

В.И. Потапов  
(г. Рязань, Филиал ОКБ «Спектр»)

## **ЗАПРЕЩЕННЫЕ ФИГУРЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ**

### **FORBIDDEN SHAPES IN THE DESIGN OF THE STRUCTURES OF ELECTRONIC MODULES**

*Для проектирования плоских структур электронных модулей предлагается использовать графотеоретический метод, основанный на теории характеристического управления. Сложность алгоритмов синтеза подобных структур обусловлена необходимостью учета большого числа различных требований, связанных со спецификой их изготовления и особенностями разрабатываемого конструктивно-технологического решения.*

*For the design of flat structures of electronic modules, it is proposed to use a graph-theoretical method based on the theory of characterization control. The complexity of algorithms for the synthesis of such structures is due to the need to take into account a large number of different requirements related to the specifics of their manufacture and the features of the developed design and technological solution.*

*Ключевые слова: граф, ребро графа, планарность, запрещенные фигуры, алгоритм, анализ, синтез, характеристическое управление.*

*Keywords: graph, graph edge, planarity, forbidden shapes, algorithm, analysis, synthesis, characterization control.*

Проектирование конструкции односторонних (ОПП) или двухсторонних печатных плат (ДПП) без перемычек является одной из самых сложных задач на этапе проектирования. Задача в такой постановке особенно актуальна для бортовых ЭС, выполненных по технологии поверхностного монтажа, где, например, по причине металлического теплоотвода или керамического основания, структура соединений которых возможна только в одном или двух слоях.

Для её решения предложено большое число различных алгоритмов, однако ни один из них не может практически реализовать тактику и стратегию человека-разработчика. Основным недостатком всех используемых алгоритмов является заложенный в них принцип последовательного и фрагментарного просмотра коммутационного пространства. Сложность алгоритмов синтеза подобных структур обусловлена также необходимостью учета большого числа различных требований, связанных со спецификой их изготовления и особенностями разрабатываемого конструктивно-технологического решения.

Рассмотрим классический подход к разработке ОПП и ДПП, использующих электро-радиоэлементы (ЭРЭ) с жесткой логикой функционирования. Вначале разрабатывается принципиальная электрическая схема, а затем создается конструкция за счет решения задач размещения ЭРЭ и трассировки соединений на монтажном поле. Этот подход сложился исторически за счет того, что каждый вывод ЭРЭ несет свое функциональное значение.

На основе анализа, проведенного в [1] для решения данной задачи будем использовать графо - теоретический метод, который предполагает планаризацию графа для ОПП и расслоение графа на две стороны для ДПП и предварительный анализ планарности графа схемы с последующей ликвидацией пересечений, назначая конфликтное звено трассы на обратную сторону печатной платы.

Основной задачей создания топологии схемы соединений выводов ЭРЭ является необходимость расположения соединений на плоскости без пересечений, что облегчает условия проведения трасс любому трассировщику современных программ проектирования.

Среди критериев планарности графа наиболее известен критерий Понтрягина-Куратовского.

Задача трассировки соединений выводов элементов в схеме заключается в синтезе графа схемы, не содержащего подграфов гомеоморфных  $K_5$  или  $K_{3,3}$ .

В [1] приведен алгоритм планаризации графа, основанный на теории характеристического управления и нахождении запрещенных фигур и перевода их из класса запрещенных в класс разрешенных.

Основным требованием, предъявляемым к системам автоматизированного проектирования плоских конструкций электронных схем в виде печатных плат с различным количеством слоев, является обеспечение 100% эффективности трассировки соединений, под которой понимается отношение количества реализованных соединений на одном слое к общему количеству соединений.

В настоящей работе предлагается выполнить проектирование ПП с высокой эффективностью трассировки соединений за счет решения задачи расслоения исходного графа-схемы и построения плоского графа-схемы как на стороне установки ЭРЭ, так и на обратной стороне платы - стороне пайки, исключая запрещенные фигуры по теореме Потрягина-Куратовского. Задача расслоения представляет собой задачу раскраски графа в два цвета, решение который базируется на теореме Кенига, определяющей запрещенную фигуру в виде циклов нечетной длины.

Рассмотрим решение задачи расслоения ребер исходного графа-схемы на две стороны печатной платы в виде задачи раскраски графа-схемы в два цвета используя теорему Кенига. Граф является двухцветным тогда и только тогда, когда он не содержит циклов нечетной длины [1].

Алгоритм расслоения ребер на две стороны.

1. Поиск запрещенных фигур (циклов нечетной длины).
2. Построение семантической таблицы.
3. Нахождение минимального покрытия строк таблицы столбцами. Все строки таблицы покрыты хотя бы одним столбцом? Если да, то переход к п. 7. Иначе к п.4.
4. Нахождение компоненты запрещенной фигуры для приведения исходной модели к интерпретируемому виду.
5. Удаление компоненты из исходного графа на основании семантической таблицы минимального покрытия.
6. Переход к п.1.
7. Полученное минимальное покрытие является оптимальным решением, удаление этих компонент (сигнатур) переводит запрещенные фигуры в класс разрешенных, т.е. формирует двухцветный граф.
8. Конец алгоритма.

Основным критерием эффективности построения плоских структур является 100 % трассировка соединений между элементами структуры в одном или нескольких слоях. Оценивая результаты синтеза плоских структур электронных схем, построенных с применением разработанной модели и алгоритма, для проведения эксперимента по трассировке соединений использовался современный пакет прикладных программ DipTrace и Altium Designer (P-CAD) со специализированным программным приложением. Проведенный сравнительный анализ представленных результатов трассировки (возможность 100 % трассировки) применяемых САПР, полученных «До» (без участия планаризации) и «После» (планаризации) использования предлагаемого подхода планаризации исходных графов для проектирования плоских структур электронных схем, позволяет повысить эффективность трассировки соединений в среднем на 2-5%.

#### **Список литературы**

1. Горбатов, В.А. Фундаментальные основы дискретной математики / В.А. Горбатов. – М.: Наука. Физматлит, 2000. - 544 с.

*Материал поступил в редколлегию 16.10.20.*