

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЁВА»

А.В. Зеленский, Г.Ф. Краснощекова

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Часть 2

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

САМАРА
Издательство СГАУ
2008

УДК СГАУ 004(075)
ББК 32.81
З 486

Рецензенты: проф. А.Д. Краснощекоев
доц. А.И. Колпаков

Зеленский А.В.
З 486 Основы конструирования электронных средств: учеб. пособие.
Ч.2 / А.В. Зеленский, Г.Ф. Краснощекова. – Самара: Изд-во Самар.
гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 76 с.

ISBN 978-5-7883-0666-7

Изложены принципы проектирования электронных средств различного назначения. Рассмотрены вопросы выбора и обоснования метода конструирования и электрического монтажа электронных средств. Даны необходимые конструкторские расчеты.

Учебное пособие предназначено для студентов заочной формы обучения специальности 210201 «Проектирование и технология ЭС».

УДК СГАУ 004(075)
ББК 32.81

ISBN 978-5-7883-0666-7

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие охватывает основные разделы дисциплин «Основы проектирования электронных средств», «Моделирование процессов в РЭС», изучаемых студентами заочной формы обучения по специальности 210201.

Построение и изложение материала выполнено с учетом возможностей студентов заочной формы обучения.

При написании учебного пособия авторы учитывали, что при выполнении самостоятельных работ и подготовке к зачетам и экзаменам студенты испытывают трудности: отсутствие рядом с работой технических библиотек, отдаленность университета и прерывистый режим обучения. Поэтому в учебном пособии даны краткие теоретические сведения, необходимые расчетные обоснования, справочный материал и примеры нескольких расчетных работ.

Цель пособия – дать комплекс материалов, который позволил бы студенту оценить проблемы при конструировании ЭС, зависящие от дестабилизирующих факторов, проанализировать и выбрать типы печатных плат, применяемых при функционально-узловом методе конструирования и наилучшим образом отвечающих требованиям при выбранных показателях качества и принятых решениях.

В пособии представлен и технологический аспект, необходимый при разработке ЭС – предложены варианты монтажных работ (пайка, жгутовой монтаж, монтаж на поверхности плат, волоконно-оптические линии связи).

1. ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

1.1. Выбор и обоснование метода и принципа конструирования

Основная задача при компоновке ЭС – это выбор форм, основных геометрических размеров, ориентировочное определение массы и расположение в пространстве (любых) элементов ЭС. Методы компоновки разбиваются на две группы: аналитические и модельные. Основой первого метода является представление геометрических параметров или их обобщение и операции с ними в виде чисел. Основой второго метода является та или иная физическая модель элемента, например в виде геометрически подобного тела. Из-за большого числа разнотипных элементов, входящих в ЭС, аналитическая компоновка не получила широкого применения и чаще заменяется номографической компоновкой.

В блоках ЭС между узлами существуют электрические, механические и другие связи. Зависимость этих связей требует различные методы конструирования (машиностроительный, геометрический).

Машиностроительный метод применяется для конструирования механизмов с большими механическими нагрузками.

Наличие в конструкции больших механических нагрузок или больших мощностей может вызвать высокие скорости перемещения отдельных частей механизмов. Для ограничения этих скоростей, уменьшения потерь энергии и устранения быстрого износа опор машиностроительный метод предлагает замыкание форм поверхностей. В подвижных соединениях это вызывает появление зазора, а в неподвижных – большие напряжения. Кроме того, в данном методе точность движения и взаимное расположение деталей обеспечивается высокой степенью точности их изготовления.

Геометрический метод применим для жестких конструкций, в которых деформация при воздействии дестабилизирующих факторов намного меньше погрешности изготовления деталей. Этот метод с ус-

пехом может быть применен для конструирования ЭС, где требуется обеспечение точного взаимного положения деталей или перемещений.

При геометрическом методе элементы конструкции с механическими связями соединяются между собой при помощи механических контактов, которые являются точками опоры. Точки опоры должны располагаться так, чтобы каждая ограничивала перемещение элемента конструкции в одном направлении. Поэтому на одной прямой не нужно применять более двух точек опоры, так как большее число точек не изменит положение тела. Основой геометрического метода является структура механических связей между элементами конструкции, представляющая систему точек, число и размещение которых зависит от степени свободы и геометрических законов твердого тела.

Конструкции, созданные геометрическим методом, мало пригодны для работы при больших механических нагрузках, так как число точек опоры не зависит от числа и величины действующих сил в конструкциях, а выбираются в соответствии с требуемым положением тела.

Выбор метода конструирования определяется многими фактами: технологичностью конструкции; требованием надежности; количеством нормализованных, стандартизованных и унифицированных деталей и узлов; выбором метода монтажа.

Особенно обдуманно нужно подходить к выбору материалов при создании конструкции. Материалы, используемые в элементах ЭС, можно разделить на изоляционные, проводниковые, контактные и конструкционные. С учетом воздействия влажности все материалы изменяют механические и электрические свойства. Для изоляционных материалов при длительном пребывании в условиях повышенной влажности характерно ухудшение электрических характеристик.

Для проводниковых материалов характерным является то, что в условиях повышенной влажности происходит окисление и коррозия проводника, в результате чего изменяется его сечение. У контактных и конструкционных материалов под действием влаги наблюдается коррозия и окисление.

В практике производства ЭС применяется несколько способов влагозащиты полимерными материалами, а именно: пропитка, заливка, обволакивание, опрессовка и консервация.

Пропитка и заливка осуществляется лаками и компаундами, обволакивание и опрессовка - компаундами и пластмассами. Консервация осуществляется в основном полимерными пленками.

Характеристики лаков, компаундов, пластмасс даны в табл. 1.1.

1.2. Технологические процессы, применяемые при изготовлении ЭС

Зачастую создание конструкций, построенных на новых принципах, связано с применением новых технологий, свойства и возможности которых еще хорошо не изучены. В этих условиях разработка конструкций должна осуществляться с непосредственным участием технологов при одновременной отработке и конструкций и технологии.

Рассмотрим основные технологические процессы, применяемые при изготовлении ЭС.

Таблица 1.1. Влажностные характеристики материалов

Вещество	Коэффициент диффузии D, см ² /г	Коэффициент влагопроницаемости p, г/см торр.г	Коэффициент растворимости h, г/см ³ торр.
Лаки:			
СБ-1-С	$8,3 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
УР-231	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Э-4100	$7,6 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-10}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
К-47	-	$3,8 \cdot 10^{-8}$	-

Компаунды: Эпоксидные компаунды Э-2200 К-115 Кремний орга- нический ком- паунд КТМ КТ-КРО	$2,3 \cdot 10^{-5}$ $3,8 \cdot 10^{-5}$ $2,4 \cdot 10^{-4}$ $8,4 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$ $1,1 \cdot 10^{-9}$ $6,4 \cdot 10^{-9}$ $1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$ $2,8 \cdot 10^{-5}$ $2,7 \cdot 10^{-5}$ $1,8 \cdot 10^{-5}$
Пластмассы: К-211-34 ФКП-32	$1,0 \cdot 10^{-5}$ $3,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$ $1,0 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$ $3,6 \cdot 10^{-4}$

Холодная штамповка является наиболее производительным и экономически эффективным способом получения заготовок и деталей при их массовом производстве. В составе многих изделий в автомобильной промышленности насчитывается до 70% деталей, изготовленных при помощи операций холодной штамповки. Типовыми представителями таких деталей являются: пластины, корпусные детали, панели, пружины из проволоки, крепежные детали и др.

Все работы холодной штамповки разделены на следующие основные группы.

Технология холодной штамповки и конфигурация инструмента устанавливаются в зависимости от размеров и формы штампуемой детали, точности штамповки, а также от программы производства.

Проектирование технологического процесса холодной штамповки включает следующие основные этапы: изучение чертежа детали и анализ технологичности конструкции детали; определение формы и размеров заготовки; определение рационального раскроя; составление плана технологического процесса; расчет усилий и выбор оборудования для каждой операции; определение операционных размеров; оформление технологических карт; проектирование штампов.

Под технологичностью детали следует понимать такое сочетание основных элементов ее конструкции, которое обеспечивает наиболее

простое изготовление в производстве и высокие качества эксплуатации.

К деталям, получаемым вырубкой и пробивкой, предъявляются следующие требования по технологичности. Конфигурация внешнего контура должна быть такой, чтобы количество отходов было минимальным. Одновременно с этим она должна также обеспечивать наиболее высокую стойкость штампа, при наименьшей его стоимости. Для выполнения этих требований необходимо соблюдать следующие основные правила оформления конфигурации деталей:

- форма детали должна быть по возможности простой, без резких переходов, узких и длинных открытых прорезей и консольных участков;
- стороны вырубаемого контура должны сопрягаться плавными кривыми возможно большего радиуса;
- минимальные размеры пробиваемых отверстий должны быть согласованы с их формой и механическими свойствами материала детали;
- при пробивке отверстий в согнутых и вытянутых деталях необходимо выдерживать определенное расстояние между ними и вертикальной стенкой детали, во избежание набега края отверстия на сопряженную часть стенок;
- следует стремиться к тому, чтобы не назначить допусков повышенной точности, т.к. это приводит к повышенной стоимости штампа.

К деталям, получаемым гибкой, предъявляются определенные требования по технологичности: правильный выбор внутренних радиусов гибки, радиусов сопряжения боковых полок с дном и размерами этих полок. Для точного фиксирования заготовки в гибочном штампе следует в деталях предусмотреть технологические отверстия.

Основные требования, предъявляемые к деталям, получаемым путем вытяжки и формовки, заключаются в следующем:

- правильный выбор радиусов сопряжения дна, стенок и фланцев;
- при конструировании деталей, получаемых вытяжкой, следует стремиться к возможно меньшей высоте, с тем чтобы деталь можно было получить за одну операцию;
- при получении деталей вытяжкой не допускать складкообразования, образующегося в результате действий сжимающих напряжений.

Заготовки для деталей, полученных холодной штамповкой, чаще всего получают из листов или лент, изготовленных согласно стандартам. Стандарты на листы и ленты приведены в сборниках государственных стандартов. В этих стандартах приводятся сортамент (габариты, толщина, точность), марки материала и технические требования.

1.3. Расчет тепловых режимов электронных блоков

Конечной целью конструкторской разработки является выпуск конкурентоспособной продукции, которая должна быть обеспечена за счет ее высокого качества, надежности, технологичности и низкой себестоимости. Сложность разработки такого изделия обусловлена начальной неопределенностью исходных данных.

На различных стадиях конструирования эта неопределенность постепенно уменьшается. Значит, разработка ЭС - это комплексное проектное решение схем, конструкций и технологий, в которое входят расчеты, моделирование, макетирование, изготовление и испытание опытных образцов.

Одним из важнейших факторов, определяющих надежность ЭС, является тепловой режим, обеспечение которого связано с выбором конструкции блока, ячейки, печатной платы, которые должны способствовать рассеиванию теплоты в окружающую среду. Расчет теплового режима проводится с целью проверки обеспечения нормального режима работы конструкции при выбранной системе охлаждения:

- естественно-воздушной;
- принудительно-воздушной или жидкостной;
- жидкостной или испарительной.

Поэтому расчет должен заканчиваться или определением температуры электрорадиоэлементов, или определением температуры в центре нагретой зоны в случае равномерно расположенных источников тепла. Для некоторых классов конструкций расчет теплового режима может быть закончен определением среднеповерхностных температур корпуса и нагретой зоны и приближенной оценкой температуры в центре нагретой зоны. Расчет теплового режима проводится по тепловой

модели конструкции, полученной в результате объекта исследования, выявляя ее теплофизические свойства и идеализацию процессов теплообмена.

Для расчета тепловых режимов блоков ЭС необходимо иметь сведения о конструкции, т.е. знать основные размеры блока, материалы, из которых он изготовлен, и сведения об окружающей среде, т.е. условия эксплуатации. Расчет тепловых режимов включает расчет тепловой характеристики, которая представляет собой зависимость температуры блока (или его поверхности) от величины мощности, рассеиваемой блоком. Для расчета широкое применение получили методы с использованием тепловой модели блока с нагретой зоной.

Нагретая зона - это часть объема, занятая шасси или платами и смонтированными на них элементами. Радиоаппаратура может иметь одну или несколько нагретых зон.

За нагретую зону принимают параллелепипед, площадь основания которого совпадает с площадью шасси, а высота равна средней высоте смонтированных на плате деталей (рис. 1.1):

$$h_2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{l_1 \cdot l_2} ; \quad l_1 \cdot l_2 = S_{III} ,$$

где V_i - объем элемента в нагретой зоне; n - число элементов в нагретой зоне; h - высота блока; h_1 - высота свободного объема от крышки до нагретой зоны; h_3 - высота свободного объема от нагретой зоны до дна кожуха.

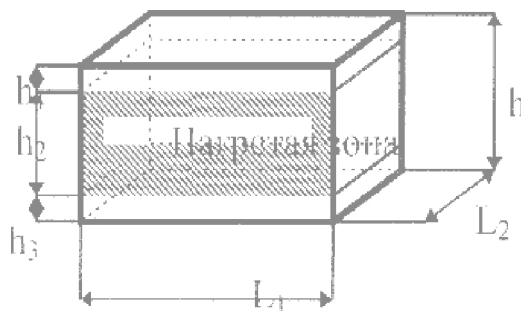


Рис. 1.1. Схематическая тепловая модель электронного блока

В задании может быть предусмотрен расчет либо герметичного, либо перфорированного аппарата. Рассмотрим расчет тепловых режимов герметичных блоков.

Исходные данные для расчетных характеристик блока ЭС:

t_c - температура среды, °С; L_1, L_2 - длина и ширина кожуха, м; h - высота кожуха, м; $S_{кр}, S_{дн}, S_б$ - площади наружных поверхностей крышки, дна и боковой поверхности, м²; l_1, l_2 - длина и ширина шасси, см; S_1, S_3 - площади внутренних поверхностей крышки и дна кожуха, м²; $S_{ш}$ - площадь шасси, м²; h_1, h_2, h_3 - высота от крышки до нагретой зоны, самой нагретой зоны и от зоны до дна, см; $\varepsilon_{кр}, \varepsilon_{дн}, \varepsilon_б$ - степень черноты боковых наружных поверхностей, наружных поверхностей крышки дна кожуха; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - степень черноты внутренних поверхностей крышки и дна кожуха; $\varepsilon_{ш1}, \varepsilon_{ш2}$ - степень черноты нагретой зоны блока сверху и снизу; Δ - толщина материала кожуха; H - давление окружающей среды (классификация условий работы представлена в табл. 1.2).

Группа 1 – электронные средства в открытых наземных и наземных помещениях с повышенной относительной влажностью; для корабельных ЭС, расположенных на верхней палубе.

Таблица 1.2. Условия работы ЭС различного назначения

Воздействующие факторы	Вид и группа						
	Наземная				Самолетная		Корабельная
	1	2	3	4	1	2	3
Вибрации с частотой, Гц	2-80	2-80	2-80	15-120	3-400	3-400	5-35
Ускорение не более, g	4-1	4-1	6-3	6-2	2-10	2-10	1,5
Ускорение при ударе, g	10	20-75	100-120	-	5	10	7

Ветер со скоростью, м/с	30	30	30	30	-	-	10
Относительная влажность, %	98	98	98	98	98	98	98
Температура, °С	30	40	40	40	40	40	40
Изменение температуры, °С	-45 +50	-50 +65	-50 +65	-50 +65	-65 +65	-60 +80	-50 +65
Атмосф. давление, ГПа	-	110	110	110	110	56	-
Слой воды, см	-	-	-	50	50	-	50
Водные брызги	5	5	5	5	5	5	5
Воздушный поток с пылью, м/с	-	-	-	10-15	10-15	10-15	-

Группа 2 - ЭС в специально оборудованных отапливаемых во время работы помещениях.

Группа 3 – ЭС, находящаяся в неотапливаемых помещениях.

Группа 4 - аппаратура в танках.

Проведем расчет зависимости $t = f(P)$ в первом приближении.

Определяем геометрические размеры:

$$S_{KP} = S_{дн} = L_1 \cdot L_2; \quad S_6 = 2h(L_1 + L_2); \quad l_1 = L_1 - 2\Delta;$$

$$l_2 = L_2 - 2\Delta; \quad S_{21} = S_{23} = l_1 \cdot l_2,$$

где S_{21} и S_{23} – площади поверхностей нагретой зоны в областях 1 и 3.

Целью дальнейшего расчета является определение зависимости

$$P = \alpha \cdot S \cdot \Delta t_k,$$

где P - мощность, рассеиваемая аппаратом, Вт; α - коэффициент теплоотдачи, Вт/м² град; S - площадь поверхности кожуха, м².

Для расчета температуры в первом приближении принимаем

$$t_{KP} = t_{ДН} = t_{\theta} = t_{кож}$$

и задаемся перегревом кожуха, тогда

$$\Delta t_{\kappa} = t_{\kappa} - t_{c(град)} ; \quad t_{\kappa} = \Delta t_{\kappa} + t_c,$$

где Δt_{κ} - температура перегрева кожуха относительно окружающей среды, °С.

$$S_1 = 2h_1[(L_1 + L_2 - 4\Delta) + (L_1 - 2\Delta)(L_2 - 2\Delta)];$$

$$S_2 = 2h_2(l_1 + l_2);$$

$$S_3 = 2h_3[(L_1 + L_2 - 4\Delta) + (L_1 - 2\Delta)(L_2 - 2\Delta)].$$

Коэффициент теплоотдачи α представляет собой сумму двух коэффициентов, значение одного из которых определяется характером конвективных потоков, а другой излучением поверхности кожуха:

$$\alpha = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\text{л}}.$$

Коэффициент теплоотдачи излучения определяется зависимостью

$$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon \cdot f(t_{\kappa}, t_c),$$

где ε - степень черноты наружной поверхности кожуха; $f(t_{\kappa}, t_c)$ - функция, зависящая от температуры, вычисляется по формуле

$$f(t) = C_0 \frac{(t_{\kappa} + 273,2)^4 - (t_c + 273,2)^4}{t_{\kappa} - t_c},$$

здесь ε - степень черноты поверхности тела, C_0 - коэффициент лучеиспускательной (поглощательной) способности абсолютно черного тела, $C_0 = 5,73 \cdot 10^{-4}$ Вт/м²град⁴.

Конвективные слагающие коэффициента теплоотдачи зависят от ориентации поверхностей в пространстве:

$$\text{для боковой поверхности} \quad \alpha_{\kappa, \theta} = 5,62A \cdot \frac{K}{M(L)} \sqrt{\frac{H}{H_0}},$$

$$\text{для крышки кожуха} \quad \alpha_{\kappa, \text{кр}} = 7,3A \cdot \frac{K}{M(L)} \sqrt{\frac{H}{H_0}},$$

для дна кожуха
$$\alpha_{к.дна} = 3,96 \cdot A \frac{K}{M(L)} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_0}},$$

где в формулах приведены следующие обозначения: A – коэффициент, зависящий от физических свойств воздуха и изменяющийся с изменением средней температуры

$$t_m = (t_k + t_o) / 2.$$

Отношение $\sqrt{\frac{H}{H_0}}$ участвует в определении α_k , если условия экс-

плуатации отличаются от нормальных условий.

Условия, при которых $H = 10322 \text{ кг/м}^2$ (110 кПа) и $t = 20^\circ\text{C}$, называют нормальными условиями.

В отношении $\sqrt{\frac{H}{H_0}}$: H – заданное давление; H_0 – давление при нормальных условиях. Коэффициенты $A = f(t_m)$; $M = f(L)$, $K = f(\Delta t)$ определяются по графикам, показанным на рис. 1.2, 1.3, 1.4.

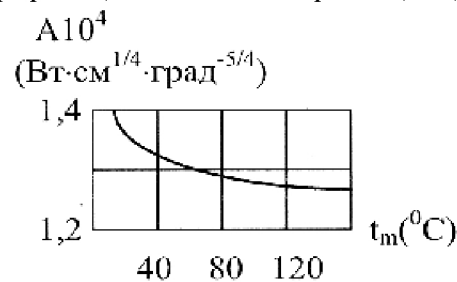


Рис. 1.2. Зависимость коэффициента $A = f(t_m)$

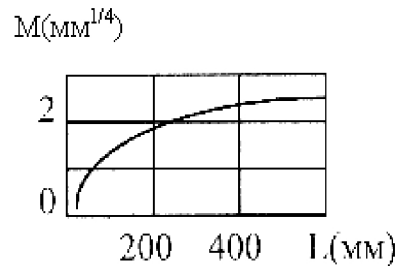


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента $M = f(L)$

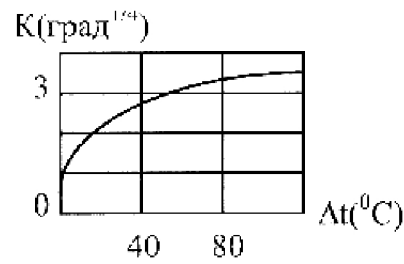


Рис. 1.4. Зависимость коэффициента $K = f(\Delta t)$

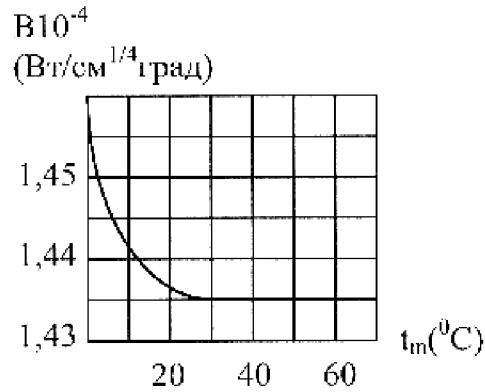


Рис. 1.5. Зависимость коэффициента $B = f(t_m)$

При расчете $\alpha_{кб}$ за определяющий размер принимается высота блока h , а при расчете $\alpha_{к,кр}$ и $\alpha_{к,он}$ нужно за определяющий размер принимать меньшую из сторон L_1 или L_2 .

Далее находится полный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_i = \alpha_{ik} + \alpha_{il}$$

и соответствующие мощности

$$P_i = \alpha_i \cdot S_i \cdot \Delta t,$$

где

$$\Delta t = t_k - t_c.$$

После чего можно найти суммарную мощность, выделяемую в блоке, и температуру нагретой зоны в первом приближении:

$$P = P_{кр} + P_{он} + P_{бок}; \quad t_{ш}^I = t_k + 2,5 \cdot \Delta t.$$

В заключение расчета первого приближения нужно отметить, что для α_{ik} предварительно необходимо найти закон теплообмена, который определяется по формуле

$$\Delta t \leq \left[\frac{0,84}{L_{опред}} \right]^3,$$

где $L_{опред}$ – определяющий размер, мм.

Если это неравенство выполняется, то теплообмен подчиняется закону $1/4$, в противном случае теплообмен подчиняется закону $1/3$. Графики на рис. 1.2, 1.3, 1.4 соответствуют закону $1/4$.

Если теплообмен подчиняется закону $1/3$ степени, мощность рассеивания определяется соотношением

$$P_k = A(S_{\sigma} + 1,3S_{кр} + 0,7S_{дн}) \Delta t^{4/3},$$

где A – коэффициент, зависящий от температуры (смотри табл. 1.2).

Таблица 1.3. Зависимость коэффициента A от температуры

$t_m, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80	100	150
A	1,69	1,61	1,53	1,45	1,39	1,33	1,23

Для определения мощности, рассеиваемой облучением, пользуются формулой

$$P_{изл} = 5,67 \cdot S_{\kappa} \cdot \left[\left(\frac{273 + t_c + \Delta t_{\kappa}}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_c}{100} \right)^4 \right],$$

где

$$S_{\kappa} = 2 \cdot S_{\sigma} + 2 \cdot (1,3 \cdot S_{кр}) + 2 \cdot (0,7 \cdot S_{дн}).$$

Общая мощность

$$P = P_{\kappa} + P_{изл}.$$

На этом заканчивается расчет первого приближения.

Проведем расчет зависимости $t = f(P)$ во втором приближении.

В этой части расчета учитываются некоторые дополнительные условия. Теплообмен внутри блока осуществляется за счет конвекции и излучения. В справочниках даны ϵ для тех случаев, когда поверхности излучают тепло в открытое пространство, т.е. для случаев, когда отра-

жение лучей отсутствует. В блоках же происходит отражение тепловых лучей, что эквивалентно изменению степени черноты внутренних поверхностей. Новое значение степени черноты принято называть приведенной степенью черноты (ε_{np}).

Найдем ε_{np} для отсеков блока:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}; \quad \varepsilon_{np2} = \varepsilon_{np1} \cdot \varepsilon_{np3}.$$

Коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием для верхнего и нижнего отсеков вычисляется по формулам:

$$\text{для верхнего отсека} \quad \alpha_{л1} = \varepsilon_{np1} f_1(t_{шт}^1 t_K);$$

$$\text{для нижнего отсека} \quad \alpha_{л3} = \varepsilon_{np3} f_1(t_{шт}^1 t_K);$$

$$\text{для нагретой зоны} \quad \alpha_{л2} = \varepsilon_{np2} f_1(t_{шт}^1 t_K).$$

В значение функции вместо температуры кожуха нужно взять температуру нагретой зоны, полученную в первом приближении, а за температуру среды принять температуру кожуха.

Рассчитаем конвективный теплообмен во втором приближении. В верхнем отсеке, кроме теплообмена излучением, происходит конвективный теплообмен, а в нижнем отсеке конвекция практически отсутствует, так как нет перемешивания воздуха. Тогда коэффициент теплоотдачи конвекцией для верхнего отсека может быть найден формулой

$$\alpha_{K1} = B \sqrt{\frac{\Delta t}{h_1}} \cdot \sqrt{\frac{H}{H_0}},$$

где $\alpha_{K1} = \alpha_{K2}$, так как шасси ориентирован горизонтально; B - величина, характеризующая свойства воздуха в зависимости от средней температуры t_m , график зависимости показан на рис. 1.5.

Здесь

$$t_m = \frac{(t_{шт}^1 + t_K)}{2}; \quad \Delta t = t_{шт}^1 - t_K.$$

$$\text{Для нижнего отсека} \quad \alpha_{к.дн} = \frac{\lambda_{возд}}{h_3},$$

где $\lambda_{возд}$ - коэффициент теплопроводности воздуха.

Далее находим полный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_1 = \alpha_{\text{лн}} + \alpha_{\text{ки}}.$$

После чего определяем тепловые проводимости кожуха и зоны по формуле

$$\sigma_k = \sum_i \alpha_i \cdot S_{ki},$$

где

$$S_{ki} = S_{kp} + S_{\text{дн}} + S_{\text{бок}}; \quad \sigma_k = 23(L_1 - 2\Delta) \cdot (L_2 - 2\Delta).$$

Далее находим температуру зоны во втором приближении:

$$t_{\text{ш}}^{\text{II}} = t_c + P \left(\frac{1}{\sigma_s} + \frac{1}{\sigma_k} \right).$$

Если температура зоны $t_{\text{ш}}^{\text{II}}$ значительно отличается от температуры $t_{\text{ш}}^{\text{I}}$, то расчет повторяется в третьем приближении по методике второго приближения. Допустимое значение отличия температур составляет 2...3°C.

Вторая точка тепловой характеристики находится аналогично, но при другой выбранной температуре перегрева кожуха - Δt_k . По найденным точкам строится тепловая характеристика

$$\Delta t_{\text{ш}} = f(P) \text{ и } \Delta t_k = f(P)$$

и определяется перегрев блока при определенной заданной мощности блока P .

Учитывая, что отдельные элементы конструкции могут находиться в зонах, температура которых может быть больше $t_{\text{ш}}$, необходимо элементы выбирать на температуру $t_{\text{оет}} = 1,3 t_{\text{ш}}$.

Для снижения температуры нагретой зоны и кожуха можно применять перфорацию кожуха и шасси аппарата.

Отверстия нужно располагать при этом симметрично нагретой зоне и дальше от нее. Площадь отверстий в шасси может составлять не более 5-6% полной площади нагретой зоны, а общая площадь отверстий в кожухе - около 20 ... 25% полной его поверхности.

Перфорация снижает температуру кожуха и шасси примерно на 20 ... 30%.

1. 4. Расчёт системы амортизации ЭС

Целью расчета являются: определение частоты собственных колебаний системы f_0 ;

- определение параметров вынужденных колебаний амортизируемого блока по известным параметрам колебаний основания;
- установление эффективности виброизоляции выбранной системы амортизации.

При выборе амортизаторов должны быть выполнены условия, при которых общая грузоподъемность всех амортизаторов равна массе амортизируемой аппаратуры, а координаты центра тяжести ее совпадают с координатами центра тяжести амортизаторов. Напомним, что центр тяжести амортизируемого тела может быть вычислен по формулам, известным из теоретической механики, или определен экспериментально. Центром тяжести системы амортизации называется точка приложения равнодействующей параллельных сил, которые являются реакциями амортизаторов на внешнюю нагрузку и пропорциональны жесткости амортизаторов.

Конструирование системы амортизации ЭС начинают с выбора типа амортизаторов и схемы их расположения.

При выборе амортизаторов учитывают допустимые нагрузки на них и предельные значения параметров, характеризующие условия эксплуатации. Принципиальная схема системы амортизации зависит в основном от характера расположения аппаратуры на объекте и условий динамического воздействия.

После выбора типа амортизаторов и схемы системы амортизаторов производят расчет статистических нагрузок на амортизаторы, а также параметров собственных и вынужденных колебаний амортизируемой аппаратуры. На основании данных расчета выбирается типоразмер амортизаторов. Затем уточняется схема расположения амортизаторов.

В результате вибрационного расчета определяются частота свободных или собственных колебаний амортизируемой аппаратуры f_0 ,

амплитуда перемещения или ускорения вынужденных колебаний A , а также эффективность виброизоляции.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ЭС

2.1. Внутри- и межблочный монтаж

Внутри- и межблочный монтаж ЭС выполняется жгутами, проводами, плоскими кабелями и различными типами линий связи. Выбор типа монтажа зависит в основном от требований конструкции, от вида ЭС. Основные факторы при выборе монтажа - минимальная его длина, технологичность, надежность и помехоустойчивость

Жгутовой монтаж ЭС состоит из следующих характерных этапов: подготовки радиодеталей; заготовки монтажных проводов, кабелей и жгутов; электрического монтажа аппаратуры; пайки монтажных соединений; сварки монтажных соединений.

Навесные детали (конденсаторы, резисторы, полупроводниковые приборы) перед монтажом проходят подготовку, во время которой их выпрямляют, подрезают, лудят и изгибают выводы.

Обычно длину выводов выбирают с таким расчетом, чтобы после их закрепления на контактных лепестках расстояние между местом крепления (пайки) и корпусом радиодетали было бы минимальным, но не менее 8...10 мм (если нет специальных указаний в технологической карте).

Подготовка навесных деталей ведется с применением специальных приспособлений и установок, позволяющих механизировать и автоматизировать эти операции.

Заготовку монтажных проводов начинают с правки (выравнивания) провода, поступающего на завод в бухтах. После этого провод разрезают на заготовки необходимой длины, указанной в технической документации.

При монтажных работах сращивание проводов из отдельных отрезков не допускается. Марку провода, его сечение и расцветку также определяют по технической документации.

Способ заготовки монтажных проводов зависит главным образом от масштаба производства.

В серийном производстве для мерной резки проводов применяют приспособления и станки, значительно повышающие производительность труда и точность этой операции.

После резки монтажные провода и кабели поступают на заделку концов, которая состоит из следующих операций: зачистки концов от изоляции и экранирующей оплетки, удаления окисной пленки, скручивания жил, лужения и закрепления концов изоляции.

Способ заделки концов зависит от ряда факторов: марки применяемого провода или кабеля, конструктивных особенностей монтажа и его деталей, условий эксплуатации радиоаппаратуры, а также от масштаба производства.

Зачистка провода от изоляции должна проводиться на такую длину, которая бы обеспечивала надежность закрепления жил на контактных лепестках без излишних технологических отходов. Обычно это 7...10 мм. Изоляция удаляется с проводов различными способами:

а) с проводов МГВ, МГВЛ, МГВСЛ, БПТ-20, ТМ-250, ПВМ, ПМОВ (с внутренней изоляцией из стекловолокна), БПВЛ, МЦСЛ - способом надреза на автомате;

б) с проводов МГВ, МГВЛ, БПВЛ, ПВЛ, ПМВ, ПМОВ (с внутренней изоляцией из хлопчатобумажного волокна), ПМВГ, МГШВ, МГЛ, МОГ - способом электрообжига на автомате одновременно с мерной резкой заготовок или электрообжигом изоляции на специальном приспособлении, устанавливаемом на столе монтажника;

в) с одиночных проводов МГВ, МГВЛ, МГВСЛ, БПВЛ, БПТ-250, ПВЛ, ПМВ, ПМОВ (с внутренней изоляцией из стекловолокна), МЦСЛ, ЛПЛ, МОГ, ТМ-250 - специальными щипцами.

Эмалевую изоляцию удаляют: с проводов ПЭТ, ПЭЛ - шлифовальной шкуркой, шабером и пр.; с проводов ПЭВ и ПЭМ - опуская концы провода в муравьиную кислоту, затем протирая мягкой тряпкой; с многожильных проводов ЛЭШО и ЛЭШД - нагревая в верхней части пламени спиртовой горелки распущенный конец провода до светлосоломенного свечения и быстро погружая в спирт крепостью не менее 94°, а затем протирая мягкой тряпкой.

Кроме рассмотренных способов для удаления эмаливой изоляции применяют нагревательные и механические приспособления.

Нагревательное приспособление представляет собой фарфоровую трубку, на которую намотана нагревательная спираль. Трубка закреплена на деревянной ручке. Питание осуществляется через понижающий трансформатор. Для удаления изоляции концы провода вводят внутрь фарфоровой нагретой трубки, где эмаль сгорает.

К механическим приспособлениям, предназначенным для удаления эмаливой изоляции, относится устройство с металлическими щетками, которые вращаются при помощи электродвигателя в противоположных направлениях. Изоляция снимается за несколько секунд. Станок с вращающимися металлическими щетками может быть использован для снятия любой изоляции, включая резиновую и стекловолокнистую.

Настройка полуавтомата на определенную длину оклетневки при различных номерах ниток производится сменой кулачка и зубчатого колеса. Хорошим способом заделки хлопчатобумажной изоляции на концах провода является заделка с помощью хлорвиниловых, резиновых или линоксиновых трубок (рис. 2.1а).



Рис. 2.1. Закрепление изоляции провода:

а) - отрезком трубки ; б) - нитролаком ;

1 - жила; 2 - нитролак; 3 - изоляция

Заделку нитролаком выполняют на участке провода длиной 8...10 мм (рис. 2.1б).

При закреплении концов оплетки проводов БПВЛ, МГВЛ и МГВСЛ нитролаком или оклетневкой оплетку предварительно сдвигают на 3...5 мм от места среза полихлорвиниловой изоляции, а избыток ее разгоняют вдоль провода.

При удалении изоляции с проводов БПВЛ и МГВЛ электрообжигом концы оплетки спекаются с внутренней изоляцией, поэтому закреплять их не нужно.

Текстильную изоляцию провода ПВЛ снимают на участке длиной 8...10 мм от места среза резиновой изоляции. Изоляцию с экранированных проводов снимают ступенями (рис. 2.2). Размеры со звездочкой устанавливают в зависимости от рабочего напряжения провода (табл. 2.1).

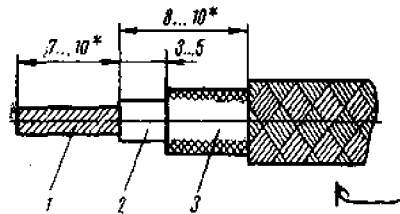


Рис. 2.2. Разделка конца провода БПВЛЭ (БПШЭ, МГВЛЭ, МЦСЛЭ):

1 - жила; 2 - пластиковая изоляция; 3 - текстильная оплетка

Таблица 2.1 Зависимость расстояния между жилой и оплеткой

Напряжение, В	127	220	380	500
Наименьшее допустимое расстояние, мм	3	5	7	9

Заделку концов экранирующей оплетки выполняют несколькими способами:

- 1) протаскиванием конца провода через отверстие, сделанное в оплетке, и подключением свободного конца оплетки к корпусному лепестку;
- 2) подпайкой к оплетке дополнительного провода;
- 3) намоткой на оплетку голого луженого провода и последующей пропайкой этого места;

4) закреплением экранирующей и текстильной оплеток нитками с последующим покрытием нитроклеем и припайкой к середине провода МГВ (этот способ применяется для коротких проводов). Обычно монтажные провода, прокладываемые в одном направлении, увязывают в общий жгут хлопчатобумажными или льняными нитками. Жгутовый монтаж отличается повышенной механической прочностью, уменьшает разброс собственной емкости схемы, снижает трудоемкость монтажных операций.

Электрический монтаж состоит в укладке проводов, жгутов и кабелей на шасси прибора, механическом закреплении жил проводов и выводов навесных радиодеталей на контактах и контактных лепестках и последующей пайке или сварке мест соединений.

Принят следующий порядок выполнения монтажа:

- 1) монтаж расширочных панелей, переключателей и других обособленных узлов (до их установки на шасси);
- 2) монтаж перемычек из голого провода;
- 3) установка одиночных проводов;
- 4) установка на шасси предварительно смонтированных узлов и монтаж проводов, идущих от этих узлов;
- 5) укладка жгута на шасси и монтаж его проводов;
- 6) монтаж навесных радиодеталей (резисторов, конденсаторов).

Монтаж необходимо выполнять в строгом соответствии с предъявленными техническими требованиями.

Детали и узлы, поступающие на монтаж, должны иметь облуженные контактные лепестки и выводы. Луженая поверхность должна быть чистой, глянцевой, ровной, без потеков припоя. Обычно лепестки и выводы предварительно лудят припоями ПОС-40 и ПОС-61. Слой полуды должен быть сплошным, одинаковой толщины, не более 50...70 мкм. Лепестки и выводы обрабатывают двумя способами: горячим лужением (погружением в расплавленный припой) и гальваническим лужением в электролитических ваннах. Исследование спаиваемости монтажных лепестков, луженных различными способами, показало, что лучшие результаты дает гальваническое лужение припоем ПОС-61.

Непосредственно перед пайкой припой на контактных лепестках и выводах оплавляют, окуная их в нагретое до температуры 250...270°C касторовое или трансформаторное масло или в глицерин.

Укладку проводов и жгутов проводят в строгом соответствии с монтажной схемой. Произвольное размещение монтажных проводов или отступления от монтажной схемы могут привести к значительным отклонениям значений выходных параметров радиоаппаратуры (чувствительности, полосы пропускания и др.) от заданных.

Нельзя укладывать провода с винилитовой изоляцией на острые металлические кромки. Длинные монтажные провода и жгуты закрепляют на шасси специальными скобами, чтобы избежать изменения расстояния между проводниками в условиях эксплуатации.

Крепление жгутов и кабелей рекомендуется производить на участках длиной более 150 мм. Нельзя применять провода с поврежденной или восстановленной изоляцией. Подключение проводов жгута к контактным лепесткам выполняют в соответствии с маркировкой, расцветкой и длиной их концов. Если сомневаются в правильности соединения, провода проверяют при помощи пробника.

Механическое крепление жил проводов и выводов навесных деталей на контактах и контактных лепестках выполняют, чтобы повысить прочность соединения.

В зависимости от требований, предъявляемых к прочности монтажа, применяют различные способы крепления проводников на контактных лепестках. Обычно концы монтажных проводов продевают в отверстие лепестка (контакта) и загибают. Если же аппаратура предназначена для работы в условиях тряски и вибрации, концы проводов отгибают вокруг лепестков на 1...2 оборота и обжимают.

Нельзя паять незакрепленные концы (встык и внахлестку). Только в виде исключения в процессе настройки разрешается подпайка выводов радиодеталей без механического закрепления. Такие детали на схеме помечают звездочками. Окончив настройку, делают обязательную пайку с механическим закреплением.

Обычно к одному контактному лепестку подключают не более трех токопроводящих жил и лишь в исключительных случаях до пяти.

При этом каждую из них в отдельности навивают на лепесток и обжимают. Расстояние от места закрепления жилы до среза изоляции монтажного провода не должно превышать 1... 1,5 мм.

Проводники не должны быть натянуты, это предохраняет монтаж от разрушения при вибрации и облегчает замену радиодеталей, вышедших из строя. Навесные радиодетали располагают друг от друга, а также от шасси и токопроводящих поверхностей не менее чем на 2 мм.

Монтаж полупроводниковых приборов проводят с соблюдением следующих правил:

- а) тщательно следят за правильностью подключения, полярностью выводов (первым подключается базовый вывод триода);
- б) выводы закрепляют осторожно, чтобы не согнуть их в местах выхода из корпуса;
- в) расстояние от места крепления выводов до корпуса должно соответствовать техническим условиям.

На рис. 2.3 показана заделка провода в кабельный наконечник.

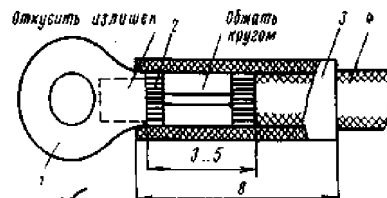


Рис. 2.3. Заделка провода в кабельный наконечник:

1 - наконечник; 2 - жила; 3 – изоляционная трубка; 4 - изоляция

Облуженный конец жилы вставляют в зажимную часть, а затем плотно обжимают специальными щипцами и удаляют излишки жилы. После пайки на наконечник надвигают полихлорвиниловую трубку.

Пайка монтажных соединений необходима для обеспечения механически прочного и надежного электрического контакта; выполняют ее мягкими оловянно-свинцовыми припоями.

Механическая прочность правильно выполненных паяных швов всегда бывает выше прочности самих припоев и обеспечивается, преж-

де всего, выбором оптимального зазора между спаиваемыми деталями. Зазор по возможности должен быть небольшим, чтобы его заполнил сплав припоя с основным металлом. С другой стороны, слишком малый зазор затрудняет проникновение припоя и приводит к образованию пустот в шве, которые снижают его прочность, электропроводность, герметичность и т. д. Оптимальная величина зазора, соответствующая наибольшей механической прочности паяного шва для оловянно-свинцовых припоев, составляет 70...80 мкм.

Кроме выбора оптимального зазора, для обеспечения качественной пайки необходимо, чтобы поверхность деталей была чистая, без окислов и загрязнений, чего добиваются, применяя флюсы, которые, во-первых, очищают поверхности соединяемых деталей от загрязнений и растворяют окисные пленки и, во-вторых, предохраняют поверхность от окисления в процессе пайки.

При монтаже аппаратуры нельзя применять в качестве флюса хлористый цинк, так как он, будучи растворенным в воде, содержит свободные пары соляной кислоты, которая разрушает жилы проводов и изоляцию.

Основным флюсом, применяемым при монтаже радиоаппаратуры, является канифольно-спиртовой флюс (30%-ный раствор канифоли в спирте). Кроме раствора канифоли, применяют и кусковую канифоль. Она растворяет окислы меди при температуре выше 150°C и не вызывает разрушения проводов и деталей.

При пайке стальных корпусных лепестков с гальваническим покрытием (никель, цинк и др.) применяют флюс ЛТИ-120, представляющий собой спиртовой раствор триэтанолamina и канифоли с активными добавками.

Перед нанесением флюса на соединяемые детали производят механическую очистку поверхности, которую желательно сделать шероховатой, с сетью капиллярных канавок. Эти канавки увеличивают смачивание основного металла припоем.

Оловянно-свинцовые припои, применяемые для пайки монтажных соединений, представляют собой сплавы олова и свинца. Чистое олово при пайке не применяется из-за явления «оловянной чумы», на-

блюдающегося при длительном воздействии температуры ниже 5°С (олово рассыпается, образуя серый порошок), а также из-за хрупкости соединений и дефицитности олова. Кроме того, жидкотекучесть чистого олова ниже, чем сплава, что весьма важно для получения качественной пайки.

Основными припоями, имеющими широкое распространение при монтаже аппаратуры, являются припой ПОС-40 и ПОС-61 с содержанием соответственно 40 и 61% олова.

Припой ПОС-40 применяют для лужения токопроводящих жил проводов, кабелей РК, кабельных наконечников, контактных лепестков, а также для пайки большинства монтажных соединений, допускающих нагрев до 280° С.

Припой ПОС-61 применяют для лужения и пайки изделий, допускающих нагрев не выше 230° С. В тех случаях, когда аппаратура работает при температурах, превышающих температуру плавления припоев ПОС, применяют припой ПСР-2,5, который содержит 2,5% серебра, 5,5% олова, 92% свинца. Температура кристаллизации припоя 305° С.

При пайке деталей из стали, оцинкованного железа, белой жести, меди и медных сплавов используют главным образом припой ПОС-18 и ПОС-30. Повышения механической прочности припоев достигают, вводя в их состав сурьму (до 1,5...2,5%).

В практике монтажа находят применение и легкоплавкие припой ПОК-56 и ПОСВ-33, которые содержат, кроме олова и свинца, висмут и кадмий. Эти припой применяют для пайки при пониженной температуре; температура их плавления лежит в пределах 60...180° С.

Припой ПОК-56 (олова 56% и кадмия 44%) используют для лужения и пайки соединений, допускающих нагрев не выше 140°С, например, при пайке жил и экранов высокочастотных кабелей, выводов полупроводниковых приборов и для соединений вблизи ранее сделанных паек.

Припой ПОСВ-33 (олова 33,4%, свинца 33,3% и висмута 33,3%) применяют для лужения и пайки изделий, допускающих нагрев не выше 140...150° С.

При пайке проводов с арматурой стеклянных изоляторов применяют легкоплавкий припой ПОСК-50. Для улучшения качества пайки и повышения производительности труда рекомендуется применять трубчатый припой с канифольным наполнителем. Формы сечения трубчатых припоев показаны на рис.2.4. Припой представляет собой трубку из оловянно-свинцового сплава, внутри которой помещен канифольный флюс. Такой конструкции свойственны некоторые недостатки, заключающиеся в преждевременном вытекании и испарении флюса, возможных перерывах и подаче флюса к месту пайки.



Рис. 2.4. Формы сечения трубчатых припоев

Измененная форма сердцевины значительно уменьшает вероятность образования пустот в трубчатом припое и перерывов в подаче флюса.

Качество пайки монтажных соединений определяется: правильностью заточки жала паяльника, температурным режимом паяльника, количеством флюса и припоя, прогревом места пайки, временем пайки, правильным применением теплоотвода и т. п.

Наиболее удобной формой жала паяльника считается четырехгранная с заостренными углами $20...30^\circ$ и $10...20^\circ$ (рис. 2.5).

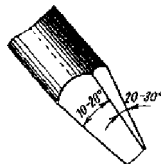


Рис. 2.5. Заостренный конец жала паяльника

Поверхность жала должна быть ровной, без раковин, очищенной от нагара и хорошо облуженной.

Таблица 2.2. Температура нагрева паяльника

Марка припоя	Температура плавления припоя, °С	Температура нагрева паяльника, °С
ПОС-40	235	280...300
ПОС-61	183	230...250
ПОСВ-33	130	150...170
ПОСК-50	145	170...190

Температуру нагрева паяльника выбирают такой, при которой припой быстро плавится, но не стекает с рабочей части (жала), а канифоль не сгорает мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Температуру нагрева паяльника, в зависимости от марки припоя, можно выбрать по табл. 2.2.

Припой представляет собой трубку из оловянно-свинцового сплава, внутри которой помещен канифольный флюс. Такой конструкции свойственны некоторые недостатки, заключающиеся в преждевременном вытекании и испарении флюса, возможных перерывах и подаче флюса к месту пайки.

Длительность пайки не должна превышать 4...5 с.

Перегрев при пайке весьма опасен для конденсаторов КБГ и КСГ, так как он может вызвать выплавление или растрескивание проходных изоляторов; в конденсаторах КСО - размягчение или растрескивание пластмассы.

Перегрев при пайке вызывает изменение параметров резисторов и конденсаторов. Эти изменения могут достичь больших значений; например, при пайке непроволочных резисторов возможные отклонения от номинальных значений достигают 20%. Поэтому необходимо соблюдать определенные расстояния между местом пайки и корпусом детали. Эти расстояния должны быть не меньше 8 мм для резисторов ВС, германиевых диодов ДГД, конденсаторов КСО, КТК, КДК и 5...8 мм для

резисторов С2-23. Качество паяных монтажных соединений во многом зависит от правильного применения теплоотвода. Теплоотвод представляет собой пинцет с медными насадками на губах. Пайку с теплоотводом применяют, когда расстояние от корпуса детали (резистора и конденсатора) до места пайки меньше 8 мм, когда провода заключены в полихлорвиниловые трубки, когда расстояние от корпуса полупроводникового прибора до места пайки меньше 10 мм, а температура плавления припоя превышает 150°С и, наконец, при пайке на контактных лепестках, расположенных на стеклянных изоляторах.

Для пайки монтажных соединений применяют электрические паяльники с нагревательным элементом в виде спирали из нихромовой проволоки.

Требуемую мощность паяльника выбирают в зависимости от массы и марки материала соединяемых деталей. При монтаже радиоэлектронной аппаратуры применяют паяльники мощностью 50; 75; 120 Вт с питанием от сети переменного тока напряжением не более 36 В. Паяльники на 75 и 120 Вт используют для пайки соединений со значительной массой металла (провода большого сечения, кабельные наконечники, корпусные лепестки и др.).

По конструкции электрические паяльники бывают трех типов: молотковые, торцовые и Г-образные. Паяльники этих типов имеют существенные недостатки: большую потерю времени на разогрев жала, окисление жала, так как оно постоянно нагрето, непроизводительный расход электроэнергии.

От этих недостатков свободен импульсный паяльник, жало которого представляет собой U-образный медный провод, который одновременно служит нагревательным элементом. Медный провод соединен со вторичной обмоткой понижающего трансформатора.

Трансформатор питается от сети переменного напряжения 220, 127 и 36 В. Лампочка, включенная в дополнительную обмотку III трансформатора, сигнализирует о включении паяльника.

Конструктивно паяльник оформлен в виде пистолета, в кожухе которого находится трансформатор. При нажатии на курок включается в сеть первичная обмотка трансформатора, при этом во вторичной об-

мотке индуцируется ток низкого напряжения в несколько сотен ампер. За 3...4 с паяльник нагревается до необходимой температуры. Масса паяльника 700 г, потребляемая мощность 135 Вт.

Самый опасный дефект - пропуск паяк. Пропуск паяк опасен тем, что прибор с механически закрепленным, но незапаянным проводником проходит весь цикл регулировок и проверок. Незапаянный контакт и проводник покрываются окисной пленкой, в этом узле резко возрастает переходное сопротивление или совершенно обрывается цепь, что приводит к отказу аппаратуры.

Одна из последних операций монтажа – очистка прибора от остатков монтажных материалов и пыли; прибор продувают сжатым воздухом в специально отведенном для этого помещении.

Законченный монтаж передают на технический контроль.

Хотя пайка оловянно-свинцовыми припоями и является основным способом соединений монтажа и широко распространена, она имеет ряд существенных недостатков, основные из которых сводятся к следующему:

- а) сравнительно небольшой температурный интервал (от 60 до +130° С);
- б) низкая механическая прочность паяного соединения, выполненного легкоплавкими припоями;
- в) высокая стоимость припоев и флюсов;
- г) трудность механизации и автоматизации процесса.

Замена пайки электродуговой сваркой позволяет устранить указанные недостатки паяных соединений.

Сварка монтажных соединений. Сварное соединение характеризуется повышенной механической прочностью, малым электрическим сопротивлением, а также надежностью при тепловых перегрузках. Кроме того, сварка дает следующие преимущества:

- а) отпадает необходимость производить лужение или серебрение поверхностей соединяемых деталей;
- б) отсутствуют затраты на припой и флюсы;
- в) отсутствуют вредные испарения, характерные при пайке;

г) появляется возможность соединения таких материалов, как нихром, константан, фехраль, не поддающихся пайке.

Однако замена пайки сваркой приводит к необходимости изменения конструкции монтажных деталей радиоаппаратуры. Эти изменения касаются главным образом лепестков и определяются технологическими требованиями. При сварке удобно применять лепестки в виде полутрубочки с отверстием сбоку (рис. 2.6а).

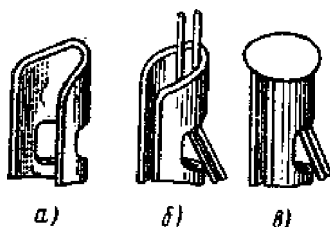


Рис. 2.6. Последовательность выполнения сварного соединения

Проводник вставляют через боковое отверстие лепестка так, чтобы конец выступал на 5... 6 мм. Затем полутрубочку обжимают в трубочку (рис. 2.6б) и сваривают (рис. 2.6в). Для отвода тепла и предупреждения перегрева монтажных соединений при электросварке применяют термоэкран. Процесс электросварки монтажных соединений может быть механизирован и даже автоматизирован. Качество сварных соединений, полученных электросваркой, контролируют обычными методами, применяемыми для паяных соединений, причем особое внимание обращают на соединение нескольких проводников и выводов, особенно из различных материалов. После контроля сварные соединения окрашивают лаком или краской, чтобы предохранить их от коррозии.

Изготовление радиоэлектронной аппаратуры с применением печатных плат можно разбить на ряд этапов: печатание электрического монтажа; подготовка радиоэлементов к монтажу; установка радиоэлементов на печатной плате; пайка; контроль.

Печатным монтажом называется система печатных проводников, обеспечивающих электрические соединения элементов схемы, экранирование, заземление.

Печатание электрического монтажа заключается в создании тем или иным способом токопроводящих покрытий (проводников) на изоляционном основании (плате), проводники представляют собой узкие и тонкие полоски металла, выполняющие функции монтажных проводов. Печатные проводники могут быть расположены с обеих сторон изоляционного основания.

Конденсаторы, резисторы, полупроводниковые приборы и другие детали и элементы схемы закрепляют в определенных точках в отверстиях печатных проводников, а затем припаивают к ним. Применительно к технике печатного монтажа такие детали и элементы получили название навесных.

Печатная плата представляет собой изоляционное основание с выполненным на нем печатным монтажом (рис. 2.7).

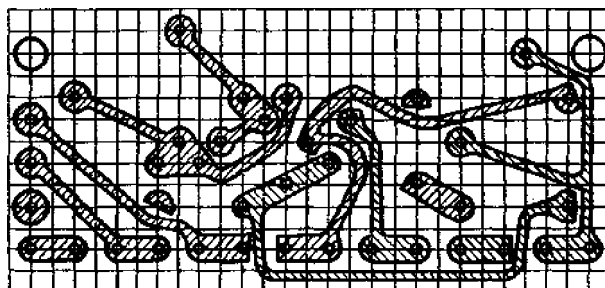


Рис. 2.7. Печатная плата

Применение печатного монтажа повышает надежность аппаратуры, обеспечивает однообразие в монтаже, исключает ошибки монтажа и уменьшает габариты, резко снижает трудоемкость монтажно-сборочных работ и создает условия для механизации и автоматизации производства.

Радиоаппаратура с монтажом, выполненным печатным способом, отличается стабильностью электрических и радиотехнических па-

раметров, а также высокой механической прочностью, поскольку все детали прочно связаны с изоляционной платой.

Изоляционные основания печатных плат изготавливают из электротехнического гетинакса, фольгированного гетинакса, фольгированного стеклотекстолита и др. (табл. 2.3). Для предохранения печатного монтажа от воздействия влаги, а также с целью электроизоляции схем применяют различные лаки и компаунды.

Существуют разнообразные методы изготовления печатных плат, отличающиеся друг от друга способом создания проводящего покрытия.

Получившие наибольшее применение в промышленности методы изготовления печатных плат могут быть объединены по технологическим признакам в три основные группы.

I группа – получение печатных проводников осаждением электролитической меди на изоляционное основание. Для этого используют следующие методы: фотоэлектрохимический; офсетно-электрохимический; сеточно-электрохимический; прессоэлектрохимический.

II группа – получение печатных проводников травлением фольгированного изоляционного материала. Для этого используют следующие методы: фотохимический; офсетно-химический; сеточно-химический.

III группа – получение печатных проводников переносом их со стальной матрицы на изоляционное основание. Для этого используют следующие методы: фотоперенос; офсетоперенос; сеточный перенос.

Таблица 2.3. Материалы плат

Методы изготовления печатных плат	Марки материалов	ГОСТ или ТУ	Реком. толщины матер., мм
Химический	Гетинакс фольгированный ГФ - 1 - П ГФ - 2 - П	ГОСТ 10316 - 62 МРТУ 16-509-001-64	1,5-3,0

Химический	Стеклотекстолит фольгированный СФ-1	ГОСТ 10316 - 62 МРТУ 16-509-001-64	0,8 - 3,0
	Низкочастотный фольгированный диэлектрик НФД- 180-1 НФД- 180-2	ИЖ-44-65	1,5 - 3,0
Электрохимический	Гетинакс электро-технический «ЭВ»	СТУ-36- 14-04 - 62	1,5 - 3,0
	Гетинакс электро-технический «ВВ»	ГОСТ 2718 - 54	1,5-3,0
Комбинированный	Гетинакс фольгированный: ГФ-1-П ГФ-2-П	ГОСТ 10316 - 62 МРТУ 16-509-001 - 64	1,5-2,5
	Стеклотекстолит фольгированный СФ-1	ГОСТ 10316 - 62 МРТУ	0,8-2,5

2.2. Перспективы развития электрических соединений

Монтаж на поверхность и пластиковые оптические волокна будут оказывать влияние на будущие разработки ЭС. Достижения в области полупроводниковой технологии, несомненно, станут движущей силой для всех важных разработок в области технологии электрических соединений на всех иерархических уровнях изделий. На уровне приборов, например, уже сейчас имеется многокристальный модуль с небольшими и плотно расположенными межсоединениями между кристаллами, играющими основную роль в изделиях.

На уровне соединений между платами по-прежнему будут использоваться объединительные панели. Однако многоштыревые соединители не могут теперь быть просто штырьками в пластмассовом корпусе. Для реализации межсоединений быстродействующих логических

плат нужно использовать методы теории передающих линий. Соединители будут выполняться в виде симметричных и несимметричных полосковых линий передачи и коаксиальных структур, рассчитанных на ускорение передачи сигналов и снижение уровня шумов. Нынешние корпуса с матрицей выводов - самое эффективное средство для передачи сигналов, подвода питания и обеспечения заземления в системе.

Место медного кабеля (монтажных жгутов), используемого сейчас для межсоединений, займёт недорогой пластмассовый оптический кабель. Правда, сейчас трудно рассчитывать на использование оптического волокна для коротких линий в быстродействующих изделиях. Одной из причин этого является задержка при переходе между оптической и электрической средами передачи. Если рассматривать только задержку на прохождение сигнала, то чисто медная система межсоединений может на деле оказаться более быстродействующей, чем оптическая, несмотря на то что оптическая среда способна дать значительно более широкую полосу.

Правильное конструктивное решение при сборке печатных плат в единый узел позволяет оптимизировать конструкцию разрабатываемых ЭС.

Имеется три основных типа соединителей: краевой, розеточно-штыревой и с нулевым усилием сочленения. При выборе типа соединителя следует учитывать конфигурацию шин, требования к техническим характеристикам ЭС. Кроме того, должны быть приняты во внимание следующие факторы:

- усилие, требующееся для установки или извлечения соединителя с силовым сопряжением, которое накладывает ограничения на размер последнего;
- величина шага размещения контактов соединителя, которая определяет возможное число контактов на единицу площади;
- метод монтажа, который может представлять собой либо пайку, либо запрессовку контактов. В последнем случае использование деформируемых контактных штырьков позволяет получить надежное герметичное соединение.

Никакая конфигурация шин и никакой тип соединителя не являются универсальными для всех применений. Усложнение ЭС, рост плотности монтажа, расширение областей применения ставят конструкторов перед необходимостью тщательно взвешивать достоинства и недостатки существующих методов сборки. Неправильный выбор может ограничить возможности ЭС или сделать проектируемые ЭС несовместимыми с существующими.

В настоящее время для монтажа СБИС на схемных платах разрабатывается множество разнообразных гнезд и соединителей, применение которых позволяет избежать риска распайки дорогостоящих СБИС в корпусах с числом выводов 100 и более непосредственно на печатную плату.

Для электротермотренировки или отбраковки ИС, СБИС при высоких температурах разработаны специальные высокотемпературные гнезда. Для их изготовления используют новые материалы, такие как конструкционные термопласты и жидкокристаллические полимеры, чтобы свести к минимуму проблемы температурных и механических напряжений, возникающих при монтаже ИС на поверхность платы. Новые гнезда требуют несколько большей площади платы, чем непосредственная распайка ИС, однако результатом их применения должно стать повышение процента выхода годных схемных плат.

Инженеры-конструкторы и изготовители соединителей ИС имеют дело с большим количеством различных вариантов конструктивного оформления ИС, что, в свою очередь, приводит к широкому разнообразию типов гнезд ИС. Проблема рационального выбора гнезд ИС еще более усугубляется тем фактором, что ряд новейших СБИС с большим количеством выводов, также как микропроцессоры и некоторые вспомогательные микросхемы, выпускаются в шести различных вариантах корпусов - от старых и зарекомендовавших себя пластмассовых корпусов типа DIP до сложных многослойных керамических безвыводных носителей кристаллов. Изготовители предлагают также гнезда со встроенными обходными электрическими цепочками (для улучшения частотных свойств) и соединители-адаптеры (для перехода с одного типа корпуса ИС на другой).

Соединители-адаптеры - это небольшие стеклоэпоксидные подложки, на которые можно устанавливать ТМП-детали (безвыводные носители кристалла с выводами или гнезда для этих приборов). Соединители-адаптеры сопрягаются со стандартными панелями, предназначенными для проволочного монтажа накруткой или печатной схемной платой, имеющей металлизированные контактные отверстия. Благодаря этому изготовитель может заранее установить свой нестандартный компонент в соединитель-адаптер, а затем волной припоя распаять этот адаптер в обычной схемной плате. На большинстве схемных плат, изготавливаемых по ТМП, комбинируются компоненты в корпусах для монтажа на поверхность и некоторые компоненты со штырьковыми выводами, часто с применением гнезд и соединителей печатных схемных плат. ТМП-соединитель крепится к печатной плате посредством пайки выводов и при помощи нескольких литых штифтов или винтовых фиксаторов.

До внедрения технологии поверхностного монтажа большинство гнезд и соединителей изготавливались с применением стеклотекстолитов. Однако широкое распространение ТМП потребовало, чтобы новые гнезда и соединители были в состоянии выдерживать более высокие температуры, свойственные инфракрасной пайке или пайке в паровой фазе. Это, в свою очередь, обусловило необходимость перехода на конструкционные термопластмассы, удовлетворяющие повышенным температурным требованиям ТМП.

В настоящее время разработчики гнезд и соединителей начинают применять совершенно новый материал - жидкокристаллический полимер. Этот высококачественный термопластик работает при температурах до 200°C, имеет высокий коэффициент прочности и очень малую усадку при литье. Что касается электрических характеристик, то жидкокристаллический полимер имеет малую диэлектрическую постоянную (от 2,6 до 3,3), и это делает его весьма привлекательным для изготовления высокочастотных соединителей.

Применение эластомеров, сверхминиатюрных контактов и сплавов, запоминающих свою форму, позволяет преобразовать конструкции соединений.

Эластомеры - резиноподобные материалы с замечательными упругими свойствами - используются в перспективных методах создания соединителей по-разному. Например, в соединителях типа Invision применяют эластомеры с высокой степенью удержания напряжений для того, чтобы создавать и сохранять контактные усилия и одновременно обеспечивать соответствие формы и возможность выбора зазоров. В соединителях типа Area Array Connector используют эластомер в качестве подложки, на которой располагается матрица специально сформованных прямоугольных проводников. Этот соединитель предназначен для контактирования с многокристальными модулями и корпусами, имеющими матрицу контактных площадок.

Соединитель типа Invision сочетает преимущества гибких схем и эластомеров, что обеспечивает высокую плотность контактов и контролируемый импеданс при создании непаяных соединений плат с платами и многокристальными модулями. В этом типе соединений микрополоски с заданным импедансом или гибкие полосковые схемы совмещаются с контактными площадками другой гибкой схемы или схемной платы и прижимаются к ней с помощью зажима и эластомерного изолятора.

Соединители типа «металл-на-эластомере», состоящие из слоев металлических проводящих дорожек, чередующихся со слоями изолирующих эластомеров, позволяют получить более низкое сопротивление и более высокую разрешающую способность. Такие соединители хорошо подходят для сопряжения с безвыводными носителями кристаллов, а также для непосредственного осуществления монтажа ИС на плате. Они могут успешно использоваться для создания соединений, требующих низких сопротивлений и малых расстояний.

При конструировании соединителей для сверхвысоких частот необходимо предусматривать такие специальные меры, как экранирование (с целью уменьшения электромагнитных и высокочастотных помех), согласование линии и компенсацию высокочастотных потерь.

Достоинства новой технологии монтажа на поверхность (ТМП): увеличение плотности межсоединений, уменьшение площади платы, улучшение технологических характеристик и снижение стоимости из-

готовления - позволяют надеяться, что ТМП станет в перспективе преобладающим методом сборки печатных узлов.

Следует напомнить, что конструкция плат, процессы установки и крепления компонентов, а также методы пайки различны в случае монтажа на поверхность и сборки обычных плат.

Существуют три различных варианта ТМП. В первом варианте компоненты припаиваются методом оплавления припоя к одной или двум сторонам печатной платы. Большинство плат, собираемых по данному принципу, - это платы с односторонним монтажом.

Наиболее популярен второй вариант, предусматривающий монтаж компонентов как на поверхность, так и в сквозные отверстия платы. При такой сборке возможны три подхода: когда на плате только с одной стороны монтируется смешанный набор компонентов обоих типов; когда с верхней стороны имеются компоненты обоих типов, а с нижней - только ТМП-компоненты; и, наконец, когда компоненты обоих типов монтируются на обеих сторонах платы.

Третий вариант - это тот случай, когда на верхней стороне платы размещаются только компоненты, монтируемые в сквозные отверстия, а на нижней - исключительно ТМП-компоненты (обычно это пассивные мини-компоненты и дискретные полупроводниковые приборы). Что же сдерживает внедрение ТМП?

Первое - это проблема надежной пайки миниатюрных корпусов с выводами или без них.

Второе - трудности, связанные с проверкой и контролем, особенно узлов с двусторонним монтажом компонентов. Третье - необходимость очень высоких первоначальных затрат на приобретение и ввод в действие нового производственного оборудования.

Еще одна досадная проблема, возникающая при пайке оплавлением, это «вздыбливание» компонентов. Суть заключается в том, что пассивные мини-компоненты - конденсаторы, резисторы - после пайки иногда встают на торец. Это явление может быть результатом неправильной конструкции контактных площадок, неравномерных слоев припоя, а также неправильной установки мини-компонентов. Плохое состояние поверхности торцевых электродов припаиваемых концов

мини-компонента, вибрация сборочного узла после нанесения полуды, низкое качество паяльной пасты и несоблюдение требуемой температуры пайки - все это также может стать причиной «вздыбливания» компонента.

В отличие от конденсационной пайки, когда нагрев осуществляется путем теплопередачи в паровой фазе, метод инфракрасной (ИК) пайки заключается в нагреве инфракрасным излучением. Типичная система ИК-пайки потребляет меньшую мощность, чем аналогичная установка для конденсационной пайки. Кроме того, при ИК-пайке для передачи тепла не требуется дорогостоящей рабочей жидкости. Благодаря предварительному нагреву в установке ИК-пайки может быть существенно снижена вероятность «вздыбливания» компонентов. Основным недостатком метода пайки ИК-излучением является неравномерность нагрева, возникающая из-за появления в сборке «горячих точек».

Рассмотрим особенности конструкций печатных плат и соединителей, используемых в ТМП.

Для монтажа обычных соединителей в платах должны быть предусмотрены довольно большие металлизированные отверстия. ТМП - соединители, даже со сравнительно большим шагом размещения контактов - 2,5 мм, не нуждаются в таких отверстиях и, следовательно, позволяют сэкономить значительную часть площади платы. Однако истинное преимущество дают ТМП - соединители с шагом 1,25, используемые на платах с очень высокой плотностью упаковки. Создать ТМП - соединитель с малым шагом между выводами значительно проще, чем попытаться обеспечить ту же плотность упаковки обычными методами. К тому же ТМП - соединители могут монтироваться на обеих сторонах платы.

ТМП-соединитель отличается от обычного соединителя не только формой контактов. Он должен также отвечать ряду специфических требований. Так, его корпус должен быть устойчив к температурным воздействиям (215°C в течение менее чем 2 мин). Это означает, что корпус ТМП-соединителя изготавливается из высокотемпературных термопластичных материалов. При выборе материала корпуса ТМП-соединителя следует учитывать также его температурный коэф-

фициент расширения (ТКР). Слишком большая разница в ТКР платы и корпуса соединителя может привести к возникновению термических напряжений в паяных соединениях и ухудшить надежность последних.

ТМП-соединители должны иметь ориентирующие элементы, например в виде литых выступов, для точного совмещения контактов соединителя с контактными площадками платы. Кроме того, для уменьшения напряжения в паяных соединениях необходимо механическое закрепление соединителя на плате. Для фиксации соединителя можно использовать винт, защелку или даже закрепляемый нагретом выступ.

Большим преимуществом ТМП является возможность автоматизации сборки. Это означает, что конструкция ТМП-соединителя должна быть рассчитана на автоматические методы сборки, т. е. на использование автоматического манипулятора или робота. При этом важную роль играет способ упаковки соединителей при транспортировке или хранении.

ТМП остается методом, который обеспечивает самую большую компактность и самые лучшие электрические характеристики при коммутации как нынешних, так и будущих поколений быстродействующих СБИС.

Перспективным шагом к миниатюризации электрических соединений будет переход от гальванических соединений в блоках к оптическим волноводным линиям связи. Построение ЭС в этом случае основывается на таком разделении функций: обработка информации осуществляется, как обычно, микросхемами, а связи с микросхемами - оптическими методами. Соединения в пределах ячеек и внутриблочные соединения могут быть выполнены целиком на основе элементов интегральной оптики, а межблочные соединения - на основе многоканальных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). По мнению специалистов, ВОЛС займут доминирующее положение не только в телевидении, системах связи, но и будут использованы для обмена информацией между отдельными машинами в многомашинных комплексах, вычислительных сетях, иерархических системах обработки информации. Это связано с малым поперечным сечением и малой массой ВОЛС;

большой широкополосностью (высокое качество передачи, связанное с отсутствием взаимных помех между каналами, отсутствием излучения в окружающее пространство, высокой помехозащищенностью и помехоустойчивостью); скрытностью передачи; отсутствием коротких замыканий, искрений и угрозы возгорания; более широким температурным диапазоном работы.

Фактором, тормозящим более широкое применение ВОЛС, является их высокая стоимость.

Особенно большой эффект могут дать ВОЛС на уровне межблочных соединений и на более высоких иерархических уровнях.

Замена кабелей многослойными гибкими шлейфами повышает надежность, уменьшает массу и габариты, но не устраняет принципиального ряда недостатков, присущих гальваническим связям большой протяженности. Замена же кабелей на ВОЛС приводит к принципиально новому техническому решению – замене носителя сигнала в линии связи. Если в металлических проводах происходит движение электронов, то в стеклянных или полимерных волокнах распространяется световая волна. Это обеспечивает существенные изменения эксплуатационных и конструктивных параметров: выигрыш по массе в 50...100 раз, по габаритам - в 5...20 раз, увеличение эффективной полосы пропускания до нескольких гигагерц, высокую помехоустойчивость, высокую пропускную способность (до 500 Мбит/с и др.).

Основу ВОЛС составляет световод или оптическое волокно. Конструктивно световод состоит из сердцевины, покрытой несколькими слоями защитных материалов. Первичное покрытие - тонкая (5...10 мкм) лаковая пленка из ацетата целлюлозы, силикона, уретана или других материалов, защищающих материал сердцевины от воздействия атмосферы и увеличивающих его механическую прочность. Назначение последующих слоев - устранение воздействий на световод поперечных сил и увеличение прочности на разрыв. В целях устранения влияния усадки покрытий на материал сердцевины изготавливают трубчатый световод, располагаемый внутри полипропиленовой трубки. Группа световодов объединяется конструктивно в оптический кабель, в конструкцию которого кроме световодов включают силовые элементы,

демпфирующие слои и специальные наружные покрытия. Технические предпосылки для использования ВОЛС в ЭС имеются: уже возможно изготовление источников и приемников оптического излучения - светодиодных и фотодиодных матриц с малым шагом расположения элементов (100...500 мкм), есть микросборки оптоэлектронных преобразователей - усилителей, волоконно-оптические соединители, а также волоконно-оптические кабели, собранные из единичных оптических волокон, с полным диаметром 70...300 мкм. На рис.2.8 приведено несколько примеров сечений оптических кабелей.

Волноводно-оптическая плата выполняет функции одного слоя коммутационной платы. Материал платы должен быть прозрачным для световых лучей, выходящих из экспланарных ответвителей. Конструкция блока ЭС на ИМСОКС изображена на рис. 2.9.

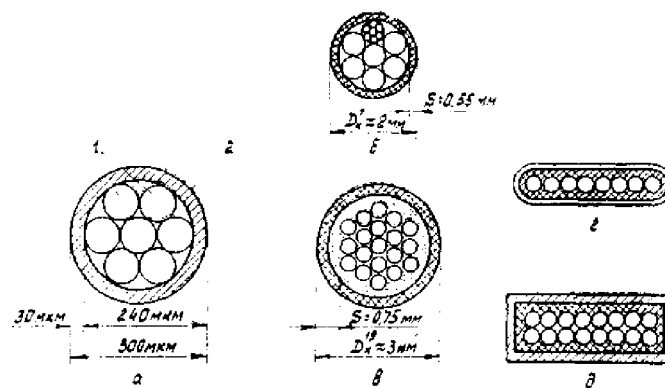


Рис. 2.8. Сечение оптических кабелей:

- а - световолоконный жгут для одного канала передачи информации (1 - единичное световолокно; 2 - фиксирующая оболочка жгута);
- б - 7-канальный кабель с полимерной оболочкой; в - 19-канальный кабель с двухслойным полимерным покрытием; г - 8-канальный плоский однофазный кабель с полимерным и броневым покрытиями; д - 16-канальный кабель с полимерным покрытием в металлорукаве

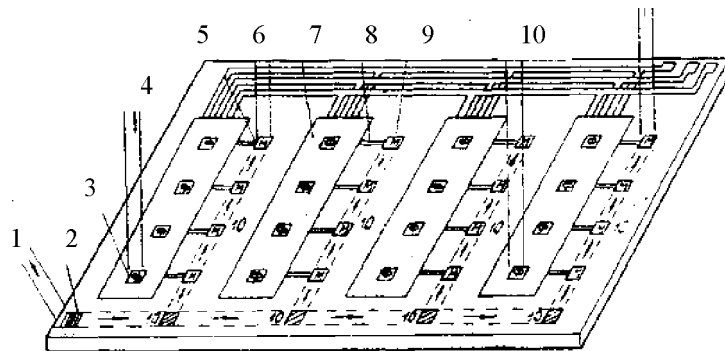


Рис. 2. 9. Интегральная микросхема с оптическими каналами связи:

- 1- луч светового питания; 2 - волновод; 3 - фотоприёмное окно;
- 4 - входной световой канал; 5 - экспланарный ответвитель;
- 6 - выходной световой канал; 7 - электронная часть схемы;
- 8 - электрические выходы; 9 - модулятор; 10 - световая разводка

Из пакета волоконно-оптических плат набираются схемные платы функциональных ячеек. Схемная оптическая плата должна состоять, по меньшей мере, из двух волноводно-оптических плат с ортогональной системой волноводов.

Основным преимуществом многослойных схемных плат по отношению к многослойным печатным платам с гальваническими связями является то, что волноводы могут пересекаться в оптически прозрачной среде, не влияя друг на друга, поскольку поступление оптических сигналов в волноводе регулируется ответвителями. Оптические связи между ИМСОКС, находящимися в различных функциональных ячейках, могут быть осуществлены либо непосредственно через волноводно-оптическую плату, либо через блочную оптическую плату.

В качестве источника излучения используются обычно светодиоды или лазерные диоды. В качестве приемников излучения (преобразователей света в электрические сигналы) используют два типа фотодиодов: с внутренним лавинным усилением - лавинный фотодиод (ЛФД) и без него. В случае необходимости передачи информации на большое расстояние во избежание потерь в ВОЛС включают регенерирующие устройства, обеспечивающие промежуточное усиление ослабленных сигналов и передачу усиленных сигналов в следующий участок ВОЛС.

Одной из основных проблем применения ВОЛС является обеспечение надежных разъемных соединений. Любые радиальные смещения, зазоры и перекосы в разъемных соединениях световодов, а также в стыках световода с источником и приемником излучения приводят к существенным потерям сигналов. Потери из-за осевого и радиального смещения и перекоса могут быть уменьшены за счет применения иммерсионных жидкостей или клея между торцами световодов, которые должны удерживаться как можно ближе друг к другу. Потери из-за рассогласования торцов световодов уменьшают за счет использования световодов большого диаметра, а также применения прецизионных юстировочных соединительных устройств.

При конструировании ВОЛС основными исходными данными являются необходимая скорость передачи информации, отношение сигнал/шум (или вероятность ошибки при передаче информации), расстояние между приемником и передатчиком информации и вид информации (цифровой или аналоговый). Кроме того, необходимо учитывать также физический и химический состав окружающей среды, стоимость, надежность, возможность модернизации, размеры, массу.

Таким образом, в ЭС оптические и волноводные линии связи могут быть использованы на многих иерархических уровнях, за исключением нулевого и уровня электронной части ИСБ, где остаются гальванические связи, которые формируются по групповой интегральной технологии.

Областью применения ВОЛС могут стать автомобили. Оптический кабель значительно меньше и легче обычных монтажных жгутов, а сама оптическая среда почти не восприимчива к сильным электромагнитным и радиопомехам, возникающим в условиях автомобиля. Кроме того, оптический кабель может со временем быть полезным для реализации мультимплексного управления, при котором микропроцессор будет осуществлять временное разделение использования кабеля для осуществления разных функций в системе управления. Однако в ближайшее десятилетие в качестве эффективного в технико-экономическом отношении средства связи между небольшими отделами внутри крупных организаций все более и более привлекательным может оказаться пластмас-

совое волокно с его относительной простотой заделки концов и непрерывно улучшающимися техническими характеристиками.

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

3.1. Задачи конструкторского проектирования печатных плат

Процесс конструирования печатных плат (ПП) основан на двух различных подходах: первый предусматривает разработку конструкции ПП "сверху вниз", т.е. от конструктивных уровней высшего порядка к уровням низшего порядка; второй - разработку "снизу вверх". В первом случае исходные данные задаются частным ТЗ, вытекающим из общего ТЗ. Во втором - исходные данные могут носить общий характер, а конкретные пункты ТЗ: показатели качества, ограничения и условия - определяет уже сам разработчик ПП.

Задача разработки состоит в создании конструкции ПП, наилучшим образом отвечающей поставленным требованиям при выбранных показателях качества и принятых ограничениях и условиях.

Разработка конструкции любого радиоэлектронного устройства с применением ПП включает следующие основные этапы:

- изучение технического задания на изделие (печатный узел, блок), в состав которого входит конструируемая плата;
- анализ и выбор типа ПП;
- компоновка навесных элементов и проводящего рисунка на ПП;
- конструктивно-технологический расчет ПП;
- разработка конструкторской документации (деталировка, сборочный чертеж, слои печатной платы и т.д.).

3.2. Анализ и выбор типа печатных плат

При разбиении схемы устройства на составные части основным критерием является принцип функциональной законченности. Это обеспечивает минимальное количество внешних соединений, уменьша-

ет интенсивность отказов за счет уменьшения количества межъячеечных контактов, улучшает массогабаритные и технические показатели. На одной плате может располагаться одна или несколько функционально законченных схем. Чем больше интегральных микросхем на ПП, тем меньше внешних соединений.

По конструкции ПП с жестким и гибким основанием делятся на типы: односторонние, двусторонние и многослойные. Разновидности типов представлены на рис. 3.1.

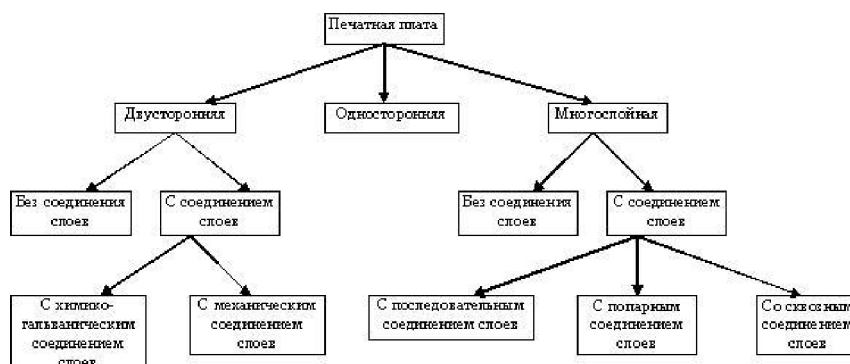


Рис.3.1. Разновидности типов ПП

При выборе типа ПП для разрабатываемой конструкции изделия следует учитывать технико-экономические показатели.

Односторонние печатные платы (ОПП) характеризуются: возможностью обеспечить повышенные требования к точности выполнения проводящего рисунка; установкой навесных элементов на поверхность платы со стороны, противоположной стороне пайки, без дополнительной изоляции; возможностью использования перемычек из проводникового материала; низкой стоимостью конструкции.

Поперечный разрез конструкции приведен на рис.3.2.

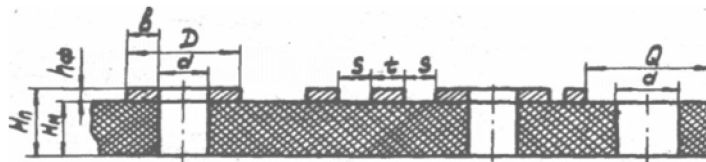


Рис.3.2. Поперечный разрез ОПП

Двусторонние печатные платы (ДПП) без металлизированных контактных и переходных отверстий характеризуются:

возможностью обеспечить высокие требования к точности выполнения проводящего рисунка;

высокими коммутационными свойствами; использованием объемных металлических элементов конструкции (арматура переходов по ГОСТ 22318-77, отрезки проволоки, припой и т.п.) для соединения элементов проводящего рисунка, расположенных на противоположных сторонах платы; низкой стоимостью конструкции.

Поперечный разрез конструкции приведен на рис.3.3.

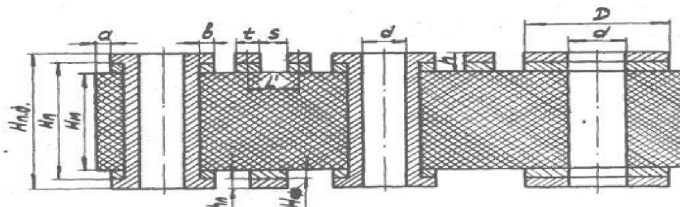


Рис.3.3. Поперечный разрез ДПП

Многослойные печатные платы (МПП) с металлизацией сквозных отверстий характеризуются: высокими коммутационными свойствами; наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью сквозных металлизированных отверстий, соединяющих только внутренние проводящие слои попарно; обязательным наличием монтажной площадки на любом проводящем слое, имеющем электрическое соединение с переходными отверстиями; предпочтительным выполнением проводящего рисунка наружных слоев по первому или второму классу

точности или наличием на наружном слое только контактных площадок сквозных металлизированных отверстий; предпочтительным применением элементной базы со штыревыми выводами; высокой стоимостью конструкции. МПП, изготовленные методом металлизации сквозных отверстий, являются предпочтительными и для крупносерийного производства.

МПП попарного прессования характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью металлизированных отверстий, соединяющих проводящие слои попарно; оптимальной четырехслойной конструкцией; предпочтительным применением элементной базы с пленарными выводами; относительно высокой стоимостью конструкции.

МПП послойного наращивания характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью гальванически выращенных медных столбиков диаметром не менее 0,8 мм; обязательным наличием контактных площадок на всех проводящих слоях в местах прохождения гальванических столбиков; высокой трудоемкостью изготовления; очень высокой стоимостью конструкции.

МПП с открытыми контактными площадками характеризуются отсутствием межслойных соединений, использованием элементной базы как с планарными, так и со штыревыми выводами, расположением проводников, принадлежащих одной цепи, на одном проводящем слое; обязательным наличием контактных площадок под все выводы навесных элементов независимо от того, задействованы они электрически или нет: наличием расстояния между краем проводника и окном или краем ПП величиной не менее 0,5 мм.

Выбор типа печатных плат зависит от требований к быстродействию конструируемого РЭС, серийности, сроков проектирования и изготовления. МПП, сохраняя свойства обычных ПП, имеют свои особенности, способствующие все более широкому их применению при миниатюризации электронных устройств:

более высокая плотность монтажа;

размещение монтажа в однородной диэлектрической среде, откуда более высокая устойчивость внутренних слоев к климатическим и механическим воздействиям;

размещение внутри МПП экранирующих "земляных" слоев значительно улучшает электрические характеристики устройства, а также имеется возможность использования этих слоев в качестве теплоотвода;

применение МПП позволяет значительно сократить длину соединений между навесными элементами, что имеет важное значение, особенно при работе на высоких частотах.

Однако, принимая решение использовать многослойный печатный монтаж, необходимо учитывать, что МПП обладают низкой ремонтопригодностью наряду с высокой стоимостью, сложностью разработки, а их производство влечет за собой ряд технологических сложностей:

более жесткие допуски на параметры печатного монтажа по сравнению с обычными платами;

необходимость применения специального прецизионного технологического оборудования;

длительный и сложный технологический цикл изготовления;

обязательность тщательного контроля всех операций.

Определение площади печатной платы. Ориентировочная площадь ПП определяется по формуле

$$S = \frac{1}{K_s} \sum_{i=1}^n S_{i_{уст}} ,$$

где K_s - коэффициент заполнения ПП радиокомпонентами, определяемый в зависимости от класса ЭС в пределах 0,4...0,85; $S_{i_{уст}}$ - установочная площадь элементов (справочные данные).

Габаритные размеры ПП должны соответствовать ГОСТ 10317-79 при максимальном соотношении сторон 5:1. Рекомендуется разрабатывать ПП простой прямоугольной формы. Конфигурацию, отличную от прямоугольной, следует применять только в технически обоснованных случаях. Типоразмеры ПП могут быть ограничены типовыми несущими

конструкциями высших структурных уровней (блока, аппарата, стойки). В практической деятельности нужно руководствоваться выбранным вариантом компоновки устройства в целом, а при выборе габаритных размеров следует руководствоваться линейными размерами, установленными ГОСТ I0317-79.

Максимальный размер наибольшей стороны ПП равен 470 мм. Для ЭС специального назначения один размер платы фиксирован и равен 170 мм, а второй изменяется следующим образом:

для самолетной и морской - 75, 120 мм;

для стационарной и возимой - 75, 120, 240 мм.

Сопрягаемые размеры контура ПП должны иметь предельные отклонения по 12-му качеству ГОСТ 25347-82. Несопрягаемые размеры контура ПП должны иметь предельные отклонения по 14-му качеству ГОСТ 25347-82.

Толщина ПП определяется толщиной исходного материала и выбирается в зависимости от используемой элементной базы и действующих механических нагрузок. Предпочтительными значениями номинальных толщин одно- и двусторонних ПП являются 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Допуск на толщину ПП H_n устанавливают по соответствующим стандартам или техническим условиям на исходный материал (ГОСТ 23751-79).

Оптимизация конструктивных параметров ПП по критерию вибропрочности - это обеспечение минимальных нагрузок для навесных элементов и материалов ПП при внешних механических воздействиях. Нагрузки на ПП от внешних и механических воздействий определяются коэффициентом передачи вибрации, который есть отношение амплитуд колебаний на выходе и входе системы при фиксированной частоте. Для ПП входом системы являются края платы, закрепленные в рамке ячейки. Выходом колебательной системы является область, наиболее удаленная от краев платы, то есть центр платы. Коэффициент передачи обратно пропорционален жесткости пластины:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu)},$$

где D - жесткость ПП, Н/м; E - модуль упругости материала, Па;

h - толщина ПП, м; μ - коэффициент Пуассона.

Некоторые значения E и μ приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Значения E и μ материалов

Материал	Значение модуля упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона, μ
Стеклотекстолит	24...35	0,2
Гетинакс	10...18	0,47
Алюминиевые сплавы АМГ	65...700	0,32...0,36
Сталь низкоуглеродистая	200	0,34

Резонансная частота пластины, закрепленной по контуру, определяется выражением (при распределенной нагрузке)

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}} g,$$

где a, b - соответственно длина и ширина ПП, м; m - масса платы с навесными элементами, кг; g - ускорение свободного падения равно 9,8 м/с².

Рекомендуется, чтобы резонансная частота ПП f_0 отличалась от частоты внешних колебаний f по крайней мере вдвое: $f_0 \geq 2fb$.

При наличии высоких частот внешней вибрации, а также полигармонической вибрации избавиться от резонанса сложно — тут нужно искать компромиссное решение.

По точности выполнения элементов конструкции ПП делятся на пять классов точности. Номинальные значения основных параметров элементов конструкции ПП приведены в табл.3.2.

Таблица 3.2. Номинальные значения параметров

Условные обозначения	Класс точности				
	1	2	3	4	5
t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
s	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
v	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
j^*	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Примечание. j^* - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы.

Под элементами конструкции ПП подразумеваются элементы проводящего рисунка.

Печатные платы 1-го и 2-го классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. Печатные платы 3, 4 и 5-го классов точности требуют использования высококачественных материалов, инструмента и оборудования, ограничения габаритных размеров, а в отдельных случаях и особых условий при изготовлении.

Выбранный класс точности необходимо проверить на электрические параметры. Предельные рабочие напряжения между проводниками, лежащими в одной плоскости, приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Предельные рабочие напряжения

Расстояние между проводниками, мм	Значение рабочего напряжения	
	Фольгированный гетинакс (ГФ)	Фольгированный стеклотекстолит (СФ)
0,1...0,2	-	25
0,2...0,3	-	50
0,3...0,4	75	100
0,4...0,5	150	200
0,5...0,75	250	350
0,75...1,5	350	500
1,5...2,5	500	650

Материал для ПП выбирают по ГОСТ 23751-79 или техническим условиям. Материалы, рекомендуемые для изготовления ПП, приведены в табл. 3.4. В бытовых ЭС обычно рекомендуется применять одно- или дву-

сторонний ГФ. Для профессиональных ЭС рекомендуется использовать для жестких плат СФ различных марок, а для гибких ПП специальные фольгированные тонкие диэлектрики и полиамидные пленки.

На выбор вида внешнего соединения (разъемного или неразъемного) влияет ряд факторов:

выбранный предварительный вариант компоновки (масса, габариты);

ремонтпригодность (принятая система ремонта и замены);

надежность внешних цепей.

Таблица 3.4. Материалы для печатных плат

Марка материала	Толщина фольги, мм	Толщина материала с фольгой, мм	Область применения
ГФ 1-35, ГФ 2-35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,01; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно- двусторонние платы без гальванического соединения печатного слоя
СФ-1-35, СФ-2-35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно- двусторонние платы с гальваническим соединением слоев
СФ-1-50, СФ-2-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	То же
СФ-1Н-50, СФ-2Н-50	50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	То же
СФПН-1-50, СФПН-2-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно- двусторонние платы с пов. нагревостойкостью

СТФ-1	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35	Одно- двусторонние, МПП и гибкие ПП с повышенной нагрево- стойкостью и влаго- стойкостью
СТФ-2	35	0,50; 0,80; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0	
ФТС-1	20	0,08; 0,15; 0,18; 0,27; 0,5	Гибкие МПП
ФТС-2	35	0,1; 0,12; 0,19; 0,23; 0,5	
ФДМ-1, ФДМ-2	35	0,25; 0,35	Гибкие ПП
СТФ-1-2ЛК	-	1; 1,5	Одно- двусторонние ПП
СТП-3, СТП-0,25	-	0,025; 0,06	Прокладки для МПП

Разъемные соединения обладают следующими особенностями:
масса и габариты соединения могут увеличиваться на 10-20% по сравнению с неразъемными;

несколько падает надежность межсоединений (отношение интенсивностей отказов разъемного и неразъемного контакта составляет около 1...4);

уменьшается на 15...25% трудоемкость изготовления межъячеечной коммутации.

В то же время использование гибких печатных плат на полиамиде позволяет изготавливать непрерывные ПП, сложенные в рулон, книжку без промежуточного переходного монтажа.

Контрольная работа № 1

Определить по выбору преподавателя геометрические размеры штырькового радиатора под транзистор, рассеивающего мощность $P = 12$ Вт, при температуре окружающей среды $t_c = 60^\circ\text{C}$, конвекция естественная, приведенная степень черноты поверхностей $E_{\text{пр}} = 0,2$; коэффициент облученности $\gamma_{12} = 1$, коэффициент теплопроводности материала радиатора $\lambda = 200$ Вт/м $^\circ\text{C}$, $\text{Дср} = 2 \cdot 10^{-3}$ м.

Решение. Определяем среднеповерхностную температуру радиатора t_s :

$$t_s = B \left[t_n - P(R_{\text{нк}} + R_{\text{кр}}) \right],$$

где B - коэффициент, учитывающий неравномерность температурного поля радиатора. При принудительной вентиляции $B = 0,94$, при естественной конвекции $B = 0,96$;

t_n - температура коллекторного перехода, $^\circ\text{C}$;

P - мощность, рассеиваемая в полупроводниковом приборе, Вт;

$R_{\text{нк}}$ - тепловое сопротивление между коллекторным переходом и корпусом прибора, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$R_{\text{кр}}$ - тепловое сопротивление контакта корпуса прибора и радиатора, $^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Для выбранного транзистора получено подстроечное значение

$$t_s = 0,96 [85 - 12(1 + 0,4)] = 69^\circ\text{C}.$$

Определяем разность температур между поверхностью радиатора и средой:

$$\Delta t_{\text{pc}} = t_s - \frac{t_1 + t_2}{2},$$

где t_1 - температура набегающего потока воздуха перед входом в радиатор, $^\circ\text{C}$ (для естественной конвекции $t_1 = t_c$); t_2 - температура воздуха

за радиатором, °C ($t_2 = t_s - 3$ - для естественной конвекции; $t_2 = t_s - 10$ - для принудительной конвекции);

$$\Delta t_{pc} = 69 - \frac{60 + 63}{2} = 6^\circ\text{C}.$$

Произведем расчет коэффициентов теплоотдачи. Значение общей величины коэффициента теплоотдачи определяется формулой

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l,$$

где α_k - конвективная составляющая; α_l - лучистая составляющая.

Определяем α_k и α_l :

$$\alpha_k = A(t_m) \Delta t^{0,25} \text{ - для естественной конвекции;}$$

$$\alpha_l = B(t_m) \cdot \frac{W_0^{0,58}}{D_{\text{усл}}^{0,42}} \text{ - для принудительной конвекции}$$

где W_0 - скорость набегающего потока, м/с; $D_{\text{усл}} = 2,3 \cdot 10^{-3}$ м ;

$$\text{для } A \quad t_m = t_c; \quad \text{для } B \quad t_m = 0,5(t_1 + t_2).$$

Коэффициенты A и B учитывают свойства среды. Для естественной конвекции коэффициент A находится в пределах от 10 до 13 при значении средней температуры до 70°C . Для вынужденной конвекции коэффициент B выбирается в пределах от 2,3 до 2,7 при тех же значениях средней температуры.

Рассчитаем лучистую составляющую коэффициента теплоотдачи, которая определяется соотношением

$$\alpha_{l12} = \varepsilon_{\text{пр}12} \gamma_{12} f(t_1; t_2),$$

где $\varepsilon_{\text{пр}12}$ - приведенная степень черноты, определенным образом связанная со степенями черноты ε_1 и ε_2 поверхностей теплообмена; γ_{12} - коэффициент облученности, при излучении радиатора в неограниченное пространство

$$\varepsilon_{\text{пр}12} = \varepsilon_1; \quad \gamma_{12} = 1;$$

$f(t_1; t_2)$ - функция температур поверхностей теплообмена.

Произведем расчет теплообменной поверхности радиатора и его геометрических размеров. Найдем мощность, рассеиваемую одним штырьком:

$$P_{шт} = 1,16 \cdot K \cdot \theta \cdot t \cdot h(\beta h) \sqrt{\alpha_k \Pi \lambda \cdot f},$$

где h - высота штырька, мм; Π - периметр поперечного сечения штыря (среднего по высоте), м; f - площадь поперечного сечения штыря (среднего по высоте), м²;

$$\beta - \text{коэффициент, } \beta = \sqrt{\frac{4\alpha_k}{D_{экв} \lambda}};$$

λ - коэффициент теплопроводности материала;

$$D_{экв} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

h - высота штыря, $h = 20-25$ мм. Значение $th(\beta h)$ выбирается от 0,1 до 0,3 в зависимости от размеров штырька.

Для стержня постоянной толщины, взятой с поправочным коэффициентом, $K = 1,14$.

Общее количество штырей находится из выражения

$$n = \frac{P}{P_{шт}},$$

где P - мощность, рассеиваемая прибором;

$$P_{шт} = 1,16 \cdot 1,14 \cdot 6 \cdot 0,4 \sqrt{\frac{21,6 \cdot 6,28 \cdot 10^{-3}}{220 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6}}} = 0,041 \text{ Вт},$$

$$n = \frac{P}{P_{шт}} = \frac{12}{0,041} = 300 \text{ штук}.$$

Определим площадь радиатора, на которую помещают транзистор. Она находится, исходя из принятых геометрических размеров штырей:

$$S_{общ} = S_n \cdot n \cdot S_{шп},$$

где S_n - площадь штыря и прилегающей к нему плиты, м^2 ; $S_{\text{тр}}$ – площадь транзистора, м^2 .

Оптимальные размеры штыря:

$D_v = 1$ мм - диаметр верхнего основания штыря; $D_n = 3$ мм - диаметр нижнего основания штыря; шаг штырей - 7 мм; высота штыря - $h = 20-25$ мм.

По полученным расчетам строят эскиз радиатора с креплением транзистора. Конструкция радиатора может быть выполнена в двух вариантах: штырьки расположены на одной стороне основания и на двух сторонах, тогда площадь основания уменьшается.

Контрольная работа № 2

Требуется определить нагрузки на амортизаторы, а также выбрать положение третьего амортизатора так, чтобы координата центра тяжести блока совпадала с центром жесткости амортизаторов.

Кроме того, пусть по техническим условиям должны быть установлены амортизаторы типа АД. Требуется определить собственную частоту системы и произвести оценку динамических характеристик системы при следующих условиях (табл.К1):

Таблица К1. Вибрации, воздействующие на блок

Частота f_0 , Гц	20	30	50	100	150	200
Амплитуда ξ , мм	1,2	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05

Решение: Сначала определим искомую координату x_3 . Для этого составим уравнение статики:

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P_3 &= G; \\ x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3 &= 0; \\ z_1 P_1 + z_2 P_2 + z_3 P_3 &= 0; \\ z_1 x_1 P_1 + z_2 x_2 P_2 + z_3 x_3 P_3 &= 0, \end{aligned}$$

где P_1, P_2, P_3 – соответствующие нагрузки на амортизаторы.

Отсюда определяем:

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{x_1 \cdot x_2 \cdot z_3 (z_1 - z_2)}{x_2 \cdot z_1 (z_3 - z_2) - x_1 \cdot z_2 (z_3 - z_1)} = \frac{10 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 5}{10 \cdot 8 \cdot 13 + 10 \cdot 5 \cdot 18} = 1,65 \text{ см}; \\ P_2 &= \frac{z_3 x_2 - x_3 z_2}{(z_3 - z_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(z_2 - z_1)} G = \\ &= \frac{8 \cdot 8 - 1,65 \cdot 5}{18 \cdot 18 + 1,65 \cdot 5} G = 0,198 G = 0,415 \cdot 10 H; \end{aligned}$$

$$P_3 = \frac{z_1 x_3 - x_1 z_3}{(z_3 - z_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(z_2 - z_1)} G =$$

$$= \frac{10 \cdot 1,65 + 10 \cdot 8}{282,25} G = 0,460 \cdot G = 0,965 \cdot 10H;$$

$$P_1 = \frac{5 \cdot 10 + 8 \cdot 10}{282,25} G = 0,460 \cdot G = 0,965 \cdot 10H.$$

Учитывая нагрузку на каждый амортизатор, устанавливаем в точке 1 амортизатор АД-06, а в точках 2 и 3 – АД-1,0.

Тогда $\delta_{1cm} = \frac{P_1}{K} = \frac{0,415 \cdot 10}{1,7} = 2,45 \text{ мм};$

$$\delta_{2cm} = \frac{0,720 \cdot 10}{2,0} = 3,6 \text{ мм}; \quad \delta_{3cm} = \frac{0,965 \cdot 10}{2,0} = 4,82 \text{ мм}.$$

Разницу в прогибах необходимо компенсировать шайбами или прокладками.

Суммарная жесткость системы

$$K_{\Sigma} = 1,7 + 22,0 = 5,7 \text{ Н/мм}.$$

Собственная частота системы равна

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{5,7 \cdot 9810}{21}} = 8,2 \text{ Гц}.$$

Перейдем к оценке динамических характеристик системы.

Таблица К2. Данные расчета для всего диапазона

f, Гц	20	30	50	100	150	200
$\frac{1}{\gamma}$	0,242	0,081	0,028	0,007	0,003	0,002
$\eta = \Omega / \omega_0$	2,44	3,66	6,12	12,4	18,3	24,5
A, мм	0,242	0,083	0,014	0,001	0,00203	0,0001

Определим для А (для 20Гц):

$$A_{20} = \frac{1,2}{1 - \frac{20^2}{8,2^2}} = 0,242 \quad \text{мм} \quad \text{и} \quad j = \frac{20^2 \cdot 0,242}{230} = 3,9 \cdot g.$$

Коэффициент динамичности

$$\frac{1}{\gamma} = \left| 1 - \frac{20^2}{8,2^2} \right|^{-1} = 0,242.$$

При этом для самой большой частоты вибрации $f = 20$ Гц по отношению к $f_0 = 8,2$ Гц имеем запас по частоте (с учетом $\sqrt{2}$), равный 1,7 раза.

Справочные данные для расчетов
Интенсивности отказов и поправочные коэффициенты
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ
ИС первой ... третьей степени интеграции

Цифровые ИС

Серия ИС	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Серия ИС	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
K121	0,20	K556	0,20
K131	0,35	K566	0,10
K155	0,01	K592	0,70
K194	0,40	K599	0,70

Аналоговые ИС

Серия ИС	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Серия ИС	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
K122	0,20	K 224	1,50
K157	3,70	K237	2,70
K159	0,10	K276	2,20
K174	2,30	K416	2,70

ИС четвертой и пятой степеней интеграции

Микросхемы для калькуляторов	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Микропроцессорный набор	$\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
K 145(ИА1,886) РЕ1,8Х1, ИП8 ИК6, ИК16	4,0	K 536 ИК-9	2,20
Микросхемы ОЗУ		K 536 ИК-8	3,60
		K 536 ИК-5	0,64
K 535 РУ1 K 535 РУ2 K 535 РУ3	0,24	K 536 ИК-3	1,20
	4,90	K 536 ИР-1	1,80
	2,60	K 536 ГГ-1	0,64
		K 536 УИ-2	0,72
Гибридные микросхемы			
K2ХА 371	1,23	K2ХА 372	1,23
K2ХА 373	1,23	K2ХА 345	1,23
K2ХА 376	1,23	K1УТ 401Б	1,00
K174 УВ4	1,50	K20П 241	0,36
K80111А 35	0,77		

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Наименование и тип диода	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Наименование и тип диода	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Выпрямительные диоды, столбы, блоки			
ГД 107(а,б)	0,07	ГД 402(а,б)	0,11
Универсальные диоды			
Д 105(А)	0,10	Д 9(Б-М)	0,05
Д 202-Д 205	0,10	Д 104(А)	0,10
Д 226(А-Д)	0,10	Д 106(А)	0,10
Д 242(А,Б)	0,21	Д 223(А,Б)	0,10
Д 245(А,Б)	0,21	Д 243(А,Б)	0,21
Д 247(А,Б)	0,21	Д 246(А,Б)	0,21
КД 105(Е,В,Г)	0,35	Д 248(Б)	0,21
		КД 202(А-Н)	0,35
Варикапы			
Д 902	0,27	КВ 103(А,Б)	0,27
КВ 104(А-Д)	0,27		
Стабилитроны и стабисторы			
КС 133А	0,10	КС 139А	0,10
КС 147А	0,10	КС 168А,В	0,10
КС 170	0,10	КС 175А	0,10
КС 182А	0,10	КС 191А	0,10
Д 816(А-Д)	0,09	Д 815(А-Ж)	0,09

ТРАНЗИСТОРЫ

Наименование и тип транзистора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$	Наименование и тип транзистора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$
Транзисторы малой мощности высокой частоты			
ГТ 308(А-В)	0.36	ГТ 320 (А-В)	0.50
ГТ 313(А,Б)	0.50	ГТ 322 (А-Е)	0.50
ГТ 321(А-Е)	0.50	ГТ 330 (Д,Ж,И)	0.30
ГТ 329(А-В)	0.30	КП 301Б	0.10
ГТ 341(А-В)	0.30	КП 306(А-В)	0.10
КП 302(А-Е)	0.10	КТ 301(А-Ж)	0.31
КП 350(А-В)	0.10	КТ 307(А-Г)	0.31
КТ 306(А-Д)	0.31	КТ 315(А-Е)	0.31
КТ 312(А-В)	0.31	КТ 342	0.28
КТ 339	0.28	КТ 361(А-Г)	0.28
КТ 345(А-В)	0.28	П 402	0.33
П 401	0.33	П 416(А,Б)	0.33
П 403А	0.33		
П 422	0.33		
Транзисторы средней мощности низкой частоты			
ГТ 402(А-Г)	0.37	ГТ 403(А-Д)	0.37
ГТ 404(А-Г)	0.37	П 201Э	0.25
П 210Е	0.25	КТ 3102	0.15
КТ 626	0.27	КТ 3107	0.18
Транзисторы средней мощности средней частоты			
П 601Ц	0.27	П 601АИ	0.27
П 601БИ	0.27	П 602Ц	0.27
П 605(А)	0.27	П 606(А)	0.27
Транзисторы средней мощности высокой частоты			
КТ 601А	0.27	КТ 601А	0.27
КТ 602(А-Г)	0.27	КТ 603(А-Е)	0.27
КТ 604(А)	0.27	КТ 605(А,Б)	0.27
П 607(А)	0.37	П 608(А)	0.37
П 609(А)	0.37		
Транзисторы большой мощности низкой частоты			
ГТ 701А	0.51	П 213(А-В)	0.35
П 214(А-Г)	0.35	П 217	0.35

РЕЗИСТОРЫ

Наименование и тип резистора	Интенсив- ность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Наименование и тип резистора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Резисторы постоянные непроволочные			
BC-0.125(a)	0.008	BC-0.25(a)	0.01
BC-0.5(a)	0.03	МЛТ-0.125	0.007
МТ-0.125	0.007	ОМЛТ-0.125	0.007
МУН-0.125	0.007	МГП-0.125	0.007
МЛТ-0.25	0.01	МТ-0.25; ОМЛТ-0.2	0.01
МУН-0.25; МГП-0.25	0.01	МЛТ-0.5; МТ-0.5	0.02
ОМЛТ-0.5; МУН-0.5	0.02	МГП-0.5; УЛИ-0.5	0.02
МЛТ-1; МТ-1; ОМЛТ-1	0.08	МУН-1; МГП-1	0.08
МЛТ-2; МТ-2; ОМЛТ-2	0.12	МУН-2; МГП-2	0.12
КИМ-0.05	0.05	КИМ-0.125	0.10
КЛМ, КВМ	0.12	УЛИ-0.125	0.08
УЛИ-0.25	0.01	УЛИ-1	0.06
МОН-0.5	0.02	МОН-1	0.08
Резисторы постоянные проволочные			
C5-5(T); C5-16T	0.10	ПЭ; ПЭВ; ОПЭВЕ; ПЭВ	0.06
Терморезисторы			
ММТ; КМТ	0.18	СТ1-17; СТ3-17	0.15
Резисторы переменные непроволочные			
СП-I; СП-V	0.20	СП-II; СП-0.4	0.15
СП-III; СП2-3a	0.30	СП-IV	0.25
СП2-3б; СП3-22	0.30	СП3-1(а,б)	0.45
СП3-4М(а-г)	0.65	СП3-4Мд	0.70
СП3-8	0.57	СП3-12(а-в,к)	0.45
СП3-12(г-е,и,л)	0.80	СП3-23; СП3-26	0.30
СП3-27	0.30	БК	0.31
БКУ	0.33	ТК	0.58
ТКД(а,б)	0.77	СНК(а,б)	0.45
СНКВД(а,б)	0.89	СП-015; СПО-0.5	0.28
СПО-1; СПО-2	0.40		

КОНДЕНСАТОРЫ

Наименование и тип конденсатора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Наименование и тип конденсатора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Конденсаторы постоянной емкости с керамическим диэлектриком			
КЛГ; К10-70	0.10	КЛС	0.06
КЛС-Е; КМ; КП; КПС	0.08	КД	0.018
КДУ	0.015	КТ; КТП	0.012
К10-35	0.07	К10-26; К10-28	0.07
Конденсаторы постоянной емкости со стеклянным диэлектриком			
К21У-1; К21У-3	0.06	К21-5; К21-7; К21-8	0.06
СКМ; СКМ-Т; К22У-1	0.04	КС	0.10
Конденсаторы постоянной емкости со слюдяным диэлектриком			
КСГ; КСО; КСОТ	0.02	СГМ; К31У-3Е	0.02
Конденсаторы постоянной емкости с бумажным диэлектриком			
БМ; К4011	0.10	БМТ	0.12
КБГ	0.02	СМ; К42У-2	0.05
К40П-1; К40П-2	0.08	К40П-3	0.08
МБМ	0.09	МБГ; МБП	0.04
Конденсаторы постоянной емкости с диэлектриком из оксидного слоя на вентильных металлах			
КЭ; ЭГЦ; К53-1	0.06	К53-4; К53-14	0.06
ЭМ; К50-12; К52-2	0.12	К50-3; К50-3(А,Б)	0.10
К50-6	0.07	К50-7; К50-9	0.09
Конденсаторы постоянной емкости с органическим диэлектриком			
ПМ; МПО; МПГО	0.10	МПГ-П; МПГ-Ц	0.10
К70-7	0.08	К71-3; К71-4; К71-5	0.09
ФЧ; К72-9; ПМГП	0.04	К73-5	0.07
К73-6; К73П-2	0.05		
Конденсаторы с твердым диэлектриком			
КПК; КПК-МТ	0.03	КТ4-1; КТ4-2	0.05
Примечание: коэффициент электрической нагрузки не должен быть более 0.9 для электролитических конденсаторов и более 0,7 – для остальных конденсаторов			

РАДИОКОМПОНЕНТЫ

Магнитоуправляемые контакты

Наименование и тип	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-9}$, 1/сраб	Наименование и тип	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-9}$, 1/сраб
КЭМ-3	58.0	КЭМ-2	2.10
МКА-27101	9.50	МКА-10501	3.80
КЭМ-6	5.70	МКА-27102	11.0
МК-10-3	4.30	МКС-27103	14.0
МУК1А-1	14.0	МКА-52141	56.0
Значения $Kэ$ для различных групп аппаратуры: наземная стационарная-0.4; наземная подвижная-1; на судах-0.8			

Трансформаторы и дроссели

Наименование и тип прибора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Наименование и тип прибора	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Трансформаторы:			
Силовые	0.96	Выходные звука	1.0
Выходные кадровые	0.70	Выходные строч- ные	2.0
Дроссели:			
Фильтровочные	0.14		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленский, А.В. Моделирование процессов при проектировании ЭС: учеб. пособие для вузов / А.В. Зеленский, Н.В. Ляченков. - М.: Машиностроение, 2000. - 252с.
2. Баканов, Г.Ф. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Г.Ф. Баканов, С.С. Соколов, В.Ю. Суходольский; под ред. И.Г. Мироненко. - М.: Издательский центр «Академия», 2007. - 368с.
3. Основы проектирования электронных средств: учеб. пособие / А.В. Зеленский, В.А. Зеленский, Г.Ф. Краснощекова [и др.]. – Самара: «Издательство СНЦ РАН», 2007. - 243 с.
4. Расчет системы амортизации радиоэлектронной аппаратуры: метод. указания / сост. Г.Ф. Краснощекова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 13 с.
5. Разработка конструкции радиоэлектронной аппаратуры: метод. указания к курсовому проектированию / сост. Г.Ф. Краснощекова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 18 с.
6. Разработка конструкторской документации: метод. указания к лабораторным и практическим занятиям / сост.: А.В. Зеленский, Г.Ф. Краснощекова. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 28 с. (№ 21/98-08).
7. Анализ конструкций РЭС: метод. указания к практическим занятиям / сост.: Г.Ф. Краснощекова, В.А. Зеленский. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
1. ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	4
1.1. Выбор и обоснование метода и принципа конструирования.....	4
1.2. Технологические процессы, применяемые при изготовлении ЭС.....	6
1.3. Расчет тепловых режимов электронных блоков.....	9
1.4. Расчет системы амортизации ЭС	19
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ЭС.....	20
2.1. Внутри- и межблочный монтаж.....	20
2.2. Перспективы развития электрических соединений.....	36
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ	48
3.1. Задачи конструкторского проектирования печатных плат.....	48
3.2. Анализ и выбор типа печатных плат.....	48
Приложение.....	58
Контрольная работа №1	58
Контрольная работа №2.....	62
Справочные данные для расчетов	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	71

Учебное издание

*Зеленский Анатолий Васильевич
Краснощекова Галина Федоровна*

**ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
Часть 2**

Редактор Т.К. Кретинина
Доверстка Т.Е. Половнева

Подписано в печать 26.12.2008 г. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 4,75.
Тираж 50 экз. Заказ .

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК