Лузин С.Ю., Полубасов О.Б.

О ДОСТОИНСТВАХ ИЗОТРОПНОЙ ТРАССИРОВКИ

В статье обсуждается, являются ли произвольные направления трассировки и гладкие без изломов проводники капризом разработчиков САПР TopoR, или это - технически обоснованное решение.

1. Откуда взялась привычка к ортогональной трассировке

Известно, что новое всегда с трудом пробивает себе дорогу. В то же время, существует мнение, что все новое – это хорошо забытое старое.

С момента опубликования “волнового” алгоритма или алгоритма Ли, осуществляющего поиск пути между двумя точками в лабиринте, прошло уже больше 40 лет. Примерно 40 лет назад появились и первые сеточные автотрассировщики печатного монтажа. До появления первых автоматизированных систем проектирование топологии печатного монтажа осуществлялось вручную. Естественно, никому не приходило в голову рисовать ломаную вместо прямой, кроме того, углы в топологии проводников обычно сглаживали. Вид первых печатных плат, спроектированных автоматизированным способом, вызывал недовольство, недоумение и отторжение. Однако время шло, системы автоматизированного проектирования становились все совершеннее и эффективнее. Постепенно конструкторы привыкли к виду проводников и смирились, тем более что автоматизация существенно повысила производительность их труда. За сорок лет практически сменилось поколение специалистов, и сейчас очень немного осталось тех, кто еще помнит ручное проектирование. Сегодня уже неортогональная разводка, гладкие проводники многими воспринимаются, как нечто нелепое, неправильное, выходящее за привычные рамки.

Один из аргументов, который часто приходится слышать: “Ортогональная топология – это красиво, а гладкая под произвольными углами – это некрасиво”.

Ниже представлен рисунок с фрагментом платы, разведенной одним из популярных автотрассировщиков. Видны многочисленные изломы проводников, наличие которых легко объяснить (таковы уж алгоритмы), но не оправдать. На втором рисунке – фрагмент платы, разведенной топологическим трассировщиком TopoR… [1].

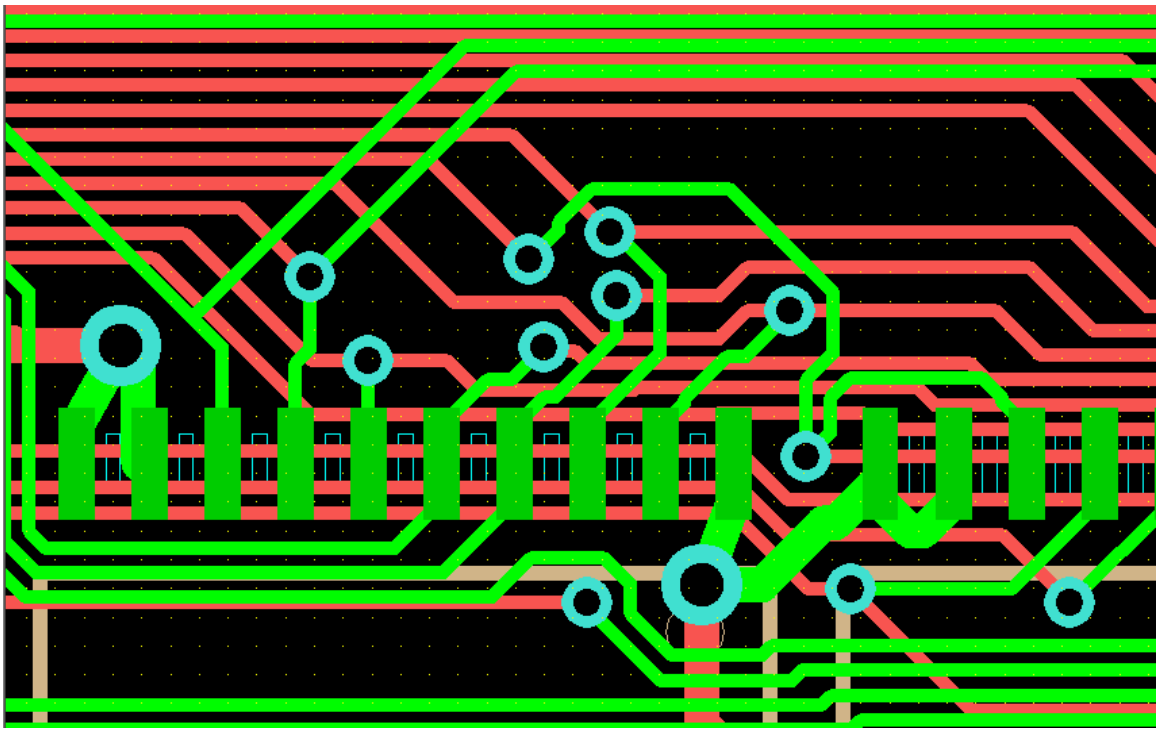

Рис.1. Фрагмент платы, разведенной обычным трассировщиком

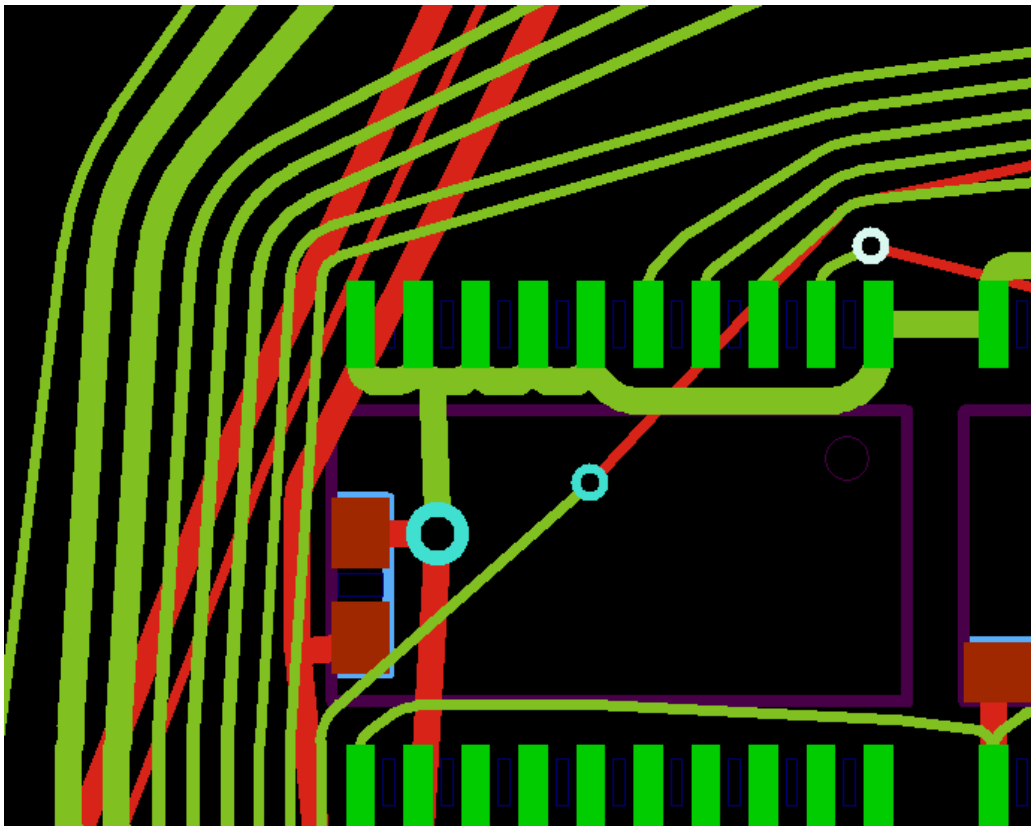

Рис.2. Фрагмент платы, разведенной трассировщиком TopoR

Впрочем, красота – понятие субъективное, поэтому рассмотрим техническую сторону вопроса.

Поскольку обычно слова авторов о собственной разработке звучат для остальных не очень убедительно, то, говоря о преимуществах топологической трассировки, будем ссылаться на публикации авторитетных отечественных (А.М. Медведев [2]) и зарубежных (фирмы IBM [3] и Texas Instruments [4, 5]) специалистов.

Трассировка – задача нахождения компромиссного решения прокладки множества трасс при минимизации противоречивых критериев (суммарной длины проводников, числа переходных отверстий) и с учетом различных конструктивно-технологических ограничений, в основном, метрического характера. В связи со сложностью задачи обычно даже не пытаются получить оптимальную в каком-либо смысле топологию. Главной целью объявляется достижение максимального процента разведенных трасс.

В большинстве систем автоматизированного проектирования печатного монтажа задача трассировки межсоединений формулируется как задача последовательного поиска путей между парами точек в лабиринте, образованном контактами, запретами и уже проложенными проводниками, при этом найденный путь фиксируется и становится частью лабиринта.

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, увеличивая длину и создавая трудности для прокладки других трасс).

Все остальные задачи (минимизация суммарной длины проводников, числа межслойных переходов, сглаживание углов в проводниках, локальная раздвижка проводников для уменьшения паразитных связей и т.д.) обычно решаются после достижения основного результата в рамках уже полученного единственного варианта топологии. Естественно, что возможности повышения качества за счет таких локальных процедур весьма скромные. В большинстве случаев основным критерием оценки качества окончательной разводки является работоспособность схемы.

При этом практически не оценивается такие показатели качества топологии, как технологичность и надежность, которые зависят также и от числа узких мест (минимальных зазоров), их протяженности, длины параллельных участков цепей на одном слое, длины параллельных участков цепей и площадь перекрытия на смежных слоях.

2. Использование ресурсов коммутационного пространства

Широко используемые системы проектирования топологи печатного монтажа осуществляют трассировку проводников вертикальными, горизонтальными отрезками или отрезками под 45°.

Рисунок 3 из статьи, посвященной системе однослойной автоматической трассировки “TRL” [3], иллюстрирует преимущества

трассировки под произвольными углами. Видно, что только последний вариант позволяет провести четыре трассы вместо трех в пространстве между прямоугольными областями, т.е. пространство используется более экономично.

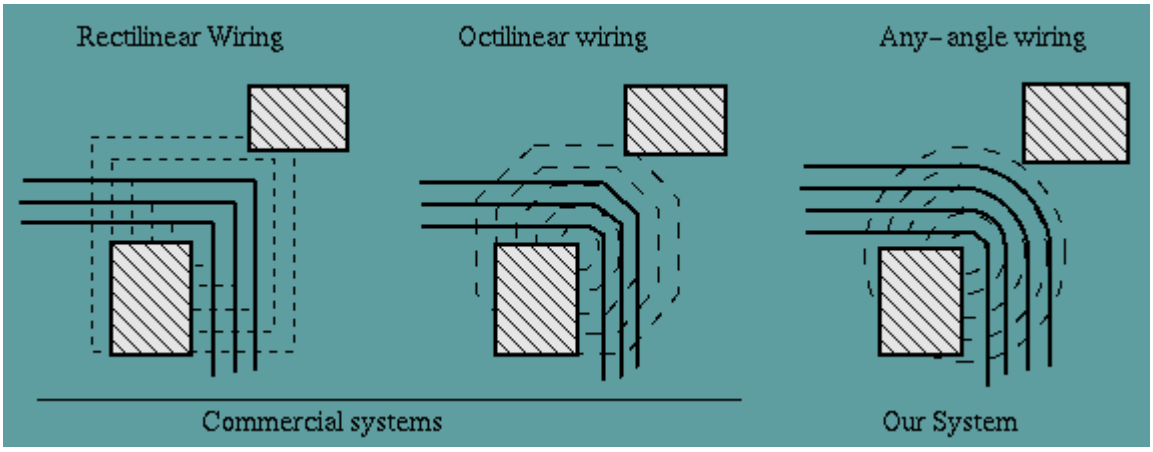

Рис. 3. Использование ресурсов коммутационного пространства при различных способах трассировки

Отметим, что рисунок взят из указанной статьи, то есть Our System – это “TRL”, а не TopoR.

На рисунке в варианте с произвольными углами (any-angle wiring) проводники сглажены, хотя в этом случае обеспечить необходимый зазор можно и с несглаженными проводниками.

На следующем рисунке приведена ситуация, при которой необходимый зазор обеспечивается только сглаженными проводниками. Проводники плавно переходят с одной дуги окружности на другую, и на всем их протяжении выдерживается одинаковый зазор. При любой аппроксимации дуг окружностей возникнут нарушения зазоров. Таким образом, трассировка под произвольными углами со сглаженными проводниками обеспечивает наиболее экономичное использование коммутационного пространства. (Площадь круга всегда меньше площади описанного многоугольника.)

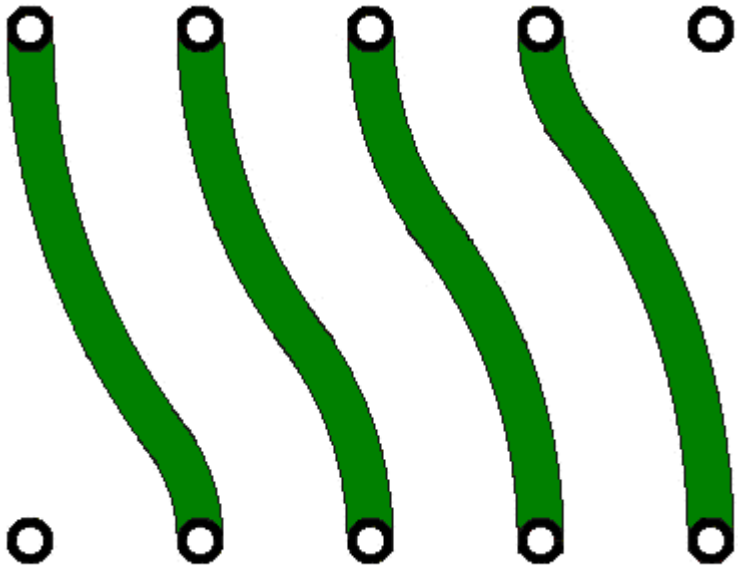

Рис.4. Единственный вариант трассировки с минимальной длиной проводников и соблюдением зазоров

3. Гладкие, без изломов проводники

“Характер проводящего рисунка во многом определяет технологичность конструкции, надежность производства печатных плат.

При трассировке проводников следует избегать острых углов. Во внутреннем пространстве такого угла образуется своеобразный карман, в котором часто наблюдаются недотравленные места, где при пайке скапливаются наплывы и сосульки припоя. При незначительных напряжениях сжатия в гальванических осадках в результате термических воздействий пайки острый угол может отслоиться от основания. Если проводник находится под высоким потенциалом, острие угла приобретает высокий градиент электрического поля, здесь сосредоточиваются загрязнения, в результате электростатического осаждения пыли. Создается опасность электрического пробоя” [2].

“Когда проводник печатной платы поворачивает на угол 90°, может возникнуть отражение сигнала. Это происходит, главным образом, из-за изменения ширины пути прохождения тока. В вершине угла ширина трассы увеличивается в 1.414 раза, что приводит к рассогласованию характеристик

линии передачи, особенно распределенной емкости и собственной индуктивности трассы” [4].

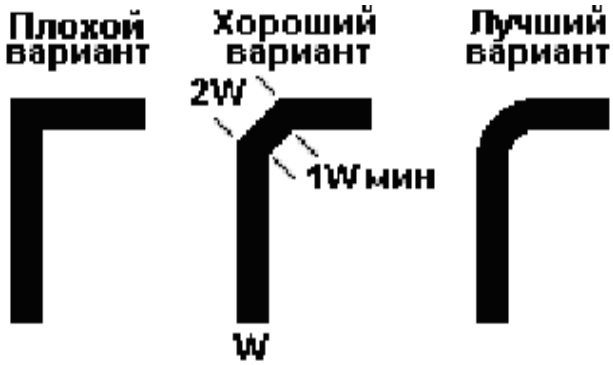

Рис.5. Сглаживание углов проводников

Одно из отличий топологии, созданной системой TopoR, – гладкие без изломов проводники, и, следовательно, отсутствие всех указанных выше неприятностей.

4. Преимущественные направления трассировки на слое

“Следует иметь в виду, что при нагревах ПП (термообработка, оплавление металлорезиста, сушка, пайка и т.д.) сбалансированность рисунка двух сторон существенно сказывается на короблении платы из-за разницы в механических напряжениях. *Широко используемый принцип ортогональности рисунка двух сторон приводит к скручиваю печатной платы*” [2].

Отметим, что к скручиванью приводит не собственно ортогональность рисунка, а глобальная преимущественность направлений проводников на слое. В топологии, полученной с помощью САПР TopoR, на любом локальном участке платы проводники в смежных слоях также примерно ортогональны, но на разных участках платы направления различны, поэтому анизотропность слоев не носит глобального характера.

5. Уровень электромагнитных помех

“Проводники, находящиеся друг над другом на смежных слоях, создают длинный пленочный конденсатор…

Если два проводника проходят близко друг к другу, то между ними образуется емкостная и индуктивная связь… (рис.6)

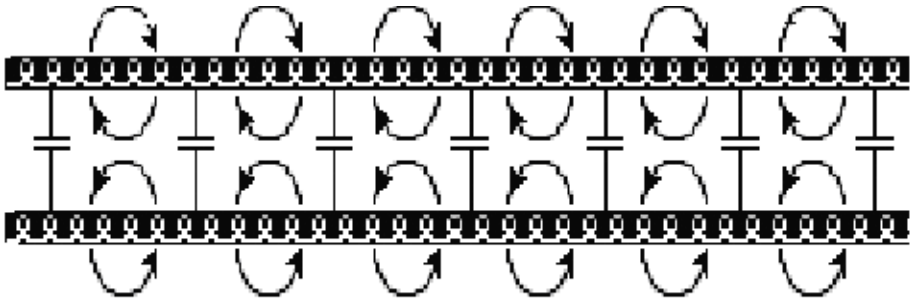

Рис. 6. Взаимосвязь между параллельными сигнальными проводниками

Всякий раз, когда при разводке печатной платы появляется необходимость в создании переходного отверстия, т.е. межслойного соединения, необходимо помнить, что при этом возникает также паразитная индуктивность. Например, при диаметре 0,4 мм и высоте 1,5 мм (достаточно распространенные величины) индуктивность отверстия равна 1,1 нГн” [5].

В САПР TopoR практически не бывает протяженных участков проводников, параллельно идущих в смежных слоях. Возможность задания минимального (в узких местах) и номинального зазоров между проводниками существенно уменьшает количество и протяженность узких мест на одном слое. Число межслойных переходов в топологии, полученной с помощью САПР TopoR, обычно в разы меньше, чем в топологии, полученной с помощью любой другой системы.

Кроме того, указанные факторы в сочетании с уменьшением суммарной длины проводников и отсутствием приоритетных направлений трассировки обеспечивают значительное снижение уровня электромагнитных помех.

Хочется развеять одно распространенное заблуждение. Глядя на проводники, плавно огибающие препятствия, разработчики часто отмечают, что прямой проводник обладает гораздо меньшей индуктивностью, чем дугообразный, и делают вывод, что топология, полученная с помощью САПР TopoR, обладает большей суммарной индуктивностью.

Дело в том, что большинство САПР осуществляют трассировку с преимущественным направлением на каждом из слоев, поэтому на одном слое редко можно увидеть смену направления прокладки проводника.

Для того чтобы оценить индуктивность проводника нужно взглянуть не на послойную, а на совмещенную топологию. При этом реально будут видны изгибы проводников и даже контуры.

Индуктивность рамки зависит от ее площади, при этом неважно, прямоугольная она или круглая. Площадь же, охватываемая проводником, в САПР TopoR обычно значительно меньше, чем в других САПР. Заметим, что сглаживание углов уменьшает площадь выпуклой геометрической фигуры.

6. Трудоемкость и стоимость изготовления

Одним из факторов, существенно влияющих на себестоимость изготовления печатной платы, является число переходных отверстий на квадратный дециметр. В среднем это количество оценивается следующим образом: $1 за каждые дополнительные (сверх 250) 300 переходных отверстий на 1 кв.дм.

Стойкость твердосплавных сверл составляет порядка 1000 отверстий. При этом средняя цена 1 сверла с диаметром от 0,3 до 3,0 мм – порядка $2.

Лишние отверстия на плате – это увеличение стоимости изготовления, а также увеличение времени сверления (лишние 1000 отверстий – это лишние 2,5-3 минуты сверления на каждой плате). При выпуске крупносерийной и массовой продукции это может выливаться в значительные материальные и временные затраты.

“При разработке многослойных печатных плат процесс проектирования направлен на минимизацию числа слоев, потому что каждый новый слой существенно увеличивает стоимость печатной платы. При этом увеличение числа сигнальных слоев в платах, работающих в составе высокопроизводительной или высокочастотной аппаратуры, когда требуется выдержать характеристики линий передач, потребует вдвое большего числа слоев, так как для подобных устройств необходимо экранирование слоями земли и питания, прокладываемыми между сигнальными слоями” [2].

При использовании BGA-компонентов число слоев зачастую зависит в первую очередь от максимального числа рядов контактов таких компонентов и принятых технологических норм (минимальной ширины проводника и величины минимального зазора). В ряде САПР трассировка внутреннего пространства BGA-компонентов осуществляется по шаблону, так как главная цель – не заблокировать контакты и вывести все трассы на периферию компонента. Однако принудительный выбор направления выхода на периферию приводит к ухудшению разводки и не учитывает, что при наличии эквипотенциальных и незадействованных контактов микросхемы в ряде случаев число слоев, необходимых для реализации связей, может быть уменьшено.

По сравнению с другими системами САПР TopoR позволяет сократить 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 платы или количество слоев.

Изотропная трассировка, используемая в САПР TopoR, позволяет существенно сократить сроки проектирования печатных плат, повысить их технологичность, надежность и качество, уменьшить уровень электромагнитных помех, снизить затраты на производство. Таким образом,

изотропная трассировка - не каприз разработчиков САПР TopoR, а технически обоснованное решение.

Литература:

1. Лузин С.Ю., Лячек Ю.Т., Полубасов О.Б. Автоматизация проектирования печатных плат. Система топологической трассировки TopoR. // СПб, СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. – 2005. – 163С.

2. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. – М.: Техносфера. – 2005. – 302 С.

3. Toshiyuki Hama and Hiroaki Etoh “Single-layer automatic router” http://www.trl.ibm.com/projects/optsim/opt/SLR/index_e.htm

4. Картер Б. Техника разводки печатных плат. Часть 1. // Chip News. – 2004. – №7. – С.63-70.

5. Картер Б. Техника разводки печатных плат. Часть 2. // Chip News. – 2004. – №10. – С.46-51.