

Окончание. Начало в № 12'2015

Юрий ЁЛШИН

Некоторые проблемы оптимизации выполнения проектов печатных плат в P-CAD 200x

Посадочные места для компонента со сквозными выводами (THD)

Устройства со сквозными отверстиями составляют две категории: с аксиальными или радиальными выводами. Пример конденсатора с радиальными выводами приведен на рис. 15. Проект ПМ для этого типа устройства жестко определяется конструкцией компонента. Совершенно ясно, что КП должна быть установлена так же, как она реально выполнена относительно корпуса. Эти устройства имеют матрицу выводов аналогично транзисторам в корпусах TO220 и TO92. Единственным переменным параметром для таких контактных площадок может быть их диаметр. Проект стека КП описан ниже.

ПМ компонентов с аксиальными выводами существенно отличаются от устройств с радиальными, но стандарт IPC (IPC-CM-770, секция 11.1.8, стр. 67) и другие источники в литературе содержат общие требования к проекту ПМ. На рис. 16 показаны проектные параметры для аксиального компонента (в нашем случае карбоновый резистор). Размещение КП зависит от длины корпуса и положения ряда выводов (для сформированных выводов).

Минимальное требуемое расстояние между КП вычисляется по формуле:

$$L_P = L_B + 2(R + L_A), \quad (3)$$

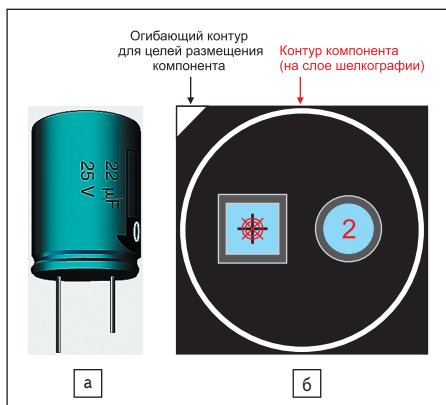


Рис. 15. Устройства со сквозными выводами: а) конденсатор с аксиальными выводами; б) аксиальное ПМ в редакторе РСВ

Таблица 7. Допустимые радиусы изгиба и длины ножек

D_L , мил	R , мил	L_A , мил
$D_L < 31$	$1 \times D_L$	31
$31 \leq D_L \leq 47$	$1,5 \times D_L$	D_L
$D_L > 47$	$2 \times D_L$	D_L

где L_P — расстояние между центрами КП; L_B — длина корпуса, R — норма радиуса изгиба (считана из табл. 7), L_A — длина расширения ножки от конца корпуса до начала изгиба (считана из таблицы 7). Отметим, что R и L_A зависят от диаметра вывода, D_L и L_E являются суммой L_A и R . Расчеты по конструкции КП описаны ниже. После вычисления минимальных расстояний для контактной площадки она должна быть помещена в ближайшую точку стандартной сетки, которая описана в руководствах по размещению компонентов и их ориентации. Как правило, используется сетка в 100 мил. Общая длина выводов не должна превосходить 1" (25 мм) до тех пор, пока компонент не смонтирован.

Проектирование КП для устройств со сквозными выводами

Самой большой сложностью при изготовлении РСВ является металлизация сквозных отверстий. Это связано с появлением ошибок установки, соотношением толщины платы и диаметра металлизированного отверстия (аспект соотношения), с металлизацией и т. п. Вероятность возникновения проблем обусловлена нарушением расположения но-

жек по кругу, при их искривлении и отрыве при значительном нагреве и повторяющихся процессах пайки (установка и ремонт). Но если следовать стандартам и руководствам по изготовлению, тогда, как правило, количество ошибок уменьшается. При проектировании КП для THD-компонентов мы должны учитывать отношение диаметра вывода к размеру сквозного отверстия, отношения диаметра отверстия и толщины ПП, ширину металлизированного кольца вокруг отверстия (ободок), зазор на пленочных слоях от КП и возможности изготовителя платы. Стандарты Coombs [5] и IPC используются здесь для определения процесса создания сквозных КП в редакторе РСВ. Размер металлизации вокруг отверстия должен быть достаточным, чтобы ножка могла легко войти в отверстие, но в то же время создавать препятствие для возникновения капиллярного эффекта при операциях пайки. Имеется два способа определения размера отверстия относительно диаметра ножки (вывода), которая будет запаена в нем. Первый метод — выполняется как комбинация IPC-2221A (секция 9.3.1, стр. 74) и Coombs (секция 42.2.1, стр. 42.3). Этот метод принимает в расчет толщину металлизации (либо заданную, либо известную) и позволяет конструктору определять допустимый фактор. Этот метод использует зазор между ножкой и отверстием, который варьируется вместе с диаметром вывода. Диаметр отверстия вычисляется по формуле:

$$D_H = (D_L + 2T_p) \times k, \quad (4)$$

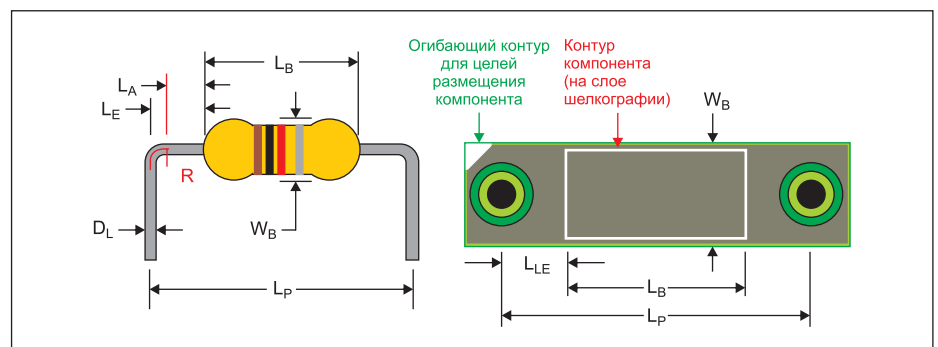


Рис. 16. Параметры ПМ для аксиальных выводов компонентов

Таблица 8. Соотношение размеров отверстия/вывод для различных уровней изготовления

Размер отверстия	Уровень* А		Уровень В		Уровень С	
	мил	мм	мил	мм	мил	мм
Минимум = минимальный диаметр вывода +	10	0,25	8	0,2	6	0,15
Максимум = максимальный диаметр вывода +	28	0,7	28	0,7	24	0,6

Примечание. *Уровень точности печатной платы.

где D_H является диаметром просверленного отверстия в Padstack Designer, D_L — диаметр ножки (из чертежа компонента или измеренный), T_p — толщина металлизации внутри отверстия (если неизвестно, примите равной 1 мил) и k — заданный пользователем фактор допуска, который имеет диапазон 1,05–3 (обычно рекомендуется 1,5). В качестве примера возьмем диаметр вывода компонента равным 32 мил (D_L), тогда диаметр отверстия будет $D_H = (32+2 \times 1) \times 1,5 = 51$ мил. За исключением переменной k этот метод точен и легок в применении. Однако если диаметр вывода становится больше, зазор между выводом и отверстием расширяется, и в некоторой точке зазор становится слишком широким для реализации операций капиллярности в данном месте. Точка, в которой это проявляется, недостаточно хорошо отражена в литературе. Второй метод предусматривает наведение справки в таблице 8, где размер сквозного отверстия зависит от диаметра ножки и требуемого класса точности А, В или С (взято из IPC-2222, таблица 8-3, стр. 20). При использовании этого метода в приведенном примере, такого же диаметра вывода в 32 мил и указанного в чертеже допуска 10% от размера вывода получим максимальный диаметр 32,5 мил и минимальный 28,8 мил. Если мы примем уровень точности А, тогда диаметр отверстия должен находиться между 45,2 (35,2+10) и 56,8 (28,6+28).

В Интернете вы сможете обнаружить и другие алгоритмы вычисления подходящих отношений вывод/отверстие. Какой метод выбрать — решать вам. Два описанных здесь метода заимствованы из стандартов IPC и других источников, но они не являются единственно возможными вариантами.

Размер ободка для КП

После вычисления отверстия для сверления выполняется следующий шаг — определение диаметра КП (часто называемый land — «контактная площадка»). Разницу между диаметром вывода и диаметром отверстия именуют ободком. Это медная зона, где припойное место соединяется с ножкой компонента. Большой диаметр КП требует и большего ободка, но до определенного предела. Чересчур крупная КП не обязательно должна иметь большой ободок — это лишь

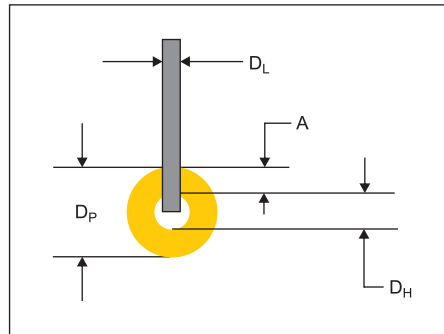


Рис. 17. Параметры проекта сквозной КП

Таблица 9. Требования к кольцеобразным ободкам при внутренних и внешних расположениях

	Внутренний	Внешний
мил	1	2
мм	0,025	0,05

Таблица 10. Стандартные варианты при реализации проектов со сквозными выводами

	Уровень А	Уровень В	Уровень С
мил	16	10	8
мм	0,4	0,25	0,2

увеличит количество тепла, требуемого для пайки. Слишком маленькая КП может получить очень слабый ободок, в результате КП способна легко деформироваться при тепловых или механических стрессах и оторваться. Диаметр КП, рекомендуемый IPC (IPC-2221A, стр. 73), вычисляется по формуле 5:

$$D_p = a + 2b + c, \quad (5)$$

где D_p — диаметр КП (рис. 17), a — окончательный размер отверстия ($a = D_H - 2T_p$ из рис. 17), b — минимальный ободок, требуемый по данным из таблицы 9 (IPC-2221A, таблица 8-1), c — стандартная норма на изготовление из таблицы 10 (IPC-2221A, таблица 8-2).

Зазор между слоем плейна и сквозной КП

Металлизированные отверстия компонентов (КП), переходные отверстия для

перехода трассы со слоя на слой часто именуют переходными отверстиями, ПО. Они имеют ободки на всех слоях (даже когда не подключены ни к чему на этих слоях), называемые нефункциональными ободками (nonfunctional lands). IPC-2222 (секция 9.4.1, стр. 18) устанавливает, что эти элементы КП должны использоваться на внутренних слоях платы, когда это возможно, но ободки не нужны на каждом слое, если плата содержит более 10 слоев, а также они не требуются на плейнах. Когда ПО или металлизированная КП проходит через слой плейна, то между ним и металлизированным отверстием необходим минимальный зазор. Это следует учитывать, если ободок не предусмотрен нормой изготовления, чтобы минимизировать подсос припоя при выполнении металлизации в ламинат из сквозного отверстия (что приводит к коротким внутренним замыканиям на внутреннем плейновом слое), а также для соблюдения требований электрической изоляции.

IPC-2221A (секция 6.3.1, стр. 42) утверждает, что требования зазора между трассами относятся к зазору между краем плейна и отверстием или его ободком. Более того, IPC-2222 (стр. 17, рис. 8) предполагает минимальный зазор между краем плейна и краем внутреннего ободка, или сквозное отверстие должно быть не менее 0,25 мм, то есть диаметр зазора должен быть на 0,51 мм больше, чем диаметр отверстия.

Обычно КП в редакторе PCB не содержит ободок на слое плейна, поэтому зазор диаметра должен быть на 0,51 мм больше диаметра сверления (например, край плейна должен отстоять на 10 мил от края бочонка металлизированного отверстия). КП, которая не соответствует этим нормам, может стать проблемой при изготовлении или при работе платы.

Если используются КП, вычисленная по формуле (5), и минимальный зазор между отверстием и плейном, то диаметр зазора будет на несколько мил больше, чем ободок. Если ободок больше диаметра зазора, то может наблюдаться перекрытие ободка и слоя плейна, как это показано на рис. 18, даже если зазор (размер d) соответствует IPC-стандарту. Следует избегать подобной ситуа-

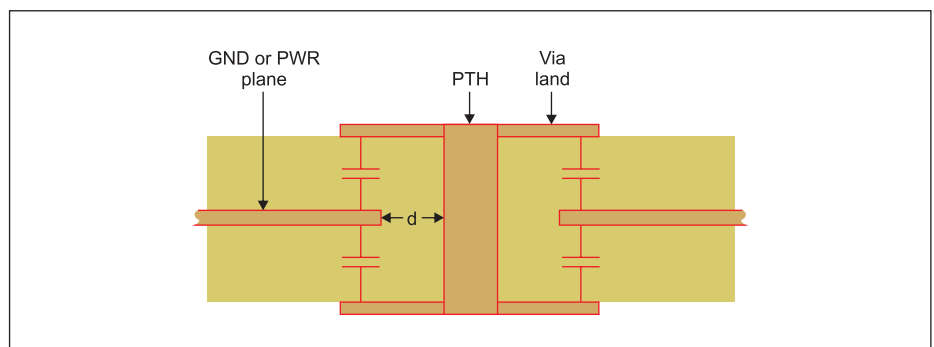


Рис. 18. Сквозная КП или ДСО с перекрытием ободка и плейна

ции, поскольку в этом случае возникает двойная емкость между КП и плейном, который способен изменить характеристики импеданса трассы и вызвать проблемы перекрестных искажений на высоких частотах. Характеристический импеданс детально здесь не описан.

Другой важный фактор состоит в том, что диаметр зазора не должен превышать необходимый размер, так как большая щель в «земле» плейна (путь возврата тока) способна оказывать влияние на работу платы, а при наличии нескольких тесно расположенных выводов (как в соединителях) могут возникнуть проблемы в высокоскоростных аналоговых или цифровых цепях, когда сигнальные проводники проходят между выводами. Это заставит возвратные сигналы обходить открытую щель в «земляном» плейне и увеличит индуктивность цепи. Петлевая индуктивность и «земляной» плейн рассмотрены в [4].

Размеры маски пайки и пасты для пайки

Для защиты поверхности платы и медных участков, не подлежащих лужению, на плату наносится паяльная маска — электроизоляционное нагревостойкое покрытие. Существует несколько типов масок и методов их нанесения. Если применяется фоточувствительная композиция — жидкая и пленочная, то маска наносится и обрабатывается методами фотолитографии, то есть теми же способами, что и фоторезист. Этот процесс обеспечивает высокую точность совмещения. Способ трафаретной печати не обеспечивает подобной точности, но предпочтителен в массовом производстве.

Открытая маска пайки обычно больше, чем диаметр КП в Padstack Designer. Изготовители платы иногда требуют определенного перекрытия маской КП (5 мил и не меньше). Если они автоматически не уточняют для вас этот размер, то перед созданием шаблона платы вам придется модифицировать маску. Маски пайки обычно имеют тот же самый размер, что и внешний ободок на слоях TOP и BOTTOM. Большинство редакторов ПМ для PCB, которые поставляются библиотекой по умолчанию, не задают размеры маски для пайки. Если же вы нуждаетесь в задании маски для пайки, убедитесь, что они должным образом специфицированы для нужд вашей специфической сборки (монтажа компонентов).

Не закрытые маской участки меди (монтажные отверстия, контактные площадки) облуживаются горячим припоем методом погружения. Чтобы не оставлять на плате натеков припоя и освободить отверстия от припоя, при изъятии из ванны плата облуживается горячими «воздушными ножами». Кроме сдувания излишков «воздушные ножи» выравнивают припой на поверхностях контактных площадок и монтажных отверстий. Теперь плата готова для заключительных этапов: нанесения надписей (трафаретная печать или фотолитография), обрезки по контуру, тестирования и упаковки.

Требования к совмещению фотошаблонов маски ниже, чем к фотошаблонам топологии, поэтому окна вскрытия должны быть шире контактных площадок. Это нужно учитывать при создании компонентов, особенно в САПР, где данный параметр задается непосредственно в компоненте (например, ORCAD). Как правило, размер вскрытия указывается на 0,2 мм больше размера контактной площадки. Следует также отметить, что разрешение (мостики из материала маски) маски составляет не менее 0,1 мм, и это нужно учитывать для компонентов с шагом выводов 0,5 мм. Необходимо подчеркнуть и то, что паяльная маска не должна играть роль диэлектрика, поскольку никаких сведений о напряжениях пробоя производитель не указывает, то есть диэлектрические параметры не нормируются.

Символы засветки для термальных рельефов

Термальные рельефы используют, чтобы препятствовать прохождению теплового потока от металлизированных отверстий к медному плейну, к которому они подключаются в процессе пайки. На рис. 19а показано, как это происходит. КП, принадлежащая к типу металлизированных, подсоединяется к большому плейну с помощью спиц. Между спицами (или между КП и плейном) находятся пустые

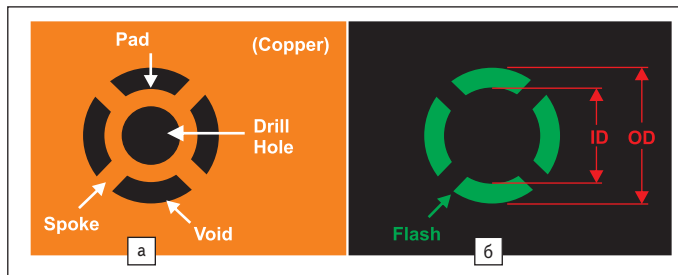


Рис. 19. Термальный рельеф и его флэш-символ:
а) медный плейн; б) флэш-символ в негативном исполнении

участки, где медь отсутствует. Спицы обеспечивают электрическую связность, в то время как пустоты создают барьер для теплового потока. Символы засветки (флэш-символы) используются для задания пустот на слоях негативных плейнов. На рис. 19б изображен флэш-символ в негативном виде.

Рельфные термальные соединения между металлизированными сквозными отверстиями и зонами позитивных плейнов автоматически создаются редактором PCB, поэтому для позитивных слоев нет необходимости их определять. Внутренний диаметр (ID) термального рельефа задается равным диаметру КП, в то время как внешний диаметр определяется диаметром (термальным рельефом) окружности в наборе параметров КП, установленных в Padstack Designer. Спицы генерируются при проектировании платы в редакторе PCB, используя трассы со спецификациями, заданными в диалоге при задании формирования плейнов в P-CAD. Реализация термальных рельефов для негативных плейнов является отдельной темой. Припомним, что на негативных плейновых слоях термальные рельефы генерируются посредством создания флэш-символов (показаны на рис. 19б), определяющих пустые области. После того как термальный флэш-символ подключен к КП, редактор PCB интерпретирует это и создает позитивный вид, который отвечает принципу «что вы видите, то и получаете» (WYSIWYG) и отображается в процессе проектирования платы. При создании производственного фотошаблона негативные плейны и флэш-символы обрабатываются как негативные Gerber-изображения.

Большинство КП, содержащихся в символьных библиотеках, не имеют присвоенных им флэшей. В процессе проектирования платы флэши необходимо привязать к стеку КП, когда возникает такая необходимость. Если вы создаете свои собственные ПМ и КП, то можете следовать той же практике или присоединять флэши немедленно. В любом случае вам надо знать, как создавать флэш-символы.

Крепежные отверстия

Один из важных механических символов, которые вам понадобятся, — это крепежные отверстия. Их можно использовать для прикрепления PCB к блоку или для присоединения других изделий к PCB, например, таких как радиатор. Четыре основных типа отверстий показаны на рис. 20; в эти отверстия могут быть заделаны КП для заземления с металлизацией или без нее, а также любая их комбинация. Крепежные отверстия, которые нужно металлизировать, можно присоединять к цепи или изолировать от всех цепей. Когда крепежные отверстия присоединены к цепи, подключенной к плейновому слою, такое отверстие может быть подключено к плейну через термальный рельеф или сплошным подключением, подобно любому другому металлу через отверстие. Если крепежное отверстие подключено к цепи, это следует отразить в схематике, используя схемные компоненты с подключенными КП подходящего типа. Если же крепежные отверстия не подключены к цепи, они не содержатся в схематике, а добавляются на плату в редакторе PCB. Некоторые проектировщики не терпят подключенные крепежные отверстия в схематике, их можно добавить на плату только в редакторе PCB. Но, по мнению автора, это «грязный» путь, так как вы получите от DRC ошибки перекрытия и вам

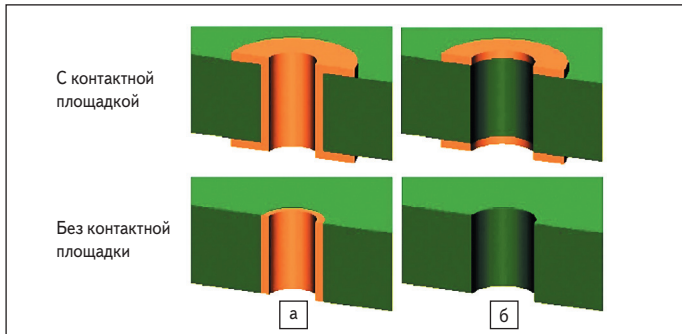


Рис. 20. Базисные типы отверстий: а) металлизированные; б) неметаллизированные

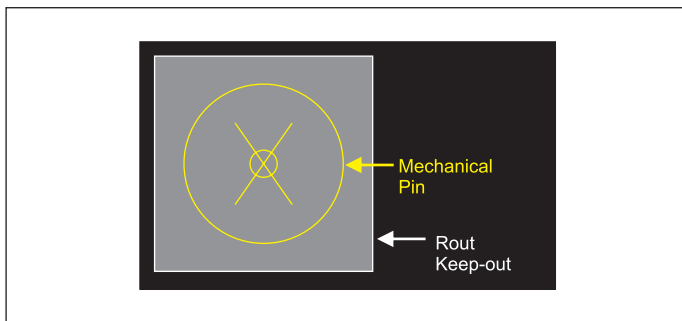


Рис. 21. Механический пин — крепежное отверстие

понадобится последующее подключение к цепи, так как это часть цепи и необходимый элемент схемотехники (или только для целей документирования).

Редактор РСВ содержит несколько символов крепежных отверстий, которые имеют имя МНХХХ, где ХХХ указывает диаметр отверстия в миллиметрах. Они представляют собой неметаллизированные отверстия без заземления (без КП). Стандарт IPC называет их отверстиями без поддержки. Крепежное отверстие МН125.drg показано на рис. 21. Чертеж содержит КП Rad125 и запретную зону для трассировки. Таким образом, КП Rad125 является скорее механическим пином, чем проводящим.

Ширина трасс и зазоров

Обычно для большинства небольших сигнальных приложений можно использовать стандартные технологические файлы. На рис. 22 показана минимальная ширина трассы для меди толщиной в одну унцию (35 мкм) и внешнего медного покрытия при температуре 10 °С. При ширине трассы 6 мил (около 0,15 мм) вы можете пропускать ток около 300 мА на внутренних слоях и около 600 мА на внешних трассах, но по соображениям производства и надежности они должны быть более широкими. Обычно в прикладном смысле трассы для силовых цепей должны быть шире.

На рис. 22 приведены номограммы для выбора ширины проводников при превышении температуры нагрева на +10 °С.

Ниже приведены номограммы выбора ширины и толщины проводников в зависимости от силы тока и допустимого перегрева для внешних и внутренних слоев печатной платы.

Кривые в верхней части номограмм отображают повышение температуры на проводнике. Существуют также электронные калькуляторы, наиболее удобный из них находится по адресу: www.circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator.

Ширина трассы зависит от трех проектных соображений. Первое — учет ресурсов производителя вашей платы. Трассы должны быть шире минимально возможных для изготовителя. Вторым соображением является допустимый ток, а третьим — импеданс. В соответствии с описанием кратковременная токовая нагрузка

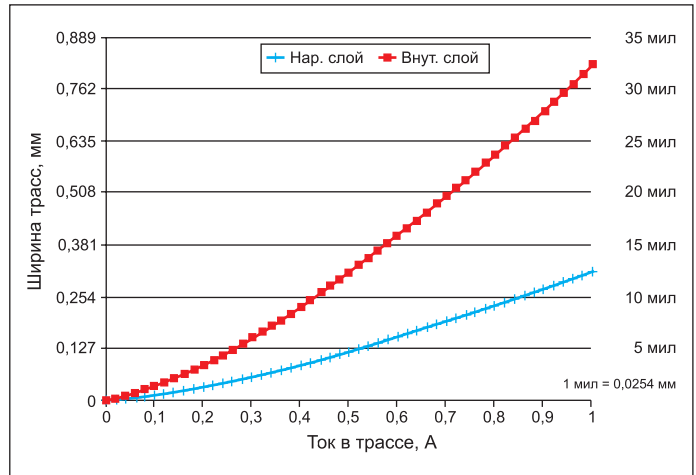


Рис. 22. Минимальная ширина трассы для меди весом 1 унция (толщина трассы 35 мкм) для $\Delta T = +10\text{ }^\circ\text{C}$

для 741 операционного усилителя составляет 64 мА. Если мы используем безопасный уровень, скажем, 100 мА при толщине меди 35 мкм, тогда минимальной шириной трассы будет 1,3 мил для внутренних слоев и 0,5 мил — для внешних. Необходимо обратить внимание, что авторство номограмм неизвестно (рис. 23, 24)!

Из таблиц 11–13 можно увидеть, что с трассой в 6 мил нагрузка составит около 300 мА для внутренних трасс и около 600 мА — для внешних. Так что значение по умолчанию 5 мил адекватно для большинства малосигнальных приложений. Однако выбор ширины так же должен быть допустимым для изготовителя. Для многих фирм-изготовителей является достаточным диапазон 5 мил, а потому мы выберем данную ширину. Для этого примера мы установили, что все сигналы являются низкочастотными ($\leq 20\text{ кГц}$), соответственно, импеданс трассы мы не затрагиваем.

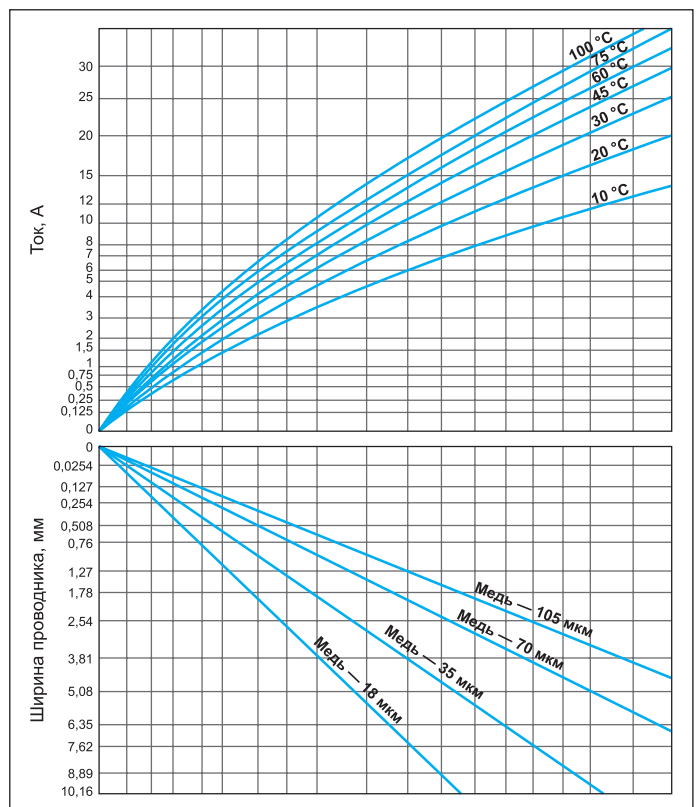


Рис. 23. Номограмма для внешних слоев

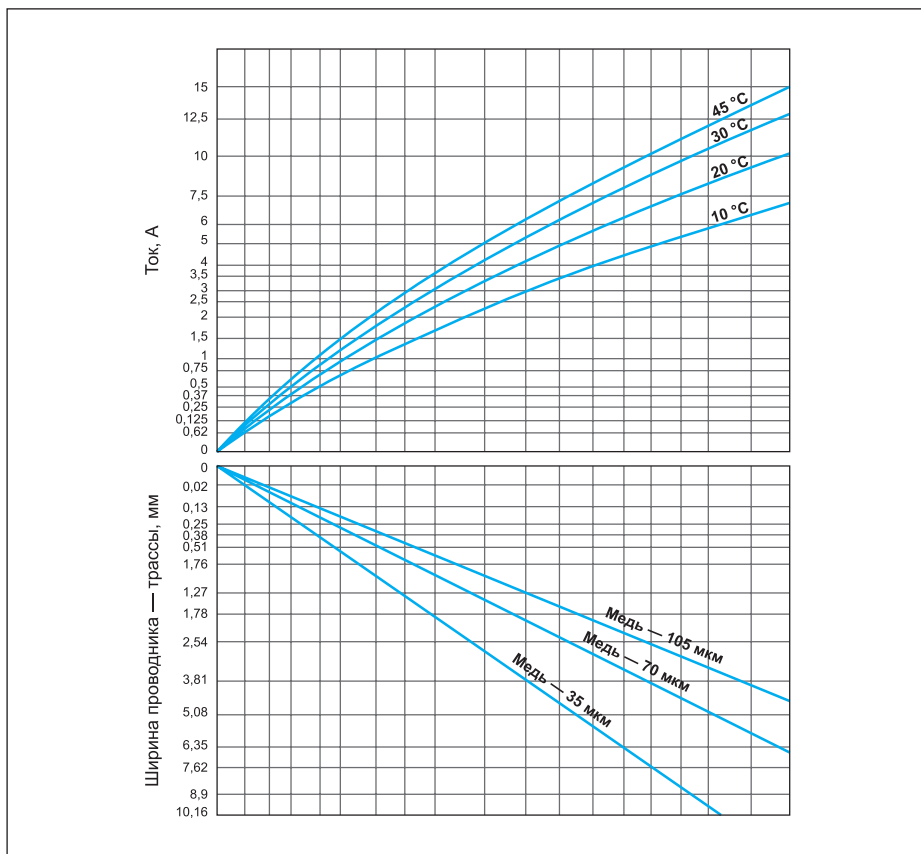


Рис. 24. Номограмма для внутренних слоев

Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП (кроме внешних слоев) или на одном из внутренних слоев, приведены в таблице 11.

Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП, при наличии нормальных внешних воздействующих факторов, приведены в таблице 12.

Проблемы изготовления плат

Печатные платы, изготавливаемые методом металлизации сквозных отверстий, несмотря на их широчайшее применение, обладают очень серьезным недостатком. С конструктивной точки зрения самое слабое звено таких печатных плат — места соединения металлизированных столбиков в переходных отверстиях и проводящих слоев (контактных площадок). Соединение металлизированного столбика и проводящего слоя идет по торцу контактной площадки. Длина соединения определяется толщиной медной фольги и обычно составляет 35 мкм и менее. Гальванической металлизации стенок переходных отверстий предшествует стадия химической металлизации. Химическая медь в отличие от гальванической меди более рыхлая. Поэтому соединение металлизированного столбика с торцевой поверхностью контактной площадки происходит через

промежуточный, более слабый по прочностным характеристикам подслои химической меди. Коэффициент термического расширения стеклотекстолита гораздо больше, чем у меди. При переходе через температуру стеклования эпоксидной смолы разница резко возрастает. При термических ударах, которые по самым разным причинам испытывает печатная плата, она подвергается очень большим механическим нагрузкам и... рвется. Как следствие, разрывается электрическая цепь и нарушается работоспособность электрической схемы. Частично решить эту проблему удалось при технологии изготовления многослойных печатных плат методом послойного наращивания. Однако металлизированные отверстия могут быть слабым звеном печатных плат по другой причине. Толщина покрытия стенок переходных отверстий в идеале должна быть равномерной по всей их высоте. Иначе вновь возникают проблемы с надежностью. Физикохимия процессов нанесения гальванических покрытий противодействует этому. Идеальный и реальный профиль покрытия в металлизированных переходных отверстиях приведены на рис. 25. Толщина покрытия в глубине отверстия обычно меньше, чем у поверхности. Причина может быть самой разной: неравномерная плотность тока, катодная поляризация, недостаточная скорость обмена электролита и т. д. В современных печатных платах диаметр металлизированных переходных

Таблица 11. Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП (кроме внешних слоев) или на одном из внутренних слоев

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В
От 0,1 до 0,2 включительно	25
Свыше 0,2 до 0,3	50
0,3–0,4	100
0,4–0,5	200
0,5–0,75	350
0,75–1,5	500
1,5–2,5	650

Таблица 12. Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП, при наличии нормальных внешних воздействующих факторов

Расстояния между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	Внешние воздействующие факторы. Пониженное атмосферное давление
От 0,1 до 0,2 включительно	25	10
Свыше 0,2 до 0,3	50	30
0,3–0,4	150	50
0,4–0,5	300	80
0,7–1,2	400	100
1,2–2	600	130
2–3,5	830	160
3,5–5	1160	210
5–7,5	1500	250
7,5–10	2000	300
10–15	2300	310

Таблица 13. Зависимость минимального зазора и проводника от толщины фольги

Фольга, мкм	Проводник и зазор на внутренних слоях, мм	Проводник и зазор на внешних слоях, мм
9	0,05	0,076
18	0,075	0,1
35	0,1	0,15
70	0,2	0,25
100	0,3	0,35
150	0,45	0,5
200	0,6	0,7

Примечание. На внешних слоях платы при металлизации отверстий наращивается дополнительный слой меди толщиной 18–35 мкм.

отверстий уже перешагнул отметку 100 мкм, а соотношение высоты к диаметру отверстия в отдельных случаях достигает 20:1.

Не вдаваясь далее в технологические способы борьбы с этой проблемой, отметим, что один из главных вариантов ее решения — существенное уменьшение количества переходных отверстий. Именно такой вариант существует в САПР TороR, позволяющая задавать подобные требования к трассировщику на его базе, которые ведут к значительному сокращению числа переходных отверстий на печатной плате.

Анализ изготовителей печатных плат в Российской Федерации показывает, что более 50% конструкторов выполняют проекты

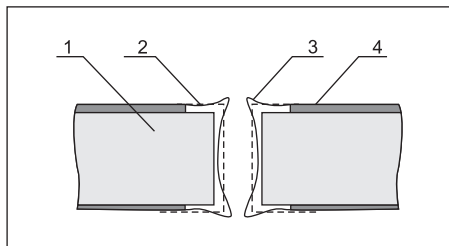


Рис. 25. Сечение металлируемого переходного отверстия в печатной плате:

- 1 — диэлектрик;
- 2 — идеальный профиль металлизации стенок отверстия;
- 3 — реальный профиль металлизации стенок отверстия;
- 4 — резист

в P-CAD 200x. А потому остановимся на распространенных ошибках, допускаемых разработчиками в этой САПР.

1. Настоятельно рекомендуем полигоны топологии (фольги) задавать командой PLACE-COPPER POUR, а не PLACE-POLYGON. Команда POLYGON, по-видимому, не предназначена для рисования сложных фигур, и в ситуации, когда вершины располагаются близко друг к другу, при экспорте в Gerber-формат такой полигон игнорируется. Эта проблема решается уменьшением апертуры (хотя есть примеры, когда и это не помогает), но влечет увеличение объема САМ-файла, что затрудняет работу с ним. С технологической точки зрения также рекомендуется зазор между COPPER POUR и элементами топологии задавать на класс ниже (для 3-го класса Backoff-Fixed = 0,5 мм) — это связано с тем, что в узких местах образуется застой травильного раствора, что снижает скорость травления и, как следствие, возможно замыкание или повышенный подтрав остальной части топологии.
2. Если приходится создавать собственную библиотеку или обращаться к чужой, то как минимум просматривайте свойства незнакомого компонента. Поясним. В P-CAD есть два типа предварительно созданных (Default) контактных площадок: PAD (отверстие 0,965 мм и площадка 1,52 мм) и Via (отверстие 0,457 мм и площадка 1,02 мм). Получить отверстие с такой точностью нельзя. Если с переходным отверстием можно поступить просто, уменьшив его до 0,4 мм (хотя и это не всегда допустимо, особенно для печатных плат толщиной более 1,5 мм, поскольку потребуются специальное оснащение гальванического оборудования), то как быть с отверстиями 0,965 мм (особенно когда они запроектированы для установки DIP-микросхем и штыревых разъемов типа DIP)? Уменьшить нельзя, увеличивать некуда (не позволяет площадка 1,52 мм). Все описанное справедливо для плат 3-го класса точности; можно, конечно, перейти в 4-й класс, но это повышает стоимость изготовления печатной платы без всякой на то необходимости.

3. При производстве плат все отверстия, в том числе и отверстия без металлизации, сверлятся в один проход. Для того чтобы гарантировать отсутствие металлизации в отверстиях, на этапе проектирования необходимо обеспечить отсутствие металла (контактные площадки, области заливки и т.п.) на расстоянии не менее 0,25 мм от отверстий, которые не должны металлизироваться.

4. Часто возникают проблемы с тем, что конструктор пренебрегает или не отдает себе отчет в том, как будет обрабатываться контур печатной платы. В итоге получаем срезанные проводники по краям печатных плат и повышенный износ режущего инструмента. Для расчета можно предложить рекомендации РД 50-708-91: «Пункт 4.6.1.17. Элементы проводящего рисунка, кроме экранов, шин «земли», концевых печатных контактов, знаков маркировки и технологических печатных проводников, рекомендуется располагать на расстоянии Q:

- от края печатной платы — не менее толщины печатной платы с учетом допуска на размеры сторон;
- от края выреза, неметаллизированного отверстия по формуле:

$$Q = q + k + 0,5\sqrt{(T_D + Td + \Delta t)},$$

где q — ширина ореола, скола по ГОСТ 23752 или ТУ на конкретную печатную плату; k — наименьшее расстояние от ореола, скола до соседнего элемента проводящего рисунка по ГОСТ 23752 или ТУ; T_D — позиционный допуск расположения центров контактных площадок; Td — позиционный допуск расположения осей отверстий; Δt — верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (ширины печатного проводника).

Несмотря на исключение экранов в РД 50-708-91, рекомендуем без особой надобности не доводить экраны (плейны) до края печатной платы, так как это приводит к задиру фольги и повышенному износу режущего инструмента.

Маркировку печатных плат, как правило, наносят методом сеткографии специальной краской (с термическим или УФ-отверждением) белого, желтого или черного цвета. Разрешение (минимальная толщина линии) такого метода до 0,2 мм. Альтернативным методом (но более дорогим) является нанесение маркировки маской (как правило, белого цвета) — разрешение при этом до 0,1 мм.

В случаях когда маркировка закладывается в топологию печатной платы, требования по разрешению к ней аналогичны требованиям, предъявляемым к проводникам.

5. В библиотечных элементах и при формировании заготовки платы (часто для стандартных типоразмеров плат) нередко вводятся запретные зоны для трассировки, однако

при выполнении команды заливки плейна эти зоны игнорируются, и система производит их заливку. Зоны запрета трассировки, которые зачастую конструктор создает вокруг крепежных отверстий (обычно это квадратная площадка), также игнорируются. Для автоматического выреза этих запретных зон из плейна в САПР ГРИФ-4 предусмотрена специальная утилита (программный модуль) FCUTOUT.exe.

Заключение

Использование программных и информационных средств комплекса ГРИФ-4 при выполнении значительного количества проектов печатных плат в ПАО НПО «Алмаз» позволило существенно повысить производительность труда конструкторов и практически избежать проектных ошибок. Среднее время выполнения комплекта КД на печатный электронный модуль составило 10,2 календарного человеко-дня, что почти в три раза превосходит обычно принятые в РФ нормативы. ■

При подготовке статьи использованы без ссылок материалы стандарта IPC-7351 «Generic Requirements for Surface Mount Design and Land Pattern Standard». Февраль 2005 г.

Литература

1. Сабунин А. Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010.
2. Ёлшин Ю. Программный комплекс формирования БД компонентов и обмена данными между участниками проектных работ в САПР. Комплекс CompBox // Компоненты и технологии. 2015. № 6.
3. Ёлшин Ю. М. САПР RUS — CAD как вариант замещения импортных САПР печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 6, 7.
4. Mitzner K. Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor. Newnes., 2009.
5. Coombs, C. F., Jr. Coombs' Printed Circuit Handbook. 5th ed. N. Y.: McGraw-Hill, 2001.
6. IPC-2222. Sectional Design Standard for Rigid Organic Printed Boards. Northbrook, IL: IPC/Association Connecting Electronic Industries. February, 1998.