

Опыты с температурой переходных отверстий

В статье приводятся результаты экспериментального подтверждения предположения, что температуру в переходных отверстиях определяет не токовая нагрузка и что температура связана с формой подводящих дорожек (проводников).

**Дуглас Брукс
(Douglas G. Brooks),
Ph. D.**

**Перевод:
Николай Павлов**

Что, если не ток, влияет на температуру переходных отверстий?

В работе, опубликованной в октябре 2015 года Иоганом Адамом (Johannes Adam) и Дугласом Бруксом (Douglas G. Brooks), с помощью методов моделирования дана оценка температуры в переходном отверстии. Была подвергнута сомнению достаточно известная аксиома о том, что температура переходного отверстия зависит от протекающего через него тока. Как оказалось, температура зависит от трассы (проводника) подключения переходного отверстия. Объясняется это тем, что теплопроводность у проводника и переходного отверстия одинакова и, соответственно, все тепло, передаваемое проводником, концентрируется в «узком месте» — переходном отверстии. Таким образом, для соединения нагруженных широких проводников (с высокой токовой нагрузкой) достаточно переходных отверстий малых размеров для соединения с другим широким проводником.

Данная статья является экспериментальным подтверждением предложенной модели.

Тестовая печатная плата

Внешний вид тестовой печатной платы приведен на рис. 1. Был использован стеклотекстолит FR-4 толщиной 1,5 мм (60 мил). Выполненная печатная плата включала как медную фольгу толщиной 18 мкм (0,5 унций), так и электролитически осаж-

денную медь толщиной 45 мкм (1 унция). Были вытравлены два проводника шириной 0,7 мм (27 мил) и 5 мм (200 мил). Каждый проводник имеет длину примерно 150 мм (6"), половина которой расположена на верхнем и нижнем слое соответственно. В каждом проводнике выполнено по одному переходному отверстию диаметром 0,254 мм (10 мил), полностью металлизированному и обеспечивающему надежную электрическую связь между слоями. На всех проводниках отверстия одинаковы. Печатная плата установлена на расстоянии 63,5 мм (2,5") над поверхностью стола и зафиксирована 4 винтами по углам. После тестирования плата была разрезана и сделан микрошлиф с целью определения фактических размеров для учета в модели.

Переходное отверстие диаметром 0,254 мм (10 мил) имеет примерно ту же площадь медной поверхности, что и проводник шириной 0,7 мм (27 мил). Именно поэтому для проведения эксперимента был изготовлен проводник такой ширины.

Моделирование

Достаточно трудно смоделировать поведение описанного отверстия на печатной плате заданного размера из-за малой толщины стенок. При моделировании мы будем строить сетку из маленьких кубиков. Каждый отдельный куб считаем однородным. Таким образом, требуется решить набор уравнений для границ каждого куба. Размеры куба должны быть меньше минимальных размеров модели

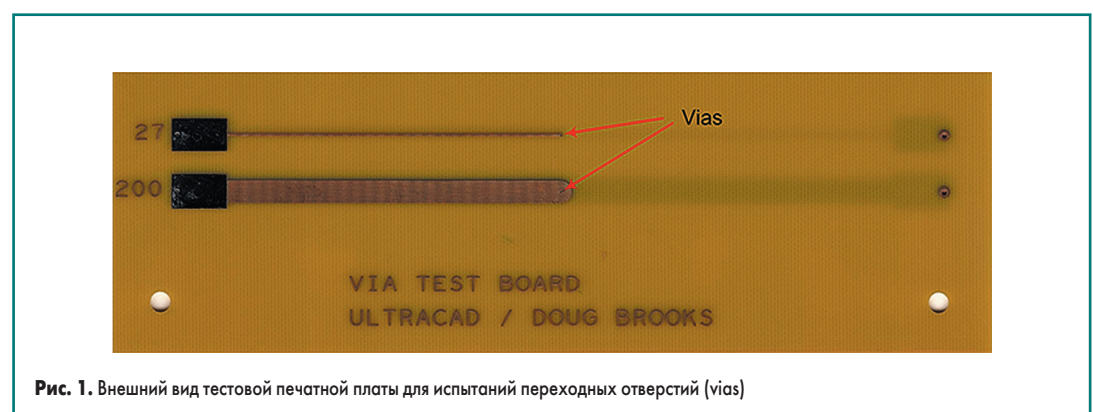


Рис. 1. Внешний вид тестовой печатной платы для испытаний переходных отверстий (vias)

(то есть, по сути, меньше толщины стенки переходного отверстия). Чем меньше размер отдельного куба, тем больше кубов в модели в целом. Размеры матрицы определяются количеством кубов. Загрузка и время расчетов на ПК определяются размерами полученной матрицы. Моделирование структуры, представленной на рис. 1, займет очень много времени на современном персональном компьютере средней мощности, поэтому следует упростить модель. Это делается за счет уменьшения двух размеров (толщина проводников и их ширина не должны изменяться ни при каких условиях):

- сокращается длина проводника с 150 мм (6") до 89 мм (3,5");
- уменьшается общая ширина печатной платы.

На практике эти допуски должны привести к уменьшению охлаждения нагреваемых проводников. Это, в свою очередь, должно предположительно привести к повышению нагрева по сравнению с реальными образцами, особенно при увеличении токовой нагрузки.

Важным параметром в любой тепловой модели является коэффициент теплопроводности диэлектрика. Для получения достоверных данных образец был отослан для анализа в исследовательскую лабораторию канадской фирмы C-Therm. Результаты проведенных там исследований показали, что стеклотекстолит имеет следующий коэффициент теплопроводности (Вт/м·К):

- по поверхности 0,679;
- в объеме 0,512.

Результаты моделирования

В таблице 1 представлены результаты моделирования, которые совпадают с итогами работы, опубликованными в октябре 2015 года. Для узкого проводника, соизмеримого с размерами переходного отверстия, переходное отверстие охлаждается лучше трассы, поскольку передача тепла от переходного отверстия в тело диэлектрика эффективнее, чем у проводника. Для более широкого проводника при большем значении тока тепло, выделяющееся в переходном отверстии, передается кондуктивно от переходного отверстия к проводнику, нагревая его больше, хотя и незначительно.

На рис. 2 и 3 представлено температурное моделирование проводников шириной 5 мм при токе 8,55 А и проводника шириной 0,7 мм при токе 6,65 А соответственно. Обратите внимание, что у переходного отверстия на 0,7-мм проводнике нагрев немного меньше. Наибольший нагрев у 5-мм проводника в районе переходного отверстия, но он всего лишь на 7,4% выше общего нагрева проводника.

Таблица 1. Результаты моделирования температуры переходных отверстий

Ширина проводника, мм (мил)	Ток, А	Температура проводника, °С	Температура переходного отверстия, °С	Соотношение температуры отверстия и температуры проводника
0,7 (27)	4,75	72,8	70,1	96,3
0,7 (27)	6,65	114,2	108,2	94,7
5 (200)	4,75	30,8	31,8	103,2
5 (200)	8,55	44,8	48,1	107,4

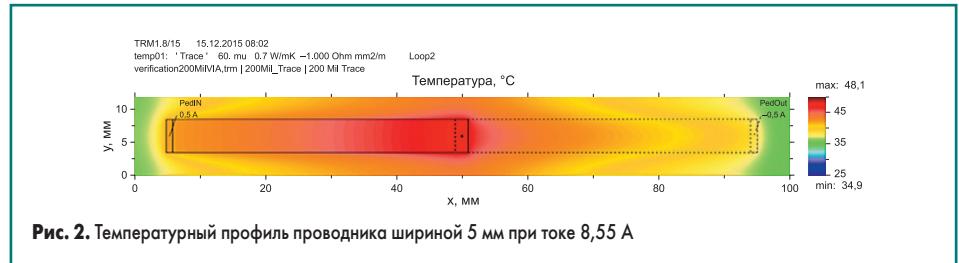


Рис. 2. Температурный профиль проводника шириной 5 мм при токе 8,55 А

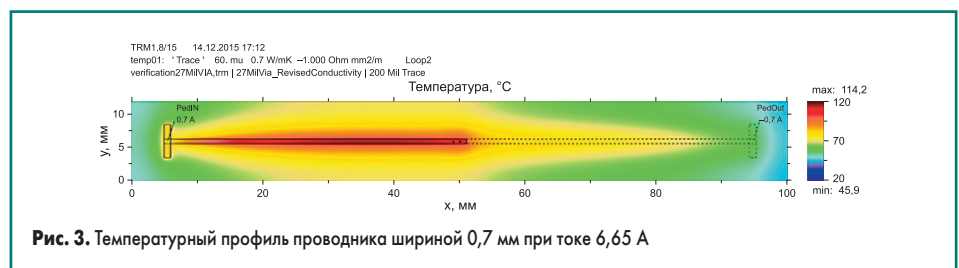


Рис. 3. Температурный профиль проводника шириной 0,7 мм при токе 6,65 А

Экспериментальная часть

Эксперимент проводился на следующем оборудовании:

- генератор постоянного тока Dr. Meter DC Power Supply HY3010E;
- измеритель температуры Omega Instruments модели OM-EL-USB-TC-LCD с термопарой типа К;
- портативный осциллограф Pico Technologies модели 2204A;
- цифровой амперметр TekPower модели TP9605BT (для проверки реальной токовой нагрузки).

Процедура проверки довольно проста: постоянный ток подается на проводник, вторым измерителем контролируется значение тока, при этом с помощью термопары с наконечником диаметром около 0,25 мм (30 гейдж) измеряется температура в течение 1 с. Термопара откалибрована по кубику льда и кипящей воде. Для того чтобы убедиться, что температура самих проводников не влияет на показания термопары, было проведено несколько тестов.

На каждый проводник ток подавался до стабилизации температуры (порядка 6 мин), затем температура измерялась и фиксировалась. После проведения всех измерений тестовая плата вновь подвергалась измерением всех геометрических размеров на установке

контроля для микроэлектронных изделий Prototron Circuits.

Результаты эксперимента

По анализу результатов измерений, приведенных в таблице 2, можно сделать два важных вывода:

1. Проводник 0,7 мм при подаче тока 6,6 А нагревается до температуры +109 °С, при этом большее значение тока 8,55 А, подаваемого на более широкий проводник, приводит к значительно меньшему нагреву, только до +44,5 °С. Таким образом, именно форма проводника влияет на температуру переходного отверстия.
2. Данные моделирования почти совпадают с результатами натурного эксперимента. Это еще раз подтверждает тот факт, что моделирование позволяет спрогнозировать температуру сложной системы.

Заключение

Результаты данной работы подтвердили высказанные ранее предположения, что температуру в переходных отверстиях определяет не токовая нагрузка, температура связана с формой подводящих дорожек (проводников). Если разводка сделана грамотно, то для обеспечения надежного перехода сигналов между слоями требуется меньшее количество переходных отверстий, нежели считалось ранее. Это предоставляет разработчикам дополнительные возможности при разводке электрических схем.

Литература

1. www.pcdandf.com/pcdesign/index.php/magazine/10604-thermal-modeling-1602

Таблица 2. Результаты измерения температуры переходных отверстий

Ширина проводника, мм (мил)	Ток, А	Температура проводника, °С	Температура переходного отверстия, °С	Соотношение температуры отверстия и температуры проводника
0,7 (27)	4,75	66	64,5	97,7
0,7 (27)	6,65	114	109	95,6
5 (200)	4,75	30,5	31,5	103,3
5 (200)	8,55	40,5	44,5	109,9