

Несквозные отверстия и микроотверстия в печатной плате

Александр Акулин (akulin@pcbsoftware.com)

В ряде случаев применение несквозных отверстий в печатной плате позволяет решить те или иные проблемы, улучшить массогабаритные характеристики изделия и снизить его стоимость. В статье приводятся основные принципы выполнения несквозных отверстий и рекомендации по применению различных технологических решений.

В процессе проектирования печатной платы разработчик иногда сталкивается с необходимостью выполнения несквозных отверстий, то есть переходов с одного слоя на другой, без сверления печатной платы насквозь. Это может быть вызвано следующими причинами:

- сложный компонент с маленьким шагом выводов, например BGA с шагом 0,5 мм и менее;
- слишком плотная трассировка при небольшом размере печатной платы и необходимость создания дополнительных «каналов» трассировки в зоне под переходным отверстием;
- необходимость устранения той части переходного отверстия, которая не задействована в электрическом контакте между слоями (так называемый stub), чтобы не создавать лишних проблем для высокоскоростных сигналов;
- потребность в ограничении распространения сигнала только в нескольких слоях, с экранированием остальных слоёв, например при разделении аналоговой и цифровой частей схемы.

В англоязычной литературе для обозначения таких отверстий применяются термины blind via (отверстие выходит только на один из внешних слоёв), buried via (отверстие полностью находится внутри платы, соединяя два или несколько внутренних слоёв), microvia

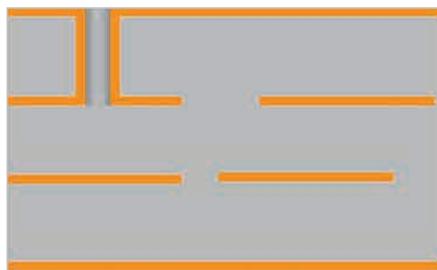


Рис. 1. Сечение 4-слойной печатной платы с несквозным отверстием между слоями 1 и 2

или uvia (отверстие выполнено лазером между двумя соседними слоями). Технология, подразумевающая высокую плотность соединений, очень маленькие зазоры и ширину проводника на плате, и применение несквозных отверстий имеют обобщающее название HDI PCB (High Density Interconnect – межсоединения высокой плотности). Существует несколько международных стандартов, имеющих отношение к HDI-платам, их конструированию, производству и контролю качества, например:

- IPC/JPCA-2315: Design Guide for High-density Interconnect Structures and Microvias;
- IPC-2226: Sectional Design Standard for High-density Interconnect (HDI) Printed Boards;
- IPC/JPCA-4104: Qualification and Performance Specification for Dielectric Materials for High-density Interconnect Structures (HDI);
- IPC-6016: Qualification and Performance Specification for High-density Interconnect (HDI) Structures.

В русскоязычной литературе применяются термины «глухие отверстия», «слепые отверстия», «погребённые отверстия», «микроотверстия» и другие. При этом данные термины не всегда понимаются одинаково различными специалистами.

При формировании несквозных отверстий и их описании в САПР печатных плат важно заранее понимать, какая технология будет использоваться заводом-производителем для их создания. В этой статье будут описаны несколько основных типов несквозных отверстий на примере изготовления 4-слойной печатной платы с несквозным отверстием между слоями 1 и 2 (см. рис. 1). Здесь также приводятся рекомендации по их применению, в том числе для случаев высококачественных материалов и препрегов, таких как Rogers серии 4000. На основе приведенных ниже рекомендаций можно соз-

давать более сложные конструкции, комбинируя между собой различные виды отверстий и технологий.

Существуют четыре основных вида несквозных отверстий:

1. Stack up + HDI (прессование с фольгой снаружи плюс микроотверстия);
2. Core + Core + HDI (ядро плюс ядро плюс микроотверстия);
3. Drill + Resin flow (сверление плюс вытекание смолы);
4. Drill + Resin plug (сверление плюс забивка смолой).

Рассмотрим последовательности операций по изготовлению каждого типа отверстий.

STACK UP + HDI (ПРЕССОВАНИЕ С ФОЛЬГОЙ СНАРУЖИ ПЛЮС МИКРООТВЕРСТИЯ)

В таблице 1 приведена последовательность технологических операций.

Рекомендации при исполнении такого типа конструкции следующие:

- нельзя использовать ВЧ-препрег типа Ro4450;
- расстояние между слоями 1 и 2 должно быть менее 0,15 мм (рекомендуется 0,05...0,1 мм);
- глубина отверстия не должна превышать его диаметр.

CORE + CORE + HDI (ЯДРО ПЛЮС ЯДРО ПЛЮС МИКРООТВЕРСТИЯ)

В таблице 2 приведена последовательность технологических операций.

Рекомендации для такой конструкции:

- расстояние между слоями 1 и 2 должно быть менее 0,15 мм (рекомендуется 0,1 мм);
- если препрег – один слой Ro4450, нужно выбирать толщину меди не более 18 мкм;
- если препрег – один слой Ro4450, то конструкция Via-In-Pad (заполнение и дополнительная медная крышка на переходных отверстиях) в этой ситуации не рекомендуется.

DRILL + RESIN FLOW (СВЕРЛЕНИЕ ПЛЮС ВЫТЕКАНИЕ СМОЛЫ)

В таблице 3 приведена последовательность технологических операций.

Таблица 1. Последовательность технологических операций Stack up + HDI

Этап	Описание	Схема
1	Двусторонняя заготовка – ядро стеклотекстолита	
2	Травление медного рисунка с обеих сторон	
3	Сборка пакета 4-слойной печатной платы – ядро внутри, препреги и фольга снаружи	
4	Прессование многослойной заготовки	
5	Сверление микроотверстия лазером	
6	Металлизация отверстий и формирование внешнего рисунка меди	

Таблица 2. Последовательность технологических операций Core + Core + HDI

Этап	Описание	Схема
1	Двусторонняя заготовка – ядро стеклотекстолита	
2	Травление медного рисунка с одной стороны	
3	Сборка пакета 4-слойной печатной платы – препрег внутри, ядра снаружи	
4	Прессование многослойной заготовки	
5	Сверление микроотверстия лазером	
6	Металлизация отверстий и формирование рисунка меди во внешних слоях. Дополнительная металлизация позволяет полностью заполнить отверстие медью	

- Рекомендации для такой конструкции:
- нельзя использовать только один слой препрега;
 - толщина меди во внутренних слоях – не более 18 мкм;
 - если применяется препрег Ro4450, то конструкция Via-In-Pad невозможна;
 - диаметр отверстия не должен превышать 0,25 мм;
 - плотность таких несквозных отверстий не должна быть чрезмерной.

DRILL + RESIN PLUG (СВЕРЛЕНИЕ ПЛЮС ЗАБИВКА СМОЛ)

В таблице 4 приведена последовательность технологических операций.

Рекомендации для такой конструкции:

- для обеспечения стабильности размеров толщина ядра диэлектрика между слоями 1 и 2 должна быть не менее 0,2 мм;
- из-за увеличенной финишной толщины меди в слоях 1 и 2 (в связи с дополнительным этапом металлизации) зазоры и проводники в этих слоях должны иметь размеры не менее 0,1 мм.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Иногда разработчики применяют слишком много видов несквозных отверстий в одном проекте, что может привести к проблемам при производ-

стве плат. Например, в приведённой на рисунке 2 6-слойной структуре имеются три типа отверстий, которые выходят на слой Top. В связи с этим при изготовлении такой платы три раза выполняется металлизация, и суммарная толщина меди является проблемой для создания прецизионной топологии.

Необходимо минимизировать число типов отверстий, выходящих на один и тот же слой, или применять в таком слое менее прецизионные проводники и зазоры.

Перед проектированием структуры слоёв и созданием новых видов несквозных переходных отверстий следует проработать вопрос о том, как именно будет изготавливаться данная печатная плата, на каком заводе-изготовителе, и в какой последовательности будут выполняться циклы прессования слоёв, сверления и металлизации отверстий, заполнения отверстий медью или смолой и т.д.

Чем меньше циклов прессования, тем дешевле получится плата. В среднем каждый дополнительный вид несквозных переходных отверстий может добавлять от 20 до 50% к стоимости заказа печатной платы. Тем не менее следует иметь в виду, что в ряде случаев наличие таких отверстий может позволить сократить общее количество слоёв в плате, снизить нормы проектирования, уменьшить общие габариты платы. А зачастую, как в случае с BGA-компонентами с шагом 0,5 мм, без

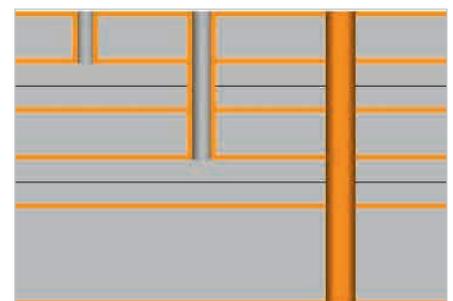


Рис. 2. Шестислойная печатная плата с тремя видами отверстий

несквозных отверстий и вовсе нельзя обойтись.

ПОДДЕРЖКА НЕСКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ В САПР

Стоит отметить, что в современных САПР поддержка технологий несквозных отверстий реализована на довольно высоком уровне. Например, в САПР Cadence Allegro и её подмножестве OrCAD имеется возможность «в один клик» создать «падстек» для заданной пары слоёв просто на основе выбранного в проекте печатной платы сквозного «падстека». В процессе трассировки пользователь может выбрать, с какого на какой слой ему нужен переход, и при этом указать, какой тип из существующих в проекте несквозных отверстий выбрать для данной операции. При формировании конструкторской документации и файлов Gerber САПР автоматически формирует необ-

Таблица 3. Последовательность технологических операций Drill + Resin flow

Этап	Описание	Схема
1	Двусторонняя заготовка – ядро стеклотекстолита	
2	Сверление отверстия	
3	Металлизация отверстия	
4	Формирование медного рисунка с одной стороны заготовки	
5	Сборка пакета 4-слойной печатной платы – препрег внутри, ядра снаружи	
6	Прессование многослойной заготовки. Смола, содержащаяся в препреге, частично или полностью заполняет отверстие	

ходимый комплект файлов сверления. Кроме того, в Allegro имеется специальная опция Allegro PCB Miniaturization Option, предназначенная специально для работы с HDI-платами и позволяющая работать не просто с отдельными микроотверстиями, а с их ступенчатыми и стековыми структурами, как «объектами топологии». В этом случае объект «структура микроотверстий» может быть не просто размещён на плате, но и модифицирован под требования конкретной ситуации, например связанные в единую структуру ступенчатые микроотверстия в слоях 1–2, 2–3 и 3–4 могут быть должным образом ориентированы в топологии, чтобы упростить трассировку. Также опция Allegro Miniaturization позволяет выполнять все необходимые технологические требования (DFM – Design for Manufacturing, «разработка для производства»), чтобы

обеспечить возможность эффективной разработки и качественного изготовления печатных плат с первой итерации.

ПОДДЕРЖКА В САМ-СИСТЕМАХ

Современные САМ-системы, применяемые для проверки производственных файлов печатных плат, также поддерживают несквозные отверстия. Например, редактор Gerber-файлов САМ350 версии 14 позволяет в момент загрузки файлов Gerber и NC-drill удобным образом отсортировать их и указать, между какими парами слоёв должны располагаться те или иные несквозные отверстия, и задать тип микроотверстий. Более того, САМ350 предлагает автоматически извлечь таблицу соединений на основе топологии слоёв и отверстий. Если у пользователя имеется возможность извлечь аналогичный нетлист из САПР, то с

Таблица 4. Последовательность технологических операций Drill + Resin plug

Этап	Описание	Схема
1	Двусторонняя заготовка – ядро стеклотекстолита	
2	Сверление отверстия	
3	Металлизация отверстия	
4	Заполнение отверстия смолой и отверждение смолы	
5	Выравнивание поверхности для удаления излишков смолы	
6	Формирование медного рисунка с одной стороны заготовки	
7	Сборка пакета 4-слойной печатной платы – препрег внутри, ядра снаружи	
8	Прессование пакета	

помощью САМ350 можно проверить полученные Gerber-файлы на корректность и соответствие этому нетлисту.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в статье принципы выполнения несквозных отверстий и HDI-структур и рекомендации по их применению позволяют разработчику печатных плат более эффективно реализовать конкурентоспособные проекты и избежать ряда критических ошибок. Дополнительную информацию по этим и другим вопросам проектирования печатных плат можно найти в профессиональном блоге PCB Soft [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Профессиональный блог по проектированию печатных плат: <https://www.pcbsoft.ru/blog>.



НОВОСТИ МИРА

EXPOELECTRONICA и ELECTRONTECHEXPO в МЮНХЕНЕ

В рамках подготовки к ExpoElectronica и ElectronTechExpo 2020 оргкомитет выставок представил преимущества российского рынка электроники иностранным коллегам на Productronica в Германии.

Такая работа способствует не только привлечению новых международных

участников, но и росту числа иностранных посетителей выставок, заинтересованных в закупках российской микроэлектроники. Многие иностранные компании начали выход на российский рынок именно с участия в ExpoElectronica и ElectronTechExpo.

По итогам 2019 года участниками выставок стали 180 иностранных компаний, а посетителями – более 440 иностранных организаций.



Выставки ExpoElectronica и ElectronTechExpo создают уникальную профессиональную среду для обмена опытом, переговоров и заключения выгодных соглашений ведущими игроками индустрии.

Пресс-релиз Hyve Group

ТЕХНОЛОГИЯ НАДЕЖНОСТИ

Проектирование, изготовление
и монтаж печатных плат
любой сложности

- ✓ Разработка печатных плат
- ✓ Изготовление печатных плат
- ✓ Изготовление экранов

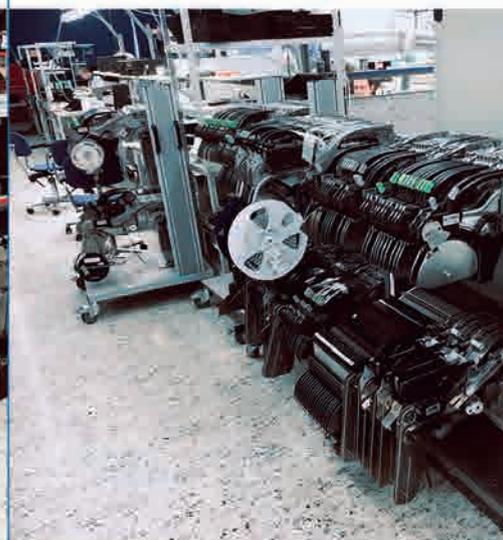


- ✓ Контрактное производство
- ✓ Монтаж печатных плат, монтаж печатных плат с военной приёмкой, закупка комплектующих



Подробнее на сайте:
www.pcbtech.ru

Прием заказов на печатные платы и экраны:
Контрактное производство:
Общая почта по всем вопросам:



О нас:
www.pcbtech.ru/o-kompanii

8 (499) 558-02-54
8 (495) 988-83-24
pcb@pcbtech.ru

НОВОСТИ МИРА

ПРИЁМНИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ PXE от Keysight Technologies стал ещё более производительным

Компания Keysight Technologies расширила частотный диапазон приёмника электромагнитных помех (ЭМП) N9048B PXE от 26,5 до 44 ГГц для обеспечения соответствия действующим и новым требованиям по электромагнитной совместимости, устанавливаемым различными регулирующими органами.

Компании автомобильной отрасли и мобильной связи (5G) стремятся максимально задействовать высокие частоты с целью создания новых устройств, требующих использования более широких областей спектра для скоростной передачи больших объёмов данных. Перед выпуском на рынок эти ВЧ-устройства должны пройти испытания на электромагнитную совместимость (ЭМС) и на соответствие требованиям к коммерческому использованию. Приёмники ЭМП измеряют уровень нежелательных ВЧ-излучений испытуемого прибора.

PXE от Keysight – приёмник ЭМП и диагностический анализатор сигналов, отвечающий требованиям стандартов и обеспечивающий точность, воспроизводимость и



надёжность измерений для получения точных результатов испытаний. Приёмник ЭМП PXE от Keysight теперь поддерживает диапазон частот от 2 Гц до 44 ГГц и обладает следующими преимуществами:

- высокая чувствительность, позволяющая обнаруживать слабые сигналы (близкие к уровню шума) в разных условиях измерений для определения ЭМС, что позволяет клиенту идентифицировать излучение, вызванное его устройством;
- полное соответствие стандартам CISPR 16-1-1:2019 и MIL-STD-461G (2015) гарантирует соответствие устройств новым мировым и региональным стандартам;
- функции ускоренного сканирования во временной области обеспечивают соблю-

дение требований к контролю задержки, а также позволяют сократить время сканирования и длительность испытания до нескольких секунд (вместо нескольких часов);

- полная видимость сигнала, при которой функция сканирования в режиме реального времени (CPPB) обеспечивает захват и анализ сигнала без пропусков при ширине полосы до 350 МГц и одновременно обеспечивает отображение частотного диапазона, временной области и спектрограммы; благодаря наличию трёх ЭМС-детекторов пользователи получают больше возможностей для исследования сигналов.

www.keysight.com/go/news



YOUR EXPERT SERVICES PROVIDER IN CHINA

НАШ ГЛОБАЛЬНЫЙ ОТВЕТ ВАШИМ ПОТРЕБНОСТЯМ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЯХ

ЭКСПЕРТЫ К ВАШИМ УСЛУГАМ!



ЦЕНА

Лучшее соотношение цена-качество для ваших нужд. Наш глобальный объем закупок даёт возможность предложить вам конкурентные цены.



СКОРОСТЬ

Доставка к вашей двери всего за 5 дней! Два онлайн магазина работают без перерывов и выходных. 98% поставок вовремя.



КАЧЕСТВО

Член МПК и сертификат ISO 9001:2015. Наши поставщики: ISO 14001, ISO TS 16949, ISO 13485 и AS9100.

Реклама

ООО "АЙКЕЙП РУС"
115035, г. Москва,
ул. Садовническая набережная, 7Г

www.icape-group.com

www.icapeishop.com

www.cipemshop.com

+7 495 668 1133

order@icapenzsia.com



НОВОСТИ МИРА

Один из крупнейших высокотехнологичных проектов России признан банкротом

Один из крупнейших проектов по развитию высоких технологий в России, инициированный Правительством и Советом Безопасности, официально признан несостоятельным.

В октябре 2019 года Арбитражный суд Москвы после длившегося 10 месяцев разбирательства объявил банкротом компанию «Ангстрем-Т» – завод по производству микрочипов, который принадлежал бывшему министру связи Леониду Рейману и получил госфинансирование на \$1 млрд.

Компания в 2008 году привлекла кредитную линию ВЭБа в размере 815 млн евро на создание в Зеленограде производства микрочипов, которые предполагалось использовать для процессоров, смарт-карт, электронных паспортов и виз российского производства.

Однако накопив более 100 млрд рублей долгов, «Ангстрем-Т» не внес ни одного платежа по кредиту, после чего, в январе 2019 года, ВЭБ забрал 100% акций за-

вода, предъявил требования на погашение всей суммы и подал иск о его банкротстве.

К требованиям присоединился и сам Рейман, который на август 2018 года был единственным бенефициаром завода. Офшорные компании экс-министра выставили претензии к обанкротившемуся предприятию на 3,9 млрд рублей, из которых 423,9 млн требовал лично Рейман.

Неспособность завода вернуть деньги частично связана с санкциями, объяснял ранее сам бывший министр: в 2014 году США ограничили экспорт в Россию технологий двойного назначения из-за аннексии Крыма и поддержки сепаратистов на востоке Украины, а в сентябре 2016 года «Ангстрем-Т» и ряд других микроэлектронных компаний из РФ попали в санкционный список Вашингтона.

Но проблема с заводом не только в санкциях – он строился почти 10 лет и устарел уже к моменту запуска, говорил Reuters источник на рынке микроэлектроники.

«Рынок чипов 90-130 нанометров, которые производит «Ангстрем-Т», за последние годы значительно сократился, поэто-

му завод и не могут загрузить – спроса на данные чипы в таком объеме нет. Все мировые производители микросхем уже производят чипы в 45-65 нанометров и ещё ниже», – объяснил он.

«Ангстрем-Т» планировали запустить в 2010 году, но сроки были сорваны, и завод начал работать только в 2016 году. Спустя два года компания договорилась о поставке в Китай микроэлектроники для смартфонов и другой продукции. Но сумма сделки составила лишь 36 млн долларов.

Правительство не оставляет планов создать на базе «Ангстрем-Т» технологический кластер: Минпромторг включил завод в план развития радиоэлектронной промышленности до 2030 года.

В конце мая председатель ВЭБа Игорь Шувалов сообщил, что правительство направит на поддержку «Ангстрем-Т» 21 млрд рублей. Все деньги будут выделены из федерального бюджета, а риски по возврату будет нести правительство, поскольку наблюдательный совет признал завод имеющим общегосударственное значение, рассказал он.

<https://www.finanz.ru/>

Надежные тестовые решения требуют лучших технологий



РАЗРАБОТКА

Получайте полностью работоспособные опытные образцы



ПРОИЗВОДСТВО

Сделайте производственную линию совершенной с технологиями JTAG



СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ

Ремонтируйте цифровые платы даже при отсутствии CAD-данных на них



JTAG 25

We are boundary-scan.®

Реклама

www.jtag.com • www.jtaglive.com • +7 812 602 09 15 • russia@jtag.com