

УДК 681.2

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ПЕЧАТНОГО УЗЛА

О.В. Кузнецова, Е.Б. Романова

Предлагается метод проектирования трехмерного печатного узла посредством сплошных конструктивов. Делается вывод о возможности повышения эффективности САПР печатных узлов за счет увеличения скорости размещения электронных компонентов на плате и за счет совершенствования автоматизации инженерных расчетов.

Ключевые слова: проектирование печатных плат, трехмерное моделирование, САПР, твердотельное моделирование, компоновка электронных устройств.

Введение

Современные САПР используют трехмерное моделирование, которое, в отличие от двухмерного, позволяет описывать изделие более полно [1]. Из трехмерной модели автоматически можно создать изображения разрезов и сечений. При этом между такими отдельными изображениями существует строгая связь, так как все они являются производными от общей трехмерной модели.

Использование трехмерной модели дает следующие преимущества: наглядность; удобство разработки и быстрота модернизации; автоматизированные инженерные расчеты; ассоциативность, т.е. автоматическое внесение изменений во все составляющие электронного описания изделия при изменении какого-либо из компонентов изделия; создание прототипа изделия по Rapid Prototyping-технологии [2]. Rapid Prototyping-технологии – это современные технологии быстрого прототипирования, предоставляющие возможность получать физические детали и модели посредством послойного наращивания материала (пластика, жидкой смолы, специальных порошков, различных листовых материалов) путем преобразования данных, поступающих из САПР (в формате STL), и реализовывать проекты в трехмерном представлении.

В современных САПР печатных узлов (под печатным узлом понимается печатная плата с установленными на ней электронными компонентами), как правило, используется двухмерное моделирование: примерами являются PCAD, OrCAD, Mentor Graphics. А трехмерные САПР печатных узлов (ПУ), такие как Altium Designer и CADSTAR, имеют недостаточный функционал для полноценного проектирования трехмерных печатных узлов. САПР ПУ изначально разрабатывались как двухмерные системы, и теперь в эти САПР добавляют функции для трехмерного моделирования ПУ, такие как создание трехмерного объекта посредством экструзии (перемещением плоских фигур в пространстве) и замена двухмерных объектов на трехмерные объекты. Примером является Altium Designer. При этом в Altium Designer отсутствует возможность создавать трехмерный объект сложной формы. При замене двухмерных объектов на трехмерные объекты последние загружаются в Altium Designer извне, а не создаются в самой САПР. При этом выявляются такие недостатки: контактные площадки для выводов электронных компонентов (ЭК) в трехмерных моделях отсутствуют, конструктив печатной платы (ПП) остается двухмерным, и, как следствие, отсутствует возможность автоматизированного контроля расположения переходных отверстий и возможность автоматизированных инженерных расчетов (с учетом толщины платы). В CADSTAR имеется программный модуль BoardModeler Lite, в котором трехмерная модель создается посредством передачи двухмерной модели печатного узла из редактора топологии, т.е. в программе CADSTAR 3D нельзя проектировать топологию и поэтому ее скорее можно отнести к дополнительным утилитам САПР CADSTAR, чем назвать саму CADSTAR – системой трехмерного моделирования. Пример трехмерной модели ПУ сформированной в модуле BoardModeler Lite приведен на рис. 1.

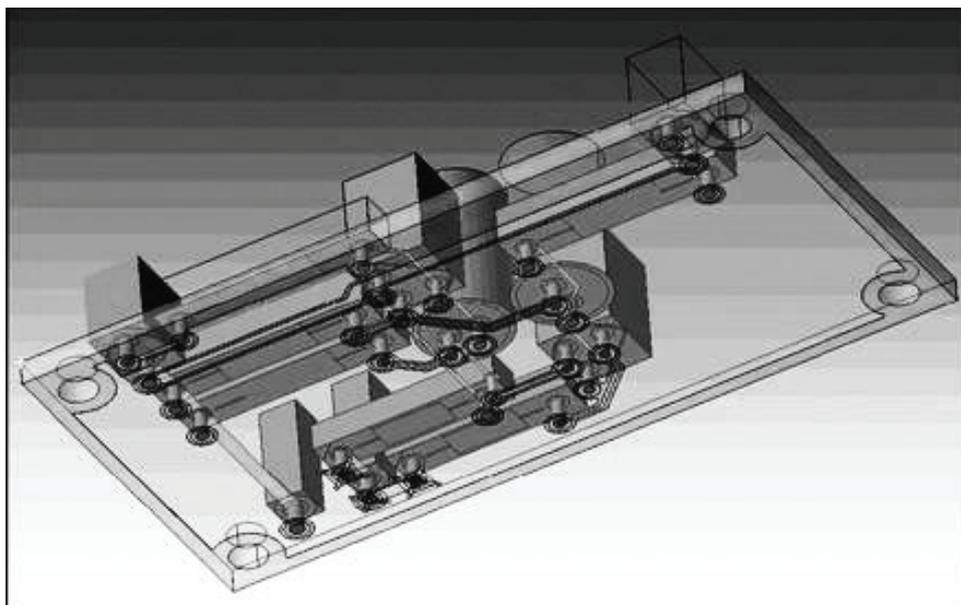


Рис. 1. Трехмерная модель ПУ в BoardModeler Lite

Для формирования трехмерной модели ПУ на основе двухмерной используют конвертацию данных о модели из САПР ПУ в машиностроительную САПР (AutoCAD, КОМПАС, SolidWorks, T-FLEX CAD, Pro/ENGINEER и другие). В машиностроительной САПР формируют трехмерные ЭК посредством экструзии или заменой двухмерных моделей ЭК на трехмерные. Также посредством экструзии формируют трехмерную модель платы и конструктивных элементов (крепежа, деталей). Таким образом, получается трехмерная модель ПУ, которую используют при разработке трехмерной модели электронного устройства (под электронным устройством подразумевается функционально законченное электронное изделие, включающее печатные платы).

Использование в редакторе топологии ППП пространственной (трехмерной) модели ПУ, включающей трехмерную модель платы и трехмерные модели ЭК с контактными площадками, а также трехмерные модели деталей для ЭК и трехмерные ограничительные зоны, позволит увеличить скорость разработки изделий, а также повысить качество электронных устройств (ЭУ).

Методы проектирования трехмерных печатных узлов в редакторе топологии ППП должны включать разработку трехмерных ЭК с контактными площадками, использование трехмерного моделирования конструктива платы, формирование трехмерных ограничительных зон в соответствии с формой корпуса и формой крепежных элементов. Это позволит оптимизировать методы автоматизации контроля технологических параметров и автоматизировать инженерные расчеты. Автоматизация контроля должна включать проверку размещения переходных отверстий (особенно это актуально при моделировании многослойных печатных плат с переходными отверстиями сложной формы).

Для этого надо разработать метод проектирования трехмерного ПУ, в том числе выбрать оптимальный способ представления трехмерной модели ПУ.

Метод проектирования трехмерного ПУ

Пространственная (трехмерная) модель ПУ включает трехмерный конструктив платы, проводники и трехмерные модели ЭК, а также трехмерные модели деталей для ЭК (радиаторов, прокладок и т.д.) и трехмерные ограничительные зоны.

Конструирование ПУ включает два основных этапа: размещение ЭК на плате и трассировку проводников. Размещение ЭК на плате необходимо выполнять в трехмерном изображении, чтобы контролировать установку компонентов друг под другом. Кроме того, установив ограничительные (запретные) зоны в соответствии с формой корпуса (или секции, или др.), можно контролировать возможность установки в корпус высоких ЭК (как правило, навесных). Трассировку проводников удобнее выполнять в двухмерном изображении ПУ, при этом модель ПУ должна оставаться трехмерной. Можно предположить, что проводники достаточно описать в модели ПУ плоскостями (т.е. двухмерно), так как высота проводников незначительна (обычно 18 мкм) по сравнению с высотой ЭК.

ЭК представляет собой трехмерное изображение корпуса компонента и контактных площадок (рис. 2). Контактная площадка для компонента навесного монтажа (компонента со штыревыми выводами) состоит из отверстия и металлизации внутри отверстия и на поверхности платы (вокруг отверстия). Для формирования трехмерной модели посадочного места под навесной ЭК контактная площадка должна включать описание отверстия и металлизации на поверхности платы. Металлизацию внутри отверстия в САПР ПУ обычно задают посредством опции (в PCAD это опция «Plated»). Металлизацию на поверх-

ности платы, видимо, тоже можно описать плоскостью (как и проводники). Отверстие для вывода ЭК формируется в модели ПУ, а на этапе создания компонента задается только его диаметр. Планарная контактная площадка (для ЭК поверхностного монтажа) представляет собой металлизированную площадку, как правило, прямоугольной формы, которая тоже может быть описана плоскостью.

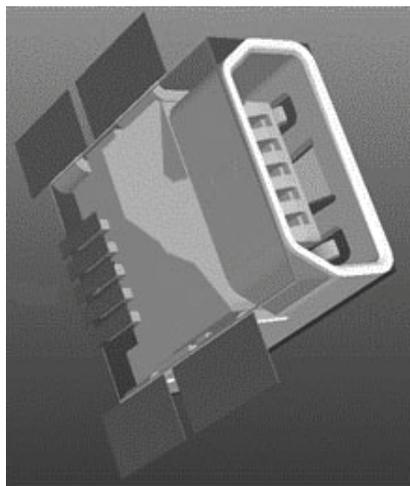


Рис. 2. Трехмерная модель разъема с контактными площадками

Вся информация в слоях металлизации ПП (проводники, металлизированные полигоны, планарные контактные площадки, металлизация вокруг отверстий для выводов навесных ЭК и переходных отверстий) может быть представлена двумерно – плоскостями.

Детали для ЭК рекомендуется создавать в том же программном модуле, что и конструктив ПП, т.е. в редакторе топологии ПП. Детали для ЭК заносятся в библиотеку и могут использоваться в других проектах. Маршрут проектирования трехмерного печатного узла представлен на рис. 3.

На основе анализа способов представления моделей геометрических объектов при конструкторско-технологическом проектировании ПУ предлагается использовать объемное моделирование посредством сплошных конструктивов (твердотельное моделирование). Математическая модель сплошных конструктивов представляет собой список ребер, т.е. грань выражается через ребра:

$$F = \{e_{j1}, e_{j2}, \dots, e_{jk}, [f_j(v, v)]\}, \text{ при } k \geq 3,$$

где $e_k = (v_i, v_j, [f_k(u)])$ – ребро, в котором f_k – уравнение линии (если линия не прямая), а $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – вершины; f_j – функция грани (если грань не плоская).

Основными преимуществами применения твердотельного моделирования (в сравнении с каркасным и поверхностным моделированием) при проектировании ПУ являются:

- возможность создания точных моделей (полное однозначное описание трехмерной геометрической формы);
- обеспечение автоматического удаления скрытых линий;
- автоматическое построение разрезов компонентов;
- применение перспективных методов анализа с автоматическим получением изображения точных весовых характеристик и эффективных конструкций методом конечных элементов;
- повышение эффективности имитации динамики механизмов (например, процедур генерации траектории движения инструмента).

В предлагаемой трехмерной модели ПУ возможен автоматизированный анализ электромагнитной совместимости во всех слоях, так как конструктив платы трехмерный.

В связи с тем, что средства управления (кнопки, переключатели) и средства индикации (светодиоды, жидкокристаллические индикаторы) располагаются, как правило, на передней панели, а разъемы – на задней или боковых, в некоторых случаях возникает электромагнитная несовместимость ПУ (если несовместимые по электромагнитным характеристикам проводники тянутся через всю плату и находятся в недопустимой близости друг с другом). В таких случаях компоненты перерасмещают на плате, либо некоторые подузлы с одного ПУ переносят на другой. Во втором случае компоновка модулей изменяется. Этот фактор довольно сложно предугадать на начальном этапе компоновки ЭУ.

Алгоритмы компоновки основаны на минимизации количества связей между частями электронного устройства. Для построения формальной математической модели компоновочных задач при проектировании ЭУ используется теория графов [4]. При этом электрическая схема интерпретируется ненаправленным мультиграфом, в котором каждому конструктивному элементу (модулю) ставится в соответствие вершина мультиграфа, а электрическим связям схемы – его ребра. Тогда задача компоновки формулируется следующим образом: задан мультиграф $G(X, U)$, который требуется «разрезать» на отдельные куски

$G_1(X_1, U_1), G_2(X_2, U_2), \dots, G_k(X_k, U_k)$ так, чтобы число ребер, соединяющих эти куски, было минимальным, т.е. минимизировать сумму

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k U_{ij},$$

где $i \neq j$; U_{ij} – множество ребер, соединяющих куски $G_i(X_i, U_i)$ и $G_j(X_j, U_j)$.

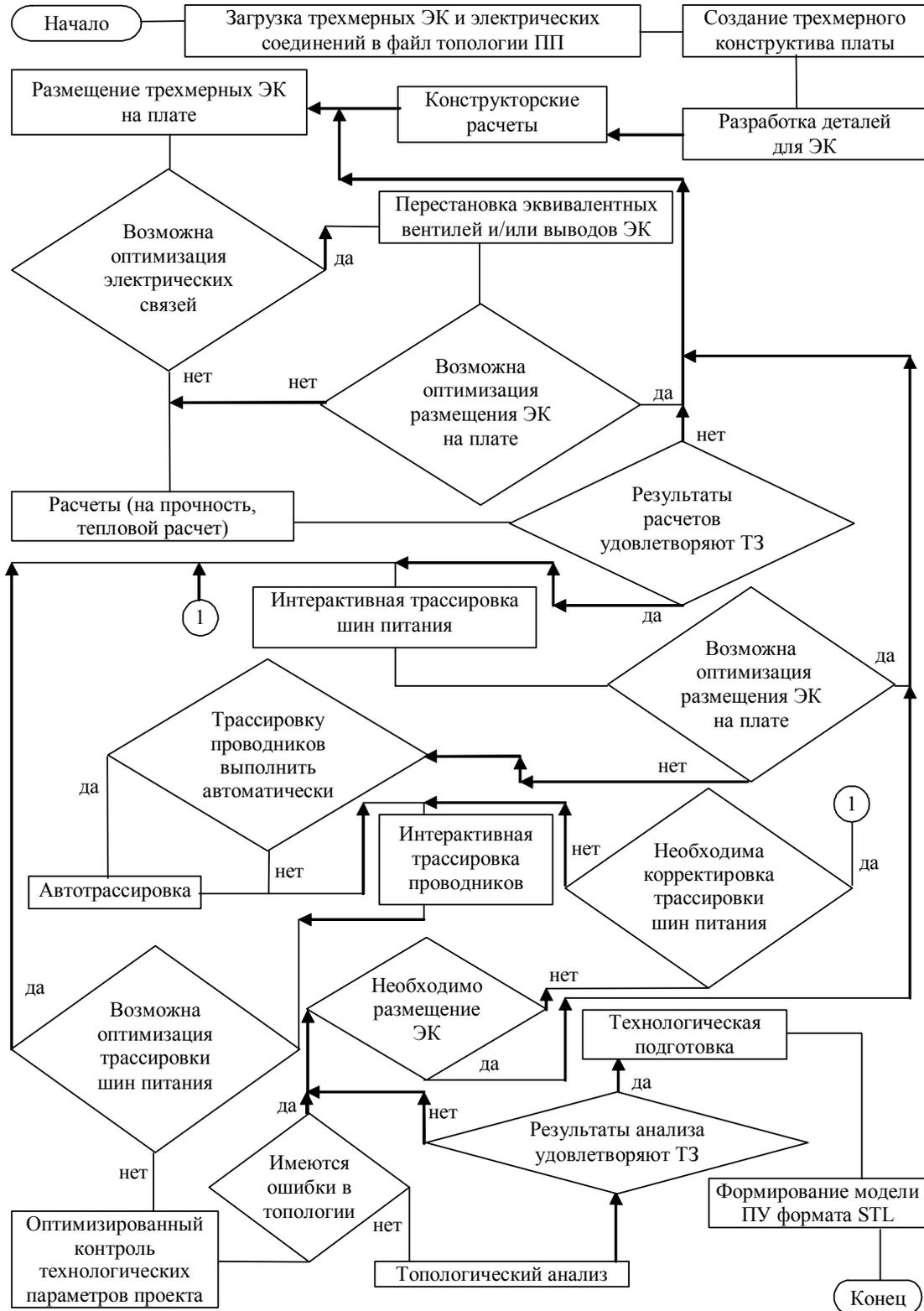


Рис. 3. Маршрут проектирования трехмерного печатного узла

Сумму множества ребер U_{ij} необходимо минимизировать соблюдая два условия:

$$\forall G_i(X_i, U_i), G_j(X_j, U_j) \in G(X, U) [G_i(X_i, U_i) \neq G_j(X_j, U_j) \Rightarrow (X_i \cap X_j = \emptyset \& U_i \cap U_j = U_{ij})],$$

$$\bigcup_{i=1}^k G_i(X_i, U_i) = G(X, U),$$

где $i, j = 1, 2, \dots, k$.

В связи с вышеизложенным для трехмерной модели ПУ предлагается оптимизировать существующие алгоритмы компоновки, а именно, добавить предварительный автоматизированный анализ электромагнитной совместимости в части разбитого графа $G_i(X_i, U_i)$ и оптимизацию графа $G_i(X_i, U_i)$ по критерию электромагнитной совместимости.

Последовательность этапов предварительного автоматизированного анализа электромагнитной совместимости ПУ представлена на рис. 4. При этом размещение на плате ЭК, таких как средства управления, средства индикации и разъемы, выполняют вручную, а остальные ЭК размещают автоматически; автотрассировку проводников выполняют с установленными конструктивными параметрами, в том числе такими, как ширина проводников и зазоры. Авторазмещение и автотрассировку можно выполнить, например, в программе SPECCTRA. Автоматизированный анализ электромагнитной совместимости можно выполнить, например, в системе трехмерного электромагнитного моделирования многослойных печатных плат Simbeor.

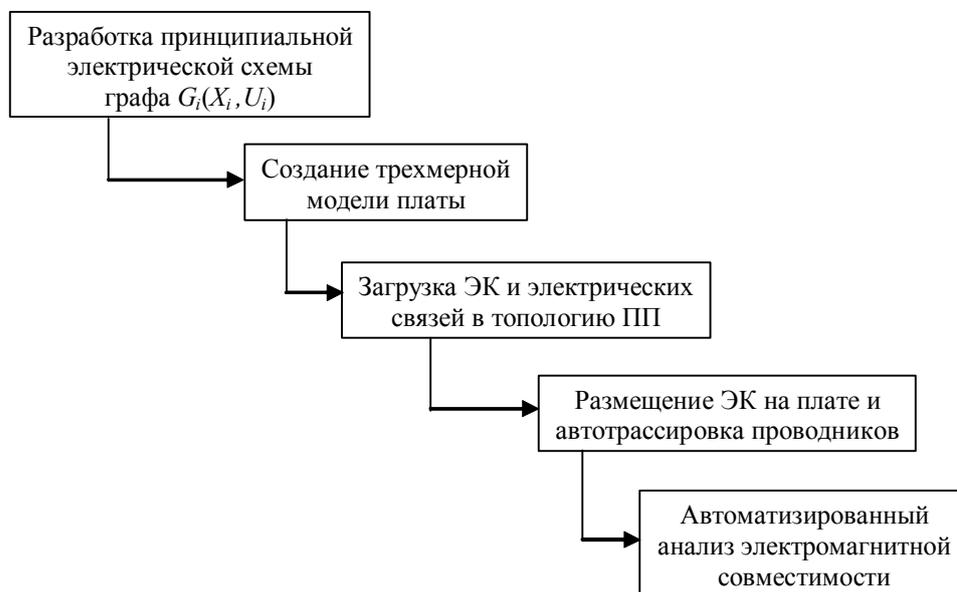


Рис. 4. Последовательность этапов предварительного автоматизированного анализа электромагнитной совместимости ПУ

Для оптимизации графа по критерию электромагнитной совместимости можно использовать веса вершин графа, назначенные по электромагнитным критериям, и посредством перестановки вершин графа перераспределить модули.

При этом необходимо понимать, что предварительный автоматизированный анализ электромагнитной совместимости ПУ необходим лишь в тех узлах, в которых имеются высокочастотные сигналы, или когда узел представляет собой смешанную (аналогово-цифровую) схему, или если в одном узле сосредоточены сигналы с сильно различающимися напряжениями (например, 5 В и 220 В). В таких узлах ЭК размещают вручную, а трассировку производят интерактивно, и выполнение предложенного алгоритма немного увеличит время проектирования ПУ за счет выполнения авторазмещения, автотрассировки и автоматизированного анализа электромагнитной совместимости, но позволит значительно сэкономить время, если реализация графа $G_i(X_i, U_i)$ невозможна на одном ПУ.

Заключение

Трехмерная модель печатного узла, представленная сплошными конструктивами в редакторе топологии плат (с трехмерным конструктивом платы и с формированием трехмерных ограничительных зон), позволит автоматизировать инженерные расчеты, контроль размещения переходных отверстий и контроль электромагнитной совместимости во всех слоях. Автоматизация процессов проектирования печатного узла позволит повысить эффективность САПР ПУ, а также сократить сроки конструкторско-технологического проектирования ЭУ и увеличить качество ЭУ.

Автоматизированные процессы проектирования ПУ рекомендуется выполнять во встроенной САЕ-системе.

Предложенный метод проектирования трехмерного ПУ может быть использован для оптимизации существующих САПР ПУ и разработки новой САПР ПУ, а также при решении таких задач, как сквозное проектирование ЭУ в едином информационном пространстве и при формировании прототипов деталей и конструкций ЭУ.

Литература

1. Bao Z. Rechnerunterstützte Kollisionsprüfung auf der Basis eines B-rep/Polytree/ CSG-Hybridmodells in einem integrierten CAD/CAM-System. – Düsseldorf: VDI Verlag, 2000. – 187 с.
2. Gatchin Y.A., Romanova E.B., Korobeynikova M.A. RP-technologies in designing the radio-electronic equipment. Proceedings of the International Scientific Conferences «Intelligent Systems (IEEE AIS'04)» and «Intelligent CAD's (CAD-2004)». Scientific publication in 3 vollumes. – Moscow: Physmathlit, 2004. – V. 3. – P. 127–128.
3. Арустамов С.А., Гатчин Ю.А., Романова Е.Б. Анализ функциональных возможностей САПР PCAD-2006 на основе опыта ее эксплуатации // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2009. – № 59. – С. 113–119.
4. Курейчик В.М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР: Учеб. для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 352 с.

Кузнецова Ольга Валерьевна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студент, olunchik_1989@mail.ru

Романова Ева Борисовна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, eva_gom@mail.ru