

К. А. КНОП, д. т. н. С. Ю. ЛУЗИН

Россия, г. Санкт-Петербург, ООО «Эремекс»

E-mail: luzin@eremex.com

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ МЕЖСЛОЙНЫХ ПЕРЕХОДОВ НА ГРУППЕ ПРОВОДНИКОВ

Большинство САПР печатных плат предлагают весьма ограниченный выбор «шаблонов» для размещения межслойных переходов на шине (группе проводников) — только однорядный и двухрядный варианты. В статье продемонстрирована некорректность такого ограничения, поскольку в этом случае ресурсы монтажного пространства используются неоптимально. Для определенного класса задач о расположении переходных отверстий при смене слоя шины найдено и приведено оптимальное решение — оно также оказалось регулярным (периодическим), но многорядным. Показано, что задача вычисления параметров оптимального размещения в общем виде сводится к нахождению числа рядов переходов, при котором площадь топологического фрагмента будет минимальной.

Ключевые слова: печатный монтаж, межслойный переход, группа проводников.

При автоматическом проектировании печатного монтажа обычно минимизируются суммарная длина проводников и число межслойных переходов. Что же касается оптимизации расстановки группы переходов на группе проводников, то такая задача нигде в известных авторам источниках не ставилась и не рассматривалась, хотя от ее решения существенно зависит эффективность использования ресурсов монтажного пространства при трассировке. В большинстве САПР для групповой расстановки переходов используются однорядные либо двухрядные шаблоны с возможностью поворота на угол, кратный 45° (восемь направлений). В частности, именно такая расстановка переходов упоминается в докладе Чарльза Пфейла (рис. 1), технического директора компании MentorGraphics [1].

Однако в [2] было показано, что однорядное расположение переходов, например, на группе

пересекающихся проводников приводит к неэкономичному (заведомо неоптимальному) использованию монтажного пространства. В настоящей статье будет продемонстрировано, что и для проводников, которые не пересекаются, при однорядном и двухрядном размещении переходов монтажное пространство используется нерационально, а также будет приведен пример оптимального варианта расположения переходов для конкретных параметров размещения.

Следует отметить, что указанное нерациональное использование площади касается любого соотношения параметров монтажа, кроме тривиального случая, когда диаметр переходного отверстия равен ширине проводника — при этом не требуется никакого дополнительного пространства.

Пусть заданы ширина проводника w_1 , меньшая, чем диаметр d переходного отверстия, и минимальный зазор w_0 между переходами. Если группа (ряд) состоит из N проводников, то ширина исходного ряда равна

$$L_1 = w_1 \cdot N + w_0 \cdot (N - 1) \quad (1)$$

Одно- и двухрядная расстановка переходов на этих проводниках схематично показаны на рис. 2. В обоих случаях расстояния между краями соседних переходов принимают минимально возможное значение w_0 (то есть расстояние между их центрами равно $d + w_0$). Кроме того, на рис. 2, a минимально возможным должно быть также расстояние между переходами A_1 и A_3 , A_2 и A_4 , ..., A_5 и A_7 — поскольку между ними должен пройти один проводник, расстояние между центрами этих переходных отверстий должно быть равно $d + w_1 + 2w_0$. Все эти критические (минимальные)

Via Patterns

- ◆ Four styles
 - Automatic
 - Arbitrary
 - Single row
 - Double row
- ◆ Two directions
 - Direct
 - Reverse
- ◆ Eight rotations
- ◆ 34 possible combinations

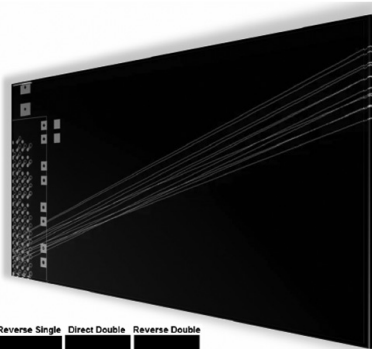


Рис. 1. Слайд из презентации Чарльза Пфейла [1]

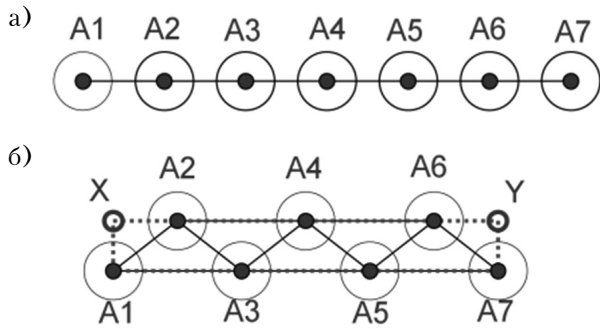


Рис. 2. Одно- (а) и двухрядное (б) размещение переходов

расстояния показаны на рисунках сплошными отрезками. На рис. 2, б показаны точки X и Y, в которых могут оказаться крайний левый (первый) и крайний правый (седьмой) проводники.

Пусть диаметр переходного отверстия будет больше ширины проводника: $d > w_1$, а максимальное количество переходов в одном горизонтальном ряду равно m ($m=7$ для рис. 2, а; $m=4$ для рис. 2, б). Тогда длина ряда, в котором должны поместиться m переходов и $(N-m)$ других проводников, равна

$$L2 = m \cdot d + w_1 \cdot (N - m) + w_0 \cdot (N - 1). \quad (2)$$

Поскольку $d > w_1$, справедливо неравенство $L2 > L1$, а значит (как показано в [3]), для расширения и сужения шины по обе стороны от зоны размещения переходов необходимы «буферные зоны», форма которых зависит от трассировки:

- при ортогональной трассировке — в форме прямоугольника длиной $L2$ и высотой $h = L1/2$ (в зависимости от параметров это может быть и шестиугольник);

- при трассировке под углом, кратным 45° , — в форме трапеции с основаниями $L1$ и $L2$ и высотой $h1 = (L2 - L1)/2$;

- при трассировке под произвольным углом — в форме трапеции с основаниями $L1$ и $L2$ и высотой $h2$, зависящей от соотношения параметров w_0 , w_1 и d , но всегда меньшей, чем $h1$.

При трассировке под произвольным углом зона дополнительно занимаемого монтажного

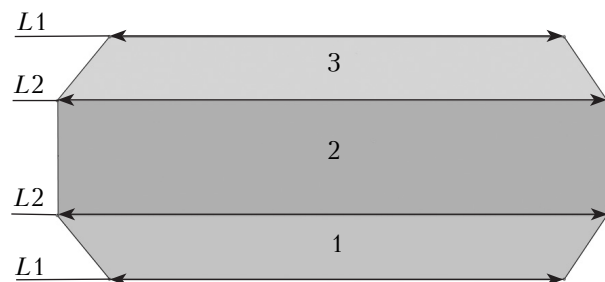


Рис. 3. Зона размещения переходов (2) и буферные трапеции (1, 3)

пространства имеет вид, схематически показанный на рис. 3. Здесь 1 — трапеция расширения исходной шины шириной $L1$ для подхода к нижнему ряду переходов длиной $L2$; 2 — прямоугольник, в котором размещены все переходы, 3 — трапеция сужения шины от верхнего ряда переходов (также длиной $L2$) к исходной ширине ($L1$).

Продemonстрируем сказанное на примере расчета для значений $w_0 = w_1 = 0,2$ мм, $N = 25$, $d = 0,5$ мм.

При однорядном размещении (см. нижнюю строку в табл. 1) $L1 = 9,8$ мм, $L2 = 17,3$ мм, $h1 = 2,79$ мм, поэтому площадь каждой из трапеций $S1$ и $S3$ равна $37,74$ мм². Высота прямоугольника ($h = d + 2w_0$) равна $0,9$ мм, поэтому его площадь $S2$ равна $15,57$ мм² (см. нижнюю строку в табл. 2). Таким образом, для этого слу-

Таблица 1

Параметры трапеции

| Число переходов в ряду | Длина ряда $L2$ | Высота h | Площадь $S1$ |
|------------------------|-----------------|------------|--------------|
| 1 | 10,10 | 1,41 | 14,069 |
| 2 | 10,40 | 1,43 | 14,417 |
| 3 | 10,70 | 1,51 | 15,468 |
| 4 | 11,00 | 1,60 | 16,640 |
| 5 | 11,30 | 1,69 | 17,834 |
| 6 | 11,60 | 1,35 | 14,393 |
| 7 | 11,90 | 1,85 | 20,116 |
| 8 | 12,20 | 1,93 | 21,216 |
| 9 | 12,50 | 2,00 | 22,293 |
| 12 | 13,40 | 2,19 | 25,414 |
| 13 | 13,70 | 2,25 | 26,424 |
| 25 | 17,30 | 2,79 | 37,740 |

Таблица 2

Параметры прямоугольника

| Число переходов в ряду | Длина ряда $L2$ | Количество рядов | Высота h | Площадь $S2$ |
|------------------------|-----------------|------------------|------------|--------------|
| 1 | 10,10 | 25 | 14,47 | 146,179 |
| 2 | 10,40 | 13 | 7,57 | 78,776 |
| 3 | 10,70 | 9 | 5,27 | 56,405 |
| 4 | 11,00 | 7 | 4,12 | 45,289 |
| 5 | 11,30 | 5 | 3,00 | 33,920 |
| 7 | 11,90 | 4 | 2,41 | 28,643 |
| 9 | 12,50 | 3 | 1,85 | 23,170 |
| 13 | 13,70 | 2 | 1,32 | 18,038 |
| 25 | 17,30 | 1 | 0,90 | 15,570 |

Таблица 3

Суммарные характеристики

| Количество рядов | Число переходов в ряду | | | Площадь | | | |
|------------------|------------------------|---------------|------------|---------|---------|--------|---------|
| | Трапеция 1 | Прямоугольник | Трапеция 3 | S1 | S2 | S3 | S |
| 25 | 1 | 1 | 1 | 14,069 | 146,179 | 14,069 | 174,317 |
| 13 | 1 | 2 | 2 | 14,069 | 78,776 | 14,417 | 107,262 |
| 9 | 2 | 3 | 2 | 14,417 | 56,405 | 14,417 | 85,239 |
| 7 | 3 | 4 | 3 | 15,468 | 45,289 | 15,468 | 76,225 |
| 6 | 4 | 5 | 4 | 16,640 | 33,920 | 16,640 | 67,200 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 17,834 | 33,920 | 17,834 | 69,588 |
| 4 | 6 | 7 | 6 | 14,393 | 28,643 | 14,393 | 57,429 |
| 3 | 8 | 9 | 8 | 21,216 | 23,170 | 21,216 | 65,602 |
| 2 | 12 | 13 | 13 | 25,414 | 18,038 | 26,424 | 69,877 |
| 1 | 25 | 25 | 25 | 37,740 | 15,570 | 37,740 | 91,050 |

чая (см. нижнюю строку в табл. 3) общая площадь занятого монтажного пространства S равна 91,05 мм².

При двухрядном размещении переходов (табл. 1–3, строки с двумя рядами и 12/13 переходами в ряду) суммарная площадь равна $S=69,877$ мм². Это существенно лучше, но, безусловно, не предел.

Основной недостаток таких размещений — большая длина $L2$, из-за которой обе трапеции имеют большую высоту, что приводит к неоправданному увеличению занятой площади. Поэтому далее рассмотрим такие схемы размещения переходов, в которых никакой «горизонтальный» ряд не будет столь длинным.

На рис. 4 показаны два варианта регулярной трехрядной схемы. В ней критичными являются не только расстояния между соседними переходами

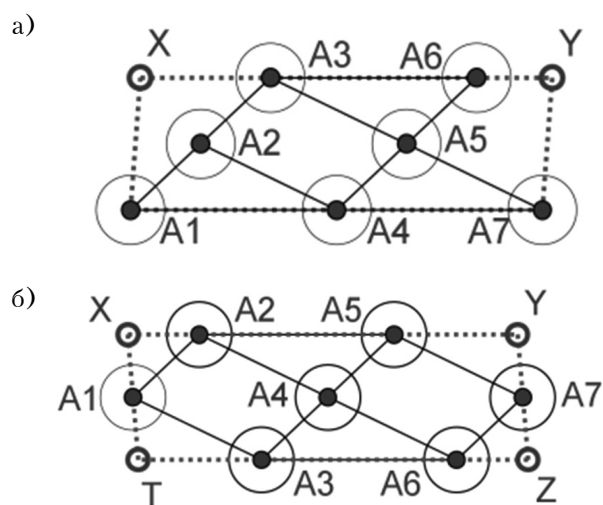


Рис. 4. Варианты трехрядной схемы

и переходами через один ($A2A4 = A3A5 = A5A7 = d + w1 + 2w0$), но и длины $A1A4 = A2A5 = A3A6 = A4A7$, равные $d1 + 2w1 + 3w0$, поскольку по каждому такому участку должны пройти два проводника. Положение точек X, Y, Z и T на этих схемах аналогично описанному в пояснениях к рис. 2, б. для таких трехрядных схем при $N=25$ ($m=9$ переходов в одном из рядов, $m=8$ в каждом из остальных) получим суммарную площадь 65,6 мм², что лучше и двухрядного, и (тем более!) однорядного размещения переходов, рекомендуемых в [1].

Схемы, приведенные на рис. 5, а и рис. 6, являются четырех- и пятирядными соответствен-

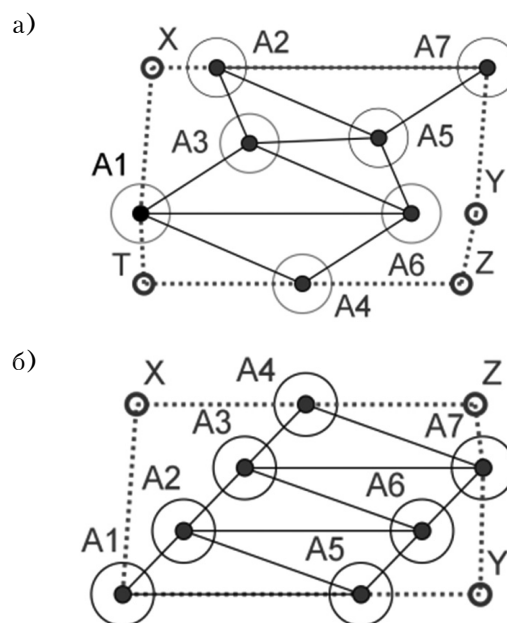


Рис. 5. Варианты четырехрядной схемы

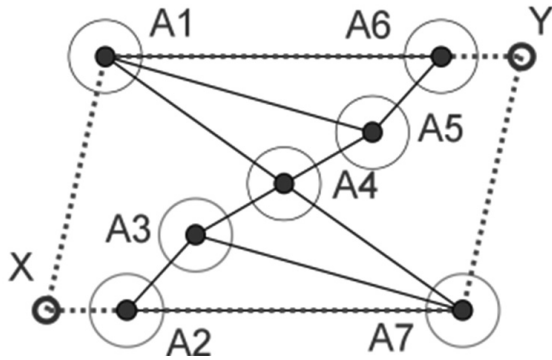


Рис. 6. Пятирядная схема

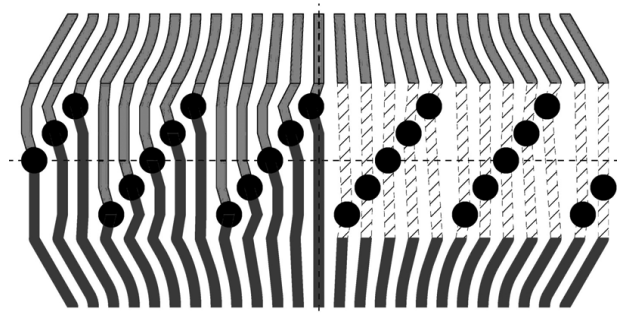


Рис. 7. Пятирядная схема с $N=25$ переходов

но. Здесь расстояния между рядами неодинаковы, а на рис. 6 один из рядов даже не является горизонтальным. Как и на предыдущих схемах, на этих рисунках сплошными линиями показаны критичные отрезки, длина которых рассчитана так, чтобы через них смогло пройти нужное число проводников шириной w_1 с минимально допустимыми зазорами w_0 .

Точный расчет параметров таких схем не очень прост, но, к счастью, он и не нужен, поскольку очевидно, что регулярная схема более проста и дает лучший результат. Наглядным примером этому может служить регулярная четырехрядная схема, которая приведена на рис. 5, б, имеющая ту же длину L_2 , что и на рис. 5, а, но меньшую высоту. С помощью не очень сложных вычислений (они довольно громоздки и в настоящей статье не приведены) можно убедиться, что сделанный вывод о преимуществе регулярных схем справедлив для любых соотношений величин w_0 , w_1 и d (в тех диапазонах их значений, которые используются на практике). Тем более, он не зависит от N — каждая такая картинка легко продолжается вправо и влево, т. е. каждая схема обобщается для любого числа проводников.

Таким образом, ограничим вычисления только регулярными многорядными расположениями, в которых соседние переходные отверстия расположены в соседних рядах. Наиболее реалистичное изображение 25 переходов, сгруппированных в 5 регулярных рядов по 5 переходов в каждом ряду, показано на рис. 7. Правая часть прямоугольника на схеме содержит на один переход меньше, чем левая, поэтому изображена лишь схематично — поскольку в левой части удалось разместить все необходимое, то и справа это тоже удастся.

Результаты, приведенные в табл. 3, показывают, что для $N=25$ и выбранных значений w_0 , w_1 , d наилучшей будет четырехрядная схема (с числом переходов в рядах $m_1=m_2=m_4=6$ и $m_3=7$).

Площадь монтажного пространства для такой схемы равна $57,43 \text{ мм}^2$, что на $33,62 \text{ мм}^2$ меньше, чем при однорядном размещении. Следует отметить, что такой выигрыш по площади может показаться незначительным, однако на платах с высокой плотностью монтажа даже небольшое добавление ресурса на конкретном участке может иметь решающее значение. Так, разделив полученную разницу $33,62 \text{ мм}^2$ на ширину шины $9,8 \text{ мм}$ (25 проводников шириной $0,2 \text{ мм}$ и 24 зазора по $0,2 \text{ мм}$), получим ширину эквивалентного прямоугольника, равную $3,43 \text{ мм}$. Через зону такой ширины можно провести 8 проводников шириной $0,2 \text{ мм}$ с зазором $0,2 \text{ мм}$.

Итак, для рассмотренного примера оптимальная многорядная схема лучше однорядной на 37%, а двухрядной — на 18%.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно утверждать, что для непересекающихся проводников при однорядном и двухрядном размещении переходов монтажное пространство используется нерационально, и для конкретных параметров размещения можно найти оптимальное число рядов, при котором суммарная площадь монтажного пространства в случае регулярного размещения переходов будет минимальной.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Pfeil Ch. Revolutionary new routing method // Presentation at the «PCB West 2013» Conf. — Santa-Clara, CA, USA, 2013.
2. Бессонов А. В., Кноп К. А., Лячек Ю. Т. Определение относительного расположения переходных отверстий на группе проводников, пересекающихся в паре слоев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2014. — № 10. — С. 21–25.
3. Бессонов А. В., Кноп К. А., Лячек Ю. Т., Попов Ю. И. Определение минимальной ширины канала между парой компонентов при топологической трассировке // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2013. — № 10. — С. 31–34.

Дата поступления рукописи
в редакцию 16.04 2015 г.

К. А. КНОП, д. т. н. С. Ю. ЛУЗИН
 Росія, м. Санкт-Петербург, ТОВ «Эремекс»
 E-mail: luzin@eremex.com

ОПТИМИЗАЦИЯ РОЗТАШУВАННЯ МІЖШАРОВИХ ПЕРЕХОДІВ НА ГРУПІ ПРОВІДНИКІВ

Більшість САПР друкованих плат пропонують досить обмежений вибір «шаблонів» для розміщення міжшарових переходів на шині (групі провідників) – тільки однорядний і дворядний варіанти. У статті продемонстрована некоректність такого обмеження, оскільки в цьому разі ресурси монтажного простору використовуються неоптимально. Для певного класу задач про розташування перехідних отворів при зміні шару шини знайдено та наведено оптимальне рішення – воно також виявилось регулярним (періодичним), але багаторядним. Показано, що задача обчислення параметрів оптимального розміщення в загальному вигляді зводиться до знаходження числа рядів переходів, при якому площа топологічного фрагмента буде мінімальною.

Ключові слова: друкований монтаж, міжшаровий перехід, група провідників.

DOI: 10.15222/ТКЕА2015.2-3.10
 UDC 681.32

К. А. КНОП, С. Ю. ЛУЗИН
 Russia, Saint-Petersburg, «Eremex» Ltd.
 E-mail: luzin@eremex.com

VIA PLACEMENT OPTIMIZATION FOR A GROUP OF WIRES

Most PCB design CAD systems offer a limited number of “patterns” for the via placement on a bus (group of wires) which would be either a single- or a double-row placement.

This article demonstrates the incorrectness of such limitations, because in this case the mounting space is used not in an optimal way.

The paper presents the optimum solution for a certain type of problems on via placement when changing the layer of a bus. The solution suggests a regular (periodic) arrangement, but with a multi-row placement.

The calculation of the parameters for optimal placement is narrowed, in general, to finding the number of via rows with which the area of a topological fragment is minimal.

Key words: printed wiring, via, group of wires.

REFERENCES

1. Pfeil Ch. Revolutionary new routing method. Presentation at the «PCB West 2013» Conf. Santa-Clara, CA, USA, 2013.
2. Bessonov A. V., Knop K. A., Lyachek Yu. T. [Determination of the relative positions of vias on a group

of conductors intersecting in a pair of layers]. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*. 2014, no. 10, pp. 21–25. (Rus)

3. Bessonov A. V., Knop K. A., Lyachek Yu. T., Popov Yu. I. The determination of minimum distance between two components in the topological routing. *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2013, no. 10, pp. 31-34. (Rus)

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Теслюк В. М., Пукач А. І., Загарю Р. В. Методи, моделі та засоби автоматизації визначення ємнісних і резистивних параметрів елементів МЕМС.— Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015.

Проаналізовано методи, моделі та засоби визначення електричного опору резистивних параметрів електричних кіл, а також розглянуто резистивні та ємнісні параметри МЕМС та особливості автоматизації визначення їх значення. Наведено розроблені методи для автоматичного визначення електричного опору та ємності резистивних та ємнісних параметрів МЕМС, що враховують особливості та специфіку МЕМС-технологій. Здійснено моделювання роботи розроблених методів та аналіз отриманих результатів.

Для радіоінженерів, науковців і студентів, які спеціалізуються у сфері автоматизації вимірювання та контролю ємнісних і резистивних параметрів мікроелектронних пристроїв та систем.

