

Проектирование для производства (DFM).

Часть 3. Подготовка стратегии конструирования печатного узла

Игорь Зырин (igor.zyrin@altium.com), Дэвид Марракчи

В статье рассмотрены вопросы детальной проработки будущей печатной платы, которые позволят спланировать размещение элементов платы с учётом технологических требований производства. Рассмотрена специфика установки переходных отверстий, нюансы размещения печатных проводников, варианты подсоединения печатного рисунка к контактным площадкам и вопросы установки тепловых барьеров. Рассмотрены возможности САПР Altium Designer, позволяющие учесть эти особенности.

Введение

Статья продолжает цикл, посвящённый проектированию печатных плат с учётом технологии производства и технологических требований. Другими словами, в статье затрагиваются вопросы проектирования для производства (DFM). DFM – способ организации процесса проектирования изделий на основе печатных плат. Достижение корректного результата может вызвать проблемы, если не соблюдать все требования.

После того как определились с выбором компонентов на печатной плате, определили структуру слоёв, размеры и типы переходных отверстий (ПО), разобрались с правилами проектирования на слоях шелкографии и паяльной маски, можно приступать к размещению и трассировке компонентов. Далее будут даны рекомендации для более детальной проработки ограничений, связанных с размещением переходных отверстий. Рассмотрим ограничения и дадим рекомендации, связанные с расположением печатных проводников и установкой тепловых барьеров с учётом их особенностей. Также будут рассмотрены другие вопросы, которые позволят избежать проблем на старте и грамотно спланировать подход к проектированию печатной платы.

От того, как спроектирована печатная плата, напрямую зависит последующий процесс её изготовления. Подход к проектированию печатной платы может отличаться от проекта к проекту, однако существует ряд основных конструктивных рекомендаций, которые учитывают требования DFM и позволяют довести проект платы до завершения без проблем, связанных с производством.

Расположение переходных отверстий

Если на печатной плате присутствуют компоненты с монтажом в отверстия, то у таких компонентов рекомендуется максимально отдалять переходные отверстия от сквозных контактных площадок (КП). Это связано с тем, что при монтаже переходных отверстий припой может перетечь под корпус компонента и повредить его. При пайке волной припой через переходные отверстия может подниматься вверх к корпусу компонента. Если отдалить переходные отверстия невозможно (например, в связи с высокой плотностью монтажа печатной платы), следует применять технологию закрытия переходных отверстий. Или же отверстия можно заполнить непроводящим компаундом. Также имеется вариант формирования на поверхности таких

отверстий масочных мостиков, которые будут препятствовать перетеканию припоя. О деталях и доступных технологических возможностях следует уточнять у производителя печатной платы.

Для автоматического закрытия отверстий паяльной маской в менеджере правил и ограничений Altium Designer имеется правило Solder Mask Expansion, которое устанавливает соответствующий признак (Tented) для верхней и нижней монтажной стороны (см. рис. 1).

Если имеются компоненты в SIP корпусах, то расставлять переходные отверстия стоит с отступом около 2,5 мм от корпуса, так как есть риск неправильной установки в процессе монтажа.

Так как припой может перетекать через переходные отверстия, крайне не рекомендуется размещать переходные отверстия под чип-компонентами. Это может привести к короткому замыканию или появлению эффекта «надгробного камня» (дефектов пайки оплавлением, при которых чип-компонент поднимается на один из торцов, подобно надгробному камню, образует паяное соединение только с одной стороны компонента). Ещё одна причина, по которой переходные отверстия нельзя устанавливать под чип-компонентами, связана с необходимостью технологической фиксации компонентов к печатной плате термоотверждаемым клеем по технологии одновременной групповой пайки компонентов с двух сторон платы. На рисунке 2 показаны зоны, непригодные для установки переходных отверстий под чип-компонентом.

Подключение переходных отверстий к контактным площадкам рекомендуется делать проводником длиной не менее 0,25 мм. Если на проектируемой печатной плате недостаточно места для создания отступов переходных отверстий, лучше покрыть их защитной паяльной маской. Более точные значения необходимых отступов переходных отверстий от контактных площадок рекомендуется уточнить у выбранного производителя печатных плат. На рисунке 3 показан пример рекомендуемого способа подключения переходных отверстий к контактным площадкам компонентов.

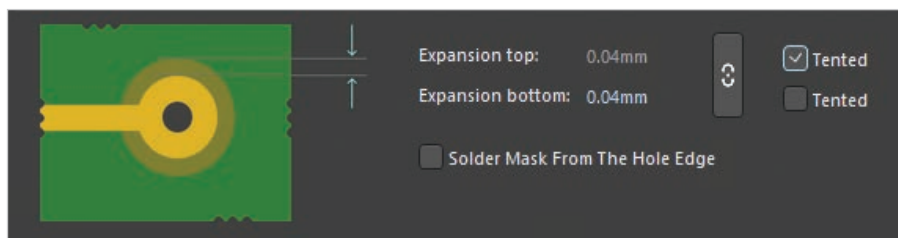


Рис. 1. Правило Solder Mask Expansion

ЭЛМ (Altium) 1/1

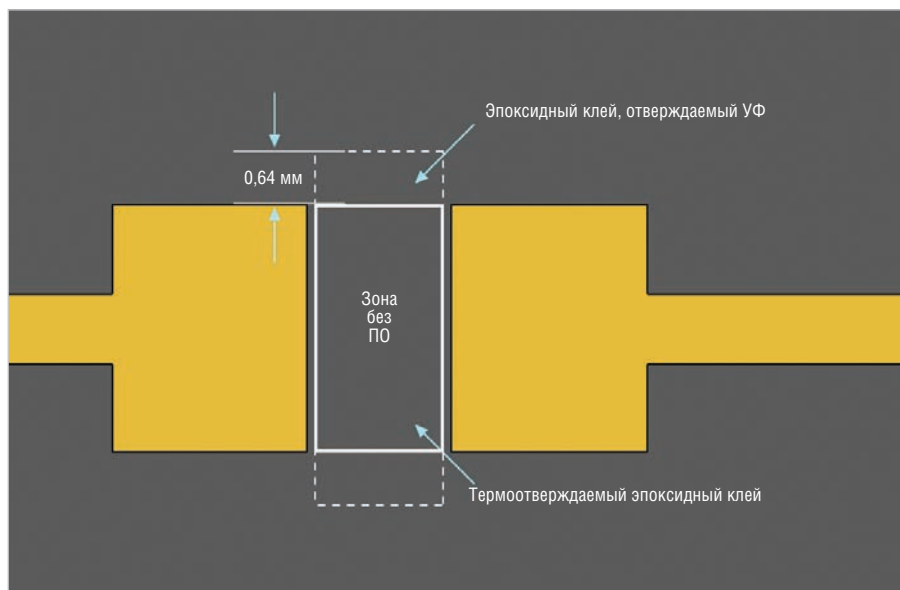


Рис. 2. Переходные отверстия под чип-компонентами

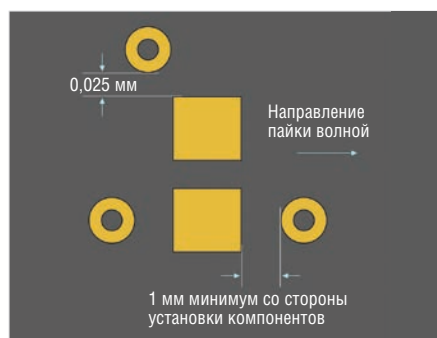


Рис. 5. Рекомендуемые отступы для переходных отверстий

В менеджере правил и ограничений Altium Designer имеется правило SMD To Plane, которое используется для контроля длины проводника от контактной площадки до переходного отверстия. SMD To Plane позволяет указать длину проводника от центра контактной площадки до центра переходного отверстия (см. рис. 4).

Переходные отверстия, не подключённые к контактным площадкам, рекомендуется располагать на расстоянии не менее 0,64 мм от контактных площадок. Если переходное отверстие расположено со стороны монтажа, то отступ рекомендуется увеличить до 1 мм. На рисунке 5 показан пример расположения переходных отверстий относительно контактных площадок.

Переходные отверстия являются критически важной частью любого проекта. От того, насколько качественно проработана стратегия установки отверстий для печатной платы, зависит весь процесс проектирования, технологичность и экономическая эффективность.

Подвод проводников к контактным площадкам

Если вывод компонента выводит питание/землю или служит теплоотводом, его контактным площадкам требуется подведение широких проводников. Широкие проводники являются мощными переносчиками тепла, что может привести к нарушениям в процессе пайки компонента. Это особенно критично, если на печатной плате отсутствует защитная паяльная маска или нанесено оловянно-свинцовое финишное покрытие на весь печатный рисунок. Ширину трассы для контактных площадок необходимо выполнять с небольшим сужением относительно ширины контактной площадки. Это позволит соблюсти тепловой баланс, предотвратить утечку припоя и тепла по проводнику от контактной площадки. На рисунке 6 показан пример подключения широкого проводника к силовой контактной площадке.

Для автоматического сужения ширины проводника в процессе трассировки в менеджере правил и ограничений Altium Designer имеется правило SMD Neck Down, открывающее возможность установки процентного соотношения ширины проводника относительно ширины КП (см. рис. 7).

Силовая шина (чаще всего она представляет собой полигон или широкий проводник) соединяется с силовой контактной площадкой компонента посредством заужения проводников. Так будет обеспечен тепловой баланс, а припой не попадёт на силовую шину. Идеально выполнять такое

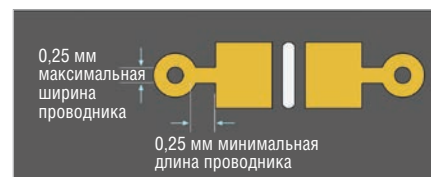


Рис. 3. Рекомендуемый способ подключения переходных отверстий

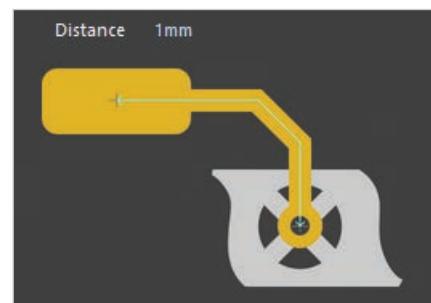


Рис. 4. Правило SMD To Plane

подключение проводниками не шире 0,25 мм, с минимальной длиной до силовой шины 0,25 мм. Если контактная площадка широкая, то подключение к силовой шине выполняется массивом проводников, которые должны иметь одинаковую ширину. На рисунке 8 показаны «хороший» и «плохой» примеры подключения силовой контактной площадки к силовой шине. «Хороший» способ подключения позволит избежать большинства проблем, связанных с ручным и автоматизированным монтажом компонентов на печатную плату. Также значительно повышается ремонтопригодность, так как демонтаж компонента не составит проблем.

Подключение контактных площадок одной цепи у близкорасположенных компонентов необходимо выполнять следующим образом: вывести проводники перпендикулярно контактным площадкам из их торца в сторону, направленную от корпуса, а затем соединить общей шиной (Ш-образное соединение). Прямое (Н-образное) соединение у контактных площадок близкорасположенных компонентов приводит к нарушению пайки: появлению «надгробных камней», холодного паяного соединения (непропая), смещению компонентов и усложнению оптического контроля. В процессе монтажа нарушение пайки может восприниматься как случайное короткое замыкание – его необходимо устранить. На рисунке 9 показаны «хороший» и «плохой» примеры соединения контактных площадок одной цепи.



Рис. 6. Подключение широкого проводника к силовой контактной площадке

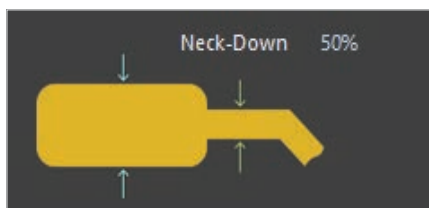


Рис. 7. Правило SMD Neck Down

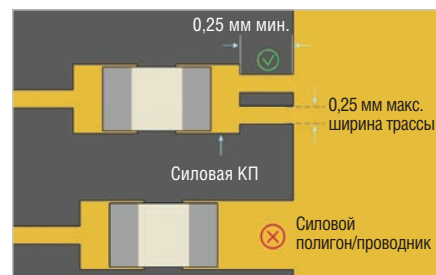


Рис. 8. «Хороший» и «плохой» примеры подключения силовой контактной площадки к силовой шине

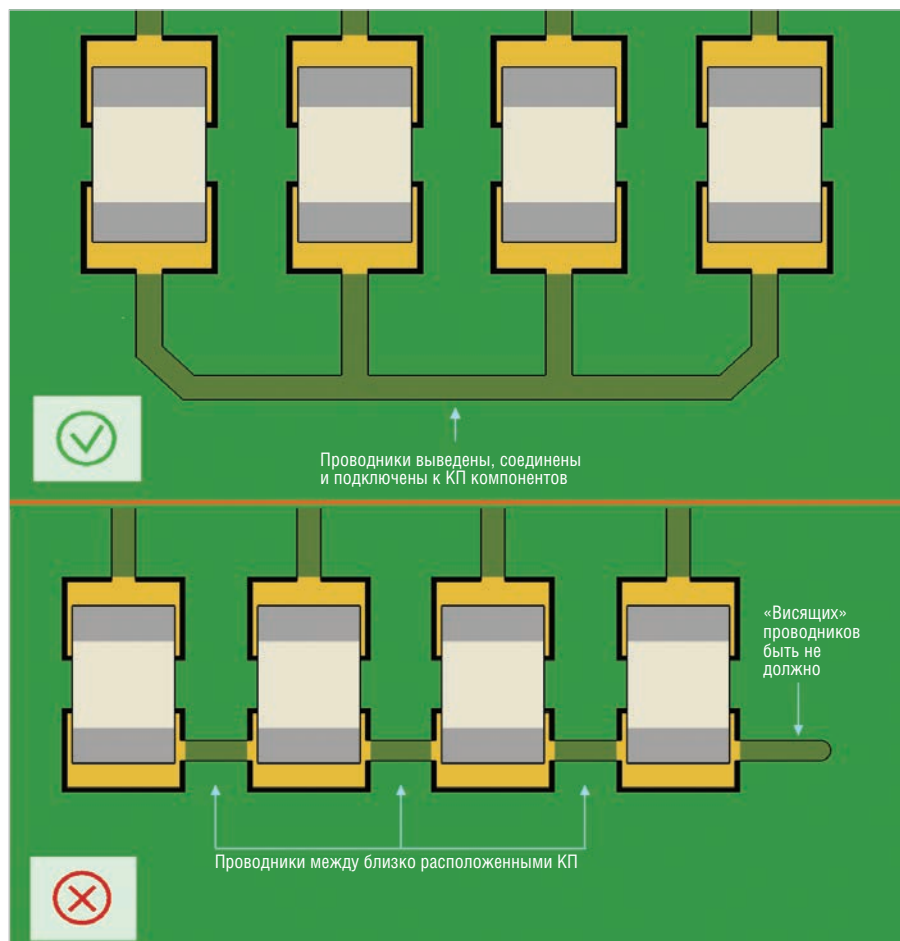


Рис. 9. «Хороший» и «плохой» примеры соединения контактных площадок одной цепи

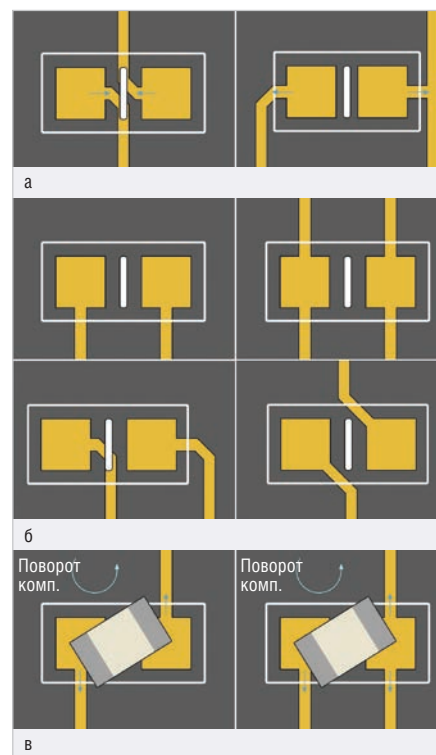


Рис. 10. Способ подключения чип-компонентов к контактной площадке: а) рекомендуемый; б) допустимый; в) недопустимый

Каждая контактная площадка компонента подключается к собственному проводнику. При этом крайне важно сохранять симметричность трассировки: если один проводник выходит из внутренней стороны контактной площадки, то и второй должен выходить так же. Это является особенно критичным в зонах без паяльной маски, поскольку позволяет предотвратить смещение компонентов. Большинство производителей печатных плат рекомендуют делать сбалансированное количество меди, соединяющей контактные площадки. На рисунке 10 показаны рекомендуемые способы подключения проводников к контактным площадкам чип-компонентов (а), а также допустимые (б) и не рекомендуемые (в) способы.

При трассировке компонентов поверхностного монтажа (SMD) для стоящих рядом контактных площадок одной цепи рекомендуется прокладывать проводники U-образно, а не H-образно (см. рис. 11).

Полигоны и проводники

Полигоны питания и земли рекомендуется располагать на внутренних слоях печатной платы, делать это симметрично и по центру относительно стека печатной платы. Это позволит избежать коробления печатной платы, а также поможет выполнить точное позиционирование компонентов в процессе монтажа. Большинство производителей печатных плат допускают изгиб и кручение не более 0,7–0,75% для двухслойных плат или многослойных с толщиной около 1,5 мм.

Эта же рекомендация относится и к сигнальным слоям, и к проводникам. Печатный рисунок на печатной плате должен быть как можно более симметричным и равномерным по осям X и Y. Направление размещения проводников по слоям должно быть различным, чтобы исключить эффект скручивания и деформации платы. Идеальный вариант прокладки проводников – трассировка без приоритета направлений, максимально равномерное распределение печатного рисунка по печатной плате с увеличением зазоров между проводниками там, где это возможно. Увеличенные зазоры проводников на печатной плате значительно упростят контроль печатного рисунка на этапе изготовления. Отсутствие приоритетного направления трассировки позволит

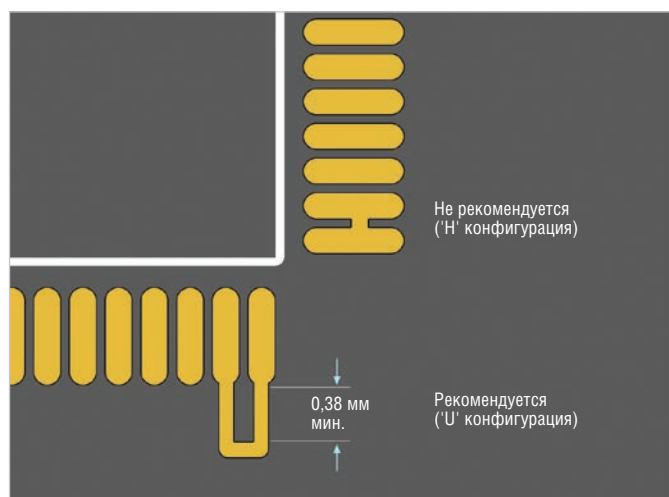


Рис. 11. U-образный способ соединения контактной площадки одной цепи

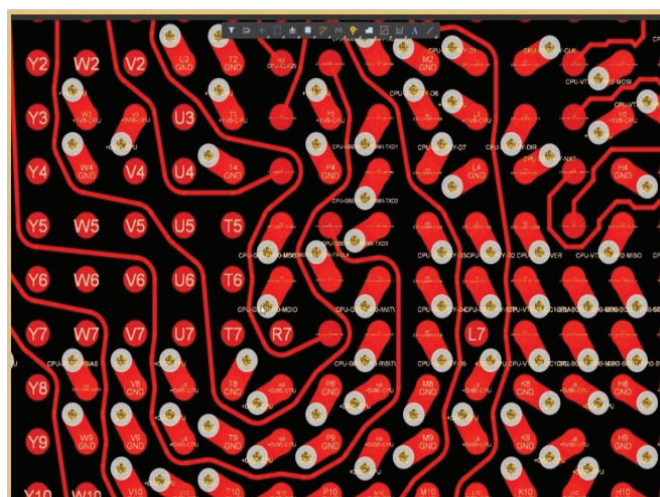


Рис. 12. Пример топологии в стиле Snake Routing

Сравнительная таблица финишных покрытий

Свойство	Материал						
	HASL (SnPb)	HASL Без свинца	Электролитический никель, иммерсионное золото - ENIG	Иммерсионное серебро - IAg	Органическое защитное покрытие - OSP	Иммерсионное олово - ISn	Электролитический никель, золото - NIAu
RoHS	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Затраты	Низкие	Низкие	Средние	Средние	Низкие	Средние	Высокие
Срок годности	1 год	1 год	1 год	9-12 месяцев*	9-12 месяцев*	9-12 месяцев*	1 год
Возможность ремонта	Ограничена	Ограничена	Ограничена	Да	Нет	Нет	Нет
Смачиваемость припоем	Превосходная	Хорошая	Хорошая	Очень хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Плоскостность	Плохая	Хорошая	Превосходная	Превосходная	Превосходная	Превосходная	Хорошая / плохая
Целостность припоя	Превосходная	Хорошая	Хорошая	Превосходная	Хорошая	Хорошая	Плохая**
Низкое сопротивление/ высокая скорость	Нет	Нет	Нет	Да	Непригоден	Нет	Нет
Термокомпрессионное соединение алюминиевой проволоки	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Да

* Требуются особые условия хранения

** Толстые слои золота могут привести к охрупчиванию паяного шва

максимально снизить риски коробления печатной платы, а равномерное распределение проводников позволит значительно снизить допуски на ширину проводников при травлении.

Выполнить трассировку без приоритета направлений под произвольными углами с огибанием препятствий (стиль трассировки дугами – Snake Routing) можно в Altium Designer, начиная с версии 20.0. Такая трассировка выполняется настройкой Corner Style, которую нужно перевести в значение Any Angle в инструменте Interactive Routing. Пример трассировки, выполненной в стиле Snake Routing, можно увидеть на рисунке 12.

Финишные покрытия печатного рисунка

После изготовления стека внешние слои печатной платы покрываются финишным покрытием. Сделать это нужно для защиты меди от внешних воздействий, обеспечения качественной пайки и контактирования с внешними коммутационными устройствами. Имеются и другие причины, зависящие от условий эксплуатации каждого конкретного проекта.

В большинстве плат в качестве первого покрытия используется дополнительная гальваническая медь. Её получают в процессе металлизации переходных отверстий по технологии

PTH (plated through-hole). Подробнее о технологии металлизации сквозных отверстий и нанесении дополнительных покрытий, как правило, можно узнать на сайте производителя печатных плат [1]. Чтобы получить толщину медных стенок отверстия 20 мкм и обеспечить достаточную проводимость металлизированного переходного отверстия, толщина гальванической меди проводников на внешних слоях составит ~40 мкм. Необходимо учитывать толщину гальванической меди проводников при производстве печатных плат с металлизированными отверстиями и выполнять расчёты производственных допусков, импеданса и

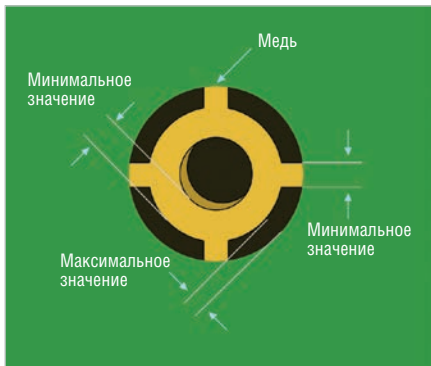


Рис. 13. Пример типового теплового барьера

токовой нагрузки с учётом увеличения толщины проводника. Конкретные значения увеличения толщины внешних слоёв зависят от требований к толщине стенок переходных отверстий, соотношения диаметра отверстий к толщине печатной платы и возможностей производства.

Следующее покрытие, которое применяется на печатных платах – финишное покрытие. Выбор финишного покрытия зависит от различных факторов. В таблице [2] показан список самых популярных финишных покрытий с характеристиками, которые позволят выполнить сравнение и сделать окончательный выбор.

Учёт финишных покрытий выполняется в менеджере слоёв печатной платы, который входит в состав Altium Designer. Менеджер слоёв поддерживает все основные сегодняшние типы финишных покрытий. Менеджер слоёв автоматически выполнит корректировку толщины печатной платы и учтёт влияние финишных покрытий на импеданс сигнальных проводников.

Тепловые барьеры

Наличие тепловых барьеров на печатной плате зачастую играет решающее значение при пайке волной, пайке в отверстия и ручной пайке. Как следствие, тепловые барьеры влияют на ремонтпригодность и оказывают значительное влияние при использовании других технологий пайки. Тепловые барьеры особенно важны для печатных плат с большим количеством медных слоёв и для слоёв с высоким процентом заполнения меди. Медь выступает в качестве радиатора и отводит существенную часть тепла из области пайки. Последнее, в свою очередь, может сильно затруднить контроль термопрофиля при пайке. Введение тепловых барьеров значительно облегчит пайку компонентов в сквозные отвер-

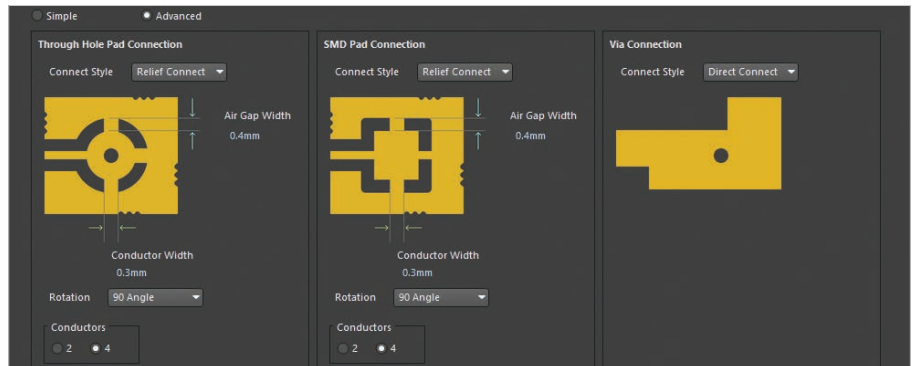


Рис. 14. Правило Polygon Connect

ствия, замедляя скорость оттока тепла через металлизированные отверстия. Отсутствие теплового барьера может привести к неполному заполнению отверстия припоем или к холодному контакту. Вот основные преимущества тепловых барьеров:

- упрощённый контроль размеров отверстий;
- больше равномерности толщины покрытия внешних слоёв;
- быстрая и простая проверка паяных соединений.

Общая рекомендация – использовать тепловой барьер для любого сквозного металлизированного отверстия, подключённого к слою земли или питания. Однако стоит учитывать, что тепловой барьер нельзя использовать на отверстиях для деталей, устанавливаемых прессованием. Учитывается и наличие отверстий для деталей при расчёте плотности тока в высокоскоростных проектах. На рисунке 13 показан типовой тепловой барьер.

Во время проектирования печатной платы для автоматической установки тепловых барьеров и контроля их наличия в менеджере правил и ограничений Altium Designer установлено дополнительное правило Polygon Connect, определяющее стиль подключения полигонов к монтажным отверстиям, поверхностным КП и переходным отверстиям. Имеется несколько вариантов способа задания теплового барьера (см. рис. 14).

Заключение

В процессе подготовки стратегии проектирования печатной платы, пригодной для производства, помимо информации, изложенной во второй части [3] данного цикла статей, стоит уделить особое внимание размещению переходных отверстий, расположению проводников и способам их присоединения к контактными площад-

кам компонентов. Также учитывается тип покрытия внешних слоёв печатной платы, нужно следить за симметричностью проводящего рисунка и стоит не забывать использовать тепловые барьеры там, где это необходимо.

Информация, изложенная во второй и третьей частях цикла статей, закладывает фундамент для понимания процесса проектирования печатной платы и позволяет построить стратегическую основу компоновки платы.

Выполнить корректное подключение проводников к контактными площадкам, установить тепловые барьеры, учесть дополнительные покрытия, влияющие на последующее изготовление платы, поможет набор инструментов, входящих в состав САПР Altium Designer.

В следующей статье цикла будет рассмотрено размещение компонентов на печатной плате. Также для успешного изготовления печатной платы автор статьи даст конкретные рекомендации по местоположению и ориентации компонентов. Будут рассмотрены особенности размещения компонентов для пайки волной, компонентов в корпусах типа BGA и PTH, даны рекомендации для установки конденсаторов и чип-компонентов.

Литература

1. Поэтапная технология изготовления многослойных печатных плат в картинках (метод сквозной металлизации, ООО «Резонит»). URL: <https://www.pcb lab.ru>.
2. Final Plating Finish Comparisons (n.d.): n. pag. Final Plating Finish Comparisons. Advanced Circuits. 2016. URL: www.4pcb.com/media/plating-comparison-chart.pdf.
3. Зырин И., Марракчи Д. Проектирование для производства (DFM). Часть 2. Подготовка стратегии конструирования печатного узла. Современная электроника. 2020. №3.