, субблока или узла, так и обеспечение фиксированного положения в пространстве при проверке или регулировке. Широкое внедрение типовых конструкций блоков с типовыми разъемами требует использования ключевых устройств, которые условно можно представить в виде логических (асимметричность формы, наличие срезов или выступов, буквенные, цифровые или цветовые обозначения и т. п.) или механических (разное расстояние между направляющими штырями, между контактами разъема, разное положение паза в плоском разъеме, сменные штыри-фиксаторы и т. п.). Целесообразно использовать механическую и логическую шифрацию одновременно.

Эта шифрация может быть выполнена различными способами' нанесением соответствующих надписей, цветовым кодом, механическими ключами. Нанесение надписей или цветового кода на передней панели и раме (каркасе), куда вставляется устройство, требует внимательности и определенных знаний от обслуживающего персонала. Когда необходимо обеспечить максимальную простоту эксплуатации или предотвратить неправильное включение устройства, лучше использовать специальные механические ключи. Эти ключи могут быть выполнены в виде выступов или шлицев специальной планки или самой печатной платы, в виде специальных штырей, служащих одновременно направляющими и фиксирующими элементами конструкции. Если использовать только один элемент (символ) шифрации, расположенный симметрично главным осям или оси симметрии, то у нас будет только одна возможная комбинация. При использовании одного несимметрично расположенного элемента можем различать правильное и неправильное положение блока, ячейки, кассеты или платы.

Модульность конструкции блоков РЭА требует выбора определенной основы для построения ряда их типоразмеров. Этот ряд должен отвечать следующим требованиям: обеспечивать определенный шаг по объемам и по

размерам при минимальном количестве базовых размеров, обеспечивать нормальную компоновку всех типов функциональных узлов и разнообразие компоновочных схем приборов и систем.

Блоки РЭА являются составной частью либо отдельных приборов, либо шкафов и пультов. Требования удобства сборки и различных вариантов компоновки блоков в приборы послужили причиной разработки новых компоновочных схем приборов.

В настоящее время очень редко используются конструкции корпусов приборов, в которых съемными плитами или листами облицован сварной, литой или клепаный корпус. Иногда используют разборные каркасные конструкции, чаще — видоизмененные разборные каркасно-рамочные.

Рациональный выбор формы и размеров блоков позволяет компоновать приборы по вертикальной или горизонтальной схеме, что дает большие удобства для исполнительных и технологических комплексов (рис. 4.8, з).

Характерные компоновочные схемы шкафов и пультов

Объединение блоков и приборов РЭА выполняется различными способами и приемами, обеспечивающими достаточную механическую прочность конструкции, требуемый набор типоразмеров блоков и приборов, хорошую доступность, место для промежуточных соединений, защиту от перегревов и механических воздействий.

Компоновочные схемы систем в первую очередь будут определяться конструктивно-компоновочными особенностями объекта, а не их принципиальными схемами, как это имело место в функциональных узлах. Компоновочные схемы систем (далее мы будем пользоваться также терминами «аппаратура» или «РЭА») тем сильнее определяются объектом, чем относительно больший вес и объем в нем занимает РЭА. Поэтому целесообразно рассмотреть компоновочные схемы аппаратуры по основной характеристике объекта, пользуясь, например, такой классификацией: носимая, возимая, стационарная, морская, для летательных аппаратов, бытовая и т. п.

В настоящее время РЭА почти всегда komponуется из отдельных частей. По способу их сочленения любую аппаратуру можно выполнить по одной из следующих трех компоновочных схем: многоблочная (децентрализованная или разбросанная), полностью централизованная, централизованная с автономными постами управления и антенными устройствами (датчиками). Две последние группы часто объединяют в одну, ибо посты управления и антенные устройства являются частями объекта и могут выполняться другими организациями или подразделениями.

Многоблочная компоновочная схема обеспечивает относительно большую легкость размещения элементов изделия на объекте; не требуется тщательная экранировка отдельных блоков (например, передатчика и приемника), которые могут быть расположены на значительном расстоянии друг от друга; при соответствующих схемных решениях может быть более надежной, сохраняя частичную работоспособность при выходе из строя отдельных эле-

ментов изделия. Однако при этом приходится мириться с тем, что соединительные кабели будут обладать значительной длиной, габаритами, весом и потерями; затруднен полный демонтаж системы; для каждого отдельного блока (узла) необходимо применять автономные устройства охлаждения, виброзащиты и т. п.

При централизованной компоновке все элементы сложной системы располагаются в одном радиоотсеке на специальных этажерочных конструкциях или в шкафах; длина и количество межблочных соединений сведены к минимуму; ремонт и демонтаж более удобны, чем при децентрализованной компоновке; легче выполнить качественные системы охлаждения и амортизации. Такая компоновочная схема требует более тщательной экранировки, особенно если приходится в одном кожухе располагать приемопередатчик; вызывает затрудненность компоновки изделия на объекте, часто требующей доработки объекта, изделия или их обоих; обладает относительно меньшей надежностью при выходе из строя общих вспомогательных систем: охлаждения, герметизации, виброзащиты и т. п. Отсюда видно, что каждому из рассматриваемых способов компоновки присущи свои преимущества и недостатки.

В настоящее время все большее распространение получает способ централизованной компоновки, при котором все элементы сложной РЭА, кроме входных и управляющих устройств, располагают в одном участке или отсеке объекта. Однако внутри этого отсека компоновка сложных аппаратов выполняется в виде совокупности отдельных блоков и приборов.

Поэтому определения «централизованная» и «децентрализованная» компоновка в основном соответствуют внешней конструктивной схеме изделия, которое выполняется в виде одной или нескольких упаковок, блоков, шкафов и т. п. Внутреннее же содержание их всегда легко может быть разделено на отдельные функциональные части (узлы, блоки).

Компоновка РЭА в целом, как и компоновка ее частей (функциональных блоков), выполняется методами последовательных приближений и коррекции с учетом особенностей собственно РЭА и объекта.

Простейшим решением задачи в этом случае является использование таких модульных конструкций блоков и приборов, которые позволяют получить сложную систему. Модульность размеров передних панелей блоков и приборов позволяет скомпоновать их в систему одной высоты, а специальные ножки дают возможность обеспечить нормальный тепловой режим и механическую фиксацию составляющих системы. Возможно использование съемных замков - «лягушек», закрепляемых лапками в отверстиях по боковой стенке кожуха, куда в ряде случаев целесообразно выносить и межблочные кабельные соединения.

Если выбрать размеры блоков и приборов так, чтобы они компоновались в одинаковые типоразмеры секций, то мы получим составные шкафы достаточной прочности за счет межсекционных соединений, используя верхнюю часть в виде крышки, а нижнюю — в виде основания. Высота таких шкафов будет кратна выбранному модулю компоновки.

При небольших размерах блоков и приборов целесообразно использовать полумонококовую конструкцию шкафов, не имеющих только одной передней стенки. Такие шкафы имеют весьма высокую механическую прочность, однако им присущи два недостатка: в них komponуются только относительно легкие блоки и приборы, либо малое количество этих элементов, а сами полумонококовые шкафы громоздки и неудобны при производстве.

Для уменьшения влияния последнего недостатка используют сборные шкафы из верхней и нижней крышек и трех панелей, соединяемых либо непосредственно, либо с помощью специального каркаса, к которому прикрепляют все эти элементы. В больших по размеру таких шкафах иногда верхнюю и нижнюю части (крышки) выполняют в виде коробов, которые не только повышают прочность шкафа, но и используются для систем принудительной конвективного охлаждения.

Можно использовать и неработающий корпус, выполнив конструкцию из двух частей: защитного кожуха (не обладающего высокой прочностью) и стойки (рамы) с основанием. В этом случае неподвижные блоки и приборы, а также те блоки и приборы, к которым в процессе эксплуатации необходим доступ, укрепляются на стойке.

Для повышения прочности можно соединить вместе две или больше стоек и получить в результате каркасную конструкцию шкафа, состоящую из 12 основных силовых элементов (по четыре в передней и задней раме и четыре соединения рам). Силовые элементы могут быть в виде уголка или различных типов закрытых профилей. В этом случае рама шкафа облицовывается плитами или листами. В настоящее время чаще используют облицовочные панели толщиной по наружным размерам 10...25 мм из тонкостенного материала, которые в таком исполнении получают значительное увеличение жесткости.

Для уменьшения имеющихся недостатков в настоящее время используют разборные конструкции рам. Используя восемь «рогулек» и отрезки закрытых профилей в виде труб различного сечения, легко собрать раму шкафа, которая будет потом облицована или дополнительно укреплена панелями. При не очень больших размерах шкафа вместо восьми «рогулек» можно использовать четыре литых угольника и профилированные стенки, которые не только дадут повышение жесткости, но и позволят в углублениях проложить межприборные монтажные соединения. При достаточной прочности панелей можно полностью отказаться от каркаса и собирать шкаф прямо из панелей с соответствующими элементами внутреннего закрепления. Подавляющее большинство шкафов и пультов современной РЭА выполняется именно таким способом.

Для того чтобы обеспечить высокую ремонтпригодность РЭА, в шкафах (это, как правило, стационарная или морская РЭА) используют специальные компоновочные схемы. В качестве направляющих используют различного типа трехколенные штанги телескопического или швеллерного типа. Если взять 2...3 винта с многозаходной резьбой, то очень просто обеспечить

открывание шкафа с помощью электродвигателя с редуктором, вращающим систему из винтов.

Если взять рычажную систему, аналогичную ножницам, и соединить с ней промежуточную раму, то можно обеспечить не только выдвижение приборов шкафа, но и их дополнительный поворот вокруг вертикальной или горизонтальной оси.

Для тяжелых приборов приходится использовать роликовые направляющие в нижней части шкафа. Используя два рычага, закрепленные у левой вертикали шкафа, можно обеспечить выдвижение приборов на одну-две их глубины. Можно установить два рычага иначе (один сверху, другой внизу). В этом случае неизбежен перенос приборов при выдвижении и необходимо использовать шарнирное закрепление осей.

Возможны и другие раскладывающиеся конструкции шкафов: из трех рам, раскладывающихся в виде ширмы, из трех рам, две из которых раскрываются в стороны, из трех рам, когда «выезжает» средняя рама при раскрытии крайних, либо раскрытия пяти рам. Можно применить и веерное раскрытие приборов в шкафу.

Унификация размеров блоков и приборов позволяет на одних и тех же элементах получать вертикальные и горизонтальные компоновочные схемы, что особенно важно при конструировании пультов модульно-панельной конструкции.

В связи с большим количеством межблочных и межприборных соединений, большинство которых замыкается в пределах данного шкафа, в шкафах (и приборах) предусматриваются специальные желоба, отсеки и другие приспособления для прокладки этих соединений.

Использование быстросъемных блоков и приборов с врубными многоконтактными разъемами превращает при этом заднюю часть шкафа в весьма сложное монтажное поле. В связи с ненадежностью высокочастотных врубных разъемов эти цепи приходится выполнять с использованием резьбовых или байонетных разъемов, устанавливаемых на специальные планки. Низкочастотные цепи, идущие от разъемов, могут быть выполнены в виде круглых и плоских жгутов, струнного монтажа или плоских кабелей. В последнем случае есть возможность отказаться от промежуточных разъемов и паек. Струнный монтаж может вестись голым проводом, либо изолированным и представляет собой по существу трехмерную монтажную структуру с обозначенными адресами проводников, что не только облегчает монтаж и проверку работы системы, но и уменьшает паразитные взаимодействия, так как это как бы «расшитый» кабель.

Чтобы обеспечить необходимую надежность малогабаритных врубных высокочастотных разъемов, были предложены конструкции, в которых за счет малых размеров можно пренебречь потерями энергии, при значительных тепловыделениях блоков и приборов в конструкции шкафа необходимо предусматривать каналы для продува воздуха, для распределительных и коллекторных устройств систем защиты РЭА от тепловых воздействий.

ТЕМА 5. Особенности конструирования РЭА различного назначения

5.1. Конструирование изделий низших конструктивных уровней

Компоновка функциональных узлов (ФУ) РЭА

Наиболее объективным и рациональным методом компоновки ФУ является компоновка не чисто геометрических моделей элементов (как это в большинстве случаев делается), а компоновка без взаимного наложения обобщенных геометрических моделей элементов. Эта методика особенно эффективна тогда, когда нецелесообразно использовать или возможно отказаться от систем принудительного охлаждения и разветвленного экранирования (в частности, различная бытовая, измерительная, РЭА промышленной электроники и для ЭВМ).

Большое влияние на компоновку простых дискретных элементов типа резисторов, конденсаторов, индуктивных и полупроводниковых элементов оказывает конструкция внутриузловых и внешних электромонтажных соединений, которые можно рассматривать по характеру соединения выводов деталей, проводников и т. п. (пайка, сварка, накрутка) и по характеру электропроводных линий (проволочные, печатные, нанесенные методом вжигания или осаждения). Наиболее распространенный метод соединения выводов деталей — пайка легкоплавкими припоями. Для повышения надежности соединения необходимо предварительно механически закрепить вывод с последующей опайкой места соединения. Использование подпружиненных пистонов, обеспечивающих механическое удержание выводов деталей и электрическое соединение, целесообразно не только в ФУ на печатном монтаже, но и на проволочном. Только при легких деталях и металлизированных отверстиях в печатной плате разрешают устанавливать выводы деталей без дополнительного механического закрепления. Однако за счет отгибки конца вывода со стороны пайки при сборке также обеспечивается механическая фиксация детали.

Были разработаны и внедрены в эксплуатацию сварные соединения. Такое соединение дает целый ряд преимуществ по механическим и электрическим параметрам, является более надежным, чем паяное. При этом необходимо изменять конструкцию выводных лепестков деталей, применять специальные тепловые экраны и конструировать монтажные платы так, чтобы их размеры, конструкция и расположение в пространстве позволили применять сварочные приспособления. Все это оказывает влияние на компоновку элементов функционального узла с использованием сварных соединений. Серьезным компоновочным недостатком сварных соединений являются их большие габариты по сравнению с паяными, что особенно заметно при применении малогабаритных элементов, и трудности ремонта таких соединений.

Используя сварку лазерным лучом большой мощности в течение сотых и тысячных долей секунды, можно локализовать термоудар, повысить качество и скорость выполнения сварки и значительно уменьшить габариты самого

сварочного соединения. Таким способом можно выполнять соединения не только элементов друг с другом, но и внутри транзисторов, а также микросхем.

В настоящее время получил распространение способ соединения проводников скруткой. В этом случае производится навивка либо выводов проводочных элементов на специальные скобки или штыри — первичное скручивание, либо специальной проволокой обкручивают выводы элементов и монтажные скобки — вторичное скручивание. При первичном скручивании конец вывода элемента определенного диаметра захватывается в патрон приспособлением и наматывается на вывод другого элемента если он имеет достаточную прочность. Чаще пользуются стандартной П-образной монтажной скобкой. При вторичном скручивании характер выводов элементов не имеет значения, так как соединение выполняется специальной монтажной проволокой, которая помещается в специальном барабане и прикручивает все необходимые выводы деталей к П-образной скобке. В настоящее время используют модификацию этого метода, при которой вместо бандажной проволоки применяют специальные скобы.

Недостатком этого метода, как и метода электродуговой сварки, является значительная длина соединительных проводников над поверхностью монтажной платы (не менее 6...8 мм), что увеличивает габариты, особенно миниатюрной аппаратуры. В последнем случае пользуются специальными приемами сварки, обеспечивающими малые габариты.

Для работы в условиях сильных вибраций сплошные проводники малого сечения непригодны, так как в процессе пайки происходит изменение прочности паяных концов, которые становятся хрупкими и легко обламываются при вибрациях и перегрузках, особенно при отсутствии дополнительных крепежных скобок. Поэтому при работе в условиях сильных вибраций и больших межблочных жгутов не разрешается применять провода малых сечений и без упрочнения, даже при наличии крепежных скобок. Для повышения прочности проводники больших сечений монтируют со специальными монтажными наконечниками. Наконечник после его закрепления на конце провода закрывается сверху изолирующей трубкой с соответствующей маркировкой. Кроме этого, необходимо при выполнении паяных соединений применять такие конструкции монтажных элементов (шпилек, лепестков), которые позволяют выполнять предварительное механическое закрепление спаиваемых деталей, фиксируемое припоем. Обычно для межузловых, межблочных и межприборных соединений а также для релейных и низкочастотных устройств (цепей) используется мягкий многожильный провод, увязанный в жгуты. В настоящее время широко используются плоские соединительные межблочные или межузловые кабели в виде тканых конструкций, или в виде особо гибких печатных конструкций, влияющих на компоновочную схему ФУ. Для жесткого навесного монтажа и монтажа на платах с лепестками, шпильками или пистонами используют луженый (серебряный) одножильный провод и различные типы печатного монтажа.

Объемные функциональные узлы используются при применении крупногабаритных деталей и электровакуумных приборов и чаще имеют форму куба или параллелепипеда и могут быть выполнены без боковых стенок. Сборка таких узлов может производиться нанизыванием их на длинные крепежные шпильки, либо с использованием индивидуальных крепежных приспособлений. При необходимости между отдельными каскадами можно поставить экранирующие перегородки — стенки. Электрические соединения выполняются либо внутри узлов, либо внешними соединительными линиями, для чего в выемке узла располагается плата с лепестками. Большое распространение получили различные одноплатные конструкции, детали на которых могут располагаться с одной или с двух сторон. Платы функциональных узлов могут иметь форму прямоугольников, окружностей, треугольников и т. п. Чаще других используются прямоугольные и квадратные функциональные узлы. Они могут быть с одно- и двухсторонним расположением деталей и собираться в компактные этажерочные конструкции. Модули в виде равнобедренных прямоугольных треугольников можно компоновать в виде квадратных блоков. Их можно использовать для многоконтактных функциональных узлов из элементов примерно одинаковой высоты. Выводы такого узла располагаются по его гипотенузе. Электрическое соединение его модулей можно выполнить с помощью промежуточных печатных плат, плат с проволочным или ленточным монтажом и жгутами или плоскими малогабаритными разъемами.

Особенностью ФУ с треугольными платами является возможность использования комбинаторных методов компоновки на универсальных печатных платах. Если расположить сильноотражающиеся элементы в вершине треугольной платы, то в центре блока можно расположить теплоотводы или системы охлаждения.

Круглые или многогранные платы функциональных узлов обычно рассчитаны на паяные соединения и закрепляются центральным несущим стержнем, выступами или соединительными проводниками — струнами. Последний способ получил наибольшее распространение в этажерочных микромодульных функциональных узлах.

В двухплатной конструкции ФУ, когда выводы элементов соединяются с противоположными платами, ремонт практически невозможен, так как для смены внутреннего элемента требуется выполнить демонтаж всех остальных. Если пользоваться платами с вырезами, то ремонт при двух-, трехрядном расположении элементов значительно упрощается. Такая «вафельная» схема компоновки находит широкое применение при компоновке элементов одинаковой длины и позволяет использовать автоматизированную пайку торцов.

Функциональные узлы с проволочным монтажом

Несмотря на широкое использование в настоящее время печатного монтажа, различные виды проволочного монтажа находят применение в функциональных узлах мелкосерийного производства, в измерительной и лабора-

торной аппаратуре. Этот вид монтажа трудно полностью механизировать (как, например, печатный), однако он удобен при мелкосерийном производстве, что послужило причиной его использования даже вместо многослойного печатного монтажа. Немаловажным преимуществом проволочного монтажа является возможность сокращения количества переходных контактов.

В функциональных узлах на электровакуумных приборах в ряде случаев целесообразно использовать монтаж «выводами деталей». При навесном монтаже «выводами деталей» монтажный провод используется только для цепей питания и внешних соединений. Выводы от точек схемы (контуров промежуточной частоты или колебательных контуров, трансформаторов и т. п.) выполняются проводниками такой длины, которая достаточна для их соединений с другими точками схемы. Мелкие резисторы, конденсаторы и другие детали с проволочными выводами закрепляются на выводах-лепестках панелей электровакуумных и ионных приборов. При таком способе монтажа требуется иметь детали с длиной выводов, превышающей стандартную. Это не всегда возможно и поэтому приходится вводить дополнительные проводники для соединения элементов между собой и с металлическим шасси.

В случае, если количество промежуточных монтажных точек превышает количество «свободных» выводов (лепестков), то выполняют навесной монтаж элементов принципиальной схемы с применением дополнительных опорных точек различной конструкции. Когда вероятность возникновения паразитных связей невелика, а габариты достаточно большие, целесообразнее вместо большого числа опорников и монтажных колодок использовать специальные монтажные платы. На этих платах можно смонтировать мелкие резисторы и конденсаторы с одной или двух сторон. Тогда к остальной части схемы идут только несколько соединительных проводников, число которых бывает, как правило, меньше числа монтажных лепестков.

В мелкосерийном производстве для специальных типов ФУДЭ целесообразно применять монтаж на пустотелых пистонах, в которые вкладываются и запаиваются выводы деталей, и соединительных проволочных перемычек.

При изготовлении натурных макетов в лабораторной практике, а также при мелкосерийном производстве пользуются перфорированными платами из изоляционного материала, в которых пробиты отверстия диаметром около 2 мм. С одной стороны в эти отверстия вставляют выводы деталей, а с другой — укрепляют соединительные проводники. Для повышения механической прочности закрепления деталей или проводников их выводы протягивают через два расположенных рядом отверстия. Выводы деталей загибаются или оборачиваются вокруг монтажных выводов. Элементы схемы можно располагать с обеих сторон платы. Недостатком конструкции такого монтажа является малая механическая прочность закрепления элементов, большой расход припоя и затрудненность демонтажа. Изолированные соединительные проводники на плате могут быть расположены под любыми углами и многократно пересекаться, что облегчает компоновку элементов схемы. Это весьма важно при необходимости ввести в прибор новый ФУДЭ по индивидуальному заказу.

В ФУДЭ на изоляционных платах вместо проводников можно применять и штампованную медную фольгу, концы которой загибаются в отверстия вместе с выводами деталей. В этом случае возможно только ортогональное расположение проводников без их пересечения, что, в свою очередь, дает возможность механизировать процесс монтажа и его пайки. По внешнему виду такие платы похожи на платы с печатным монтажом.

Используя жесткие проволочные соединения и сварку выводов элементов, возможно выполнять узлы в виде трехмерных сварных модулей повышенной надежности. После их проверки и регулировки они обычно заливаются пенопластами или компаундами.

Без применения заливки можно получить высокие значения коэффициента использования объема узла, используя двух- или трех-платный монтаж, при котором жесткое положение плат обеспечивается за счет применения колонок, скобок или жестких монтажных проводов, соединяющих платы. Такой монтаж часто называют колончатым.

Наиболее плотную компоновку дает способ «свертывания» узла из плоской в трехмерную конструкцию. В этом случае узел первоначально монтируется на изоляционной перфорированной плате с шагом 2...4 мм. В необходимых местах платы вложены специальные монтажные пистоны. После выполнения всех необходимых паяк узел вынимается вместе с монтажными пистонами из кондуктора (перфорированной платы) и проверяется на функционирование. Затем он сворачивается в трехмерную конструкцию, еще раз проверяется и заливается пенопластом. Получается очень плотно скомпонованная конструкция с высокой механической прочностью и надежной электрической изоляцией.

Функциональные узлы с печатным монтажом

Функциональными узлами с печатным монтажом мы будем называть такие ФУ, в которых межэлементные соединения выполняются с помощью плоских проводников, имеющих прочное соединение с изоляционным основанием по всей своей длине.

Сейчас известно более 40 различных способов выполнения печатных проводников, которые можно объединить в следующие две группы: избирательного удаления и избирательного нанесения проводящего материала. Существуют и различные их комбинации, наиболее распространенной из которых является выполнение печатных проводников травлением, а переходов и монтажных пистонов — осаждением меди.

Характерными представителями первой группы способов будут травление и фрезеровывание ненужных участков медной фольги с изоляционной подложки. Характерными представителями второй группы будут: способы осаждения меди из раствора, вжигание, испарение в вакууме и прессование соединений на изоляционном основании. Во втором случае для обеспечения избирательного нанесения необходимых проводников используют различные защитные маски.

В отечественной литературе метод травления фольгированного диэлектрика без металлизации отверстий принято называть химическим, метод гальванического осаждения меди на диэлектрик с металлизацией отверстий — электрическим, метод травления фольгированного диэлектрика с металлизацией отверстий — комбинированным. Более мелкую градацию (например, сеточноэлектрохимический метод, фотохимический и т. п.) мы рассматривать не будем.

Химический, электрохимический и комбинированный методы дают возможность выполнять одно- и двухсторонний печатный монтаж. При компоновке функциональных узлов с печатным монтажом важно знать характеристики печатных проводников, выполненных различными способами.

Для фольгированных изоляционных материалов используют медную фольгу толщиной от 0,02 до 0,1 мм, наклеенную на основание из гетинакса, стеклотекстолита или низкочастотного фольгированного диэлектрика толщиной 0,8...3 мм. По нормам МЭК рекомендуемая толщина 0,2; 0,5; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 и 6,4 мм и с ограничением применения 1,0; 1,2; 2,0 мм. Наибольшее распространение получила фольга толщиной 0,035 и 0,05 мм. При ее травлении легко получить проводники шириной до 0,3 мм, зазоры 0,2 мм и точность контура изображения до 0,05 мм. Для обеспечения высокого качества таких проводников их ширину берут около 0,5... 1 мм, а зазоры между ними — не менее 1 мм. Такого же порядка величины получаются и при использовании комбинированного метода.

Механическое удаление позволяет получить минимальную ширину 2...5 мм при зазорах не менее 1 мм. Эти параметры сильно зависят от прочности приклейки фольги к изоляционному материалу. Минимальная ширина проводника при способах электрохимического осаждения и механического пресования не менее 0,8... 1 мм при зазорах около 1 мм и точности контура изображения 0,1...0,2 мм. Практически эти значения берут вдвое больше при толщине проводника около 0,025 мм. В качестве основы печатных плат при электрохимическом методе используют электротехнический гетинакс толщиной 1,5...3 мм.

Используя точные штампы и мелкодисперсный порошок меди или серебра, который после горячего прессования запекается, можно получить минимальную ширину проводника до 0,01 мм. Прецизионные способы травления позволяют получать проводники шириной до 0,003 мм. Использование этих предельных характеристик требует предварительного тщательного анализа.

Так как в ряде случаев необходимо из-за сложности рисунка соединений иметь пересечения проводников, то используют не одностороннее, а двухстороннее фольгирование материала или нанесение на него проводящих составов. Легче всего выполнить переход с одной стороны платы на другую при электрохимическом осаждении и в комбинированном способе.

Основные требования к плотности компоновки, форме и размерам печатных плат следующие. Плотность компоновки ФУ с печатным монтажом определяется шириной проводника или зазором между проводниками в узком месте и берется равной 0,5...0,8 мм при пониженной плотности монтажа

(класс А) и 0,2...0,4 мм при повышенной плотности монтажа (класс Б), которая применяется только на малогабаритных платах размером не более 120х180 мм.

Наивысшую плотность компоновки дает химический метод (классы А и Б), несколько уступает ему комбинированный и на последнем месте (только класс А) стоит электрохимический.

Рекомендуется прямоугольная форма плат с отношением сторон от 1:1 до 1:4 (при размере большой стороны до 180 мм) и от 1:1 до 1:3 (при размерах сторон до 240х360). Размеры плат в ряде случаев рекомендуется брать с шагом 5 мм в диапазоне от 10 до 80 мм, 10 мм в диапазоне от 80 до 200, 20 мм в диапазоне от 200 до 360 мм. В этом случае минимальный размер платы 10х10, максимальный — 240х360 мм, а общее количество типоразмеров (а значит, и соответствующего технологического оборудования) равно 270. Анализ этих типоразмеров показывает, что коэффициент изменения площади плат при переходе от одного типоразмера к другому меняется от 1,05 до 1,5.

За основу целесообразнее взять ряд предпочтительных чисел R10 (10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315), который позволяет получить 88 типоразмеров плат от 10х10 до 250х315 мм с постоянным коэффициентом изменения площади 1,25. Шаг координатной сетки равен 2,5; 1,25 мм (ГОСТ 10317-72), причем на одной плате разрешается использовать только один шаг.

Сравнительно простые устройства типа транзисторных приемников выполняются на одной сложной плате и являются, по сути дела, уже не узлами, а приборами. Более сложные устройства типа телевизоров komponуются по схемноузловому принципу, при котором на одной плате располагается законченный блок УНЧ или УПЧ и т. п. Реже ФУ выполняются в виде отдельных каскадов, чаще — в виде законченных узлов.

ФУ на печатных платах могут быть выполнены по следующим компоновочным схемам: с горизонтальным расположением деталей, с вертикальным расположением деталей, с этажерочным (двух- или трех-платным) расположением.

Пользуясь методами технологии печатных плат, можно изготавливать не только проводниковые, но и резистивные, емкостные и индуктивные элементы. Однако наибольшее распространение получили в настоящее время печатные ФУ, в которых используются дискретные объемные элементы и одно- или двухсторонние печатные платы. К основным геометрическим характеристикам относятся толщина, ширина, адгезия, форма, размещение, рисунок проводников и зазоры между ними. Производными от них будут: прочность сцепления, плотность тока, сопротивление, паразитные емкости и индуктивности, тепловые характеристики.

Толщина фольги на фольгированных материалах, так же как и толщина осажденного медного проводника, обычно берется равной 50 мкм. Ширина зависит от величины протекающего тока, связанной с падением напряжения и перегревом проводника. Величина допустимого тока через печатный проводник равна:

$$I = 25 ab,$$

где I — ток через печатный проводник, А; a , b — толщина и ширина печатного проводника, мм.

При $a = 0,05$ мм можно приближенно считать величину тока в амперах равной ширине проводника в мм. В этом случае значение перегрева проводника не превышает 25°C .

Принимая величину падения напряжения в печатном проводнике не более $0,02U$, получаем

$$b \geq 20 I l / a U,$$

где a , b , l — толщина, ширина и длина печатного проводника, мм; I — рабочий ток, А; U — номинальное напряжение, В.

В лакальных цепях при $a = 0,05$ мм, $U = 6,3$ В $b \geq 6Il$. Печатные проводники, как и любые проводники, подвержены влиянию скин-эффекта. Однако для ФУ, работающих на частотах до 100 МГц, увеличение сопротивления не превышает 50%, что легко можно скомпенсировать применением более широких проводников. Так как современные ФУ используются в устройствах с малыми напряжениями питания (обычно до 10 В), то при выборе величины зазора можно учитывать только технологические возможности и пренебрегать зависимостью зазора от рабочего напряжения и атмосферного давления. При напряжениях свыше 100 В величина зазора должна выбираться с учетом атмосферного давления.

Расчет минимального расстояния между проводниками при различных методах изготовления выполняется по формуле

$$l = 0,5(d_1 + d_2) + n(b + k) + s(n + 1) + c + 2b_0,$$

где l — расстояние между центрами монтажных отверстий, мм; d_1 , d_2 — диаметр отверстия или зенковки отверстия, мм; n — количество проводников; b — ширина проводника (считается одинаковой для всех n проводников), мм; k — коэффициент учета ширины проводника в процессе изготовления; s — величина зазора (считается одинаковой для зазоров между проводниками и между проводником и контактной площадкой), мм; c — коэффициент, учитывающий изменение диаметра зенковок в процессе изготовления; b_0 — ширина контактной площадки в узком месте, мм.

Значения b , s , k , c и b_0 берется из табл. 5.1. В графе b через тире даются значения ширины проводника в свободных местах, после точки с запятой — в узких местах (минимально допустимые); первое значение s дает величину зазора между проводниками или контактными площадками в свободных местах, второе — зазор между проводниками, а третье — между контактными площадками в узких местах. Величина адгезии печатного проводника к основанию не зависит от его формы и приближенно может быть взята равной 200 Н/см^2 .

Таблица 5.1. Диапазон значений величин для расчёта размещения проводников

Метод изготовления и класс	Ширина проводника b , мм	Зазор s , мм	Ширина контактной площадки b_0 , мм	k	c
Электрохимический, А	2—1; 0,8	1; 0,8; 0,5 1;	0,5 макс	0,2	0,55
Комбинированный, А	2—1; 0,6	0,6; 0,5 1;	0,5...0,3	0,2	0,5
Комбинирований, Б	2—1; 0,3	0,4; 0,3 1;	0,5...0,15	0,15	0,5
Химический, А	2—1; 0,5	0,6; 0,5 1;	0,5...0,2	0,2	0,62
Химический, Б	2—1; 0,3	0,3; 0,3	0,5...0,15	0,1	0,57

При компоновке элементов печатных ФУ необходимо учитывать наличие на плате ориентирующих элементов в виде, например, скошенного под 45° одного угла, несимметрично расположенного на одной стороне ориентирующего паза или двух отверстий, расположенных несимметрично в противоположных углах платы.

Диаметр монтажных отверстий в зависимости от диаметра выводных проводников лежит в пределах от 1,3 до 2 мм, диаметр зенковки до 2,5 мм при угле зенковки 70° .

Простые ФУДЭ на печатном монтаже могут быть объединены в сложные ФУ или блоки различными способами. В качестве объединяющего элемента может быть использована общая плата из диэлектрика, металлическая, специальные стойки или разъемы. Наибольшей коммутационной способностью обладают ФУ на платах треугольной формы. Легкие элементы можно компоновать на гибких платах-основаниях, которые в свернутом виде устанавливаются в защитный кожух либо заливаются различными пенопластами, давая в результате легкую и прочную конструкцию, либо в виде плоск их гибких кабелей.

Гибкие печатные платы дают конструктору много возможностей. Они могут выполняться в виде аналога скрученных проводников, нести во втором слое специальный защитный экран, обеспечивать необходимые пересечения монтажных проводов простым разрезанием основания и его последующим «вздваиванием», использованием этажерки гибких проводников, либо заранее выполненными отверстиями с металлизацией. В качестве основы используют различные виды полиимидной пленки, на которую термостойкими клеями приклеивают проводящие соединения. Все это позволяет с помощью гибкого печатного монтажа заменять целые системы проволочных соединений.

САМОСТОЯТЕЛЬНО: гибридно-интегральные модули [Гелль стр.169-182]; конструирование гибридно-интегральных модулей [Гелль с.215-230].

САМОСТОЯТЕЛЬНО: Конструирование бытовой, лабораторной и контрольно-измерительной, морской и бортовой РЭА [Гелль стр. 59-65].