

1.4. ТИПЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Цель лекции: изучение типов печатных плат (односторонние, двусторонние и многослойные), многослойных структур с наращиваемыми наружными слоями, материалов, способов получения рисунка коммутационных структур, способов получения проводящего рисунка коммутационных структур, промышленных методов изготовления коммутационных структур.

1.4.1. ТИПЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

В табл. 1.8 приведены некоторые типы ПП и их конструктивно-технологические особенности.

Односторонние печатные платы (ОПП) с неметаллизированными монтажными отверстиями применяются для схмотехнически простой аппаратуры и при макетировании электронных устройств.

ОПП (табл. 1.8, п. 1) изготавливаются на односторонне фольгированных диэлектриках (типа СФ-1, ГФ-1 и других), имеют низкую плотность (1-й или 2-й класс, табл. 1.1) проводящего рисунка и большие диаметры контактных площадок $D_{\text{кп}}$ в зоне монтажных отверстий. Такие площадки обеспечивают достаточно надежные контактные соединения при пайке штыревых выводов КМО с проводящим рисунком платы. На монтажной стороне ПП (противоположной стороне с проводящим слоем), как правило, наносят маркировку типов устанавливаемых компонентов и знаки их ориентации.

Основными операциями в ТП изготовления ОПП являются: удаление фольги с пробельных мест с образованием проводящего печатного рисунка и сверление монтажных отверстий.

ОПП без монтажных отверстий (табл. 1.8, п. 2) применяются для коммутации КМП или в качестве внутренних проводящих слоев в составе многослойных печатных плат (МПП). ТП изготовления таких плат упрощается в связи с отсутствием монтажных отверстий, а проводящий рисунок может быть выполнен по любому классу точности (см. табл. 1.1).

Двусторонние печатные платы (ДПП) на диэлектрическом основании (табл. 1.8, п. 3) широко применяются в электронных модулях ЭВС различного назначения. Проводящий рисунок любых классов точности (см. табл. 1.1) размещается с двух сторон диэлектрического основания. Стороны электрически соединены помощью металлизированных отверстий, которые могут быть как переходными, так и монтажными. Отсюда возможность монтажа на плате с двух сторон как КМО, так и КМП, что делает её универсальной.

ДПП могут быть изготовлены на двусторонне фольгированном основании (СФ-2, ГФ-2, СТФ-2) путем удаления фольги с пробельных мест и осаждения меди на стенки отверстий в виде слоя металлизации в объеме основания. ТП изготовления ДПП является типовым и считается наиболее трудоемким в производстве ПП.

Прецизионные ДПП (4-й, 5-й класс, табл. 1.1) могут быть изготовлены и на нефольгированном диэлектрике (типа СТЭК) с осаждением меди на поверхности и в объеме основания. Следует отметить, что ДПП на тонком основании с металлизированными переходными отверстиями могут применяться в составе внутренних слоев МПП с внутренними межслойными переходами.

ДПП на металлическом основании (табл. 1.8, п. 4) применяются в ЭВС с большой рассеиваемой мощностью и служат не только для монтажа и коммутации навесных компонентов, но и для отвода выделяемого ими тепла. Основанием платы является металлическая пластина (дюраль, медь, сталь), покрытая слоем диэлектрика, на поверхности и в объеме которой выполнен проводящий рисунок. ТП изготовления этих плат усложняется необходимостью нанесения на металлическое основание слоя диэлектрика (эпоксидный, керамический) с гарантированным покрытием стенок просверленных переходных отверстий. Если переходных отверстий нет, то ТП упрощается.

ДПП на диэлектрическом основании без металлизированных отверстий (табл. 1.8, п. 5) может быть выполнена как на фольгированном, так и на нефольгированном диэлектриках. Предназначена для монтажа КМП, но чаще всего при тонком основании (0,1–0,35) может применяться в составе внутренних слоев МПП.

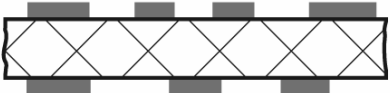
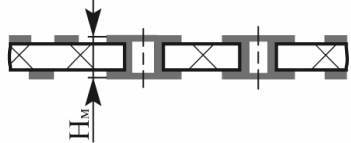
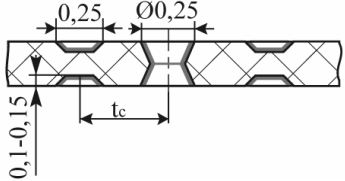
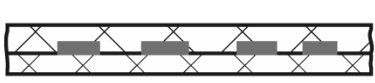
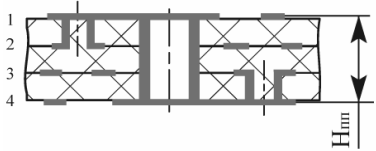
Гибкие печатные платы (ГПП) всех классов точности изготавливаются на тонком (0,1–0,5) и эластичном фольгированном и нефольгированном основании. Они могут быть сконструированы в виде ОПП, ДПП (табл. 1.8, п. 6) и МПП и установлены с навесным монтажом в модуле ЭВС с ограниченным пространственным объемом. Для ГПП характерны монтажные и переходные отверстия малого диаметра (0,2–0,5 мм), получаемые лазерным сверлением или травлением.

Таблица 1.8

Типы печатных плат

Наименование печатной платы	Поперечный разрез ППП (эскиз)	Конструктивно-технологические особенности	Толщина исходного материала
1	2	3	4
1. Односторонняя (ОПП) с монтажными отверстиями		Проводящий рисунок выполнен на одной стороне фольгированного основания. Монтажные отверстия (d) не металлизированы	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
2. ОПП без монтажных отверстий		Выполнена на фольгированном основании и предназначена для монтажа КМП. При малой толщине основания может быть внутренним слоем МПП	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
3. Двусторонняя (ДПП) на диэлектрическом основании		Проводящий рисунок выполнен на двух сторонах фольгированного основания и электрически соединен металлизированными отверстиями. Предназначена для монтажа КМО и КМП	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0
4. ДПП на металлическом основании		Проводящий рисунок выполнен на металлическом основании (Д16), покрытом слоем диэлектрика. Д16 обеспечивает теплоотвод и прочность	Зависит от толщины основания

Продолжение табл. 1.8

1	2	3	4
5. ДПП без монтажных отверстий		<p>Выполнена на фольгированном основании и предназначена для монтажа КМП. Может быть внутренним слоем МПП.</p>	<p>0,1; 0,12; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35</p>
6. Гибкая печатная плата (ГПП)		<p>Выполнена на тонком эластичном фольгированном основании, может быть изогнута с определенным радиусом</p>	<p>0,1; 0,12; 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,5</p>
7. Рельефная печатная плата (РПП)		<p>Проводящий рисунок выполнен в объеме нефольгированного диэлектрика с двух сторон основания и электрически связан металлизированными отверстиями</p>	<p>0,8; 1,0; 1,5; 2,0</p>
8. Гибкий печатный кабель – шлейф (ГПК)		<p>Содержит параллельно проложенные печатные проводники. Соединяет относительно подвижные модули ЭВС. Может быть изогнут с $r = 3,0$мм</p>	<p>0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3</p>
9. Многослойная печатная плата (МПП) попарного прессования		<p>Содержит четыре слоя с коммутацией 2-1-4-3 с помощью металлизированных переходных отверстий. Предназначена для монтажа КМП</p>	<p>$H_{мп}$ определяется толщиной исходных заготовок и клеящей прокладки</p>

Продолжение табл. 1.8

1	2	3	4
10. МПП с металлизацией сквозных отверстий		Количество слоев теоретически неограничено. Металлизированные отверстия электрически связывают слои, имеющие в зоне отверстия контактные площадки (1-3-5-6; 1-2-4-6)	$H_{пп}$ определяется количеством слоев и прокладок
11. МПП с металлизацией сквозных отверстий и внутренними межслойными переходами		Количество слоев теоретически не ограничено. Внутренние переходы (2-3; 4-5) сокращают длину сигнальных цепей	$H_{пп}$ определяется количеством слоев и прокладок
12. МПП послойного наращивания на полиимидной или керамической основе		Последовательное создание проводящего рисунка слоев и их коммутация (1-2-3-4-5) с помощью металлизированных переходных отверстий. Высокая плотность проводящего рисунка. Не более пяти слоев	$H_{пп}$ определяется количеством слоев и прокладок

<p>13. Гибко-жесткая печатная плата (ГЖПП)</p>		<p>В единой конструкции объединены жесткие МПП (1, 3), связанные электрически ГПК (2). ГПК опрессован в составе слоев МПП (1, 3)</p>	
<p>14. МПП с наращиваемыми наружными слоями (структуры HDI): структура 1-n-1</p>		<p>Основа платы – n слоев, полученных методом металлизации сквозных отверстий. Структуры HDI получены наращиванием одного, двух или трех слоев на наружных слоях МПП. Слои имеют высокую плотность проводящего рисунка. Глухие, скрытые и внутренние микропереходы. МПП позволяют электрически соединить современные ИМС с большим количеством выводов и малым шагом между ними.</p>	<p>$H_{пп}$ определяется количеством слоев</p>

В электронных модулях специальных ЭВС применяются **рельефные печатные платы** (РПП), разработанные отечественными инженерами (табл. 1.8, п. 7). Для их изготовления используют нефольгированный диэлектрик (СТАМ, СТЭК), в объеме которого выполнен проводящий рисунок (проводники и металлизированные переходные отверстия). Отверстия не имеют контактных площадок, их диаметры соизмеримы с шириной сигнальных проводников (0,25 мм), а образующие стенку – две встречные конические поверхности с общей осью. Это позволяет увеличить плотность печатного монтажа и использовать малый шаг трассировки ($t_c = 0,625; 0,5; 0,4; 0,3$). Таким образом, двусторонняя рельефная плата становится эквивалентной 8–12-слойной МПП. Однако при этом усложняется технология образования рельефа (фрезерование, сверление с двух сторон) в объеме нефольгированного основания ($H_{пп} = 0,5 \div 1,5$ мм).

Гибкий печатный кабель (ГПК) представляет собой ленточный печатный провод (шлейф) с однорядным (табл. 1.8, п. 8), двухрядным и трехрядным расположением параллельно проложенных печатных проводников. Основа ГПК – односторонне фольгированный диэлектрик (ПФ-1) с защитной полиимидной пленкой. ГПК с установленными на концах соединителями (разъемами) коммутирует относительно подвижные блоки ЭВС и требует проведения электрических расчетов: активного и волнового сопротивления печатных проводников, емкости и индуктивности их единицы длины, времени задержки прохождения сигнала.

Многослойные печатные платы (МПП) представляют собой структуры из проводящих и изолирующих слоев с различными способами электрического соединения проводящих рисунков. В составе проводящих слоев могут быть: сигнальные слои, слои земли и питания, экранные слои, а также монтажные слои (наружные) для коммутации навесных компонентов.

МПП попарного прессования (табл. 1.8, п. 9) имеет четыре проводящих слоя, электрически связанных по схеме 2–1–4–3 с помощью переходных металлизированных отверстий. Эта плата по конструкции и технологии изготовления наименее трудоемка из плат семейства МПП. Изготавливается из двух двусторонне фольгированных заготовок (СФ-2) с получением проводящего рисунка вначале на внутренних слоях 2 и 3, а после их склеивания (прессования) – на наружных слоях 1 и 4 с одновременной металлизацией сквозных отверстий.

Характерными внешними признаками МПП попарного прессования являются: большое количество переходных глухих отверстий 2–1 и 3–4, заполняемых эпоксидной смолой при прессовании и малое количество (20–30) сквозных отверстий 1–4. Кроме того, по сравнению с ДПП значительно возрастает количество зон перехода от слоя металлизации отверстий к фольге контактных площадок. Возможен также разрыв контактных переходов глухих отверстий под действием тангенциальных сил от перемещения смолы. Отсюда меньшая электрическая надежность МПП попарного прессования

по сравнению с ДПП на диэлектрическом основании (табл. 1.8, п. 3). Рассмотренная МПП не является универсальной и предназначена для монтажа КМП и ИМС с планарными выводами.

МПП с металлизацией сквозных отверстий (табл. 1.8, п. 10) является основным несущим элементом электронных модулей современных ЭВС, обеспечивает высокую плотность печатного навесного монтажа, служит для навесного монтажа как КМП, так и КМО. В МПП чередуются проводящие и диэлектрические слои, в классическом варианте конструкции слои электрически связаны последовательно и в том случае, если в зоне металлизированного отверстия предусмотрена контактная площадка, связывающая металлизацию с проводящим рисунком слоя.

В структуре МПП объединены сигнальные слои с ортогональным расположением проводников, слои земли и питания, экраны и экранирующие сетки, наружные монтажные слои. Оптимальное количество слоев – 6–12, хотя теоретически возможно и большее количество слоев.

В МПП с внутренними межслойными переходами (табл. 1.8, п. 11) ближайшие слои могут быть электрически соединены внутренними скрытыми металлизированными переходными отверстиями. В такой конструкции сокращается длина сигнальных цепей и уменьшается влияние индуктивных и емкостных наводок.

Исходными материалами рассматриваемых МПП являются односторонне фольгированные (ФТС-1, FR4-1) и двусторонне фольгированные (ФТС-2, FR4-2) диэлектрики, а также склеивающие диэлектрические прокладки (препрег). Вначале проводящий рисунок получают на внутренних слоях, а после прессования (склеивания) слоев получают металлизированные сквозные отверстия и проводящий рисунок наружных слоев.

В производстве МПП с металлизацией сквозных отверстий (табл. 1.8, пп. 10, 11) возникают проблемы: совмещение заготовок слоев перед операцией прессования (контактные площадки в зоне каждого сквозного отверстия должны быть сосны); минимизация коробления слоев (отсюда возможное смещение контактных площадок) в процессе их прессования под действием давления и температуры.

Первая проблема решается разработанными схемами, оснасткой и технологией взаимной ориентации слоев. Решение второй проблемы требует применения в прессуемом пакете только односторонне или только двусторонне фольгированных заготовок, четного количества слоев, симметрии поперечного сечения МПП и равномерности распределения меди внутри каждого слоя. Эту же цель преследует применение в качестве наружного слоя чистой фольги, устанавливаемой в пакете перед прессованием на прокладку из препрега.

Современная практика производства МПП показывает, что толщина медной фольги внутренних слоев ($h_{\phi} = 35\text{мкм}$) должна быть больше, чем

наружных ($h_{\phi} = 9; 18$ мкм). Толстая фольга имеет большую площадь торцевого контакта со слоем металлизации отверстий.

Несмотря на указанные конструкторско-технологические решения, электрические соединения слоев МПП с металлизацией сквозных отверстий менее надежны, чем ДПП и МПП попарного прессования.

В МПП **послойного наращивания** (табл. 1.8, п. 12) проводящие слои соединены последовательно с помощью сплошь заполненных медью металлизированных отверстий. Фольгу первого слоя соединяют (склеивают) с нефольгированным перфорированным диэлектриком, гальванически наращивают медь в отверстиях и на противоположной стороне диэлектрика получают проводящий рисунок второго слоя. Далее все операции повторяют. Проводящий рисунок на первом слое выполняют на заключительном этапе изготовления МПП, так как фольга обеспечивает электрическую связь слоев на гальванических операциях. Надежность электрического соединения слоев МПП наивысшая по сравнению с другими. Однако число слоев ограничено возрастающей трудоемкостью изготовления МПП и многократно повторяющимися технологическими воздействиями на исходные материалы (химико-гальванические операции, склеивание слоев, травление меди, химико-механическая подготовка поверхностей).

Гибко-жесткая печатная плата (ГЖПП) состоит из двух жестких участков в виде МПП и гибкого участка (шлейфа), электрически их соединяющего (табл. 1.8, п. 13). Концы шлейфа опрессованы в структуре МПП и электрически связаны с проводящим рисунком плат с помощью металлизированных отверстий. Навесной монтаж выполняется на жестких участках ГЖПП, а шлейф изготовлен на фольгированном полиимиде с защитой проводников диэлектрической пленкой. Шлейф позволяет расположить жесткие участки на разных уровнях и обеспечить им относительную подвижность.

МПП с наращиваемыми наружными слоями (табл. 3, п. 14) с высокой плотностью проводящего рисунка на одном, двух или трех верхних слоях (структура *HDI – High Density Interconnections*) находят всё большее применение. Это связано с дальнейшей миниатюризацией ЭМ ЭВС, уменьшением размеров чип-КМП, применением ИМС с шагом менее 0,625 мм, увеличением количества выводов ИМС и их четырехсторонним расположением (типоразмеры *QFP, LQFP*), применением ИМС с матричными шариковыми выводами (*BGA, CSP*).

В качестве основы (сердцевины) таких МПП применяются ДПП (табл. 1.8, п. 3) или МПП с металлизацией сквозных отверстий (табл. 1.8, п. 11), на внешние поверхности которых наращивается жидкое покрытие или напрессовываются один ($1-n-1$) или два ($2-n-2$) слоя с созданием высокой плотности проводящего рисунка ($t/s = 0,100$ и менее), с глухими и скрытыми металлизированными микропереходами ($d_{\text{по}} = 0,12; 0,1; 0,09$ мм). В качестве материалов наращиваемых слоев применяются фоточувствительные (фотопроявляемые) диэлектрики на основе эпоксидных смол, фольгированный и

нефольгированный полиимиды. Переходные отверстия указанных диаметров получают лазерным сверлением или травлением диэлектрика.

Тесты к лекции 1.4

1. Односторонние печатные платы (ОПП) с неметаллизированными монтажными отверстиями применяются для:
 - а) Схемотехнически простой аппаратуры и при макетировании электронных устройств;
 - б) Схемотехнически сложной аппаратуры;
 - в) При макетировании электронных устройств.
2. Тип изготовления какого из типов ПП является типовым и считается наиболее трудоемким в производстве ПП?
 - а) Двусторонние печатные платы (ДПП);
 - б) Односторонние печатные платы (ОПП);
 - в) Гибкие печатные платы (ГПП).
3. Отметьте ответ, подходящий под описание: представляет собой ленточный печатный провод (шлейф) с однорядным, двухрядным и трехрядным расположением параллельно проложенных печатных проводников:
 - а) Гибкий печатный кабель (ГПК);
 - б) МПП попарного прессования;
 - в) Гипкая печатная плата (ГПП).
4. Чем ограничено число слоев МПП?
 - а) Возрастающей трудоемкостью изготовления МПП и многократно повторяющимися технологическими воздействиями на исходные материалы;
 - б) Возрастающей трудоемкостью изготовления МПП;
 - в) Число слоев МПП ничем не ограничено.
5. Из чего состоит гибко-жесткая печатная плата (ГЖПП)?
 - а) из двух жестких участков в виде МПП и гибкого участка (шлейфа), электрически их соединяющего;
 - б) из двух жестких участков в виде МПП;
 - в) из двух жестких участков в виде ДПП и гибкого участка (шлейфа), электрически их соединяющего.