

ИЗДАНИЕ

К 85

ЗФ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ
ЧЕРТЕЖА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

КУЙБЫШЕВ 1988

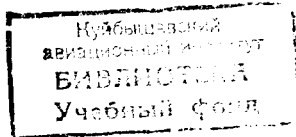
20

Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ
ЧЕРТЕЖА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

У т в е р ж д е н о
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе
для студентов



Куйбышев 1988

УДК 621.396.6.001.2(077)

Даются рекомендации по выполнению лабораторной работы по курсу "Конструирование и микроминиатюризация РЭА", а также необходимые теоретические и практические сведения по конструированию и оформлению чертежа печатной платы, по проведению компоновочных работ, по конструктивно-технологическим расчетам.

Методические указания могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных проектов студентами специальности 0705, 0701, 0648.

Рецензент И.К.Д а н г е

Составители: Анатолий Николаевич Че км а р е в,
Сергей Федорович Ку з н е ц о в

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ
ЧЕРТЕЖА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

Редактор Е.Д.А н т о н о в а
Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к
Корректор О.Ю.Н е н а ш е в а

Подписано в печать 11.05.88 г. Формат 60x84^I/16.
Бумага оберточная белая. Печать оперативная.
Уч.-изд.л. 2,0. Усл.п.л. 2,3. Т. 300 экз.
Заказ № 3598. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип.им.В.П.Мяги Куйбышевского полиграфического
объединения. 443099, г. Куйбышев, ул.Венцека, 60.

Ц е л ь р а б о т ы - изучение студентами правил, норм и требований по конструированию печатных плат; получение практических навыков по компоновке электрорадиоэлементов на печатной плате, приобретение навыков по правильному оформлению чертежей с учетом требований ЕСКД, соответствующих ГОСТов и ОСТов.

1. ИСХОДНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Исходными данными для конструирования являются техническое задание (ТЗ), схема электрическая принципиальная (ЭС) с перечнем всех электрорадиоэлементов (ЭРЭ) и конструкторские аналоги, являющиеся изделиями такого же функционального назначения, параметрами, соответствующими лучшим образцам отечественного и зарубежного производства.

В качестве ограничений выступают технические возможности производства, нормативные документы, перечень запрещенных к использованию материалов.

1.1. 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 [9]:

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 (детализовка, сборочный чертёж, слои печатной платы и т.д.).

Только комплексное решение этих этапов обеспечивает оптимальный вариант конструкции ПП. Базовые конструкции ПП позволяют получить существенный экономический эффект за счет упрощения процесса конструирования, уменьшения номенклатуры оснастки и инструмента, уменьшения объемов конструкторской документации, упрощения аппаратуры контроля и диагностики [11, 13].

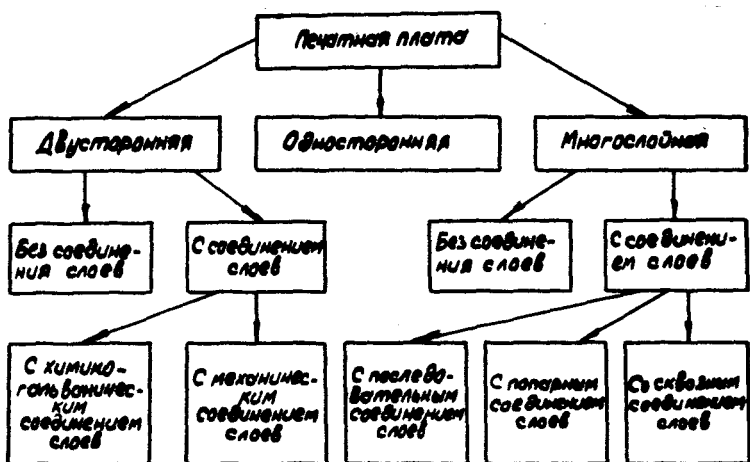
При создании базовых конструкций ПП в качестве объектов унификации используют: габаритные размеры, тип и размещение отверстий; размеры и форму элементов проводящего рисунка; конструктивные покрытия.

Методические указания по выполнению анализа ТЗ и ЭЗ даны в лабораторной работе "Конструкторский анализ технического задания и схемы электрической принципиальной".

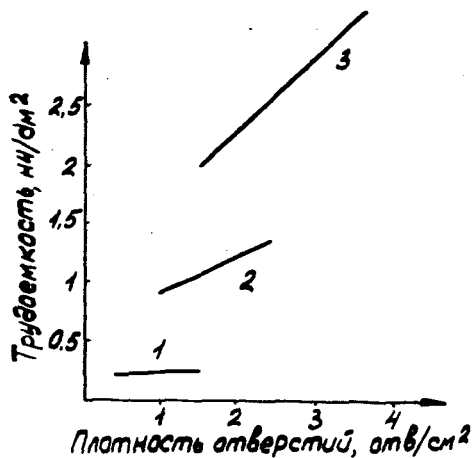
1.2. Анализ и выбор типа печатной платы

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

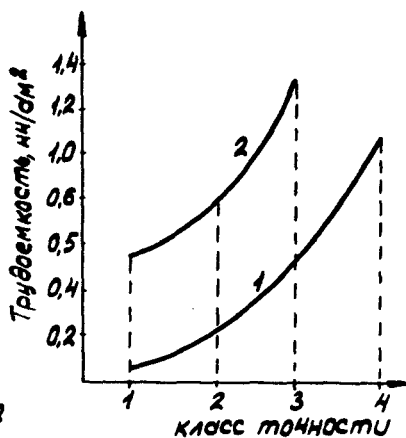
По конструкции ПП с жестким и гибким основанием делятся на типы: односторонние, двусторонние и многослойные. Разновидности типов представлены на рис. 1. При выборе типа ПП для разрабатываемой конструкции изделия следует учитывать технико-экономические показатели. Ориентировочное изменение трудоемкости изготовления 1 дм² площади ПП в крупносерийном производстве в зависимости от ее типа и класса точности приведено на рис. 2 и 3.



Р и с. I

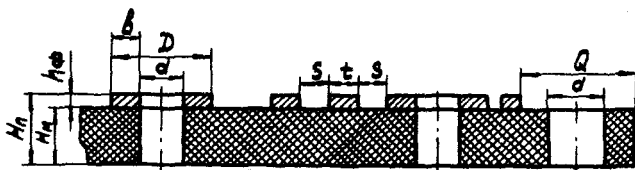


Р и с. 2



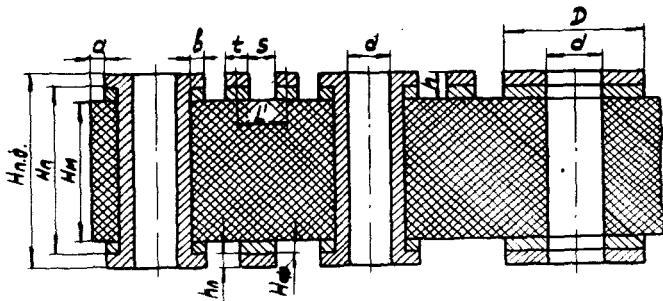
Р и с. 3

Односторонние печатные платы (ОП) 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.4.



Р и с . 4

Двусторонние печатные платы (ДП) 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.л.) для соединения элементов проводящего рисунка, расположенных на противоположных сторонах платы; низкой стоимостью конструкции. Поперечный разрез конструкции приведен на рис.5.



Р и с . 5

Многослойные печатные платы (МП) с металлизацией сквозных отверстий характеризуются: высокими коммутационными свойствами; наличием

ем 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 [12].

МПП попарного прессования характеризуются: наличием межслойных соединений, осуществляемых с помощью металлизированных отверстий, соединяющих проводящие слои попарно; оптимальной четырехслойной конструкцией; предпочтительным применением элементной базы с планарными 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.

В курсовом и дипломном проекте рекомендуется использовать ДПП с учетом следующего.

Выбор типа печатных плат зависит от требований к быстродействию конструируемой РЭА, 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

$$S = \frac{1}{K_S} \sum_{i=1}^n S_{i \text{ усн}},$$

где K_S - коэффициент заполнения ПП ЭРЭ, определяемый в зависимости от класса РЗА в пределах 0,4...0,85.

$S_{i \text{ усн}}$ - установочная площадь ЭРЭ (справочные данные).

Выбор габаритных размеров и конфигурации печатной платы. Габаритные размеры ПП должны соответствовать ГОСТ 10317-79^х 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 10317-79^х (прил. I).

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

для самолетной и морской - 75 мм, 120 мм;

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

для ЭВМ серии ЕС и специализированных систем управления применяется единый размер ПП 150x140 мм.

Сопрягаемые размеры контура ПП должны иметь предельные отклонения по 12-му качеству ГОСТ 25347-82 (СТ СЭВ 144-75). 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 является 0,8; 1,0; 1,5; 2,0 мм. Допуск на толщину ПП H_n устанавливает по соответствующим стандартам или техническим условиям на исходный материал (ГОСТ 23751-79).

Оценка размеров ПП по критерию вибропрочности. 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 механических воздействий определяются коэффициентом передачи вибраций, 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 [11]:

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

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. I.

Т а б л и ц а I

Материал	Значение модуля упругости, Па	Коэффициент Пуассона, μ
Стеклотекстолит	24...35	0,2
Гетинакс	10...18	0,47
Алюминиевые сплавы АМГ	65...70	0,32...0,36
Сталь низкоуглеродистая	200	0,4

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

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

где a, b - соответственно длина и ширина ПП, м;
 m - масса платы с навесными элементами, кг;
 q - ускорение свободного падения $\approx 9,8 \text{ м/с}^2$.

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

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

Выбор или обоснование класса точности. По точности выполнения элементов конструкции ПП делятся на пять классов точности. Номинальные значения основных параметров элементов конструкции ПП для узкого места приведены в табл. 2.

Под элементами конструкции ПП подразумеваются элементы проводящего рисунка.

Т а б л и ц а 2

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
δ	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
j^*	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

* j - отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы.

Печатные платы I-го и 2-го классов точности наиболее просты в исполнении, надежны в эксплуатации и имеют минимальную стоимость. Печатные платы 3-го и 4-го, 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.

Т а б л и ц а 3

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

Выбор материала печатной платы. Материал для ПП выбирает по ГОСТ 23751-79 или техническим условиям. Материалы, рекомендуемые для изготовления ПП, приведены в табл. 4. Основные параметры наиболее употребительных материалов сведены в табл. 5.

Т а б л и ц а 5

Параметр	Материал основания ПП		
	ГФ	СФ	ФДМЭ
Предел прочности при растяжении, кг/см ² , не более	80	200	-
Предельно допустимое напряжение на изгиб, кгс/см ²	800...1400	2300	-
Плотность, г/см ³	1,3...1,4	1,6...1,85	-
Водопоглощаемость, %, не более	5	3	-

Материалы для печатных плат

Марка материала	Толщина фольги, мкм	Толщина материала с фольгой, мм	Область применения
ГФ I-35	35	I,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно-двусторонние платы без гальванического соединения печатного слоя
ГФ 2-35		I; I,5; 2,0; 2,5; 3,0	
СФ I-35, СФ-2-35	35	0,8; I,0; I,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно-двусторонние платы с гальваническим соединением слоев
СФ I-50, СФ-2-50	50	0,5; I,0; I,5; 2,0; 2,5; 3,0	То же
СФ II-50, СФ-2 II-50	50	0,8; I,0; I,5; 2,0; 2,5; 3,0	То же
СФ III-50, СФ III-2-50	50	0,5; I,0; I,5; 2,0; 2,5; 3,0	Одно-двусторонние платы с повышенной нагревостойкостью
СТФ-I	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35;	Одно-двусторонние, МПП и гибкие ПП с повышенной нагревостойкостью и влажностойкостью
СТФ-2		0,50; 0,80; I,0; I,5; 2,0; 3,0	
ФТС-I	20	0,08; 0,15; 0,18; 0,27; 0,5	Гибкие и МПП
ФТС-2	35	0,1; 0,12; 0,19; 0,23; 0,5	
ФДМ-I, ФДМ-2	35	0,25; 0,35	Гибкие ПП
СТФ-I-2ЛК	-	I; I,5	Одно-двусторонние ПП
СПП-3, СПП-0,25	-	0,025; 0,06	Прокладки для МПП

Параметр	Материал основания ПП		
	ГФ	СФ	ФДМЭ
Удельное электрическое объемное сопротивление, Ом·см	10 ⁹	10 ¹²	10 ¹⁰
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц	0,038...0,045	0,025	0,025
Относительная диэлектричес- кая проницаемость на час- тоте 1 МГц	7	6	5
Прочность сцепления печат- ных проводников с основа- нием платы при отрыве, Н/мм ² , не менее	1,5...2	2...3,5	2,5...4,0
Пробивное напряжение в на- правлении, перпендикулярном к поверхности платы, кВ/мм, не менее	20	25	25
Рабочие температуры, °С	-60... +85	-60... +120	-60... +100

В бытовой РЭА обычно рекомендуется применять одно- или двусторонний ГФ. Для профессиональной РЭА рекомендуется использовать для жестких плат СФ различных марок, а для гибких ПП специальные фольгированные тонкие диэлектрики и полиамидные пленки.

Выбор вида внешнего соединения печатных плат. 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;

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 межячеечной коммутации.

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

В разъемных конструкциях используются соединители различных типов [2, 8].

1.3. Проведение компоновочных работ

Процесс компоновки РЭА с печатным монтажом искусственно расчленяется на две подзадачи – оптимального размещения элементов и оптимальной трассировки. Задачей компоновки является разработка такого варианта расположения ЭРЭ на плате и такого рисунка печатных соединений, при котором устройство обеспечивало бы своему функциональному назначению и имело бы заданные параметры и характеристики. При этом рекомендуются следующие ограничения.

П р и р а з м е щ е н и и:

обеспечение минимума теплового градиента: расположение теплонагруженных ЭРЭ по периметру;

повышение надежности ячеек: размещение более надежных элементов в местах наибольшей амплитуды виброускорений (в центре платы);

повышение жесткости ПП – установка более тяжелых элементов ближе к точкам крепления;

введение экранов и выделение для них места;

определение рабочей площади ПП для размещения.

П р и о п т и м а л ь н о й т р а с с и р о в к е:

длина отдельных проводников;

обеспечение минимума паразитных связей;

учет эффекта длинных линий (формирование полосковых линий и их согласование);

определение рабочей площади ПП для трассировки.

Размещение навесных элементов рекомендуется осуществлять следующим образом: принципиальная электрическая схема разбивается на функционально связанные группы, составляется таблица соединений, производится размещение навесных элементов в каждой группе; группа элементов, имеющая наибольшее количество внешних связей, размещается вблизи соединителя; группа элементов, имеющая наибольшее число связей с уже размещенной группой навесных элементов, размещается рядом и т.д. По ГОСТ 23751-79 необходимо выполнить рациональное размещение навесных

элементов, с учетом электрических связей и теплового режима с обеспечением минимальных значений длин связей, количества переходов печатных проводников со слоя на слой, паразитных связей между навесными элементами; кроме этого, если возможно, то целесообразно выполнить равномерное распределение масс навесных элементов по поверхности платы с установкой элементов с большей массой вблизи мест механического крепления платы.

При установке элементов на ПП рекомендуется учесть следующие правила установки элементов:

для обеспечения возможности групповой пайки все ЭРЭ устанавливаются только с одной стороны платы, исключая тем самым воздействия припоя на элементы;

при установке элементов их выводы крепят в монтажных отверстиях платы, причем в каждом отверстии можно размещать лишь один вывод элемента;

центры монтажных и переходных отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки (то же рекомендуется и для крепежных отверстий);

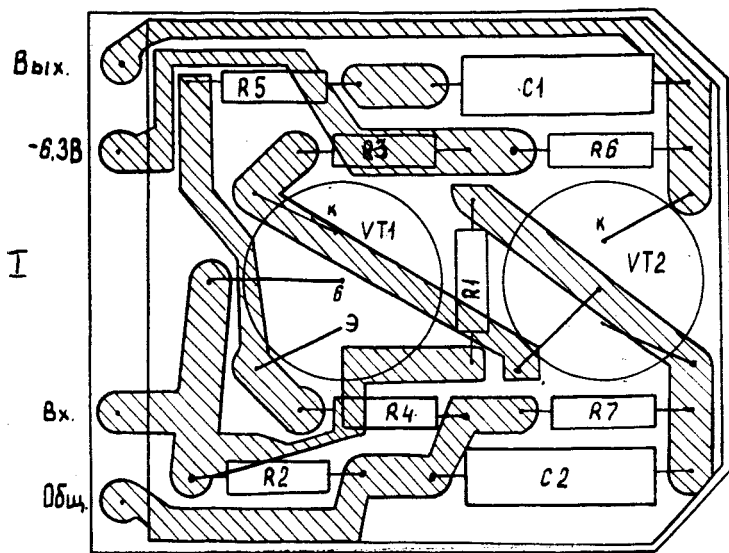
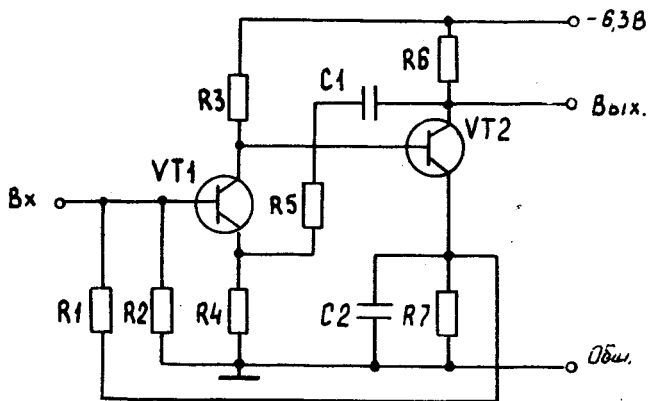
навесные двухвыводные элементы следует размещать на ПП параллельно линиям координатной сетки. Для удобства автоматизации процесса установки ЭРЭ на плату целесообразно располагать их рядами;

должно соблюдаться определенное расстояние от корпуса элемента до места пайки, регламентируемое ГОСТами или ТУ на данный элемент;

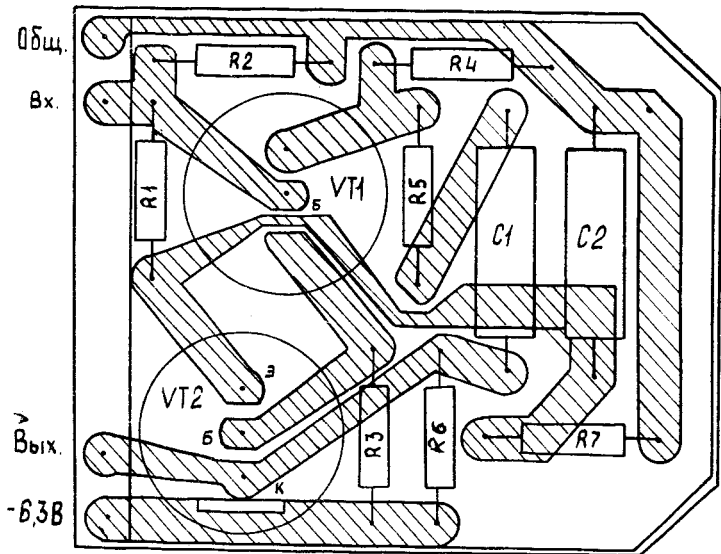
расстояние между корпусами соседних ЭРЭ выбирают из условия лучшего теплоотвода и допустимой разности потенциалов (относительно выводов);

конструктивные детали механического крепления (скобы, держатели, хомуты и др.) выбираются из числа рекомендованных или конструируются вновь с учетом механических перегрузок, действующих на изделие.

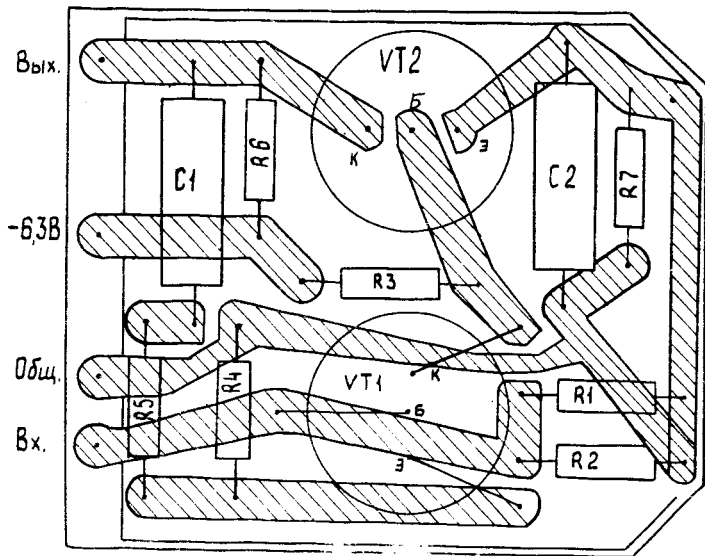
Рациональная компоновка ЭРЭ на ПП невозможна без творческого подхода, обдуманного выбора технического решения, построенного на разумных компромиссах между противоречивыми требованиями схемы, конструкции, условий эксплуатации, возможностями технологии и стоимостью. Важно правильно оценить значимость (вес) каждого предъявляемого к конструкции требования. Очевидно, что для одной и той же схемы можно предложить несколько различных вариантов компоновки (рис. 6). Учитывая специфику усилительных устройств, лучшим среди трех предложенных вариантов компоновки надо признать вариант III, т.к. здесь осуществ-



Р и с . 6



III



III

Р и с. 5 (окончание)

влено максимальное разнесение входных и выходных цепей, проводники корпуса ("Общ.") и питания ("-6,3 В") дополнительно экранируют вход и выход. Второй вариант хуже не только с электрических, но и с технологических позиций: об этом свидетельствуют узкие места на плате. Наличие узких мест влечет за собой необходимость занижения ширины печатных проводников и контактных площадок вокруг монтажных отверстий, что чревато опасностью отслаивания их от платы в процессе изготовления. Первый вариант (см. рис. 6) компоновки вообще неприемлем вследствие неправильной распылки выводов транзисторов. Из приведенного анализа различных вариантов компоновки простейшего функционального узла ясно, что нахождение оптимального компоновочного решения является весьма сложной задачей.

В целях упрощения процесса компоновки рекомендуется применять аппликационный метод. Он состоит в том, что расстановку ЭРЭ на ПП осуществляют за счет перемещения проекций элементов вырезанных из плотной бумаги, картона на листе бумаги с расчерченной координатной сеткой. Результат компоновки удобнее всего представить в виде компоновочного эскиза (см. рис. 6), по нему нетрудно в дальнейшем оформить чертежи платы и сборки узла. ЭРЭ нужно распределить на плате относительно равномерно и по возможности более плотно, стремясь к уменьшению габарита платы. Получившиеся размеры платы необходимо скорректировать и привести в соответствие с ГОСТ 10317-79^х.

Можно количественно оценить некоторые компоновочные параметры:

плотность упаковки

$$\rho = \frac{N}{a b c_N};$$

коэффициент использования
площади платы

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{a b};$$

коэффициент заполнения
объема блока

$$K_V = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{a b c},$$

где N - количество ЭРЭ, установленных на плате;

S_i, V_i - соответственно установочная площадь и установочный объем i -го элемента схемы;

a, b, c - соответственно длина, ширина и высота на печатной плате.

При увеличении плотности упаковки ЭРЭ не следует забывать, что полупроводниковые элементы и микросхемы необходимо размещать как можно дальше от мощных тепловыводящих элементов и от элементов, являю-

щихся источниками переменных и постоянных магнитных полей (трансформаторы, дроссели и др.).

Окончательное выяснение качества и рациональности компоновки может быть проверено макетированием.

Компоновку (размещение) элементов проводящего рисунка целесообразно проводить, используя каналные алгоритмы трассировки [1]. Для выполнения трассировки по этому методу необходимо вычертить эскиз ПП в масштабе 4:1 на прозрачной пленке или кальке, нанести на него с двух сторон координатную сетку и обозначить посадочные места. Качество трассировки значительно повышается, если перед трассировкой по результатам размещения было выполнено построение ортогональных минимальных деревьев и получена таблица соединений. Пользуясь этой таблицей, сначала выполняют трассировку цепей простой конфигурации, реализуемых без перехода из канала в канал, а затем проводятся отрезки трасс, подходящие к контактам модулей. Далее производится распределение фрагментов трасс по горизонтальным каналам. Основным критерием служит такое назначение фрагмента магистрали, при котором возникает минимальное количество конфликтных ситуаций. Если трасса соединяет контакты микросхем, расположенные с одной стороны канала, то ей выделяется ближайшая с этой стороны магистраль. Основным ограничением при распределении фрагментов трасс по магистралям является пропускная способность канала. Если в канале имеется участки, где число фрагментов трасс больше числа магистралей, то необходимо скорректировать размещение. Если трасса соединяет контакты микросхем, к которым подходят различные горизонтальные каналы, то соединения проведенных ранее горизонтальных отрезков осуществляются в вертикальных каналах. Эти две операции повторяются до тех пор, пока все трассы не будут разведены.

На расположение элементов печатного монтажа действует ряд ограничений, связанных с технологическими особенностями производства и обеспечением необходимых электрических параметров схемы электрической принципиальной.

Форма печатных проводников и их взаимное расположение оказывают значительное влияние на электрические параметры схемы, поэтому при разработке высокочастотных схем, импульсных и частотно-зависимых схем необходимо тщательно исследовать взаимное расположение проводников.

Печатные проводники рекомендуется выполнять одинаковой ширины по нормам для свободного места на всем их протяжении. Сужать провод-

ники до минимального значения следует только в узком месте на возможно меньшей длине. Проводники шириной более 3 мм, расположенные на ПП со стороны пайки и на внутренних слоях МПП, выполняют в соответствии с рекомендациями для конструирования экрана (ГОСТ 23751-79).

При компоновке печатного монтажа проводники следует располагать равномерно по полной площади ПП с учетом следующих требований:

параллельно линии координатной сетки или под углом, кратным 15° ; как можно более короткими;

параллельно направлению движения волны припоя или под углом к нему не более 30° со стороны пайки, если проводящий рисунок не покрывает защитной маской;

во взаимно перпендикулярных направлениях на соседних проводящих слоях ПП;

перпендикулярно касательной к контуру контактной площадки.

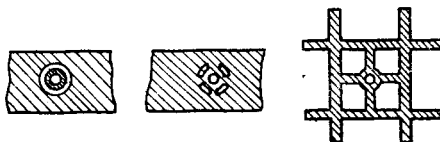
В целях уменьшения сложности проводящего рисунка допускается применение перемычек в количестве не более 5% от общего числа печатных проводников. Экраны выполняют в одной плоскости с проводящим рисунком или как самостоятельно проводящие слои. Все экраны выполняют с вырезами. Площадь вырезов должна быть не менее 50% общей площади экрана. Форма вырезов произвольная, определяется конструктором.

Печатные контакты переключателей располагают произвольно на любом участке полезной площади ПП. Размеры и взаимное расположение площади печатных контактов определяет конструкция переключателя. Концевые печатные контакты располагают на краю ПП, размеры которых определяют из технических условий на гребенчатый соединитель.

Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон ПП. На внутренних слоях МПП контактные площадки должны быть у тех отверстий, которые связаны электрически с проводящим рисунком данного слоя.

Неметаллизированные монтажные отверстия следует располагать в зоне контактной площадки. Контактные площадки могут иметь произвольную форму, предпочтительной является круглая. Контактная площадка, предназначенная под установку первого вывода многовыводного элемента, должна иметь форму, отличную от остальных. Контактные площадки на проводниках и экранах рекомендуется выполнять в соответствии с рис. 7. Контактные площадки для автоматического контроля и диагностики следует выполнить круглой формы диаметром не менее 2 мм и располагать в узлах координатной сетки с шагом 2,5 мм в свободных местах в шахматном по-

рядке так, чтобы расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на одной линии, и координатной сетки было кратно 5, а расстояние между центрами контактных площадок, лежащих на соседних линиях координатной сетки, равно 2,5.



Р и с . 7

Центры монтажных отверстий под неформуемые выводы многовыводных элементов, межцентровые расстояния которых не кратны шагу координатной сетки, следует располагать таким образом, чтобы в узле координатной сетки находился центр по крайней мере одного из монтажных отверстий, центры монтажных отверстий под остальные выводы располагать в соответствии с требованиями конструкции устанавливаемого элемента. Взаимное расположение монтажных отверстий под выводы навесных элементов должно соответствовать ОСТ 4 Ю.010.030-81; ОСТ 4.091.121-79; ОСТ 3.070.010-78.

Размеры и конфигурацию крепежных и других конструктивных отверстий, например для корпуса навесных элементов, выбирают по ГОСТ 11284-75 в зависимости от требований конструкции устанавливаемого элемента. Не рекомендуется использовать более трех различных диаметров монтажных отверстий. Все отверстия на ПП выполняют без зенковок. Допускается у металлизированных отверстий ПП притупление острых кромок и частичное затягивание фольги в неметаллизированные отверстия. При расчете диаметра контактной площадки наличие притупления кромок не учитывают. Все контактные контакты на плате должны иметь износостойчивое покрытие, которое указывают на чертеже.

Конструктивные покрытия. Стабильность электрических, механических и других параметров ПП может быть обеспечена применением металлических и неметаллических конструктивных покрытий [7, 8].

Конструктивные покрытия выбирают по ОСТ 4.Ю.024.000. Вид и толщину покрытия указывают в чертеже. В качестве конструктивных покрытий рекомендуется использовать металлы и сплавы, приведенные в табл. 6.

Неметаллическое конструктивное покрытие используют в следующих случаях: для сохранения паяемости; для защиты проводников и поверхности основания ПП от воздействия припоя; для защиты элементов проводящего рисунка от замыкания навесными элементами.

Т а б л и ц а 6

Покрытие	Толщина, мкм	Назначение покрытия
Сплав "Розе"	4...10	Защита от коррозии, улучшение способности к пайке
Сплав олово-свинец	9...12	То же
Сплав олово-кобальт	9...12	Защита от коррозии, улучшение способности к пайке
Серебрение	6...12	Улучшение электропроводности и повышение износоустойчивости переключателей и концевых контактов соединителей
Сплав серебро-сурьма	6...12	То же
Золотое	0,5...2,5	Снижение переходного сопротивления и повышение помехоустойчивости
Палладиевое	1...5	Повышение износоустойчивости концевых контактов и переключателей
Никелевое	3...6	Придание поверхности переключателей твердости; используется в качестве подслоя под палладиевое покрытие

Для сохранности паяемости используют спирто- и ацетоноканифольные лаки. Данное покрытие является технологическим, его в чертеже не указывают. Для защиты проводников и поверхности основания платы от воздействия припоя используют резистивные маски на основе эпоксидных смол, сухого пленочного резиста, холодных эмалей, оксидных пленок. Для защиты элементов проводящего рисунка от замыкания навесными элементами используют прокладочные стеклоткани, гетинаксы и другие изоляционные материалы.

1.4. Конструктивно-технологические расчеты

Конструктивно-технологический расчет ПП производится с учетом производственных погрешностей рисунка проводящих элементов, фототаблонов, базирования, сверления и т.д. [2,8].

Нормы на конструирование ПП устанавливаются ГОСТ 2.417-78, ГОСТ Ю317-79^х, ГОСТ 23751-86, ГОСТ 22318-77.

Координатная сетка в декартовой системе координат имеет шаг 2,5; 1,25; 0,5 мм. Большую сторону ПП ориентируют по оси X. Шаг координатной сетки ПП, применяемых в изделиях автоматизации промышленных процессов, измерительной и вычислительной технике, рекомендуется определять:

Наименьшее расстояние для размещения элементов:	от	-	0,1	0,500	0,625	1,25	2,50
	до	0,1	0,5	0,625	1,250	2,50	-
Шаг сетки		0,1	0,1	0,5	0,625	1,25	2,50

Диаметры монтажных и переходных отверстий должны соответствовать ГОСТ 10317-79*. Предпочтительные размеры монтажных отверстий выбирают из ряда 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5 мм, а переходных отверстий из ряда 0,7; 0,9; 1,1 мм. Предельные отклонения диаметров монтажных и переходных отверстий (в миллиметрах) в соответствии с ГОСТ 23751-86 приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Диаметр отверстия	Наличие металлизации	Класс точности				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Нет	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
	Есть	$\pm 0,05$	$+0,05$	$+0$	$+0$	$+0$
Св. 1,0	Нет	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$	$\pm 0,10$
	Есть	$+0,10$	$+0,10$	$+0,05$	$+0,05$	$+0,05$

Предельные отклонения ширины печатных проводников, площадок, экраниров и др. для узких мест указаны в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Наличие металлического покрытия	Класс точности				
	1	2	3	4	5
Без покрытия	$\pm 0,15$	$\pm 0,00$	$\pm 0,03$	$\pm 0,03$	$+0$
С покрытием	$+0,25$	$+0,15$	$+0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
	$-0,20$	$-0,10$	$-0,08$		

Позиционные допуски по ГОСТ 2375I-86 для осей отверстий применять по табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Размер большой стороны платы	Класс точности				
	1	2	3	4	5
$\angle \leq 180$	0,20	0,15	0,08	0,05	0,05
$180 < \angle \leq 360$	0,25	0,20	0,10	0,08	0,08
$\angle > 360$	0,30	0,25	0,15	0,10	0,10

Предельные отклонения значения номинального расстояния между центрами двух отверстий ПП определяют как полусумму позиционных допусков расположения центров этих отверстий.

Значение позиционного допуска δP расположения контактных площадок относительно его номинального положения выбирают по табл. 10

Т а б л и ц а 10

Вид платы	Размер большой стороны платы	Класс точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП ППК, МПП (наружный слой)	$\angle \leq 180$	0,35	0,25	0,15	0,10	0,05
	$180 < \angle \leq 360$	0,40	0,30	0,20	0,15	0,08
	$\angle > 360$	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
МПП (внутренний слой)	$\angle \leq 180$	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10
	$180 < \angle \leq 360$	0,45	0,35	0,25	0,20	0,15
	$\angle > 360$	0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

Основные формулы для расчета размеров элементов конструкции ПП:

1. Номинальные значения диаметра монтажного отверстия,

$$d = d_3 + z + |\Delta d_{н.о.}|,$$

где d_3 - максимальное значение диаметра вывода навесного элемента, устанавливаемого на ПП;

Z - разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого элемента;

$\Delta d_{н.0}$ - нижнее предельное отклонение номинального значения диаметра отверстия.

Диаметры монтажных отверстий рекомендуется выбирать так, чтобы значения Z были в пределах $0,1 \dots 0,4$ мм.

2. Номинальное значение ширины проводника t в миллиметрах рассчитывается по формуле

$$t = t_{м.д} + |\Delta t_{н.0}|,$$

где $t_{м.д}$ - минимально допустимая ширина проводника;

$\Delta t_{н.0}$ - нижнее предельное отклонение ширины проводника.

3. Номинальное значение расстояния между соседними элементами проводящего рисунка S в миллиметрах определяют по формуле

$$S = S_{м.д} + \Delta t_{в.0},$$

где $S_{м.д}$ - минимально допустимое расстояние между соседними элементами проводящего рисунка;

$\Delta t_{в.0}$ - верхнее предельное отклонение ширины проводника.

Величину $S_{м.д}$ выбирают из расчета обеспечения электрической прочности изоляции в соответствии с ГОСТ 23751-79 или по ОСТ 4.010.019-81.

4. Расчет минимального диаметра контактной площадки производят по формуле

$$D = (d + \Delta d_{в.0}) + 2\delta + \Delta t_{в.0} + 2\Delta d_{м.р} + \sqrt{\delta d^2 + \delta p + \Delta t_{н.0}^2},$$

где $\Delta d_{в.0}$ - верхнее предельное отклонение диаметра отверстия;

$\Delta d_{м.р}$ - глубина подтравливания диэлектрика для МПП (принимается равной $0,03$ мм).

5. Расчет минимального расстояния для прокладки n -го количества проводников между двумя отверстиями с контактными площадками диаметрами D_1 и D_2 производят по формуле

$$l = (D_1 + D_2)/2 + t_n + S(n+1) + \delta l,$$

где n - количество проводников;

δl - допуск, который учитывается только при $n > 0$.

6. Сопротивление изоляции $R_{И}$ параллельных проводников приближенно вычисляется как

$$R_{И} \approx \frac{R_S R_V}{R_S + R_V},$$

где R_S - поверхностное сопротивление изоляции, $R_S = \rho_S S_{min} / l$;

R_V - объемное сопротивление изоляции, $R_V = \rho_V d / S$;

S_{min} - минимальная площадь проекции печатных проводников друг на друга.

Для нормальной работы ПП сопротивление изоляции между разобранными цепями в условиях наибольшей влажности должно подчиняться неравенству $R_{И} > 10^3 R_{вх}$, где $R_{вх}$ - входное сопротивление коммутируемых схем.

7. При оценке теплового режима ЭРЭ на ПП необходимо исходить из того, что максимальная рабочая температура ЭРЭ обычно ограничивается пределами $T_Э = 75 \dots 85^\circ\text{C}$. С другой стороны, температура несущей базовой конструкции, которая принимается условно как бесконечно теплоемкий радиатор, может иметь следующие значения:

для естественной конвекции $T_K = 25^\circ\text{C}$;

для принудительных видов охлаждения $T_K = 15^\circ\text{C}$.

Перегрев элемента определяется следующим образом: $\Delta T_Э = T_Э - T_K$ и составит $\Delta T_Э = 50 \dots 60^\circ\text{C}$. Перегрев имеет в основном две составляющие: $\Delta T_Э = \Delta T_H + \Delta T_B$,

где ΔT_H - наружный перегрев (перегрев в результате теплового взаимодействия поверхности элемента с окружающей средой);

ΔT_B - внутренний перегрев (перегрев ЭРЭ вследствие прохождения тепловой энергии по внутренним конструктивным элементам).

Перегрев связан с тепловым сопротивлением соотношением

$$\Delta T = R_T P,$$

где P - мощность, рассеиваемая элементом, Вт.

Величина внешнего перегрева может определяться также по формуле

$$\Delta T_H = 10^{-4} P / \alpha S,$$

где S - площадь поверхности элемента, см^2 ;

α - коэффициент теплообмена между поверхностью и окружающей средой, $\text{Вт}/\text{см}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ (табл. II).

Т а б л и ц а II

Условия охлаждения	α , $\text{Вт}/\text{см}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Естественная конвекция:	
воздух	$(6 \dots 25) \cdot 10^{-4}$
пар фреона	$(3 \dots 20) \cdot 10^{-3}$
жидкий фреон	$(3 \dots 4) \cdot 10^{-2}$
Принудительная конвекция:	
воздух	$(0,25 \dots 10) \cdot 10^{-2}$
пар фреона	$(2 \dots 2) \cdot 10^{-2}$
вода и жидкий фреон	$(4 \dots 80) \cdot 10^{-2}$
Кипение:	
жидкий фреон	$0,15 \dots 0,7$
вода	$0,3 \dots 1,3$

Внутренний перегрев ΔT_B в значительной мере зависит от теплопроводности материала, из которого изготовлены корпус или плата. В табл. I2 приведены данные по тепловому сопротивлению для различных модификаций печатных плат.

Можно произвести полный расчет теплового сопротивления от температуры воздуха, составив его тепловую схему. Суммарный перегрев должен быть не больше допустимого. Если это условие не выполняется надо искать пути уменьшения теплового сопротивления по "внутренним" и "внешним" каналам.

Т а б л и ц а 12

Основание ПП	Температура ЭРЭ, °С	Тепловое сопротивление, °С/Вт
Стеклоэпоксидное (гетинакс, стеклотекстолит и др.)	70 ... 90	26
Стеклоэпоксидное с теплоотводящей медной фольгой	65 ... 90	16
Гибкая ПП, приклеенная на стальное основание	18 ... 23	8

Проверочные расчеты. Подтверждением соответствия конструктивного решения ПП заданному ТЗ являются результаты проверочных расчетов, перечень и место которых определяется индивидуально в зависимости от применяемых методов, способов и принципов конструирования.

Расчет по постоянному току. Расчет по постоянному току практически выполняется для цепей "питания" и "земли". Необходимо оценить наиболее важные электрические свойства ПП по постоянному току: нагрузочную способность проводников по току, сопротивление изоляции и диэлектрическую прочность основания платы. Практически сечение проводника рассчитывают по допустимому падению напряжения U_n на проводнике:

$$U_n = \rho \frac{ln}{h \varphi t} I_n,$$

где ρ - удельное сопротивление проводника (табл. 13); $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

Т а б л и ц а 13

Удельное электрическое сопротивление металлов

Металл	Удельное электрическое сопротивление, $10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	Металл	Удельное электрическое сопротивление, $10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
Медная фольга	1,72	Палладий	10,80
Гальваническая медь	1,90	Никель	7,80
Химическая медь	2,80	Серебро	1,59
Золото	2,22		

h, ρ, t, ℓ_n - соответственно толщина фольги, ширина и длина проводника, мм;

I_n - ток через проводник (определяется из условий работы схемы электрической принципиальной), А.

Для электронных логических схем допустимое падение напряжения в цепях "питание" и "земля" не должно превышать 1-2% от номинального значения подводимого напряжения E_K , поэтому требуемое сечение печатного проводника шины "питание" и "земля" вычисляется по формуле

$$S_{пз} \geq \rho \frac{\ell_n}{(0.01 \dots 0.02) E_K} I_n,$$

где $S_{пз} = h \rho t$ - сечение печатного проводника шины "земля".

1.5. Разработка печатных плат автоматизированным методом

Алгоритмы размещения и трассировки подробно изучаются в курсах "Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР", "Автоматизация конструкторского проектирования с применением САПР".

Указанные алгоритмы широко используются в автоматизированных системах проектирования ОПП, ДПП и МПП. Так, в программных модулях размещения однотипных интегральных микросхем на предварительно выделенных установочных местах используются алгоритмы парных и групповых перестановок, алгоритмы последовательного размещения, итеративные алгоритмы, алгоритм случайных назначений.

В программных модулях размещения разногабаритных элементов используются алгоритмы последовательно-группового размещения на основе применения принципа дихотомического деления множества размещаемых элементов, последовательно-одиночного размещения на основе применения функции плотного размещения и некоторые другие.

В программных модулях трассировки наиболее широко применяются волновой и лучевой алгоритмы и их многочисленные модификации.

Разработка функциональных модулей (узлов) с печатным монтажом на основе применения САПР является экономически наиболее целесообразной, рациональной и перспективной по сравнению с другими методами - полуавтоматизированным и ручными.

Рассмотрим особенности конструирования при использовании САПР.

В настоящее время разработаны и находятся в эксплуатации САПР, предназначенные для конструкторского проектирования ОПП, ДПП и МПП, например:

САПР "Рапира - 5.3" и ее дальнейшая, более совершенная модификация ПРАМ - 5.3, их назначение - конструкторское проектирование ОПП и ДПП;

САПР ПРАМ 2.4; назначение - конструкторское проектирование МПП со сквозной металлизацией отверстий.

САПР реализуется на ЕС ЭВМ штатной конфигурации с объемом оперативной памяти 520-1000 К байт. Для работы с любой из перечисленных систем конструктор должен предварительно подготовить банк данных, в котором сосредоточена информация об элементной базе, используемой в разрабатываемых РЭА. Для каждого из элементов указываются: габариты корпуса, координаты выводов в локальной системе координат, связанной с элементом, обозначение элемента по стандарту (ТУ), электрические характеристики элемента. В некоторых системах в базу данных входит информация о типоразмерах ПП, на которых реализуются функциональные узлы.

Непосредственная работа с системой сводится к подготовке, набивке на перфокартах формализованного задания и вводу его в систему, контролю промежуточных результатов, выдаваемых системой, в частности результатов размещения и трассировки каждого слоя, выводимых на АЦПУ, к корректировке этих результатов.

В режиме взаимодействия САПР с АРМ-Р представляется возможным выполнять подготовку формализованного задания и вводить его в систему, производить коррекцию данных, выдаваемых системой, а также получать управляющие перфолисты.

Комплект конструкторско-технологической документации, который обеспечивает САПР, включает:

управляющие перфолисты для координатографов (КПА-1200 и др.) для получения фотооригиналов каждого слоя;

спецификация на разрабатываемый узел;

сборочный чертеж;

управляющие перфолисты для сверлильных станков с ЧПУ (ОФ-72Б, ВМ-9Ю и др.);

эскизы размещения и трассировки;

перечень элементов к ЭЗ;

ведомость покунных изделий;

таблица цепей и перечень неразведенных трасс;
управляющие перфоленты для стендов контроля готовых плат.

Указанные документы соответствуют требованиям ГОСТ 2.004-79.

Более подробно ознакомиться с вопросами автоматизированного конструирования можно по работам [1, 6, 9].

1.6. Оформление чертежей печатных плат

Печатная плата является специфической деталью и выполняется в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 2.417-78 и ОСТ 4.010.019-81.

Чертеж односторонней и двусторонней печатной платы именуют "Плата печатная", ему присваивают класс в соответствии с классификатором. Чертеж многослойной печатной платы именуют "Плата печатная многослойная", сборочный чертеж. Чертеж слоя многослойной печатной платы с проводящим рисунком, расположенным с одной или с двух сторон, именуют "Слой многослойной печатной платы". Иногда делают дополнительную проекцию печатной платы без проводников, на которой проставляют размеры для механической обработки печатной платы, маркировки и т.д.

Чертежи печатной платы выполняют в масштабах 1:1, 2:1, 4:1; 5:1; 10:1. Однако, если шаг координатной сетки 1,25 мм, то используют масштаб не менее 4:1. На чертеже изображают основные проекции с печатными проводниками и отверстиями, допускается приводить дополнительные виды с частичным изображением рисунка. Чертеж слоя многослойной печатной платы следует изображать на отдельном листе. На чертеже слоя рекомендуется проставлять габаритные размеры.

На чертеже печатной платы наносят координатную сетку тонкими сплошными линиями толщиной 0,2...0,5 мм. Линии координатной сетки относительно нулевой нумеруют через один или несколько шагов (но не более пяти) цифрами. Допускается простановка номеров линий по четырем сторонам чертежа платы по ГОСТ 2.303-68.

На чертеже печатной платы размеры должны указываться одним из следующих способов (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.307-68):
нанесением координатной сетки в прямоугольной системе координат (линии сетки нумеруются);

нанесением координатной сетки в полярной системе координат;
комбинированным способом с помощью размерных и выносных линий и координатной сетки в прямоугольной или полярной системе координат.

Шаг координатной сетки в прямоугольной системе координат по ГОСТ ЮЗ17-79 *; основной шаг 2,50 мм, дополнительный 1,25 или 0,5 мм.

За ноль в прямоугольной системе координат на главном виде печатной платы следует принимать:

- центр крайнего левого нижнего отверстия, находящегося на поле платы (в том числе и технологического);
- левый нижний угол печатной платы;
- левую нижнюю точку, образованную линиями построения.

На чертеже круглых печатных плат за ноль в прямоугольной системе координат допускается принимать центр печатной платы. Если размеры и конфигурация рисунка печатной платы оговорены в технических требованиях чертежа, то допускается элементы печатных плат изображать условно.

При автоматизированном и полуавтоматизированном способе выполнения документации допускается отступление от масштаба по одной или обоим осям. Степень отклонения от масштаба определяется конструкцией производящих устройств.

При необходимости указать границы участков платы, которые не допускается занимать проводниками, на чертеже следует применять штрихпунктирную утолщенную линию.

Проводники на чертеже должны изображаться одной линией, являющейся осью симметрии проводника, при этом на чертеже следует указывать численное значение ширины проводника. Проводники шириной более 2,5 мм могут изображаться двумя линиями, при этом если они совпадают с линиями координатной сетки, численное значение ширины не указывают [3,5].

Размеры отверстий, их количество, размеры зенковок и другие сведения помещают в таблице на поле чертежа. Рекомендуемая форма таблицы приведена на рис. 8.

30	30	30	35	30	25
Условные обозначения отверстий	Диаметры отверстий мм	Диаметры зенковок с двух сторон, мм	Наличие металлизации в отверстиях	Диаметры контактных площадок, мм	Количество отверстий
Р					

Р и с . 8

Данные для ее заполнения для плат толщиной 1,5...2,0 мм приведены в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

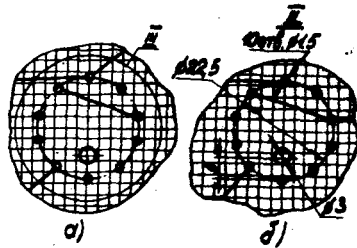
Диаметр выводов элемента, мм	Диаметр отверстия в плате, мм	Диаметр зенковок с двух сторон, мм	Диаметр контактной площадки, мм	Диаметр выводов элемента, мм	Диаметр отверстия в плате, мм	Диаметр зенковок с двух сторон, мм	Диаметр контактной площадки, мм
0,5-0,6	0,8	1,1x70	2,2	1,3-1,5	1,8	2,2x70	4,0
0,7-0,8	1,0	1,5x70	2,5	1,8-2,0	2,2	2,8x70	5,0
0,9-1,0	1,3	1,8x70	3,0	2,0-2,2	2,5	3,0x70	5,5
1,2-1,3	1,5	2,0x70	3,5	2,4-2,6	2,8	3,2x70	6,0

Круглые отверстия, имеющие зенковку и круглые контактные площадки с круглыми отверстиями (в том числе и с зенковкой), показывают упрощенно — одной окружностью (без окружностей зенковки и контактной площадки). Чтобы их различать используют условные обозначения (рис.9), в этом случае в технических требованиях чертежа оговаривают форму и размеры контактной площадки.

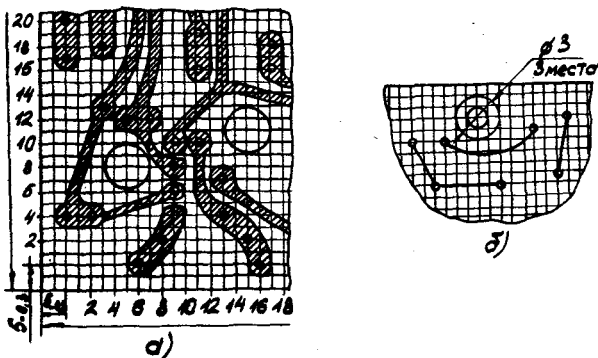
Для простановки размеров контактной площадки под многовыводные элементы контактную группу выделяют на плате или выносят на поле чертежа (рис.10 а, б). Отверстия, расстояния между которыми кратны шагу координатной сетки, располагают в ее узлах, остальные — согласно установочным размерам. Выносной элемент используют для облегчения чтения чертежа. Печатные элементы (проводники, экраны, контактные площадки и др.) положено штриховать (рис. 11,а). При ширине проводника на чертеже менее 2 мм (а иногда и более, если действительная ширина оговаривается в технических требованиях) их изображают сплошной контурной линией (рис. 11,б). Если проводник имеет по

Диаметр, мм	Ø5	Ø6	Ø8	Ø10	Ø15
Условные обозначения отверстий					

Р и с . 9



Р и с . 10



Р и с. II

длине переменную ширину, то ее указывают на каждом участке. Если проводник с переменной шириной переходит с одного слоя на другой, то размеры его указывают на изображении этих слоев.

При наличии на чертеже печатной платы двух и более проводников, имеющих заданную ширину, допускается их изображение выполнять штриховкой, зачеркиванием и т.п. линиями. При необходимости форму и размеры вырезов на широких проводниках и экранах показывают на чертеже.

Маркировку располагают на чертеже печатной платы с одной или двух сторон. При необходимости способ маркировки указывают в технических требованиях чертежа.

При конструировании печатной платы под групповой метод пайки направление пайки рекомендуется указывать на поле чертежа печатной платы.

Над основной надписью помещают технические требования [4] в соответствии с ГОСТ 2.316-68 и ГОСТ 2.417-78 в следующей последовательности:

- способ изготовления платы;
- шаг координатной сетки;
- допускаемые отклонения очертаний проводников, контактных площадок и других печатных элементов от заданных чертежом;
- ширина печатных проводников и зазоры между ними в свободных и узких местах;
- наименьшее расстояние между проводниками;

требования к подрезке и смещению контактных площадок;
указания о маркировании и клеймении;
указания о контроле.

Пример записи технических требований приведен в приложении 2.

На поле чертежа ПП необходимо указывать:

габаритные размеры ПП;

координаты монтажных, технологических и контактных отверстий;
размеры контактных площадок;

допуск на расстояние между базовым отверстием (началом координат) и любым монтажным отверстием (обычно $\pm 0,2$ мм);

количество отверстий каждого размера и их размеры (если нужно, с указанием зенковки);

шероховатость (чистоту обработки) поверхности;

класс точности выполнения размеров: размеры, указанные без допуска, обычно исполняются по I2 или I4 качеству.

На чертежах печатных плат допускается:

наносить позиционные обозначения электро- и радиоэлементов;

указывать сторону установки навесных элементов надписью, помещаемой над изображением;

помещать электрическую схему.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Каждому студенту выдается принципиальная схема, на которой обозначены все элементы по наименованиям и номинальной величине.

2. Основываясь на эксплуатационных и точностных требованиях, выбрать метод изготовления ПП.

3. Произвести размещение элементов электрической схемы на ПП по координатной сетке.

4. Произвести конструктивно-технологические расчеты.

5. Выполнить чертеж печатной платы с учетом всех требований ЕСКД.

Порядок выполнения эскиза

После выбора элементов, зарисовки их формы и габаритов и выбора метода изготовления студенту прежде всего необходимо подготовить аппликации всех элементов в масштабе, выбранном для чертежа (М 2:1 или М 4:1).

2. Из ряда типоразмеров плат модулей выбирается наиболее подходящий для данной схемы и вычерчивается на миллиметровке в выбранном масштабе. В том же масштабе на поле платы наносится координатная сетка.

3. После этого силуэты всех элементов помещают по полю чертежа и путем логического анализа в соответствии с электрической принципиальной схемой находят такой вариант размещения, при котором занимаемая площадь, минимальна, соединительные проводники наиболее короткие, перемычек нет совсем или не больше одной, двух.

После проверки возможности прохождения проводников в узких местах на эскиз наносятся все соединительные проводники и вычерчиваются в масштабе все контактные площадки.

После проверки соответствия печатного монтажа электрической схеме и установочным размерам элементов приступают к изготовлению чертежной платы и платы в сборе.

Правила выполнения чертежа платы

Чертеж печатной платы выполняется в соответствии с ЕСКД ГОСТ 2.417-78 [10] и рекомендациями изложенными в разд. "Исходные данные..."

Правильность выполнения чертежа проверьте по вопросам, представленным в прил. 3.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Представить разработанный чертеж ПП.
2. Представить конструктивно-технологические расчеты ПП.
3. Представить обоснование выбора технологии изготовления ПП и обоснованность технических требований на ПП.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие типы ПП Вы знаете?
2. Какие классы точности ПП Вы знаете?
3. Как выбираются габаритные размеры ПП?
4. Какие материалы применяются для оснований ПП?
5. Каковы основные требования к размещению и установке навесных элементов?

6. Каковы основные требования к размещению печатных проводников в зависимости от электрических параметров схемы?
7. Для чего применяют конструктивно-технологические расчеты ПП? Состав расчетов?
8. Сущность автоматизированного метода разработки ПП.
9. Какие сведения необходимо указывать на поле чертежа ПП?
10. Какие технические требования приводят на чертеже ПП?

Библиографический список

1. Автоматизированное конструирование монтажных плат РЭА: Справ. специалиста. Под ред. Д.П.Рябова. - М.: Радио и связь, 1986. - 192с.
2. Гелль П.П., Иванов-Есипович А.К. Конструирование и микроминиатюризация РЭА. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
3. ГОСТ 23751-79. Платы печатные. Требования и методы конструирования. - М.: Изд. стандартов, 1986.
4. ГОСТ 2.109-73. Основные требования к чертежам. - М.: Изд. стандартов, 1983. - 43 с.
5. ГОСТ 2.417-78. Правила чертежей печатной платы. - М.: Изд. стандартов, 1979.
6. Елшин Ю.М. Автоматизированные рабочие места при конструировании РЭА. - М.: Радио и связь, 1983. - 128 с.
7. Лунд П. Прецизионные печатные платы: Конструирование и производство. Пер. с англ. - М., 1983. - 360 с.
8. Кузевин А.Я. Конструирование и микроминиатюризация электронной вычислительной аппаратуры: Уч.пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1985. - 80 с.
9. Морозов К.К., Одинокоев В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций РЭА. - М.: Радио и связь, 1983. - 268 с.
10. Разработка и оформление конструкторской документации РЭА: Справочное пособие. - М.: Радио и связь, 1984. - 156 с.
11. Справочник конструктора РЭА: Компоненты, механизмы, надежность /Под ред. Р.Г.Варламова. - М.: Радио и связь, 1985. - 384с.
12. Федулова А.А. и др. Многослойные печатные платы. - М.: Сов. радио, 1977. - 115 с.
13. Цыбина Н.Н., Сватикова А.В. Проектирование радиоэлектронных изделий II структурного уровня: Учебное пособие. - М.: МИРЭА, 1983. - 115 с.

Приложение I

Линейные размеры печатных плат, мм

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

* Предпочтительные размеры

Технические требования на чертеж печатной платы

1. Технические требования по ГОСТ 23752-79.
2. Плату изготовить химическим методом.
3. Шаг координатной сетки 1,25. Линии координатной сетки нанесены через одну.
4. Минимальное расстояние между двумя проводниками, проводниками и контактной площадкой 0,8 мм.
5. Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа $\pm 1,0$ мм с учетом обеспечения необходимых зазоров в узких местах.
6. Форма контактной площадки - произвольная; допускается занижение контактной площадки до 0,3.
7. Места, обведенные штрих-пунктирной линией, проводниками и контактными площадками не занимать.
8. Покрытие проводящего рисунка. Гор. ПОС-61 ГОСТ 21931-76.
9. Маркировать номер печатной платы и печатного узла травлением шрифт 2,5 по НО ОГО.007.
10. Маркировать условные обозначения элементов, номера контактных выводов краской МКЭЧ по ОСТ4.ГО.014.002, шрифт 3 по НО.ОГО.007.
11. Остальные технические требования по ОСТ 4.ГО.070.014.
12. * Размеры для справок.

Приложение 3

Основные вопросы для проверки чертежа
печатной платы

1. Соответствие расположения главного вида платы ее расположению в блоке или приборе.
2. Соответствие маркировки радиоэлементов компоновке.
3. Соответствие шрифта маркировки, выполненной на чертеже, шрифту, указанному в технических требованиях.
4. Правильность размещения маркировки с точки зрения ее доступности для чтения.

5. Правильность выбора диаметров отверстий, зенковок и допусков на них.
6. Соответствие обозначений и количества отверстий в таблице отверстий и на чертеже.
7. Контроль параметров элементов печатной платы.
8. Указание на чертеже проводников со строго определенной расчетной шириной.
9. Наличие на поле чертежа выносок разметок под установку многовыводных элементов.
10. Наличие ключа микросхем с двух сторон платы.
11. Правильность нанесения размеров координатной сетки.
12. Правильность выбора базы для простановки размеров, правильность размеров, соответствия допусков на размеры их величинам по таблице допусков.
13. Наличие габаритных размеров и размеров для обеспечения стыковки механических деталей и узлов, устанавливаемых на плату, и простановка их от общих базовых поверхностей.
14. Указание поверхностей, которые не допускается занимать проводниками, контактными площадками.
15. Указание поверхностей, которые необходимо защитить от лака.
16. Наличие десятичных номеров платы и сборки узла.
17. Наличие места гравировки, даты изготовления.
18. Правильность записи материала платы, заданной в записи и на боковой проекции.
19. Правильность заполнения основной надписи и дополнительных граф.
20. Простановка массы платы.
21. Простановка формата чертежа.
22. Соответствие чертежа платы требованиям ЕСКД.