

Анатомия сквозного металлизированного отверстия

В состоянии формирования находится Программа стандартизации по тематике Радиоэлектронного комплекса под эгидой Технического комитета РКЭ-91. Действие Программы начнется в лучшем случае только в 2009 году. Но работы по обновлению и созданию новых стандартов можно начинать сейчас. На соответствующем уровне уже принято решение об использовании наработок Международной электротехнической комиссии (МЭК, IEC) [1].

**Аркадий Медведев,
д. т. н., профессор**

medvedevam@bk.ru

Сергей Арсентьев

a.sergei.z@gmail.com

Любое обновление стандартов начинается с согласия специалистов по составу специализированных терминов и понятий, которые будут использоваться во всех разрабатываемых в последующем стандартах. ГОСТ 20406 «Платы печатные. Термины и определения», относящийся к 1975 году, содержит необходимый перечень терминов (54 наименования), но он недостаточен для современной лексики. МЭК тоже выпустила уже четвертое издание стандарта IEC-60194 «Печатные платы. Конструирование, производство, сборка-монтаж. Термины и определения», в котором свыше 4 тыс. понятий. Но и в нем имеется определенный дефицит терминов, обусловленный быстрым обновлением технологий электроники.

В этой статье авторы предлагают обсудить терминологию, связанную с межсоединениями через сквозные металлизированные отверстия.

Приведенные описания относятся к отверстиям, служащим для межслойных соединений (переходные отверстия), и к отверстиям, служащим для соединений выводов компонентов с контактными площадками или проводниками. Чтобы проектируемая печатная плата (ПП) осуществляла необходимые межсоединения и была реализуема в производстве, необходимо правильно рассчитать размеры контактных площадок и отверстий, а также свободного пространства вокруг них.

Основное требование к системе совмещения состоит в том, чтобы отверстие было обязательно окружено контактной площадкой. Если сквозное отверстие выходит за пределы контактной площадки, возникает

вероятность стыкового соединения торца проводника с металлизацией отверстия (рис. 1). Такое соединение непрочное и может порваться или при пайке, или позже — при воздействии эксплуатационных факторов (термоциклы, вибрация и т. п.).

Если сквозное отверстие проходит сквозь перфорацию сплошного слоя питания, необходимо следить за тем, чтобы не происходило сокращения перемычек между близко расположенными отверстиями. С использованием отверстий большого диаметра невозможно изготовить ПП без проблем, связанных с сокращением экранов, необходимых для высокоскоростных полосковых линий связи.

Термины и определения

Приведенная ниже терминология несколько расширяет понятия, изложенные в ГОСТ 20406 [2], применительно к описанию элементов сквозных металлизированных отверстий, переходных и монтажных отверстий, а также отверстий, контактирующих со слоями питания.

На рис. 2 показаны основные элементы сквозного металлизированного отверстия.

Диаметр готового отверстия — диаметр сквозного металлизированного отверстия по завершении его металлизации.

Диаметр просверленного отверстия — диаметр отверстия, измеренный после его сверления.

Контактная площадка отверстия — контактная площадка, служащая для «охвата» сквозного металлизированного отверстия с целью создания его соединения с проводниками наружного или внутреннего слоя. Контактные площадки на внутренних слоях, не имеющие внутренних соединений, не могут использоваться. Такие контактные площадки называют «нефункциональными».

Примечание: для крепежных отверстий без металлизации контактные площадки на внутренних слоях не используются.

Перфорация — зона, протравленная в медном слое «земли» или питания, через которую проходят сквозные металлизированные или неметаллизированные отверстия, не имеющие соединения в этом слое.



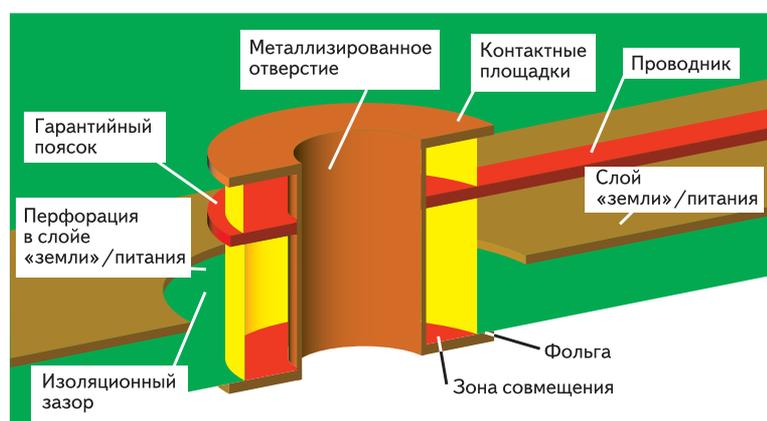


Рис. 2. Поперечное сечение сквозного металлизированного монтажного или переходного отверстия

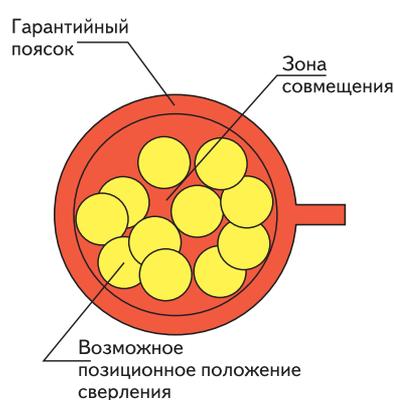


Рис. 3. Зона совмещения — круг, в который гарантированно попадают отверстия

Зона совмещения — условное поле возможного позиционного положения отверстий в пределах контактной площадки (рис. 3); окружность, внутри которой могут оказаться сверленные отверстия. Зона совмещения определяется позиционными допусками расположения отверстий и контактных площадок по ГОСТ 23751 [4]. Погрешности совмещения складываются из позиционных погрешностей фотошаблона, сверления, совмещения слоев, погрешностей базирования. На них также существенно влияют линейные деформации слоев после травления рисунка, смещение слоев при прессовании.

Позиционный допуск — величина, определяющая допустимое смещение отверстия относительно центра контактной площадки.

Металлизация отверстия — медный слой на стенках отверстия, обеспечивающий межсоединения в трансверсальном направлении (по оси Z). Металлизацию отверстий в многослойных печатных платах (МПП) производят после прессования и сверления отверстий.

Медная фольга. Формирование проводящего рисунка на внешних слоях ППП осуществляют с использованием медной фольги. Она необходима для подвода тока в процессе электрохимической металлизации отверстий. По завершении электрохимической металлизации медную фольгу селективно вытравливают из пробельных мест, в результате чего образуется рисунок внешних слоев.

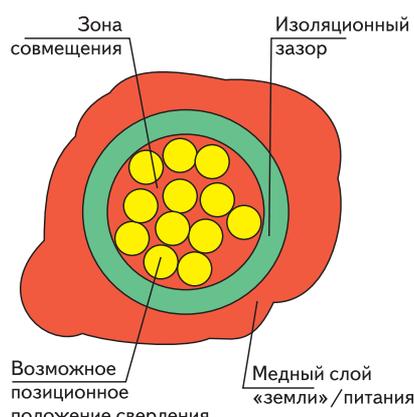


Рис. 4. Перфорация в слое земли или питания

Изоляционный зазор — изоляционное пространство между отверстием (металлизацией его стенок) и металлическими элементами проводящего рисунка различных слоев ППП (проводники и потенциальные слои). Если сквозные металлизированные отверстия пронизывают перфорации потенциальных слоев (рис. 4), то диаметр перфорации выполняют таким, чтобы за пределами зоны совмещения находилось изоляционное пространство, достаточное для электрической прочности электрически разобщенных цепей.

Гарантийный пояс — часть медной контактной площадки, окружающей отверстие, расположенная за пределами просверленного отверстия. По ГОСТ 20406 [2] он определяется как минимально допустимая ширина контактной площадки вокруг отверстия печатной платы в узком месте. Контактную площадку намеренно делают шире просверленного отверстия настолько, чтобы при возникновении допустимого позиционного смещения отверстия часть его площадки все же контактировала с подходящим к ней проводником.

Проводящий слой — любой слой с медным рисунком внутри ППП, выполняющим роль межсоединений в плоскости платы (по осям X–Y). Слои могут выполнять роль «земли» или питания (потенциальные слои) и служить экранами для полосковых линий с установленным волновым сопротивлением.

Параметры отверстия (Pad Stack) — название, употребляемое в CAD-системах для описания размеров контактных площадок отверстий, диаметров перфораций, диаметров сверления и металлизированных отверстий. В данной статье будут изложены методы расчета этих размеров.

Основные размеры

- Размер готового отверстия — диаметр сверления без металлизации.
- Размер просверленного отверстия — диаметр готового отверстия плюс двойная толщина металлизации.
- Размер зоны совмещения — диаметр сверления плюс производственный допуск на смещение.
- Контактная площадка отверстия — зона совмещения вокруг отверстия плюс гарантийный пояс.
- Перфорация — размер зоны совмещения вокруг отверстия плюс ширина изоляционного зазора.
- Сетка проводящего слоя — медная сетка, образуемая отверстиями перфорации в проводящем слое (рис. 5), или сетка проводников, образующая потенциальный слой.



Рис. 5. Пример рисунка отверстий под компонентом BGA

Изоляционный зазор (для внутренних слоев) — изоляционные зазоры, необходимые для электрического разобщения медных элементов слоя друг от друга, например, расстояние от металлизации сквозного отверстия до медного потенциального слоя или проводника. Минимальное изоляционное пространство оговаривается в ГОСТ 23751 [4].

Параметры отверстий назначаются исходя из следующих соображений:

1. Контактная площадка, соединяющая проводник с металлизацией отверстия, должна быть достаточно широкой, чтобы отверстие всегда располагалось в пределах ее медной поверхности. Соединение проводника с металлизацией отверстия «встык», то есть когда проводник едва достает площадку, оказывается ненадежным и легко может быть нарушено в процессе пайки. Высокая надежность соединения достигается, когда контактная площадка превосходит размер зоны совмещения на величину минимального кольцевого (гарантийного) пояса. Размер гарантированного пояса назначается в зависимости от класса точности по ГОСТ 23751 и от токовой нагрузки на проводник. Обычно его ширина равна половине ширины проводника. За счет смещения отверстия в сторону проводника за пределы контактной площадки образуется непрочное соединение «встык».
2. Перфорация проводящего слоя «земли» или питания, сквозь который проходит сквозное отверстие, должна быть достаточно большого диаметра, чтобы создать требуемую изоляцию между металлизацией отверстия и краями перфорации проводящего слоя. Минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка (изоляционный зазор) выбирается в зависимости от значения рабочего напряжения по ГОСТ 23751 [4]. Размер перфорации рассчитывают исходя из того, что она не должна быть меньше суммы размера зоны совмещения и минимально допустимого размера изоляционного зазора.
3. Расстояние от металлизированного отверстия до лежащего рядом проводника сигнального слоя должно быть достаточно большим, чтобы были выполнены заданные требования по изоляции по ГОСТ 23751 [4]. **Примечание.** Проводники сигнального слоя должны располагаться над сеткой слоев «земли» или питания, выполняющих роль высокочастотных экранов. Таким образом, ширина пространства для размещения трасс сигнальных проводников равна ширине сетки слоев «земли»/питания между соседними отверстиями (рис. 5).
4. Расстояние между соседними отверстиями должно обеспечивать достаточную ширину сетки проводящих слоев «земли»/питания, чтобы сигнальные проводники имели хорошее экранирование для формирования полосковых линий связи. **Примечание.** Если ширина проводника равна ширине сетки потенциального слоя, то значение волнового сопротивления (импе-

данса) резко возрастает. Так, если для проводника 125 мкм над сплошным экраном значение импеданса равно 50 Ом, то над сеткой с шириной 125 мкм, как показано на рис. 5, импеданс будет 80 Ом. Можно показать, что при отношении ширины сетки к ширине проводника порядка 1,5 увеличение импеданса будет лежать в пределах 5%.

Расчет параметров отверстия

Параметрами отверстия являются:

- диаметр готового (металлизированного) отверстия;
 - диаметр просверленного отверстия;
 - диаметр его контактной площадки;
 - диаметр перфорации проводящих слоев.
- Приведенные далее вычисления позволяют найти их значения. По возможности полученные данные следует проектировать с большими допусками. Рассчитываемые же минимальные размеры используются при установке компонентов BGA с шагом выводов 1,25 или 1 мм, или меньше для достижения, с одной стороны, минимальной сложности реализации ПП на производстве, а с другой — добротной передачи сигнала по линиям связи.

Размер просверленного отверстия — диаметр готового отверстия плюс 50 мкм металлизации (по 25 мкм с каждой стороны), плюс допуск на диаметр сверла. Для сверл обычно устанавливают допуск на диаметр $\pm 12,5$ мкм. Учитывая, что допуск на позиционирование отверстий равен 0,3 мм, допуском на диаметр сверла обычно пренебрегают.

Диаметр зоны совмещения — диаметр просверленного отверстия плюс допуск на точность позиционирования. Для заготовки многослойных печатных плат размером 457×610 мм лучшего производителя этот допуск составляет 0,3 мм. Для таких же плат 406×457 мм производственный допуск составляет 0,25 мм.

Диаметр контактной площадки — диаметр зоны совмещения плюс ширина гарантийного пояса.

Диаметр перфорации проводящих слоев — диаметр зоны совмещения плюс изоляционный зазор, рассчитанный по ГОСТ 23751 [4].

При расчете размеров переходных отверстий, не предназначенных для пайки в них выводов компонентов, основным размером является диаметр просверленного отверстия. Диаметр готового отверстия для них не так важен. «Базовый» минимальный диаметр сверления должен обеспечивать надежную металлизацию отверстий. Для ПП толщиной $\geq 2,5$ мм этот диаметр может быть равен 0,3 мм.

Пример расчета размеров для заготовок ПП размером 457×610 мм толщиной $\geq 2,5$ мм

- Размер зоны совмещения = диаметр сверла + 0,3 мм.
- Контактная площадка = диаметр сверла + 0,3 мм + 0,1 мм = диаметр сверла + 0,4 мм.
- Перфорация = диаметр сверла + 0,3 мм + 0,25 мм = диаметр сверла + 0,55 мм.

- При диаметре сверла 0,3 мм данные размеры будут: контактная площадка = 0,7 мм, перфорация = 0,85 мм.
 - Для данных размеров при установке компонента BGA с шагом между выводами 1,25 мм ширина сетки потенциального слоя будет равна $1,25 - 0,85 = 0,4$ мм.
 - Для тех же данных и шаге между выводами BGA 1 мм ширина сетки потенциального слоя будет равна $1 - 0,85 = 0,15$ мм.
- Пример расчета размеров для ПП 406×457 мм толщиной $\geq 2,5$ мм**
- Размер зоны совмещения = диаметр сверла + 0,25 мм.
 - Контактная площадка = диаметр сверла + 0,25 мм + 0,05 мм = диаметр сверла + 0,3 мм.
 - Перфорация = диаметр сверла + 0,25 мм + 0,25 мм = диаметр сверла + 0,5 мм.
 - При диаметре сверла 0,3 мм данные размеры будут: контактная площадка = 0,6 мм, перфорация = 0,8 мм.
 - Для данных размеров при установке компонента BGA с шагом между выводами 1,25 мм ширина сетки потенциального слоя будет равна $1,25 - 0,8 = 0,45$ мм.
 - Для тех же данных и шаге между выводами BGA 1 мм ширина сетки потенциального слоя будет равна $1 - 0,8 = 0,2$ мм.

Отверстия без металлизации

Отверстия без металлизации обычно используют для крепления платы или элементов на ней, они не предназначены для создания электрических соединений. Отверстия без металлизации ни на каких слоях не имеют контактных площадок, единственным их рассчитываемым параметром является диаметр перфорации проводящих слоев, сквозь которые проходит данное отверстие.

Термическая разгрузка соединений с потенциальными слоями

Когда сквозное металлизированное отверстие соединено с внутренними слоями «земли»/питания ПП, при пайке они будут отводить тепло, что может затруднить пайку или демонтаж выводов компонентов. Для решения этой проблемы необходимо обеспечить

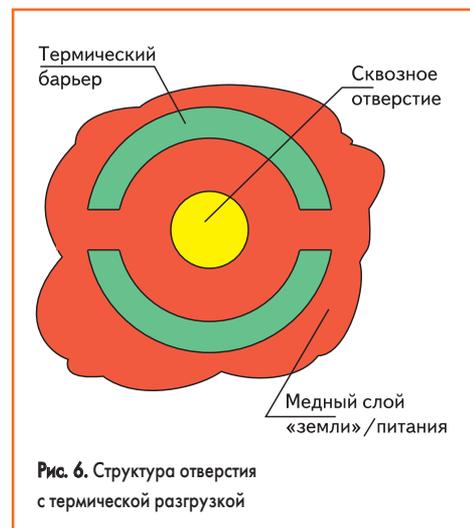


Рис. 6. Структура отверстия с термической разгрузкой

термоизоляцию стенок отверстий от тепловой массы внутренних проводящих слоев ПП. Это достигается путем введения небольших зазоров между отверстием и проводящим слоем, как показано на рис. 6.

Контактная площадка такого отверстия должна быть того же диаметра, что и полученные в предыдущих расчетах (диаметр сверления плюс допуск на позиционирование). Решение проблемы теплостока достигается формированием вокруг контактной площадки отверстия двух противоположных зазоров. Диаметр перфорации рассчитывается так же, как это было описано (диаметр сверления плюс допуск на позиционирование и плюс изоляционный зазор).

Для соединения выводов поверхности поверхностно монтируемых компонентов с проводящими слоями термическую разгрузку на внутренних слоях не используют.

Заключение

Авторы не претендуют на совершенство предлагаемых ими терминов, а лишь приглашают к участию в их формировании. Если читатель хочет внести свою лепту в формирование системы русских терминов и определений, он может написать свои предложения в журнал и/или в секретариат Национальной комиссии экспертов по адресу vg@techizdat.ru (www.techizdat.ru).

Литература

1. Медведев А. Стандарты МЭК в отечественной нормативной базе // Производство электроники. 2007. № 2.
2. ГОСТ 20406. Платы печатные. Термины и определения.
3. ИЕС-60194. Печатные платы. Конструирование, производство, сборка-монтаж. Термины и определения // Новости международной стандартизации МЭК и ИСО. Информационный бюллетень. 2008. № 3 (35).
4. ГОСТ 23751. Платы печатные. Основные параметры конструкции.