

Три шага к эффективному современному дизайну печатных узлов

Владимир Пивненко, заместитель директора ДП «Экран» ОАО «ЧеЗаРа»

E-mail: vpivnenko@ua-ekran.com

В данной статье рассмотрены основные принципы повышения эффективности дизайна изделий электроники с точки зрения их серийного производства, изложены основные технологические особенности процесса монтажа печатных узлов, четкое понимание которых помогает разработчику минимизировать затраты, связанные с изготовлением конечного изделия.

Современный рынок электроники развивается очень динамично. С каждым днем появляется все большее количество компаний, ведущих конкурентную борьбу за свой сегмент этого рынка. В конечном счете, в конкурентной борьбе побеждает тот игрок, продукция которого, наряду с высокими потребительскими качествами, обладает высокой надежностью и имеет наименьшую цену. С точки зрения конечной себестоимости любого изделия наиболее весомым ценообразующим фактором, безусловно, является стоимость комплектующих. Однако оптимального подбора элементной базы и безупречного схемотехнического решения недостаточно — нужно еще обеспечить эффективность производства изделий для того, чтобы с наименьшими потерями и в срок выпустить качественный продукт в количествах, запрашиваемых рынком. И тут основное бремя конкурентной борьбы ложится на плечи разработчика — от того, насколько будет эффективен дизайн изделия с точки зрения его производства и эксплуатации, зачастую зависит не просто размер занимаемого рыночного сегмента — это определяет «лицо» компании.

ОБЩЕНИЕ — ЗАЛОГ УСПЕХА

Прежде чем перейти к непосредственному рассмотрению тех «трех шагов», которые фигурируют в

заголовке, хотелось бы остановиться на одном, казалось бы, банальном, но, тем не менее, немаловажном и универсальном факторе, который, к сожалению, зачастую многими упускается, — общении. Общайтесь! Общайтесь с производителем и поставщиком комплектующих, общайтесь с производителем печатных плат, общайтесь с контрактным производителем Ваших изделий. Общайтесь до начала, во время, и даже после завершения дизайна изделия. Чем больше конкретизированной информации вы получите, тем больше степеней свободы будет у Вас при оптимизации дизайна изделия.

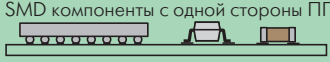
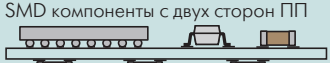
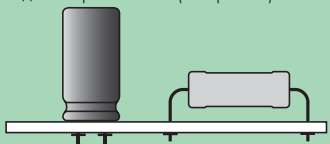
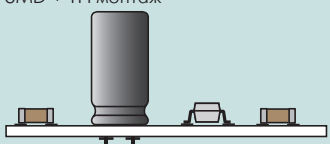
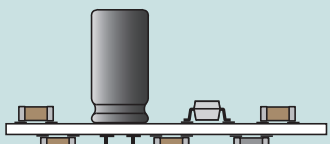
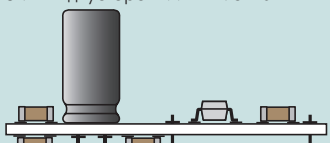
ШАГ ПЕРВЫЙ. ТЕХНОЛОГИЯ

Выбор технологии, по которой будет производиться монтаж печатных узлов — фундаментальный фактор, влияющий на себестоимость их производства. Выбор технологии неотъемлемо связан с выбором комплектующих и их компоновкой на печатном узле. Рассмотрим основные варианты компоновки печатных узлов и соответствующие варианты их сборки (табл. 1).

С одной стороны, номенклатура комплектующих и схемотехническое решение зачастую определяют технологию, по которой будет производиться монтаж печатного узла. С другой стороны, учитывая многообразие современного рынка электронных компо-

нентов, у разработчика существует определенная свобода выбора комплектующих. Как видно из табл. 1, самым эффективным вариантом дизайна современного изделия является 100% применение SMD компонентов. Конечно, это идеальный случай, доступный далеко не всегда — от ТН компонентов никуда не денешься. Доминирующим во всей индустрии на сегодняшний день является вариант смешанной SMD + ТН компоновки печатных узлов. Следовательно, оптимизация смешанного варианта дизайна печатных узлов с целью минимизации ручных операций является сегодня краеугольным камнем при проектировании изделий электроники. В данном случае можно выделить два ключевых направления повышения технологичности изделия. Первый — минимизация количества ТН компонентов, особенно тех, которые требуют сложной формовки выводов и размещение их на одной стороне печатного узла. Возьмем, к примеру, гипотетическое изделие на котором планируется переменить ряд ТН разъемов типа PLD и сетевую угловую розетку типа RJ45. И тот, и другой тип разъемов предлагается на рынке в SMD исполнении, причем, с минимальной разницей в стоимости. В данном случае использование упомянутых компонентов в SMD исполнении приведет к значительному удешевлению стоимости монтажа изделия за счет уменьшения количества технологических операций при его сборке (не нужно применять пайку волной). Вторым направлением оптимизации смешанного дизайна изделий является либо одностороннее размещение SMD компонентов (причем, на одной стороне с ТН компонентами), либо размещение на нижней стороне ПП только тех SMD компонентов, которые рассчитаны на применение технологии пайки волной.

Таблица 1. Технология монтажа печатных узлов.

Вариант размещения компонентов	Технология монтажа	Достоинства	Недостатки
SMD компоненты с одной стороны ПП 	Автоматизированная установка SMD компонентов на пасту с последующим ее оплавлением в конвекционной печи или паровой фазе.	Низкая стоимость монтажа за счет применения полной автоматизации процессов установки и пайки компонентов. Высокая плотность монтажа (уменьшение размеров изделий).	Отсутствуют
SMD компоненты с двух сторон ПП 			Повышение стоимости сборки за счет дублирования технологических операций для монтажа второй стороны платы.
Односторонний ТН (штыревой) монтаж 	Полуавтоматизированная или ручная установка ТН компонентов на плату с последующей групповой пайкой на волне	Возможность незначительного снижения стоимости монтажа (по сравнению с полностью ручным монтажом) за счет использования низкоквалифицированного персонала и сокращения времени сборки.	Значительное увеличение стоимости монтажа по сравнению с двумя предыдущими вариантами за счет увеличения времени сборки и увеличения вероятности появления ошибок при использовании ручных операций по подготовке и установке компонентов.
Односторонний смешанный SMD + ТН монтаж 	Автоматизированный SMD монтаж (как в п. 1) + пайка волной ТН компонентов.	Самый оптимальный вариант смешанного (SMD+ТН) монтажа.	Наличие операций по предварительной подготовке и ручной установке ТН влечет за собой увеличения стоимости монтажа. Номенклатура применяемых ТН компонентов резко ограничена типом корпуса и температурным фактором.
	Автоматизированная установка SMD + ручная установка ТН компонентов на пасту с последующим ее оплавлением в конвекционной печи или паровой фазе.	По сравнению с предыдущим вариантом, позволяет уменьшить стоимость смешанного монтажа за счет отсутствия операции пайки волной.	
Смешанный двусторонний SMD (либо односторонний монтаж SMD на нижней стороне) + односторонний ТН монтаж 	Автоматизированный SMD монтаж верхней стороны на пасту + нижней стороны на клей с последующей ручной установкой ТН компонентов и групповой пайкой волной.	Самый оптимальный вариант смешанного (SMD+ТН) монтажа в случае необходимости двустороннего размещения SMD компонентов.	Ограниченная номенклатура устанавливаемых на нижнюю сторону SMD компонентов. Существует ряд ограничений на расположение SMD компонентов на нижней стороне платы.
	Автоматизированный двусторонний монтаж SMD на пасту с последующей ручной установкой и автоматизированной селективной пайкой ТН компонентов.	Возможный ценовой компромисс между пайкой волной и ручной пайкой ТН компонентов.	Время, затраченное на селективную пайку, как правило больше чем при пайке волной, что негативно сказывается на стоимости монтажа.
	Автоматизированный двусторонний монтаж SMD + ручная установка ТН компонентов на пасту с последующим ее оплавлением в конвекционной печи или паровой фазе.	Незначительное уменьшение стоимости смешанного монтажа за счет отсутствия операции пайки волной либо селективной пайки.	Номенклатура применяемых ТН компонентов резко ограничена типом корпуса и температурным фактором.
	Автоматизированный двусторонний монтаж SMD на пасту + ручной монтаж ТН компонентов.	Отсутствуют	Наименее эффективный вариант смешанного монтажа. Катастрофическое увеличение стоимости сборки изделий за счет большого числа ручных операций.
Смешанный двусторонний SMD + двусторонний ТН монтаж 	Автоматизированный двусторонний монтаж SMD на пасту с последующей селективной пайкой ТН компонентов.	Возможный ценовой компромисс между пайкой волной и ручной пайкой ТН компонентов.	Временные затраты на двустороннюю селективную пайку обуславливают высокую стоимость монтажа.

ШАГ ВТОРОЙ. ТОПОЛОГИЯ

После выбора варианта компоновки печатного узла, и, следовательно, определившись с технологическими процессами, применяющимися при его сборке, необходимо учесть в дизайне все нюансы каждого из процессов.

Прежде всего, существует ряд общих стандартизованных требований к дизайну печатного узла, без учета которых его автоматизированный монтаж просто невозможен. К таковым относятся нали-

чие на печатной плате технологических полей (зон свободных от компонентов) и реперных знаков (см. рис. 1).

Необходимость наличия технологических полей объясняется тем фактом, что все автоматизированные сборочные линии построены по конвейерному принципу и для перемещения и фиксации печатных узлов внутри технологического оборудования нужны как минимум две свободные от компонентов зоны. Реперные знаки используются автоматизированным оборудованием для обес-

печения точного позиционирования трафарета для нанесения технологических материалов и компонентов в процессе их установки. Реперные знаки представляют собой круглые немаскируемые контактные площадки диаметром 1...3 мм с окном в маске, диаметром равным 2..3 диаметрам реперного знака. Оптимальным вариантом, как показывает опыт, является наличие в топологии печатной платы трех реперных знаков, расположенных в диагонально противоположных углах ПП на максимально возможном

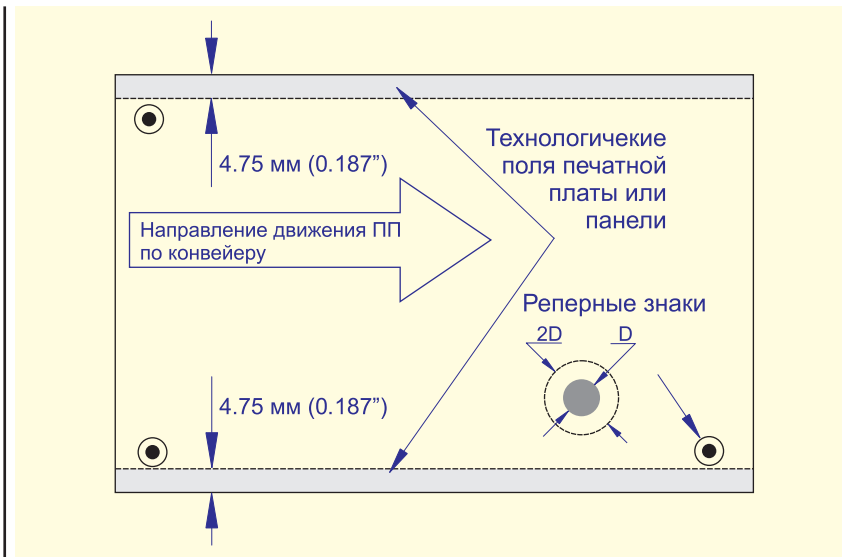


Рисунок 1 Расположение технологических полей и реперных знаков

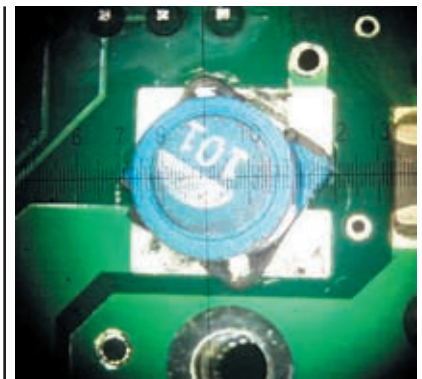


Рисунок 2 Смещение компонента при пайке из-за неправильного размера КП

расстоянии друг от друга. Запрещается размещение реперных знаков в пределах технологических полей.

Ключевую роль в обеспечении качественного SMD монтажа играет выбор правильной геометрии контактных площадок (Footprints) под каждый тип компонентов и правильная топология печатных проводников и переходных отверстий. При разработке топологии ПП рекомендуется придерживаться требований основного отраслевого стандарта в этой области — IPC-7351 (Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard). Следствием неправильно выбранной геометрии контактных площадок является резкое увеличение количества дефектов пайки компонентов. Например, на рис. 2 показан компонент, установленный на чересчур большие контактные площадки, следствием чего стало его «стягивание» в процессе пайки под действием сил поверхностного натяжения расплавленного припоя.

Другой распространенной ошибкой, к сожалению, допускаемой конструкторами является размещение переходных отверстий непосредственно на контактной площадке SMD компонента либо вплотную к ней. Это приводит к тому, что в процессе пайки за счет капиллярного эффекта расплавленный припой затягивается с площадки в переходное отверстие, что приводит к «скелетной» пайке вывода компонента — недопустимого дефекта паяного соединения (см. рис. 3).

Еще одним моментом, на который зачастую не обращают внимания, является соблюдение технологического зазора (Keep-Out) между краевыми про-

водниками и физическим периметром платы. В результате очень часто происходит повреждение проводников в процессе обработки контура печатной платы при ее производстве (см. рис. 4).

Отдельно хотелось бы выделить требования к дизайну печатного узла с учетом технологии пайки волной. Далеко не все SMD компоненты рассчитаны на применение этой технологии — например, компоненты с малым шагом выводов (QFP, резисторные матрицы и т.п.), компоненты высотой более 3–4 мм, компоненты, имеющие ограничения по температурным режимам пайки. Такие компоненты следует размещать только на верхней стороне платы. К компонентам, рассчитанным на применение технологии пайки волной, относятся чип резисторы конденсаторы, индуктивности, полупроводниковые приборы в корпусах SOD80, SOD106, SOT23, IC в корпусах SOIC. Для обеспечения качественной пайки волной SMD компонентов следует придерживаться следующих правил:

- Размещать компоненты на таком расстоянии друг от друга, чтобы, во-первых, не возникало «теневых» участков, создаваемых более крупными компонентами и препятствующих пайке соседних компонентов, во вторых, не возникало замыканий припоем выводов близко расположенных компонентов. Минимальное расстояние между компонентами как правило принимается равным ширине наибольшего из рядом расположенных компонентов.
- Располагать чип компоненты и компоненты в корпусах SOD и SOT перпендикулярно, а компоненты в корпусе SOIC — длинной стороной параллельно направлению движения платы по конвейеру
- Проектировать контактные площадки паяемых на волне SMD компонентов согласно соответствующих рекомендаций производителя либо на основании стандарта IPC-7351. КП SMD компонентов для пайки волной имеют, как правило, больший размер по сравнению с КП для конвекционной пайки. Для компонентов в корпусе SOIC, как правило, выпол-

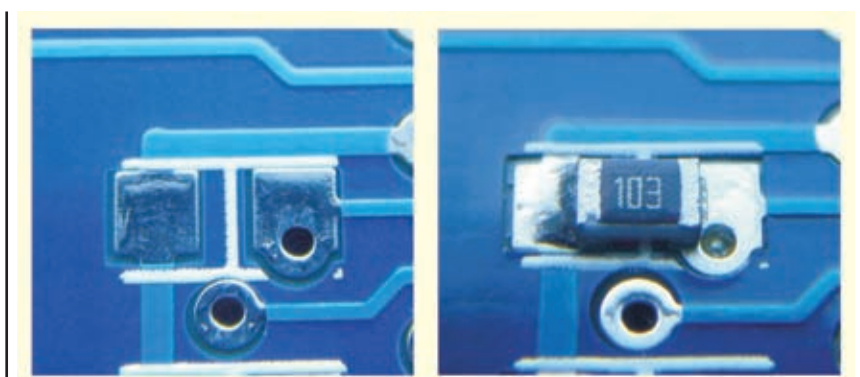


Рисунок 3 Эффект затягивания припоя в переходные отверстия

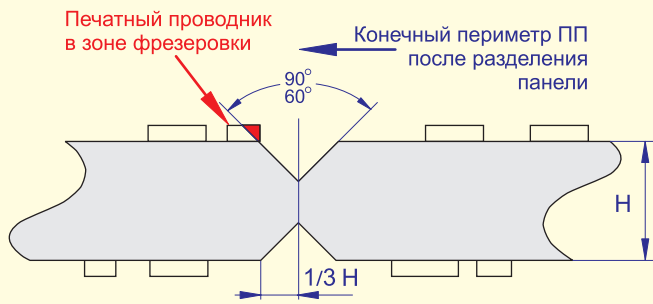


Рисунок 4 Повреждение печатного проводника, находящегося близко к периметру ПП при скрайбировании V-CUT

няются так называемые «граблящие» площадки, предназначенные для уменьшения вероятности КЗ припая между крайними выводами компонента (например, как на рис. 5.)

ШАГ ТРЕТИЙ. ТЕСТИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

При серийном производстве печатных узлов очень важную роль играет обеспечение возможности быстрого и надежного электрического теста собранного узла и визуального контроля качества его монтажа.

Самым распространенным универсальным и давно зарекомендовавшим себя видом тестирования электронных сборок является Внутрисхемный Тест (In-Circuit Test или ICT). Его суть заключается в индивидуальной проверке электрических параметров отдельных элементов в составе уже собранного печатного узла. Замер параметров компонента происходит путем подключения контактных групп к специальным контактным площадкам (Test Points) в результате чего проверяется не только номинал установленного на плате элемента, но и наличие паяных соединений его выводов. Обычно цикл внутрисхемного тестирования включает в себя следующие этапы: проверка топологии проводников ПП на наличие разрывов или замыканий; проверка номиналов пассивных компонентов, установленных на ПП; проверка параметров дискретных полупроводниковых компонентов; подача питающих напряжений с последующим цифровым тестом интегральных схем.

В зависимости от серийности производства изделий применяется один из двух методов внутрисхемного тестирования — тестирование на поле контактов или тестирование при помощи «летающих щупов». Первый метод требует изготовления специального контактного поля для каждого вида изделий, харак-

теризуется минимальным временем тестирования и применяется при массовом производстве. Суть второго метода заключается в использовании специального тестового автомата с перемещающимися тестовыми зондами, поочередно подключаемыми к различным участкам тестируемого изделия. Время тестирования при использовании данного метода гораздо больше, чем при использовании контактного поля, но не требует изготовления дорогостоящей оснастки и применяется для мелкосерийного и единичного производства.

Тестопригодность изделия должна быть предусмотрена на этапе проектирования изделия. Для обеспечения возможности внутрисхемного тестирования печатного узла необходимо внесение в топологию ПП специальных контактных площадок для подключения тестовых зондов. Для каждой электрической цепи изделия необходимо наличие как минимум одной такой контактной площадки. В случае применения внутрисхемного теста с применением контактного поля все тестировочные КП должны располагаться в единой координатной сетке на нижней стороне ПП. Кроме того, в диагонально противоположных углах ПП должны быть предусмотрены 2 базовых не металлизированных отверстия для обеспечения точной фиксации платы на контактном поле. Размер и расположение тестировочных КП зависят от типа применяемого тестового оборудования и должны согласовываться с контрактным производителем, выполняющим сборку и тестирование изделия.

Неотъемлемой частью процесса производства изделий электроники является визуальный контроль качества монтажа элементов на печатном узле. Соответственно, существует ряд требований к дизайну печатного узла для обеспечения максимально быстрой визуальной инспекции всех его элементов.

Во-первых, следует избегать расположения компонентов вплотную друг

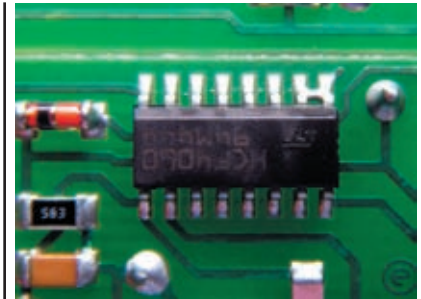


Рисунок 5 Замыкание между крайними выводами ИС в корпусе SOIC при пайке волной

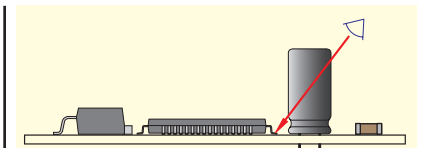


Рисунок 6 Ограничение обзора паяного соединения из-за близкого расположения компонентов

к другу — это затрудняет обзор паяных соединений его выводов (см. рис.6). Кроме того, это ставит под вопрос ремонтпригодности изделия в целом (из-за ограничения доступа ручного паяльного инструмента к выводам компонентов).

Вторым, часто встречающимся недостатком является некорректное расположение маркировки на поверхности ПП. Маркировка должна быть реализована таким образом, чтобы вся информация, которая в нее закладывается, была видна после сборки изделия. В противном случае теряется смысл самой маркировки — информация маскируемая компонентами после их установки никому не нужна.

ДП «Экран» ОАО «ЧеЗар» — один из крупнейших контрактных производителей электроники в Украине. Обладая мощнейшим производственным комплексом и колоссальным опытом в сфере автоматизированного SMD монтажа, предприятие решает задачи любой технологической сложности и гарантирует качество выпускаемой продукции на уровне ведущих мировых стандартов. Специалисты ДП «Экран» ОАО «ЧеЗар» всегда готовы оказать технологическую поддержку Вашего проекта как на стадии разработки, так и на стадии его совместной реализации. Более детальную информацию можно получить на сайте www.ua-ekran.com.