

Н.В. АЛИПОВ, д-р техн. наук, Е.И. ЛИТВИНОВА, канд. техн. наук,
В.В. ТРЕТЯК

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУСТОРОННЕЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Одним из наиболее важных этапов решения задачи проектирования топологии печатной платы является выбор математической модели монтажно-коммутационного пространства. Использование топологического метода трассировки позволяет проводить трассы любой конфигурации и в наибольшей степени реализовать приемы, используемые конструктором при решении задачи трассировки, что дает возможность увеличить процент разведенных соединений и улучшить качество топологического рисунка.

Для реализации принципа поэтапной трассировки представим коммутационное поле каждого слоя печатной платы в виде совокупности макродискретов* так, как это описано в работе. Полученные совокупности макродискретов назовем соответственно крупнодискретными рабочими полями (КДРП) первого и второго слоев. Каждое из этих полей строится следующим образом. Рабочее пространство с размещенными в нем компонентами разбивается на укрупненные дискреты путем продолжения линий, представляющих собой границы установочных мест элементов. В дальнейшем укрупненные дискреты именуется дискретами. Каждый дискрет описывается совокупностью координат его левого нижнего угла и размеров. Такое описание можно задать в виде двух кортежей для первого и второго слоев соответственно: $\langle X_k, Y_k, A_k, B_k \rangle$. Здесь X_k – координата X ; Y_k – координата Y ; A_k – размер дискрета вдоль оси X ; B_k – размер дискрета вдоль оси Y ; $k = \overline{1, N}$, где N – число дискрет.

Пусть число вертикальных рядов на каждом слое платы $N_B = q-1$; число горизонтальных рядов $N_T = N-1$. Обозначим через Z целую часть числа, полученного путем деления D/N , и через R – остаток по $\text{mod } N$ от числа D , т.е. $Z = [D/N_B]$; $R = D \text{ mod } N_B$, где D – номер дискрета. Тогда координаты левого нижнего угла D_k -го дискрета некоторого слоя платы

* Алипов Н.В., Литвинова Е.И. Дискретная топологическая модель печатной платы. Х., 1994. 13 с. Деп. в ГНТБ Украины 01.08.94, № 1466-Ук94.

$$X_k = \begin{cases} X_{i_r}, & \text{если } R \neq 0, \\ X_{i(q-1)}, & \text{если } R = 0; \end{cases} \quad Y_k = \begin{cases} Y_{j(z+1)}, & \text{если } R \neq 0, \\ Y_{j_z}, & \text{если } R = 0. \end{cases}$$

Для реализации функции поиска пути на этапе макротрассировки необходимо сформулировать правила определения номеров дискретов, смежных на первом или втором слоях. Любой дискрет, не принадлежащий крайнему вертикальному или горизонтальному ряду слоя, имеет ровно четыре смежных дискрета, номера которых определяются в соответствии с соотношениями

$$D_l = \begin{cases} 0, & \text{если } R = 1, \\ D - 1, & \text{если } R \neq 1; \end{cases} \quad D_n = \begin{cases} 0, & \text{если } R = 0, \\ D + 1, & \text{если } R \neq 0; \end{cases}$$

$$D_n = \begin{cases} 0, & \text{если } (D - N_\sigma) \leq 0, \\ D - N_\sigma, & \text{если } (D - N_\sigma) > 0; \end{cases} \quad D_\sigma = \begin{cases} 0, & \text{если } (D + N_\sigma) > N, \\ D - N_\sigma, & \text{если } (D + N_\sigma) \leq N. \end{cases}$$

Здесь D_l , D_n – номера левого и правого смежных дискретов, D_n , D_σ – номера нижнего и верхнего смежных дискретов; 0 – номер дискрета, находящегося на границе КДРП.

В предложенной модели печатной платы каждое установочное место первого и второго слоев представляется совокупностью дискретов. Поэтому в процессе трассировки необходимо иметь информацию о номерах дискретов, принадлежащих i -му установочному месту, параметры которого заданы в виде кортежа $\langle X_k, Y_k, A_k, B_k \rangle$. Отметим, что D_k -й дискрет рабочего поля каждого слоя платы принадлежит i -му установочному месту в том случае, если выполняются следующие соотношения: $X_i \leq X_k < (X_i + A_i)$; $Y_i \leq Y_k < (Y_i + B_i)$.

Дискрет D_{kl} КДРП представляет собой канал для трассировки в определенном слое, который отображается совокупностью четырех упорядоченных подмножеств соответственно для каждой стороны дискрета: $L_{kl} = \{L_{kl}^s \mid s \in S\}$. Здесь k – номер дискрета; l – номер слоя $S = \{1, 4\}$ – множество индексов. При этом $|L_k^1| = |L_k^2| = p_k^1$; $|L_k^4| = |L_k^3| = p_k^2$, где p_k^1, p_k^2 – пропускные способности сторон дискретов данного слоя печатной платы в горизонтальном и вертикальном направлениях. Пропускные способности сторон дискрета в первом

и втором слоях платы могут быть различными. В подмножества L_k^1 , L_k^2 , L_k^3 , L_k^4 будем записывать номера трасс, проходящих соответственно через левую, правую, нижнюю и верхнюю стороны дискрета на данном слое. Каждое подмножество L_k^s состоит из двух непересекающихся подмножеств $L_k'^s$ и $L_k''^s$. К подмножеству $L_k'^s$ отнесем первые m элементов подмножества данного слоя L_k^s , к $L_k''^s$ — оставшиеся элементы L_k^s , где m — номер магистрали дискрета, по которой проходит на текущем слое вновь прокладываемая трасса $N \in L_k^s$.

Между магистралями дискрета D_k , принадлежащего первому или второму слою, и позициями подмножества L_k^s зададим взаимно однозначное соответствие: $M_h(D_{kl}) \Rightarrow F_h(D_{kl}^s)$, где $M_h(D_{kl})$ — h -я магистраль дискрета D_k ; $F_h(D_{kl}^s)$ — h -я позиция подмножества L_k^s .

Для данной топологической модели печатной платы сформулируем условия пересечения трасс в канале на первом и втором слоях. С этой целью рассмотрим различные варианты конфигурации цепи N , которые могут возникнуть при прохождении волны через канал на текущем слое.

Если волна подходит к первой стороне дискрета D_k некоторого слоя и пересекает противоположные стороны дискрета, то условия пересечения вновь прокладываемой трассы N с ранее проложенной трассой N_i записываются в виде следующих соотношений: $N_i \in L_4 \cap L_3$; $N_i \in L_1^2 \cap L_3$; $N_i \in L_4 \cap L_1^1$; $N_i \in L_4 \cap L_2^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_3$; $N_i \in L_1^2 \cap L_2^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_1^1$; $N_i \in L_1^2 \cap L_1^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_2^1$.

Если волна подходит ко второй стороне дискрета D_k , то $N_i \in L_4 \cap L_3$; $N_i \in L_1^2 \cap L_3$; $N_i \in L_4 \cap L_1^1$; $N_i \in L_4 \cap L_2^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_3$; $N_i \in L_1^2 \cap L_2^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_1^1$; $N_i \in L_1^2 \cap L_1^1$; $N_i \in L_2^2 \cap L_2^1$.

Если волна подходит к третьей или четвертой стороне дискрета D_k , то $N_i \in L_1 \cap L_2$; $N_i \in L_3^2 \cap L_4^1$; $N_i \in L_3^1 \cap L_4^2$; $N_i \in L_4^1 \cap L_2$; $N_i \in L_1 \cap L_4^2$; $N_i \in L_4^1 \cap L_4^2$; $N_i \in L_3^1 \cap L_3^2$; $N_i \in L_1 \cap L_3^2$; $N_i \in L_1^3 \cap L_2$.

Аналогично записываются условия пересечения для вновь прокладываемой трассы N , пересекающей как смежные стороны дискрета D_k некоторого слоя l , так и лишь одну его сторону. Если невозможно распространение волны в КДРП, к примеру, первого слоя ни из одного дискрета последнего ее фронта, планируется переход из дискрета D_{k1} КДРП первого слоя в дискрет D_{k2} КДРП второго слоя на рассматриваемой N -й магистрали. Такой переход возможен в случае, когда указанная магистраль дискрета D_{k2} КДРП второго слоя свободна. Если N -я магистраль дискрета D_{k2} КДРП второго слоя занята ранее проложенной трассой N_i , то данный конфликт трасс N и N_i можно устранить путем перемещения трассы N_i на втором слое с n -й магистрали на одну из свободных магистралей данной стороны дискрета D_{k2} второго слоя без нарушения относительного местоположения трасс, ранее проложенных в нем. Эта операция выполняется путем перемещения соответствующих элементов множеств L_{k2}^S . При этом, если на n -й магистрали рассматриваемой стороны дискрета D_{k2} второго слоя расположена контактная площадка или между N -й магистралью и свободной магистралью расположена контактная площадка с ранее проложенной к ней трассой, переход с одного слоя на другой в таком месте невозможен. Для того чтобы продолжить распространение волны по второму слою, необходимо выполнить сдвиг точки прихода волны к рассматриваемой стороне дискрета первого слоя на соседнюю свободную магистраль (если последняя имеется) и повторить процедуру планирования перехода, описанную выше. В том случае, когда соседние магистрали заняты контактными площадками или трассами, производят поиск свободной магистрали на данной стороне дискрета D_k с учетом условий пересечения трасс. Если возможность сдвига точки прихода волны отсутствует, следует перейти к рассмотрению других дискрет данного фронта волны с целью осуществить переход с первого слоя на второй.

Описанная топологическая модель печатной платы позволяет синтезировать эффективный алгоритм топологического проектирования двусторонней печатной платы, который даст возможность изменять конфигурацию ранее проложенных соединений, а также минимизировать длину трассы и количество переходных отверстий.

Поступила в редколлегию 25.03.97