

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ ТРАССИРОВЩИК ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ TOROR

Сергей Лузин, д.т.н., главный научный сотрудник, ОАО «Авангард» (Санкт-Петербург)
Олег Полубасов, к.т.н., ведущий научный сотрудник, ОАО «Авангард» (Санкт-Петербург)

В статье рассматриваются особенности топологического подхода к проектированию печатных плат и преимущества использования топологического трассировщика Toror.

Сложность радиоэлектронной аппаратуры неуклонно повышается. Увеличивается количество элементов на печатной плате или кристалле БИС, и сами элементы становятся все более сложными: увеличивается количество контактов микросхем при одновременном уменьшении расстояний между контактами.

«Существует четыре пути повышения плотности межсоединений и монтажа компонентов на печатных платах:

- уменьшение размера отверстий и контактных площадок, чтобы высвободить пространство для трассировки проводников;

- увеличение количества трасс между отверстиями за счет уменьшения ширины проводников и зазоров;

- отказ от сквозных отверстий в пользу глухих и слепых межслойных переходов;

- увеличение количества слоев» [1].

Однако, как продолжает автор [1], «все это приводит к увеличению себестоимости плат».

Но существует еще один путь – совершенствование моделей и алгоритмов автоматизированного проектирования печатного монтажа. В отличие от вышеперечисленных четырех способов, последний путь не только не ведет к удорожанию изделий, а напротив, способен снизить затраты на их производство.

Предположим, что только используя другую систему проектирования, можно уменьшить суммарную длину проводников на 25–40% и в 2–3 раза уменьшить число межслойных переходов. Это означает, что на плате становится существенно свободнее, и можно либо увеличить зазоры между проводниками и размеры контактных площадок, либо, не изменяя проектных норм, уменьшить размер подложки или количество слоев.

Возможно ли это? Возможно, если пересмотреть подходы к автоматизированному проектированию.

НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННЫХ ПОДХОДОВ

При проектировании двухслойных и многослойных коммутационных

структур традиционно использовались последовательные методы формирования топологии проводников на основе решения задачи нахождения пути в лабиринте, образованном как контактными площадками, так и проложенными проводниками и межслойными переходами. При подобном подходе с каждым проложенным проводником затрудняется возможность прокладки последующих, так как лабиринт постоянно усложняется, и остается все меньше ресурсов.

1. **Фиксация формы уже проложенных проводников** не позволяет при поиске путей для следующих трасс автоматически изменить форму уже проложенных трасс, отодвинуть фрагмент, перенести в другой слой и т.д.

При последовательной прокладке трасс и отсутствии анализа необходимых коммутационных ресурсов слишком велика вероятность блокировки контактов и, как следствие, появления неразведенных трасс, поэтому при трассировке схем с планарными компонентами часто используется предварительная генерация переходных отверстий рядом с контактными площадками компонентов и присоединение их короткими проводниками (Fun Out). Ранняя фиксация направления подхода проводника к конкретному контакту компонента вносит определенную «жесткость» и не способствует получению качественных топологических решений.

Не доверяя автоматическим трассировщикам, некоторые разработчики разводят вручную критические цепи и фиксируют их форму, оставляя трассировщику рутинную разводку остальных соединений. Это вынужденная мера, однако она также вносит дополнительную жесткость и затрудняет возможность получения оптимальных параметров остальных цепей.

2. Наряду с фиксацией формы проводников **фиксируется также и пропускная способность участков монтажного пространства.**

Результатом фиксации пропускной способности участков монтажного

пространства часто является завышенная длина трасс и, как следствие, завышенное число переходных отверстий (из-за невозможности подвинуть компонент трасса вынуждена его обходить, что увеличивает длину и создает трудности при прокладке других трасс).

3. **Задача минимизации числа межслойных переходов** обычно решается после завершения трассировки в рамках уже полученного единственного варианта топологии. Причем делается это простейшим способом: фрагмент трассы переносится из одного слоя в другой, если при этом уменьшается число переходов. Возможности такой процедуры весьма скромны, обычно получается в несколько раз больше переходов, чем надо. Огромное количество избыточных переходов ухудшает параметры изделия (да и сверло приходится менять намного чаще).

Заметим, что уменьшение числа межслойных переходов способствует более рациональному использованию площади коммутационного пространства. Обычно диаметр межслойного перехода существенно превосходит ширину проводника, при этом переход занимает место как минимум в двух слоях. Кроме того, оккупируя пространство в нескольких слоях, переход является разделителем трасс в этих слоях, что препятствует уплотнению топологии и экономному использованию ресурсов монтажного пространства.

На рисунке 1 показан фрагмент топологии с переходом, разделяющим проводники на разных слоях. Если бы перехода не было, то площадь, занимаемая проводниками, могла быть в два раза меньше.

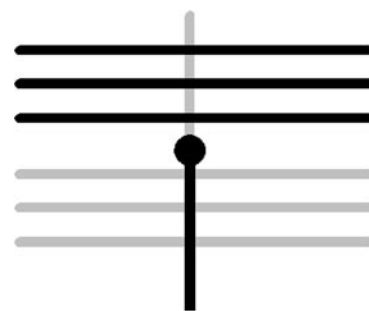


Рис. 1. Фрагмент топологии с переходом, разделяющим проводники

4. Наличие большого числа лишних межслойных переходов не позволяет использовать те же автоматические процедуры для проектирования устройств с **однослойной** коммутацией.

Заметим, что в мире вообще отсутствуют системы, позволяющие эффективно решать задачи проектирования устройств с однослойной коммутацией, таких как однослойные печатные платы или тонкопленочные микросборки.

Традиционный подход к проектированию однослойных структур — планаризация графа схемы, т.е. укладка на плоскости фрагментов графа без пересечений. Однако существующие методы решения этой задачи не позволяют в полной мере учесть конструктивно-технологические ограничения, а также осуществлять оптимизацию полученных решений.

5. Сложившаяся традиция разводки печатных плат предполагает, что размещение элементов на плате предшествует трассировке связей. Но до трассировки трудно абсолютно точно определить необходимые размеры областей между модулями для того, чтобы трассировщику хватило выделенных ресурсов. В некоторых местах будет выделено ресурсов больше необходимого, а где-то, наоборот, может не хватить. Поэтому после трассировки возникает желание немножко передвинуть элементы, чтобы освободить лишние ресурсы, сократив тем самым площадь платы и длину проводников, в других же местах, наоборот, увеличить зазоры.

Довольно часто схема, уже запущенная в производство, подвергается незначительной доработке, например добавляется одна или несколько связей. Но на плате для этих связей места не оказывается. Вот если бы чуть-чуть раздвинуть несколько элементов... Но изменение расположения элементов на плотно оттрассированной плате при помощи редакторов, включаемых в современные САПР, — тяжелый ручной труд, сравнимый с полной ручной трассировкой платы и чреватый теми же ошибками.



Рис. 2. Топология однослойной печатной платы

Существенным недостатком существующих методов и систем трассировки является невозможность коррекции размещения в процессе трассировки или осуществления трассировки с учетом возможности последующей коррекции размещения без нарушения целостности проводников.

6. Если подходить к задаче трассировки как к оптимизационной задаче, то можно сказать, что существующие трассировщики решают задачу оптимизации по одному критерию. Между тем, трассировка — задача нахождения компромиссного решения при противоречивых критериях (суммарная длина проводников, число переходных отверстий) с учетом различных конструкторско-технологических ограничений, в основном метрического характера. В связи со сложностью задачи обычно даже не пытаются получить оптимальную в каком-то смысле топологию. Главной целью объявляется достижение максимального процента разведенных трасс. Если по достижении основной цели устройство работоспособно, то, скорее всего, его доводкой (улучшением характеристик, повышением технологичности, снижением себестоимости и т.д.) никто заниматься не будет, поскольку это — потеря времени с неизвестным результатом.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД

Альтернатива существующим подходам — это гибкая топологическая трассировка [2], реализованная в системе проектирования топологии печатного монтажа ТороR (от ТОРОlogical Router) [3]. Такой подход имеет целый ряд принципиальных отличий.

1. Быстрая прокладка сразу всех проводников даже с нарушением конструкторско-технологических ограничений. Первоначальное определение топологических путей проводников осуществляется без распределения по слоям (так называемая совмещенная топология). Затем выполняется расслоение совмещенной топологии с глобальной минимизацией числа межслойных переходов [4]. В результате получается некоторый вариант топологии со стопроцентной реализацией связей. Главная задача всех трассировщиков решается практически мгновенно, однако при этом могут иметь место несоблюдение зазоров, завышенное число межслойных переходов и т.д.

2. Многокритериальная оптимизация топологии, осуществляемая в процессе перекладки проводников [5]. Основное время тратится на поиск качественного решения. В процессе оптимизации устраняются наруше-

ния, сокращается длина проводников, уменьшается число межслойных переходов, число «узких мест» (мест с минимальным зазором). Число межслойных переходов сокращается как за счет изменения топологических путей проводников, так и за счет периодически выполняемой при переслоении топологии процедуры глобальной минимизации.

Наличие эффективных средств минимизации межслойных переходов позволяет с единых позиций подходить к проектированию как многослойных, так и **однослойных** коммутационных структур. На рисунке 2 показана топология однослойной печатной платы, полученная в системе ТороR менее чем за одну секунду. Получение подобного результата в другом трассировщике проблематично.

В отличие от других трассировщиков, **ТороR** осуществляет параллельную оптимизацию нескольких альтернативных вариантов топологии, различающихся значениями оптимизируемых параметров, и пользователь вправе выбрать одну или несколько понравившихся ему топологических конфигураций.

3. Геометрия проводников ни на этапе прокладки, ни в процессе оптимизации не фиксируется, что позволяет гибко перераспределять ресурсы при изменении топологии. Точная геометрия рассчитывается только при создании выходного файла. Отсутствие жесткой фиксации координат компонентов и геометрии проводников как на этапе поиска пути, так и на этапе оптимизации создает дополнительные возможности для оптимизации топологических решений, в частности для минимизации суммарной длины проводников и числа переходных отверстий.

4. Автоматический расчет оптимальной (в рамках найденной топологии) геометрической формы каждого проводника обеспечивает минимальность (в рамках найденной топологии) длины каждого проводника.

Проводники получаются гладкие, без изломов, состоящие из отрезков прямых под произвольным углом и дуг окружностей, огибающих препятствия.

Отсутствие преимущественных направлений трассировки в слоях существенно снижает уровень параллельности трасс, что, в свою очередь, уменьшает уровень перекрестных электромагнитных помех.

5. ТороR позволяет перемещать элементы на уже разведенной плате, сохраняя при этом целостность разводки и соблюдая заданные зазоры.

Перемещение компонентов, переходных отверстий и ветвлений проводников применяется для уменьшения длины проводников, обеспечения заданных зазоров (ликвидации узких мест), а также для уменьшения площади платы, занятой компонентами. Перемещение компонентов может осуществляться вручную или автоматически, при этом геометрическая форма проводников автоматически изменяется, и поддерживаются минимальная длина и необходимые зазоры.

ТороR использует два режима разводки: с полным контролем конструктивно-технологических ограничений и с частичным контролем. В режиме с частичным контролем между незакрепленными компонентами величина зазора не фиксируется, она может варьироваться в некоторых пределах. Это позволяет провести между незакрепленными компонентами большее число трасс в расчете на последующую разводку. Несоблюдение зазоров фиксируется как нарушение, которое в считанные секунды устраняется в процессе автоматического перемещения.

Поскольку в процессе перемещения меняются метрические соотношения между элементами топологии, в ТороR включены средства локальной перетрассировки в процессе перемещения.

ТороR имеет также необходимый набор инструментов и функций:

- редактор стиля разработки, в котором задаются основные конструктивно-технологические ограничения. В частности, в отличие от других систем, имеется возможность задания для каждой цепи минимально допустимого и желательного зазоров;

- редактор размещения с удобной подсветкой связей между компонентами;

- два режима редактирования топологии: один традиционный, второй не позволяет редактировать форму проводников, но дает возможность перемещать компоненты без нарушения целостности разводки и с автоматическим расчетом формы проводников;

- быстрые средства автоматического размещения компонентов;

- связь с продуктами других фирм осуществляется через PCAD ASCII PCB-файлы (в ближайших планах – добавление конвертеров DSN и PADS ASCII PCB);

- вывод результатов проектирования в форматах DXF и Gerber;

- автоматический контроль конструктивно-технологических ограничений в процессе автотрассировки, в процессе редактирования топо-

СЧЕТ 0:7

Замена

“ЗАМЕНУ НАДО ДЕЛАТЬ ВОВРЕМЯ...”

WWW.BELVAR.RU

Производство и поставка ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ, ПРОМЫШЛЕННОЙ МЕБЕЛИ, ПАЯЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
620016, г. Екатеринбург, ул. Институтская, 1а, офис 404. E-mail: belvar@bk.ru
Тел./факс: (343) 355-55-41, 355-55-42, 355-55-43, 355-55-71, 355-55-72, 355-55-73

Финны отдыхают

Подробности на сайте **www.beltema.ru**

БЕЛТЕМА
ПРОМЫШЛЕННАЯ МЕБЕЛЬ

гии платы (online DRC) и контроль выходного файла (DRC);

- автоматическая расстановка точек ветвления проводников и межслойных переходов;

- автоматическое уменьшение ширины проводника при подходе к мелким контактам (ширина контакта меньше ширины проводника) и при проходе через узкие места (например, между контактами компонента);

- средства автоматического (в процессе автотрассировки) и ручного (в процессе редактирования) переназначения функционально эквивалентных контактов;

- автоматическая генерация каплевидных стыков контактных площадок и проводников.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ С СИСТЕМОЙ TороR

Чем гибче модель, чем меньше метрических ограничений она фиксирует, тем значительно сокращается пространство решений, а значит, облегчается поиск хороших решений, но тем труднее обеспечить соблюдение этих ограничений.

Например, на этапе оптимизации положение межслойного перехода не фиксируется. На этом этапе переход моделируется участком проводника между двумя соседними пересечениями с другими проводниками. При переходе в режим редактирования учет реальных размеров межслойного перехода может привести к появлению нарушений зазоров, не обнаруженных на этапе оптимизации топологии. TороR имеет достаточно средств, как автоматических, так и ручных, чтобы довести топологию до варианта без нарушений, однако это может потребовать некоторых усилий. Поэтому TороR — это, прежде всего, инструмент для квалифицированного специалиста, знающего, что он хочет получить в итоге. На авторазводчик ложится задача прокладки проводников и оптимизации топологии. Программа должна найти топологические решения, обеспечивающие минимальную загрузку коммутационного пространства, минимум длины проводников, наименьшее количество межслойных

переходов. И на этом этапе необходима максимальная гибкость. Если полученные в автоматическом режиме решения для каких-либо проводников не устраивают разработчика, он может воспользоваться интерактивными средствами. Заметим, что, в отличие от ортогональной, полученная топология «прозрачна» — на ней все недочеты очень хорошо видны. Средства редактирования тоже топологические: при перекладке проводников нет необходимости точно соблюдать все конструктивно-технологические нормы, поскольку форма проводников рассчитывается автоматически и, кроме того, имеется возможность отодвигать компоненты вместе с проводниками, в том числе автоматически. Поэтому при работе с системой TороR целесообразна обратная традиционной стратегия: сначала автоматическая прокладка проводников и оптимизация, а затем редактирование, в процессе которого при необходимости перекладываются критические цепи.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

САПР TороR обеспечивает по сравнению с аналогами существенное сокращение времени проектирования (в 2–10 раз, включая время на ручное редактирование), уменьшение суммарной длины проводников (на 15–40%), а также уменьшение числа межслойных переходов (в 1,5–2 раза). Это, в свою очередь, приводит к возможности уменьшения числа слоев или размеров платы при тех же проектных нормах, снижению трудоемкости изготовления и стоимости изделия, повышению его надежности.

В таблице 1 приведены характеристики четырех печатных плат, ранее спроектированных в четырех различных системах (PCAD и Protel DXP, фирма Altium; Specetra, фирма Cadence; Power PCB, фирма Mentor Graphics), а затем спроектированных с помощью САПР «TороR» при одинаковых проектных нормах.

ОГРАНИЧЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ

Следует отметить, что в плане функциональности и развитости

интерфейса TороR пока уступает продуктам ведущих фирм. Ограничения присущи не методу, а программе. Программа развивается, и в этом ей существенно помогает активная позиция пользователей, присылающих замечания и пожелания. Серьезными недостатками программы можно назвать следующие ограничения.

- Все переходы сквозные. Переходы нельзя располагать на контактах.

- Полигоны не обрабатываются.

- Контакты не должны пересекаться в одном слое.

- Размещение компонентов в несколько ярусов (на одной стороне) не поддерживается.

- Нет возможности указать, что несколько компонентов должны перемещаться совместно, как единое целое, например компонент и его крепеж.

В ближайших планах

- Обработка полигонов.

- Импорт и экспорт форматов продуктов ведущих фирм, прежде всего Cadence и Mentor Graphics.

- Контроль заданной длины проводников.

- Трассировка дифференциальных пар.

- Расчет перекрестных электромагнитных помех.

- Автоматическая корректировка топологии по результатам расчета перекрестных помех.

- Распределенная трассировка, позволяющая использовать вычислительную мощность не одного компьютера, а всей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев А.М. Печатные платы. Плотность межсоединений // Технологии приборостроения, 2005, №3, с. 3–9.

2. Лузин С.Ю., Полубасов О.Б. Топологическая трассировка: реальность или миф? // CHIP NEWS, 2002, №5(68), с. 42–46.

3. Лузин С.Ю., Лячек Ю.Т., Полубасов О.Б. Автоматизация проектирования печатных плат. Система топологической трассировки TороR. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005, 164 с.

4. Полубасов О.Б. Глобальная минимизация количества межслойных переходов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2001, №2, с. 3–9.

5. Полубасов О.Б., Петросян Г.С. Методика отбора вариантов при оптимизации разводки соединений // Технологии приборостроения, 2005, №3, с. 16–19.

Таблица 1. Сравнение результатов трассировки

	ТЕСТ 1		ТЕСТ 2		ТЕСТ 3		ТЕСТ 4	
	TороR	PCAD	TороR	Protel DXP	TороR	Specetra	TороR	Power PCB
Цепи	455		548		1095		891	
Компоненты	213		253		1131		571	
Контакты	2065		2588		5708		5050	
Переходы	860	1536	1114	2014	2832	3932	1800	3301
Слои	4	13	2	8	4		4	
Длина, м	36	60	47	48	73	86	83	97



КОРПОРАЦИЯ HITTITE MICROWAVE ИЗВЕСТНА КАК ОДИН ИЗ ВЕДУЩИХ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ И СВЧ-МОДУЛЕЙ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РАДИОЧАСТОТНОМ И МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ДО 110 ГГц.

Компания, основанная в 1985 г., поставляет на рынок:

- Усилители мощности
- Усилительные блоки
- Атенюаторы
- Пассивные и активные умножители частоты
- Делители
- Детекторы
- Смесители
- Модуляторы
- ГУНЫ
- Переключатели
- Малошумящие усилители и другую продукцию

ЭТИ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ И ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ:

ШИРОКОПОЛОСНАЯ СЕТЬ:

802.11a/b/g, BLUETOOTH, UNII, MMDS, WLL, CATV, DBS

СОТОВАЯ СЕТЬ:

GSM, W-CDMA, PCS, UMTS 3G и Telematics

МИКРОВОЛНОВАЯ/МИЛЛИМЕТРОВАЯ СЕТЬ:

P2P / P2MP / VSAT радио, тестовое оборудование, сенсоры

ОПТОВОЛОКОННАЯ СЕТЬ:

OC-48 - OC-192

ДЛЯ ВОЕННОГО/КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ:

от радиочастотного до миллиметрового диапазона.



Подробнее на сайте: www.gembirdcomponents.ru

РЕЗИСТОРЫ:

- Чип-резисторы (0603; 0805; 1206 1 % 5 %)
- Постоянные резисторы (углеродо пленочные; металло пленочные)
- Проволочные цементные
- Резисторные сборки SIP (аналог HP1-4-9M)
- Переменные резисторы

КВАРЦЫ:

- Кварцевые резонаторы (корпус стандартный; усеченный; SMD; ПАВ -20/+70 °C; -45/+85 °C)
- Кварцевые резонаторы часовые
- Керамические резонаторы

ВАРИСТОРЫ
ТРАНЗИСТОРЫ

КОНДЕНСАТОРЫ:

- Электролитические 85 °C; 105 °C
- Керамические многослойные выводные радиальные MLCC (аналог K10-17B)
- Чип-керамические многослойные (0603, 0805, 1206, 16V, 25V, 50V, 63V)
- Чип-танталовые конденсаторы (A B C D)
- Керамические дисковые

ДИОДЫ:

- Диоды Шоттки
- Высоко частотные
- Супербыстродействующие
- Ультрабыстродействующие
- Высоко частотные
- Быстродействующие
- Выпрямительные
- Высоковольтные
- Диоды
- Высокоскоростные переключаемые
- Стабилитроны
- Диодные матрицы
- Диодные мосты
- Светодиоды



Представительство Gembird в России: тел. (095) 231-49-89, e-mail: info@gembird.ru