

УДК 621.372.2

Р.И. Аширбакиев, И.Ф. Калимулин, О.М. Кузнецова-Таджибаева

Аппроксимация поверхности переходного отверстия печатной платы ортогональными прямоугольниками для вычисления емкости

Описана реализация алгоритма аппроксимации поверхности из колец и цилиндров ортогональными прямоугольниками. Выполнена проверка работы алгоритма на примере переходного отверстия печатной платы. Показано хорошее совпадение вычисленной и измеренной емкостей системы из отверстий с трассой на тестовой печатной плате.

Ключевые слова: печатная плата, переходное отверстие, ёмкость, аппроксимация, геометрическая модель, TALGAT.

Выведенные в [1] аналитические формулы для метода моментов позволяют выполнять электростатический анализ произвольных трёхмерных конфигураций проводников и диэлектриков. Однако на них налагается условие: их границы должны состоять только из прямоугольников [2], ортогональных декартовым осям. Поэтому поверхности, имеющие более сложные формы, необходимо аппроксимировать прямоугольниками. Реальные печатные платы имеют переходные отверстия, которые можно представить в виде кольцевых контактных площадок, соединённых цилиндрами. Для моделирования их надо аппроксимировать ортогональными прямоугольниками. При импорте из САПР печатной платы модель должна автоматически создаваться с необходимыми параметрами: внутренний диаметр отверстия, внешний диаметр кольца, толщина фольги. Кроме того, могут быть различные варианты конфигураций: одиночная площадка; площадка, окружённая полигоном и отделённая от него кольцевым заполнением из диэлектрика; площадка, соединённая без зазоров с полигоном.

Цель работы – разработка, реализация и тестирование алгоритма для генерации трёхмерной модели переходного отверстия, аппроксимируемого ортогональными прямоугольниками.

Трёхмерная модель должна быть замкнутой полый фигурой без внутренних перегородок. Поэтому при построении модели необходимо аппроксимировать только внешние подобласти фигуры, которые соприкасаются с диэлектриками или другими контактными площадками и трассами. Для описания алгоритма введём следующие понятия (рис. 1). Внутренний цилиндр – цилиндр, соединяющий контактные площадки переходных отверстий. Внешний цилиндр – контактная площадка переходного отверстия в каждом слое. Под аппроксимацией понимается разбиение каждой подобласти фигуры на прямоугольники. Под построением модели понимается автоматическая генерация кода в виде последовательности команд `RECT_XZ`, `RECT_XY` и `RECT_ZY`, каждая из которых создаёт прямоугольник в своей плоскости, рассчитанный на этапе аппроксимации. Полный набор указанных команд формирует трёхмерную модель нужной фигуры.

Заметим, что рассматриваются круглые переходные отверстия, они имеют ось симметрии. Поэтому при аппроксимации рассчитываются координаты прямоугольников для верхней подобласти переходного отверстия, координаты остальных отличаются только на толщину слоёв.

Координаты точек на внешней/внутренней окружности применяются для расчёта координат прямоугольников, которыми аппроксимируется внешнее/внутреннее кольцо. Учитывая, что переходное отверстие является круглым, можно хранить в памяти только координаты точек для одной четверти окружности. Зная радиус, координаты точек остальных трёх четвертей окружности можно рассчитать по простым формулам. Для расчёта координат прямоугольников, аппроксимирующих цилиндры, достаточно толщины слоёв и координат точек, рассчитанных для окружностей.

Весь алгоритм можно разбить на пять частей: 1) аппроксимация самой верхней горизонтальной подобласти (внутреннее и внешнее кольца), являющейся контактной площадкой переходного отверстия; 2) построение внешней и внутренней подобластей для всех внутренних цилиндров; 3) построение всех внешних колец; 4) построение внешней и внутренней плоскостей для всех внешних цилиндров; 5) построение верхнего и нижнего внутреннего кольца. Построение колец, в свою очередь, состоит из двух частей (см. рис. 1, б): а) построение прямоугольников между линиями А и Б,

при котором не закрывается область отверстия и внутреннего кольца; б) построение прямоугольников в секторах слева от линии А и справа от линии Б. В результате работы алгоритма модель будет иметь вид, как на рис. 2.



Рис. 1. Элементы контактной площадки переходного отверстия (а) и аппроксимация кольца (б)

Чтобы верифицировать алгоритм, выполнено сравнение результатов моделирования с результатами измерений. В качестве параметра для сравнения использовалась ёмкость между сигнальным и земляным проводниками печатной платы. Для этого изготовлена тестовая печатная плата (рис. 3, а). Она содержит две симметричные печатные структуры, являющиеся посадочными местами для соединителей типа SMA. Поэтому каждая печатная структура содержит пять переходных отверстий, в которые устанавливается соединитель SMA. Центральное переходное отверстие является сигнальным, и от него по верхнему слою платы отходит трасса.

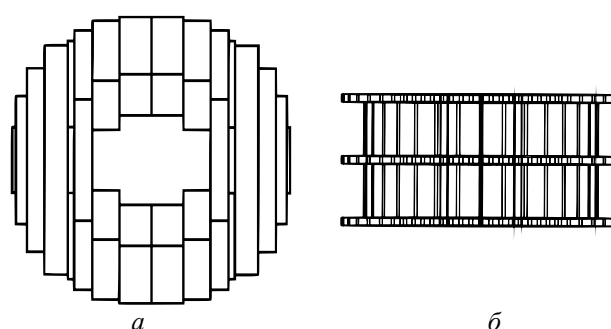


Рис. 2. Аппроксимированное переходное отверстие: вид сверху (а), вид сбоку (б)

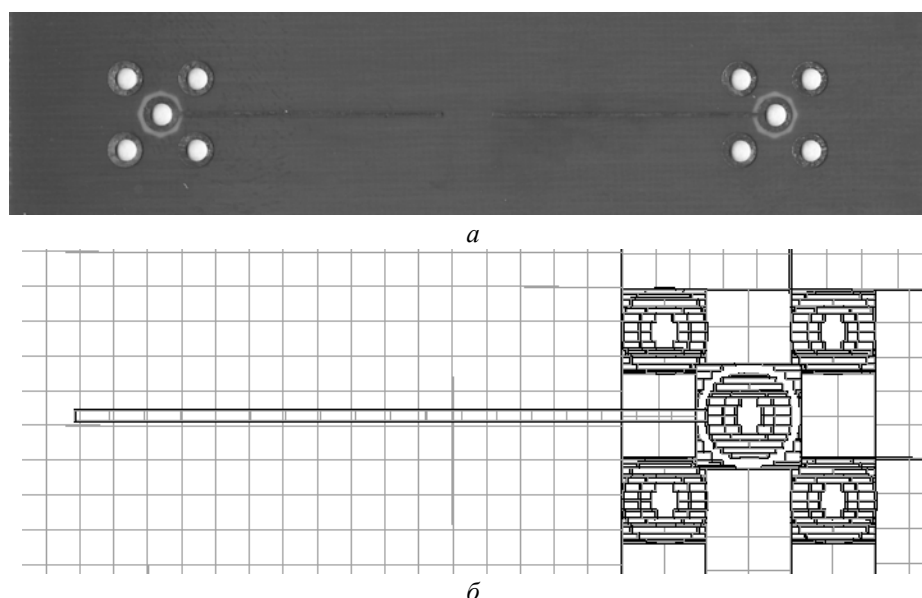


Рис. 3. Тестовая печатная плата (а) и модель посадочного места соединителя типа SMA с трассой (б)

На нижней стороне платы расположен сплошной слой земли. Поэтому на нижней стороне платы четыре внешних переходных отверстия соединены с землей. Модель описанной печатной структуры с грубой аппроксимацией проводников показана на рис. 3, б. Диэлектрик моделировался уп-

рощено: горизонтальной границей на высоте 10 мкм над контактными площадками с относительной диэлектрической проницаемостью под ней 4,8.

Ёмкости вычислялись методом моментов [1] в системе TALGAT [3]: отдельно, для трассы (двумерным моделированием, поскольку длина трассы 20 мм много больше её ширины 0,3 мм) и для переходных отверстий (трёхмерным моделированием), а затем складывались. Графики сходимости вычисленных значений ёмкости при увеличении количества сегментов на границах поперечного сечения трассы представлены на рис. 4, а, а при увеличении числа ортогональных прямоугольников, аппроксимирующих поверхность проводников – на рис. 4, б. Как видно, ёмкость трассы очень быстро сходится (к значению 1,0061 пФ) при малом числе сегментов, а ёмкость трёхмерной структуры продолжает изменяться даже при очень большом числе аппроксимирующих прямоугольников, но различие последних значений мало ($100\% \cdot (2,3395 - 2,28473) / 2,28473 = 2,4\%$). Сумма максимальных значений ёмкостей трассы и площадок составляет $1,0061 + 2,3395 = 3,3456$ пФ. Измерение ёмкости прибором Agilent E4980A левой и правой структур печатной платы дало значения 3,20 и 3,35 пФ соответственно, а значение, полученное при моделировании, находится между ними.

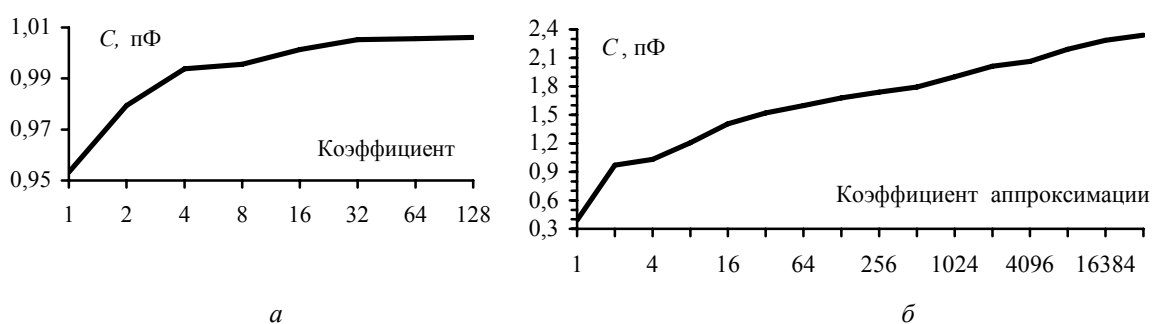


Рис. 4. Графики сходимости для трассы (а) и переходного отверстия (б)

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет создавать геометрическую модель переходного отверстия печатной платы с любым количеством слоев, импортированную из системы Altium Designer. Эта модель позволяет вычислять ёмкость произвольных трехмерных структур реальных плат. Сравнение с результатами измерений подтвердило точность модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №13-07-98-17 и при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы УМНИК договор №115/52.

Литература

1. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях / Под ред. Н.Д. Малютина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 212 с.
2. Аширбакиев Р.И. Адаптивный итерационный выбор оптимальной сегментации границ проводников и диэлектриков в задачах электростатики / Р.И. Аширбакиев, В.К. Салов // Доклады ТУСУРа. – Томск, 2013, №3(29). Ч. 1 С. 159–161.
3. Аширбакиев Р.И. Аппроксимация переходных отверстий в печатных платах с помощью системы TALGAT / Ег.В. Лежнин, Р.И. Аширбакиев, А.О. Мелкозеров // Научная сессия ТУСУР–2013: матер. докл. Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: В-Спектр, 2013. – Ч. 1. – С. 94–96.

Аширбакиев Ренат Ихсанович

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: 8 (923) 419-40-29
Эл. почта: cr4cpp.2@gmail.com

Калимулин Илья Фидаильевич

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа

Тел.: 8 (923) 417-74-02

Эл. почта: ilirium115@gmail.com

Кузнецова-Таджибаева Ольга Михайловна

Канд. техн. наук, ведущий инженер-конструктор ОАО «НПЦ «Полюс»

Тел.: 8 (382-2) 55-46-94

Эл. почта: ktom@sibmail.com

Ashirbakiev R.I., Kalimulin I.F., Kuznetsova-Tajibayeva O.M.

Approximation of via surface in a printed circuit board by orthogonal rectangles for capacitance calculation

The paper describes the implementation of surface approximation algorithm for rings and cylinders by orthogonal rectangles. The verification of the algorithm was performed through the example of printed circuit board via. The calculated and measured capacitances for system of vias coincides with a trace on the test printed circuit board.

Keywords: printed circuit board, via, capacitance, approximation, geometric model, TALGAT.