

Немного о физиологии сквозного металлизированного отверстия

Авторы продолжают тему совмещения в технологии печатных плат [3] и предлагают новые термины, необходимые при решении вопросов по совмещению в процессе производства и технологической подготовки. Приводится пример построения модели точности совмещения, демонстрируются результаты работы программ расчета модели совмещения и корректировки файла сверления.

В статье высказаны конкретные замечания по стандарту ГОСТ 23751, которые, по мнению авторов, необходимо учесть в новом издании, приведена справочная таблица позиционного расположения отверстий относительно контактных площадок для разных классов точности, а также предложены прикладные программы расчета контактной площадки и класса точности с шагом 0,1.

**Владимир Сергеев,
к. т. н.
Александр Ливерко**

svp@msk.org.ru

В журнале «Технологии в электронной промышленности» была опубликована статья «Анатомия сквозного металлизированного отверстия» проф. А. Медведева и С. Арсентьева [1]. Они несколько расширяют понятия, относящиеся к металлизированным отверстиям, и предлагают подключиться к обсуждению терминологии, связанной с технологией межсоединений через металлизированные отверстия, а также освещают ситуацию, сложившуюся со стандартизацией в области технологии печатных плат. Ими введены и даны определения новых терминов, предлагается методика расчета размера контактной площадки, приводятся примеры расчета. Это подвинуло нас на развитие некоторых положений [1] (разработка программ определения диаметра контактной площадки и класса точности). Мы сформулировали критические предложения в адрес ГОСТ 23751 и решили высказать замечания по некоторым терминам. (Нам часто придется обращаться к названной статье и, для удобства, мы это будем делать сокращенно — «профессор Медведев, у профессора Медведева» и т. п. Надеясь, второй автор — С. Арсентьев — нас извинит.)

Термин «перфорация» не вполне удачен: выговорить его почти так же трудно, как «выкарабкивающиеся лягушки». И потом перфорация, перфорирование — это, скорее, процесс, и если уж результат процесса (процедуры), то отверстие, а не высвобождение в фольге.

Одному из нас неоднократно приходилось в качестве технолога принимать участие в обсуждении норм проектирования многослойных печатных плат. Страсти накалялись, когда обсуждался размер вытравки на потенциальных слоях для изоляции (прохода) отверстий, то есть, по проф. Медведеву, размер перфорации. В таком понимании слово «перфорация» не было известно, и, как обычно, в ходе дискуссий рождались разные термины: вытравка под отверстие, вытравка в слое, изолятор отверстия, пятно для отверстия, клетка для отверстия. Более удачным нам представляется термин «изолятор отверстия». Он свободен от технологических ассоциаций (ведь необязательно медь будет удаляться травлением) и в то же время вы-

зывает богатые ассоциации, связанные с назначением данного понятия как чего-то исключаящего, ограничивающего. Изолятор как электротехническое понятие; изолятор как комната, ограничивающая перемещение; штрафной изолятор. На семинаре фирмы PCBtechnology, состоявшемся 3 декабря 2008 года, с трибуны прозвучал термин «антипад», он хорош по звучанию и по смыслу, но понятен только для тех, кто знаком с термином PAD. На производстве таких людей мало, он имеет хождение у специалистов, непосредственно связанных с разводкой плат.

Приведем новые термины и определения к ним, необходимые для понимания и применения вероятностных подходов на операциях совмещения:

- Модель отверстия — комплекс геометрических фигур, определяющих основные параметры совмещения сквозного металлизированного отверстия с элементами печатного монтажа. Модель включает в себя следующие элементы: мишень отверстия, мишень изолятора, звезда, спица, прицел. При построении модели все элементы выполняются в масштабе. Модель в графическом представлении позволяет понять характер смещения, количественные данные являются основой для корректировки рабочих файлов фотоплоттеров и сверлильных станков.
- Мишень контактной площадки — геометрическая интерпретация допустимого смещения центра отверстия относительно центра контактной площадки. Форма мишени эквидистантна форме контактной площадки. Если контактная площадка круглая, то диаметр мишени равен диаметру контактной площадки минус диаметр отверстия минус удвоенный гарантийный поясок. Позиционный допуск будет, соответственно, равен радиусу мишени.
- Мишень изолятора — геометрическая интерпретация допустимого смещения центра отверстия относительно центра изолятора отверстия. Форма мишени эквидистантна форме изолятора отверстия. Если форма изолятора круглая, то диаметр мишени изолятора равен диаметру изолятора минус диаметр отверстия минус удвоенный диэлектрический поясок. Позиционный допуск будет, соответственно, равен радиусу мишени.

- Звезда — изображение в ортогональной системе координат смещения отверстия относительно центра контактной площадки, измеренное непосредственно на плате.
- Спица — линия на модели между центром контактной площадки и центром наиболее удаленного отверстия.
- Прицел (ступица, желток) — геометрическая фигура в виде эллипса, построенная по данным звездного поля. Оси эллипса равны средней квадратической погрешности звездного поля по соответствующим осям. Центр эллипса совпадает с центром звездного поля. Если погрешности вдоль осей платы равны, то эллипс вырождается в круг.



Рисунок. Модель совмещения

Пример модели показан на рисунке. Данные мишеней взяты из таблицы 2 для платы с размером большей стороны в пределах от 180 до 360 мм применительно к третьему классу точности, а данные по звездному полю — из нашей статьи «Совмещение в технологии печатных плат» [3]. Численные значения в этой статье приведены в таблице 2 (графы «Без корректировки»), а соответствующее им изображение платы расположено на рис. 3 в [3].

Судя по рисунку и подписи к нему ясно, что прицел (желток, ступица) имеет слабо выраженную форму овала. Данные звездного поля, по которым рассчитывался прицел, были получены нами как псевдослучайные величины, и что получилось, то получилось. Должен был получиться круг, а сплющивание произошло, по-видимому, из-за малого объема звездного поля (8 точек). Наружная окружность — мишень изолятора отверстий диаметром 0,31 мм. Внутренняя окружность — мишень контактной площадки диаметром 0,26 мм. Красная линия — спица, длиной 0,116 мм. Желтый круг — прицел (желток):

- расположение центра по $X = 0,031$ мм, по $Y = 0,023$ мм;
- размеры по оси $X = 0,053$ мм, по $Y = 0,048$ мм.

Теперь вернемся к началу статьи, то есть к обсуждению размера перфорации, или изолятора отверстия. Споры возникали между разработчиком аппаратуры и технологом, конструктору было как-то все равно, что «нарисовать». Главное здесь — суммарная погрешность совмещения (допуск на точность позиционирования), которая определяет размер изолятора отверстия.

Для разработчика аппаратуры увеличение вытравки — это повышение волнового сопротивления и, следовательно, снижение быстродействия и помехоустойчивости, для технолога — это рост брака по коротким замыканиям. И может так получиться, что, если размер вытравки будет недостаточным, «пойдет» брак по коротким замыканиям между потенциальными слоями, а при недостаточной ширине сетки на потенциальных слоях и блок не настроишь. Поэтому технолог занимает позицию: любым способом выторговать увеличение размеров перфорации. Так же вынужден вести себя и разработчик аппаратуры, только он отстаивает диаметрально противоположную позицию. Компромисс, принятый в результате таких, с позволения

сказать, дебатов, весьма далек от совершенства. (В этом абзаце мы умышленно применили разные термины: пусть читатель выбирает, что ему ближе.)

При поверхностном подходе вполне может возникнуть вопрос: «О чем спор?» Подумаешь, бином Ньютона. Добавьте к диаметру сверла допуск на точность позиционирования (проф. Медведев приводит данные лучшего изготовителя печатных плат — 0,25 и 0,3 мм в зависимости от размера заготовки), затем двойную ширину необходимого изоляционного пояса для обеспечения электрической прочности, и вот тебе размер вытравки. Все это так, однако, дьявол кроется в деталях.

Теперь, прочитав статью профессора Медведева, мы знаем, что лучшие изготовители обеспечивают точность позиционирования 0,3 мм на заготовке 457×610 мм и 0,25 мм на заготовке 406×457 мм. А какая, спрашивается, точность у хороших изготовителей и у не совсем хороших, на что можно рассчитывать на заготовках меньшего размера? Естественно, искать ответ на такого рода вопросы следует в ГОСТ 23751 «Платы печатные. Основные параметры конструкции» [2]. Мы попытались рассчитать размер контактной площадки, ориентируясь на этот стандарт, и сразу же стало ясно, что это сложное, и можно сказать, гибкое дело. Приведенная в приложении формула расчета диаметра контактной площадки своей громоздкостью устрасила любого и, кроме того, содержит грубую ошибку: там складываются миллиметры с квадратными миллиметрами. То, что такая ошибка, вернее описка, не была исправлена, говорит о том, что приложением для расчета контактной площадки не пользовались. И потом, о каком рациональном проектировании можно говорить, если размерный ряд разбит всего на 3 интервала. В результате близкие по конструкции платы (с размером большей стороны 180 мм и шириной проводника 0,14 мм; 200 и 0,16 мм соответственно) по результатам расчета будут отличаться размером контактной площадки где-то на 0,2 мм.

Природа не любит скачков, и машиностроительный стандарт это учитывает: ряд от 1 до 500 мм разбит на 12 интервалов. Интервал в 180 мм чрезмерно велик, что делает стандарт грубым, особенно для плат малых размеров. Стандарт должен включать в себя размерный ряд плат тонкопленочной и толстопленочной технологий, так как печатные платы часто выступают их аналогами. Можно ожидать, что

платы таких размеров будут применяться как встроенные. Мы здесь не предлагаем детализировать размерный ряд и создавать в стандарте огромные таблицы, так как эффект будет тот же. С грубым и подслеповатым (не видит разницы между 60 и 180 мм, 182 и 358 мм и не различает всего, что больше 360 мм) не будут работать из-за его грубости, с подробным и точным — из-за его сложности.

Правильно будет рассматривать нормы проектирования по классам точности и размеры, установленные стандартом, как некие реперные точки, между которыми рассматриваемый параметр подчинен определенному закону. Такой подход, не нарушая духа стандарта, позволяет сделать его более эффективным и интересным. Реализовать это можно на основе прикладного программирования или, как говорят программисты, утилит. Если внести в стандарт дополнительно две точки, предположим 60 и 1000 мм, то появляется возможность в интервале от 60 до 1000 мм определять контактную площадку с незначительной дискретностью.

И еще два существенных замечания.

1. В стандарте почему-то для конкретной величины напряжения и конкретного диэлектрика приведена не минимально возможная величина диэлектрического промежутка, а некий диапазон от и до. «От» — понятно, при этом исключается пробы диэлектрика, а какой смысл в верхнем пределе? Ведь не возьмется же синим пламенем плата от увеличения диэлектрического промежутка. А искусственно введенная неопределенность только усложняет работу конструктора. Поэтому целесообразно при расчете просто игнорировать данные «до». А данным «от» имеет смысл присвоить термин «поясок напряжения».
2. Представляется ненужным иметь в стандарте в качестве параметров, определяющих класс точности (таблица 1 стандарта), гарантийный поясок «b» и отношение наименьшего металлизированного отверстия к толщине печатной платы “ γ ”. Если относительно гарантийного пояска еще можно рассуждать, то определение параметра “ γ ” в качестве критерия точности не иначе как иллюстрация половицы «в огороде бузина, а в Киеве дядька». Класс точности должен определяться только шириной проводника и зазора. Что касается гарантийного пояска, то его можно и нужно привязать к ширине проводника.

И потом, таблица 1 стандарта определяет не классы точности, а классы миниатюризации, классы точности в машиностроительных ГОСТах. Таблицы 2–6 стандарта приводят зависимость разных параметров платы от уровня миниатюризации, а не точности. Обеспечение ширины проводника — проблема фотолитографии, а не механики.

Профессор Медведев показал значение пояска как механического обруча, компенсирующего деформации, возникающие в процессе жизни платы, и, в первую очередь, при пайке, и как электрического проводника, обеспечивающего подачу электрического тока по всему периметру отверстия. На тему влияния гарантийного пояска на надежность межсоединения можно долго рассуждать и написать много фор-

мул, рассматривая различные ситуации по качеству металлизации, сдвигу отверстия и т. п. Мы считаем, что на эту тему не имеет смысла писать, лучше сберечь время читателя, так как все укладывается в следующие умозаключения:

- Гарантийный поясок проявляет свою положительную роль при некачественной металлизации.
- Увеличение минимальной ширины пояска сверх половины ширины проводника не дает заметного эффекта.

Руководствуясь принципом разумной достаточности, мы считаем целесообразным в расчетах предусматривать ширину пояска равной одной четвертой ширины проводника. Кстати, стандарт устанавливает ширину пояска с незначительными колебаниями на уровне одной третьей от ширины проводника.

При разработке программы возник вопрос, что делать с вышеизложенными замечаниями. С одной стороны, библейская поговорка поучает: «Не вливают вина молодого в меха ветхие», и можно было бы их учесть, ведь не боги горшки обжигают, а с другой стороны: стандарт есть стандарт — документ хоть и ветхий, но суровый и почтенный и требующий уважения. И чтобы не внести своей доли неразберихи или хотя бы уменьшить ее до минимума, мы решили разработать программы расчета на основании действующего стандарта. Допущены два отклонения, которые не противоречат духу и букве стандарта и в то же время существенно повышают его возможности. Внутри интервала 180–360 мм определение контактной площадки производится без дискрета, а классы устанавливаются с интервалом 0,1. Теперь на вопрос «В каком классе работаете?» может последовать ответ: «Три точка восемь» или, к примеру: «Четыре точка ноль».

По данным значений позиционных допусков расположения отверстий (таблица 4 стандарта) и позиционных допусков расположения центров контактных площадок (таблица 5 стандарта) был рассчитан допуск на позиционирование отверстия относительно контактной площадки для наружных слоев печатных плат (ОПП, ДПП, ГПК, МПП) и внутренних слоев МПП. Результаты расчета сведены в таблицу, по ним были разработаны программы расчета размера контактной площадки. Внимательный читатель заметит, что в таблице наибольшая разница по допускам для наружных слоев лежит между вторым и третьим классом. Эта тенденция «перекочевала» из таблицы 4 стандарта, нам трудно судить, какой смысл таится в этой аномалии, и мы ее приняли, как есть.

Пользуясь электронной версией данной статьи, читатель легко может определить диаметр контактной площадки на наружных и внутренних слоях **plocscadk.exe**; класс платы или заготовки, размер мишени **klass.exe**. Электронную версию статьи можно получить от авторов по электронной почте или скачать с www.niipлата.ru. В эффективности такого подхода можно убедиться, подсчитав размеры контактных площадок для близких по конструкции плат, к примеру, с размером большей стороны 180 мм и шириной проводника 0,14 мм и, соответственно, 200 и 0,16 мм. Разница в раз-

Таблица. Значение позиционного допуска расположения центров отверстий относительно контактных площадок для класса точности в зависимости от типа и размера платы в диаметральном выражении

Вид изделия	Размер печатной платы по большей стороне, мм	Значение позиционного допуска расположения центров отверстий относительно контактных площадок (мм), для класса точности				
		1	2	3	4	5
ОПП, ДПП, ГПК, МПП (наружный слой)	До 180 включений	0,48	0,35	0,2	0,13	0,08
	Свыше 180 и до 360 включений	0–56	0,43	0,26	0,20	0,14
	Свыше 360 включений	0,64	0,52	0,35	0,26	0,20
МПП (внутренний слой)	До 180 включений	0,52	0,39	0,25	0,18	0,13
	Свыше 180 и до 360 включений	0,61	0,48	0,31	0,25	0,20
	Свыше 360 включений	0,69	0,56	0,39	0,31	0,26

мерах контактных площадок, вместо ожидаемой по расчету где-то около 0,2 мм, составляет по программе всего 0,04 мм. И еще пример. На семинаре, состоявшемся 3 декабря 2008 г. (организатор — фирма PCBtechnology) представители фирмы Cistelaier (Италия) сообщили о сложной конструкции многослойной платы длиной 280 мм, с диаметром контактной площадки 0,48 мм и сквозным отверстием диаметром 0,2 мм. Так вот, эти требования по совмещению соответствуют классу 3,9, а диаметр мишени равен 0,174 мм.

Очевидно, что изолятор отверстия (размер перфорации) должен определяться увеличением диаметра контактной площадки внутреннего слоя на величину пояска напряжения, и об этом пишет профессор Медведев. Однако здесь имеется нюанс, который трудно игнорировать. Дело в том, что выход сверла за пределы контактной площадки на двусторонней и многослойной плате сопровождается для технолога разным размером бедствия.

Представим, что на двусторонней плате, имеющей 1000 отверстий, два из них вышли за пределы контактной площадки, разорвав гарантийный поясок. Во-первых, эти два отверстия еще нужно обнаружить. Во-вторых, можно с заказчиком при сдаче договориться. В-третьих, что самое главное, при нормальной металлизации потенциальная надежность и «живучесть» этой платы практически не уменьшатся, даже если отверстие «наехало» на проводник. И, в конце концов, с точки зрения надежности ничего не пострадает, если отверстия не монтажные и «уехали» в сторону от проводника. В случае многослойной платы все хуже: возникли две зоны, где с большой вероятностью произойдет электрический пробой, если там еще нет короткого замыкания. То есть, если в двусторонней плате мы имеем незначительное снижение живучести, то в многослойной — явный брак: замыкание между потенциальными слоями. Поэтому целесообразно ввести в обиход еще один термин — «поясок недоверия». Размеры пояска недоверия целесообразно установить в пределах 0–0,30 мм, а конкретную его величину выбирать в зависимости от достоверности знаний на предприятии по точности совмещения и требованиям к плате со стороны главного конструктора. Ведь он может поставить вопрос так: «На тысячи плат в изделии у меня одна такая, и вы уж постарайтесь ее сделать с пояском или без пояска, хоть методом отбора или перебора, но я ее жду». Поясок недоверия увеличивает мишень и контактную площадку, а поясок напряжения — только контактную площадку.

Термины легче усваиваются, если они вызывают в нашем сознании яркие ассоциации, и

недаром прижилось в печатных платах: длинна по Манхеттену, собачья кость, крысиная нора, слепое отверстие и т. д. Возможно, пояску недоверия поможет утвердиться в сознании следующая история. В средние века рыцарь, отправляясь на завоевание «палестин», дабы не сомневаться в верности своей возлюбленной, замыкал на ней металлический пояс (пояс недоверия), а ключ увозил с собой.

Счастье, как известно, зависит от соотношения наших возможностей и потребностей, и если они совпадают, наступает состояние покоя. Технологу покой этот только снится. Если идет брак, он мечется в поисках его причины, проверяет оснастку, фотошаблоны, разрабатывает мероприятия, бегаёт по совещаниям, где ему объясняют, что он не сделал и как надо работать, и как оно, начальство, поступало в бытность на его месте. Если брака нет, то надо думать, что начальник уже вынашивает идею увеличения заготовки, конструкторы рисуют блок с платами следующего поколения, директор договаривается о новом, более сложном заказе. При этом от технолога все ждут жизнеутверждающего «будет сделано». А для него это напоминает игру, когда человека отводят на несколько шагов от пропасти, завязывают глаза, разворачивают, и он должен как можно ближе подойти к ее краю. При этом все считают его шаги, убеждают еще шагнуть, мол, до пропасти далеко. А ему и страшно, и хочется последовать советам.

Поэтому очень важно знать возможности своего производства по совмещению в объективном численном выражении. Все эти данные имеются в модели. Рассчитать и построить модель гораздо проще, чем может показаться на первый взгляд. Компьютер позволяет производить все расчеты, принимать решение и, при необходимости, корректировать рабочие файлы фотоплоттеров и сверлильных станков, не обременяя технолога. Самое трудоемкое здесь — измерения. Это, пожалуй, тема отдельной статьи, а сейчас отметим, что для снижения трудоемкости и исключения ошибок необходимо иметь возможность проводить автоматизированные измерения. Для этого вполне пригоден измерительный микроскоп с микрометрическими винтами, соединенный с компьютером.

Представим, что мы каким-то образом получили данные по смещению отверстий относительно контактных площадок, расположенных в технологическом поле заготовки, и эти данные поместили в файл **isd.txt** (исходные данные). Построить модель по ним (это координаты звездного поля) весьма просто по программе **modelt.exe**. Читатель может увидеть, как реагирует программа на изменение исходных данных.

Для этого необходимо вызвать файл `isd.txt`, в котором хранится информация, и изменить в нем данные. Следует иметь в виду, что файл может быть закрыт текстом данной статьи.

Обращение к читателю. В настоящее время мы не можем научить программу `modelt` делать прогнозное заключение о выходе годных по совмещению и выдавать технологические рекомендации. Чтобы дать действительно обоснованные рекомендации, необходимо иметь представление о законе распределения погрешности. Получить нужные данные во время работы в НИИДАРе мы не успели, поэтому есть необходимость сотрудничества с действующим производством печатных плат.

Значительно проще провести по данным модели корректировку (исправление) программы сверления. Далее мы приводим пример работы программы `korrekt.exe`, она с незначительной доработкой, учитывающей систему базирования, принята на предприятии, и порядок получения замеров можно использовать в производстве двусторонних плат. При запуске программы читатель должен ввести размеры заготовки, эти данные воспринимаются программой как часть измерений. Программа смещает начало сверления и корректирует координаты каждого отверстия с учетом их расположения на заготовке. В этом читатель может убедиться, сравнив исходный (`sverl.txt`) и исправленный (`sverli.txt`) файлы сверления. С многослойными платами дело несколько сложнее, зато здесь и эффект больше.

Технико-экономический эффект данного подхода настолько очевиден, что об этом даже неинтересно говорить. Богатые и бедные предприятия при изготовлении сложных плат вы-

равнивают свои возможности, для многих упадет необходимость в приобретении импортного оборудования, окупаемость которого могла наступить только в следующем столетии. «Физические» операции разбиваются на простые и привычные, а измерения, статистику, принятие решения, корректировку программы сверления и, при необходимости, фотоплоттера выполняет программа. Что необходимо позаимствовать, так это операцию скрепления слоев перед прессованием (бондирование).

Программы по повышению точности совмещения целесообразно устанавливать непосредственно на производственном участке, они являются рабочим инструментом технолога или даже оператора. Может, даже и лучше будет, если специалисты, которые обрабатывают `rcb`-файлы, не будут об этом знать. Мощность компьютера в нашем случае практически не имеет значения, более того, работа под ДОСом даже предпочтительнее.

С благодарностью воспримем замечания читателей, так как они всегда высвечивают проблему под другим углом, а ясность приходит только при всестороннем рассмотрении. ■■■

Литература

1. Медведев А., Арсентьев С. Анатомия сквозного металлизированного отверстия // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.
2. ГОСТ 23751. Платы печатные. Основные параметры конструкции.
3. Сергеев В., Ливерко А. Совмещение в технологии печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 6, 7.