

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

ПЫШНЫЙ О. Я., ЗАВАДСКИЙ В. А.

ОДЕССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ МОРСКАЯ АКАДЕМИЯ

**THE PROBLEMS OF RELIABILITY ASSURANCE OF THE DIGITAL ELECTRONICS
APPARATUSES**

PYSHNY O. YA., ZAVADSKY V. A.

ODESSA NATIONAL MARINE ACADEMY

Данная статья является первой, из цикла подготовленных статей, по проблемам обеспечения надежности современной радиоэлектронной аппаратуры при ее производстве с использованием новых технологических норм на изготовление многослойных печатных плат (МПП).

Given article is the first, from a cycle of prepared articles, on problems of reliability assurance of modern radio-electronic equipment by its manufacture with use of new technological norms on manufacturing of multilayered printed-circuit boards (MPCB).

Появление и широкое распространение мобильных радиотехнических устройств и связанное с ним резкое уменьшение габаритов электронной аппаратуры вызвало появление и внедрение новых технологических норм в промышленности печатных плат [1]. Уменьшение размеров печатных проводников и межвыводных расстояний в ЭРЭ, особенно при переходе на поверхностный монтаж и новые корпуса микросхем привело к тому, что основным дефектом, например в мобильных телефонах* и КПК, стало нарушение целостности паяных соединений и печатных проводников (микротрещины).

Более тщательный анализ выявленных дефектов показал, что хотя до сих пор считали причиной их появления технологические дефекты при изготовлении ПП (края печатных проводников, способствующие концентрации напряжений в них и др.) [2,3] и коробление ПП из-за механических нагрузок на нее при монтаже в несущую конструкцию, их вклад в общее число выявленных дефектов такого рода составляет не более 15%. Большая часть (до 65%) оказалась связана с конструкцией ПП (рисунком металлизации [4]). Кроме того имеется определенная корреляция с параметрами технологических процессов монтажа элементов на плату. Рекомендуемые режимы процессов контактирования характеризуются большими скоростями нагрева и охлаждения конструкции – до 3К/сек.

К сожалению, получение (для проведения сравнения и анализа) достоверных данных о параметрах техпроцессов контактирования, применяемых у разных производителей, не представляется возможным. В тоже время наличие такой корреляции говорит о том, что причина появления указанных дефектов заложена во взаимодействии конструкции ПП и технологии монтажа ЭРЭ на нее. Следовательно, для снижения числа дефектов аппаратуры, необходимо иметь методики учета такого влияния, а для этого, по крайней мере, математические модели, адекватно описывающие поведение конструкции печатной платы при ее взаимодействии с техпроцессами монтажа ЭРЭ. В данной работе предпринята попытка разработки таких моделей.

*- мобильные телефоны приведены в качестве примера, поскольку по ним (в силу огромного их количества, находящегося в эксплуатации, а также доступности данных от ремонтных и сервисных служб) удалось получить статистический материал.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МПП.

Многослойные печатные платы представляют собой сочетание чередующихся слоев печатного рисунка и изоляционных прокладок. Основная особенность МПП – это близкие значения толщины печатных проводников и изоляционных слоев. Физическая модель МПП может быть представлена в виде многослойной системы, при этом слой металлизации (слой печатных проводников) включает в свой состав и изоляцию между проводниками в пределах этого слоя. Количество слоев модели соответствует количеству слоев печатных проводников в МПП плюс количество диэлектрических прокладок [1].

В МПП, отличающихся значительной конструктивной анизотропностью, большинство материальных характеристик, таких как жесткость, упругость, теплопроводность, коэффициент теплового расширения и др., представляют собой тензоры. Как известно, материальные тензоры (теплопроводности, коэффициентов теплового расширения и др.) являются тензорами второго ранга. В дальнейшем будем считать, что компоненты тензоров теплопроводности не зависят от температуры и времени и являются функциями только координат. Введем согласно [5] скалярную индикаторную функцию $f_i(a')$, равную единице, если точка с координатой a' принадлежит компоненту i композиционного материала и нулю в противоположном случае. Тогда любой материальный тензор $\Lambda(a')$ можно представить в виде:

$$\Lambda(a') = \sum_i \Lambda^i(0) f_i(a')$$

Среднее значение произвольной степени индикаторной функции [5] равно концентрации компонента в композите, т.е.:

$$\langle f_i^n \rangle = \langle f_i \rangle = \bar{\varphi}_i$$

Для начала рассмотрим один слой МПП. Взаимное расположение проводников в пределах одного слоя обычно не регламентируется, однако рекомендуется распределять проводники равномерно по площади ПП. Будем рассматривать слой МПП как пластину из диэлектрика, армированную печатными проводниками. Учитывая, что толщина слоя значительно меньше двух остальных его размеров, ограничимся двумерной моделью. При таких допущениях в качестве индикаторной функции для печатного рисунка можно взять отношение площади металлизации слоя F_M к площади печатной платы $F_{пп}$

$$f_i = \frac{F_M}{F_{пп}} = f_M$$

Для стеклопластика, используемого в качестве диэлектрической изоляции, соответствующие индикаторные функции равны:

$$f_{ст} = \frac{F_{ст}}{F_{пп}}$$

При этом очевидно:

$$f_M + f_{ст} = 1$$

и, средняя по площади слоя, согласно [5], получим для некоторой материальной характеристики слоя, K , выражение:

$$\langle K \rangle = f_{ст} K + f_M K \quad (1.1)$$

где: $K_{ст}$, K_M – значение характеристики K для стеклотекстолита и печатных проводников соответственно.

Однако расчеты по (1.1) дают значительную ошибку, т.к. не учитывают реальный характер печатного рисунка, например, различие в длине отдельных печатных проводников, их ориентацию. Для того чтобы учесть характер печатного рисунка, введем в индикаторную функцию нормирующий множитель. В качестве такого множителя может выступать отношение средней длины проекций печатных проводников на ось X к размеру ПП вдоль этой оси [6]:

$$\beta_x = \frac{\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} l_{xi}}{L_x},$$

где: N_n - число печатных проводников в слое;

l_{xi} - проекция i-го проводника на ось X;

L_x - размер печатной платы вдоль оси X.

Тогда индикаторная функция для печатных проводников вдоль оси X будет иметь вид:

$$f_{mx} = f_m \beta_x = \frac{F_m}{F_{пп}} \frac{\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} l_{xi}}{L_x} \quad (1.2)$$

Аналогично вдоль оси Y имеем:

$$f_{my} = f_m \beta_y = \frac{F_m}{F_{пп}} \frac{\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} l_{yi}}{L_y} \quad (1.3)$$

где: l_{yi} - длина проекции i-го печатного проводника на ось Y;

L_y - размер ПП вдоль оси Y.

Тогда для всего слоя с учетом (1.1) и (1.2, 1.3) будем иметь вдоль оси X:

$$\langle K_x \rangle = f_{mx} K_M + (1 - f_m) \langle K_{ст} \rangle \quad (1.4)$$

и вдоль оси Y:

$$\langle K_y \rangle = f_{my} K_M + (1 - f_m) \langle K_{ст} \rangle \quad (1.5)$$

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что для нахождения средних материальных характеристик отдельного слоя МПП, таких как теплопроводность, температуропроводность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и т.д. необходимо определить из конструкторской документации на МПП значения площади металлизации каждого слоя МПП, F_m , габариты ПП, среднюю длину проекции проводников на ось X и Y, а также знать интересующие характеристики материалов печатных проводников и диэлектрической изоляции.

В существующих методиках расчета деформаций ПП при тепловых и механических нагрузках [7-10], влияние таких конструктивных характеристик ПП как степень металлизации и характер печатного рисунка не учитывалось, в силу чего используемые расчетные модели ПП не были адекватны реальным ПП.

В следующих статьях будут описаны тепловые и термомеханические модели МПП.

Литература

1. Charles Pfeil, Happy Holden. HDI Layer Stackups for Large Dense PCBs. Mentor Graphics Corporation Technical Publication TECH7580-w, 2007
2. Медведев А. Технологическое обеспечение надежности электронной аппаратуры // Производство электроники. 2006. № 8

3. http://www.elinform.ru/articles_58.htm - http://www.elinform.ru/articles_66.htm
4. Медведев А. Материалы оснований печатных плат для бессвинцовой пайки//Технологии в электронной промышленности. 2007. № 2
5. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. -М.: Наука, Гл. ред. физ. мат. литературы, 1977.- 400 с.
6. Пышный О.Я. Пути снижения коробления печатных плат при пайке.- Сб. трудов семинара «Прогрессивные технологические процессы в производстве РЭА».
7. JESD 15 - JEDEC standards, Standard No. 15 with associated series Published: October 2008.
8. JESD 22 - JEDEC standards, Standard No. 22 with associated series /Published JC-14.1 Subcommittee: October 2008 - January 2004.
9. IPC-7351 Стандарт: « Общие требования по конструированию контактных площадок и печатных плат с применением технологии поверхностного монтажа» (Generic Requirements for Surface Mount Land Pattern and Design Standard) .
10. ANSI/IPC-2220 «Серия стандартов по конструированию» (Design Standards Series).