

Kapitel 6
Feinverdrahtung

6

6

6	Feinverdrahtung	159
6.1	Einführung	159
6.2	Begriffsbestimmungen	159
6.3	Horizontaler und vertikaler Verträglichkeitsgraph.....	163
6.3.1	Horizontale Verträglichkeitsdarstellung	163
6.3.2	Vertikale Verträglichkeitsdarstellung	164
6.4	Optimierungsziele	167
6.5	Algorithmen für die Kanalverdrahtung	167
6.5.1	Left-Edge-Algorithmus	167
6.5.2	Dogleg-Left-Edge-Algorithmus	169
6.5.3	Greedy-Kanalverdrahter (Greedy Channel Router)	172
6.6	Switchbox-Verdrahtung.....	176
6.6.1	Problembeschreibung	176
6.6.2	Algorithmen für die Switchbox-Verdrahtung.....	177
6.7	OTC-Verdrahtung	178
6.7.1	Problembeschreibung.....	178
6.7.2	Algorithmen für die OTC-Verdrahtung.....	180
	Aufgaben zu Kapitel 6	182
	Literatur zu Kapitel 6	183

6 Feinverdrahtung

6.1 Einführung

6.1

Die Feinverdrahtung (Detail routing, auch detailed routing bzw. detaillierte Verdrahtung genannt) folgt auf die Globalverdrahtung, um die Verdrahtung damit insgesamt abzuschließen.

Die Aufgabe der Feinverdrahtung besteht darin, die bei der Globalverdrahtung einer Verdrahtungsregion zugeordneten Netzsegmente in dieser Region detaillierte Verdrahtungswege und -ebenen zuzuweisen.

Nachfolgend werden Verdrahtungsregionen als Kanäle bezeichnet, sofern die Netzanschlüsse an zwei gegenüberliegenden Seiten angeordnet sind, und als Switchboxen, wenn sich Anschlüsse an allen vier Seiten befinden.

Wie bereits bei der Globalverdrahtung angesprochen (s. Kap. 5), verliert aufgrund der Ebenenzunahme die klassische Kanalverdrahtung (rechteckige Fläche mit Pinanschlüssen an zwei gegenüberliegenden Seiten) an Bedeutung, da sie nur bei zwei Ebenen sinnvoll ist. Mehr als zwei Lagen erfordern Modifikationen dieses Modells, z.B. durch Nutzen der Verdrahtungsregionen in den Ebenen „über“ den Zellen, die sog. Over-the-cell (OTC)-Gebiete. Da die hierbei angewendeten Verdrahtungsalgorithmen meist auf dem klassischen Kanalverdrahtungsproblem beruhen, sollen sie auch im Rahmen dieses Kapitels vorgestellt werden.

Wenn keine Globalverdrahtung erfolgt, ist die Verdrahtung in nur einem Schritt durchzuführen. Dabei werden in der Regel keine Verdrahtungsregionen erzeugt, sondern man betrachtet die gesamte Layoutfläche. Daher spricht man hier von einer Flächenverdrahtung (Area routing), welche in Kap. 7 behandelt wird. In diesem Fall werden die Netze sofort in ihren endgültigen Koordinaten verlegt. Dies ist nur bei einer relativ geringen Netzzahl möglich; bei größeren Komplexitäten, wie z.B. Millionen von Netzen moderner Schaltkreise, ist eine Globalverdrahtung mit anschließender Feinverdrahtung unvermeidlich.

6.2 Begriffsbestimmungen

6.2

Die **Kanalverdrahtung** ist ein Spezialfall der Feinverdrahtung, bei der die Verbindungen innerhalb einer rechteckigen Verdrahtungsregion angelegt werden, in der es keine Hindernisse gibt. Die Pinanschlüsse befinden sich an *zwei gegenüberliegenden Seiten* (Abb. 6.1, links). Kanalverdrahter werden bei gleichmäßigen Layout-

strukturen angewendet, also bei Standardzellen- und Gate-Array-Schaltungen. Eine Besonderheit der Kanalverdrahtung besteht darin, dass man bei Kanälen in den meisten Fällen von variabler Breite, also variabler Spuranzahl, ausgehen kann, und damit immer eine 100%ige Realisierung der Verdrahtung erreichbar ist.

Die **Switchbox-Verdrahtung** erfolgt in einer rechteckigen Fläche mit Pinanschlüssen an allen *vier Seiten* (Abb. 6.1, rechts). Switchbox-Abmessungen sind i.Allg. fest vorgegeben. Damit lässt sich die Switchbox-Größe nicht wie beim Kanal der benötigten Verdrahtungsfläche anpassen, was das Verdrahtungsproblem deutlich erschwert. Auf Switchboxen wird in Kap. 6.6 detailliert eingegangen.

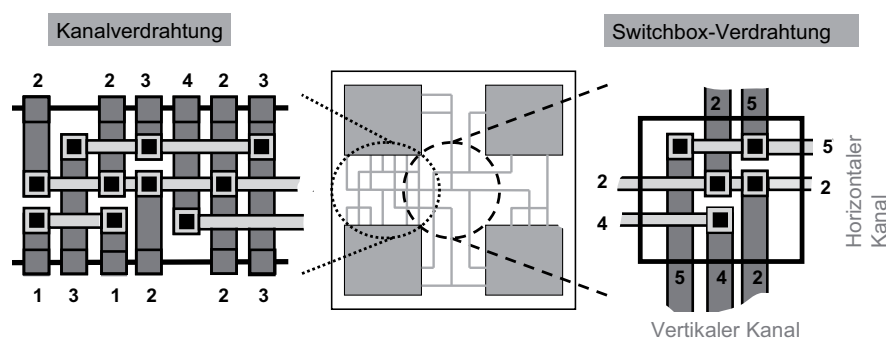


Abb. 6.1 Beispiele einer 2-lagigen Kanal- und Switchbox-Verdrahtung. Netznummern geben die Pinbelegungen an, wobei Pins immer senkrecht zur jeweiligen Zellenkante angeschlossen werden. Vias ermöglichen Lagenwechsel. Unterschiedliche Lagen besitzen oft verschiedene Verdrahtungsbreiten und sind durch eine Vorzugsrichtung (vertikal, horizontal) gekennzeichnet.

Man spricht von **OTC-Verdrahtung** (OTC: over the cell), wenn die Verdrahtung in den Ebenen oberhalb der Zellen, also über diesen, durchgeführt wird (Abb. 6.2).

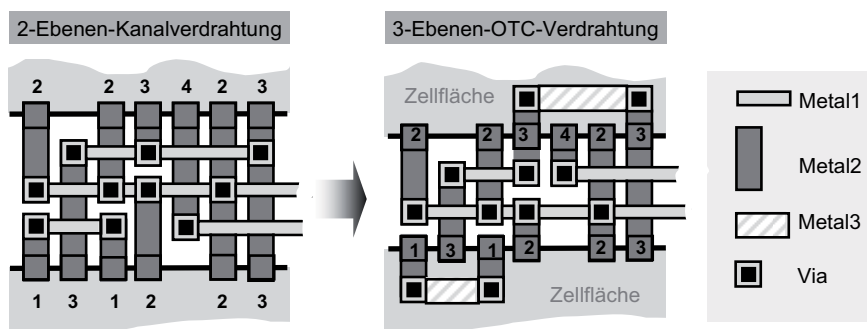


Abb. 6.2 Das Ausnutzen der Ebenen oberhalb der Zellen mittels der OTC-Verdrahtung erlaubt die Einsparung von Kanalspuren.

Zur OTC-Verdrahtung lassen sich nur die Ebenen nutzen, die nicht zur Verdrahtung innerhalb der Zellen zur Anwendung kommen. Beispielsweise sind Standardzellen intern oft in den Ebenen Poly und Metal1 verdrahtet, womit z.B. die Ebenen Metal2 und Metal3 über den Zellen zur externen Verdrahtung der Zellen nutzbar sind. Die OTC-Verdrahtung wird in Kap. 6.7 detailliert beschrieben.

Beim klassischen Kanalverdrahtungsproblem geht man von einer rechteckigen, hindernisfreien Verdrahtungsfläche, mit Pinanschlüssen an zwei gegenüberliegenden Seiten, aus. Diese Anschlüsse liegen auf vertikalen Gitterlinien, den **Spalten (Columns)**. Die **Kanalbreite** richtet sich nach der Anzahl der benötigten **Spuren (Tracks)**, um alle Pins innerhalb des Kanals anschließen zu können. Üblicherweise stehen zwei Ebenen für die Verdrahtung zur Verfügung, wobei eine ausschließlich für horizontale und die andere ausschließlich für vertikale Verbindungen reserviert ist. Diese Ebenenzuweisung richtet sich meist nach der Pinebene. Im Falle eines horizontal verlaufenden Kanals, bei dem die Pinanschlüsse mittels vertikaler Verbindungen anzuschließen sind, ist die Pinebene (z.B. Metal2) auch die Ebene mit vertikaler Vorzugsrichtung.

Weitere wichtige Begriffe sind in Abb. 6.3 erläutert.

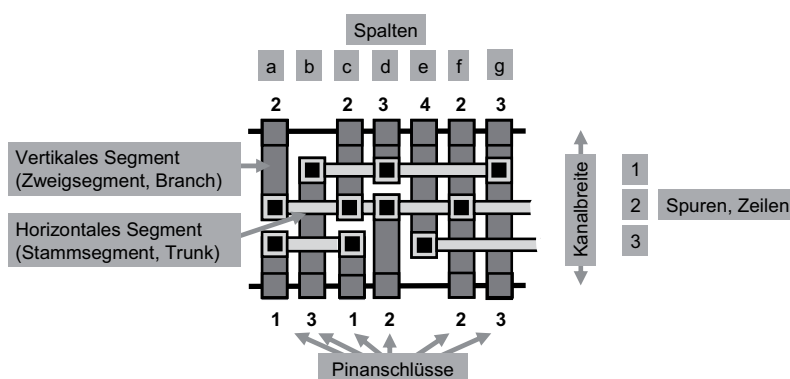


Abb. 6.3 Die klassische Kanalverdrahtung eines horizontal verlaufenden Kanals. Spalten markieren vertikale Gitterlinien, Spuren horizontale Gitterlinien.

Die beiden Anschlussreihen der Pins werden i.Allg. durch zwei Mengen gekennzeichnet, bei denen die Netznummer der jeweiligen Spaltenposition zugewiesen ist. Eine Null kennzeichnet dabei ein nicht angeschlossenes Pin. Anschlüsse mit der gleichen Nummer sind Anschlüsse ein und desselben Netzes und miteinander zu verbinden. Oft werden zur Anschlusskennzeichnung Vektoren wie $TOP(k)$ und $BOT(k)$ benutzt, welche die Netznummern der Ober- (TOP) und Unterseite (BOT) des Kanals in der Spalte k repräsentieren. Für das Beispiel in Abb. 6.3 sind $TOP(k) = [2,0,2,3,4,2,3]$ und $BOT(k) = [1,3,1,2,0,2,3]$.

Horizontale Verträglichkeit (Horizontal constraint). Nachfolgend wird von zwei zur Verfügung stehenden Verdrahtungsebenen ausgegangen, womit nur *eine* Ebene für die horizontale Verdrahtung zur Verfügung steht. Sollten zwei horizontale Segmente verschiedener Netze keine Spalten-Überlappung haben, also nicht denselben Horizontalbereich beanspruchen (wie z.B. die Netze 1 und 2 in Abb. 6.4), so können sie auf gleicher Spur platziert werden und sind damit „horizontal verträglich“. Ansonsten sind für beide Netze unterschiedliche Spuren zu reservieren (wie z.B. für die Netze 2 und 3 in Abb. 6.4).

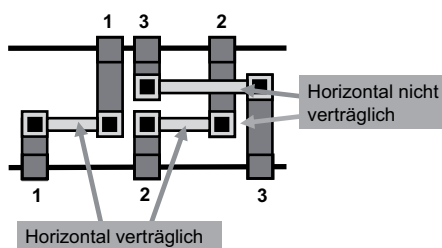


Abb. 6.4 Beispiele für horizontal verträgliche und nicht verträgliche Netze. Ersteren kann eine identische Spurnummer zugewiesen werden, während letztere grundsätzlich unterschiedliche Spuren beanspruchen.

Vertikale Verträglichkeit (Vertical constraint). Sollte nur *eine* vertikale Ebene zur Verfügung stehen, so dürfen sich zwei Netze nicht auf einer vertikalen Spalte überlappen. Bildlich gesprochen muss der von „oben“ kommende Anschluss also rechtzeitig „aufhören“, um sich mit dem von „unten“ kommenden nicht zu überlagern.

Wenn man jedem Netz nur ein horizontales Segment zugesteht, so ist offensichtlich, dass das horizontale Segment eines Netzes, welches an dem oberen Anschluss einer bestimmten Spalte angeschlossen wird, über dem horizontalen Segment eines Netzes liegen muss, welches mit dem unteren Anschluss *dieser Spalte* verbunden ist. In Abb. 6.5a liegt demzufolge das horizontale Segment des Netzes 1 über dem des Netzes 2, da Netz 1 in der *linken* Spaltenposition nach oben und Netz 2 in gleicher Spaltenposition nach unten angeschlossen ist.

Sollte sich die horizontale Spurzuordnung entsprechend der vertikalen Anschlüsse problemlos realisieren lassen, so spricht man von „vertikaler Verträglichkeit“.

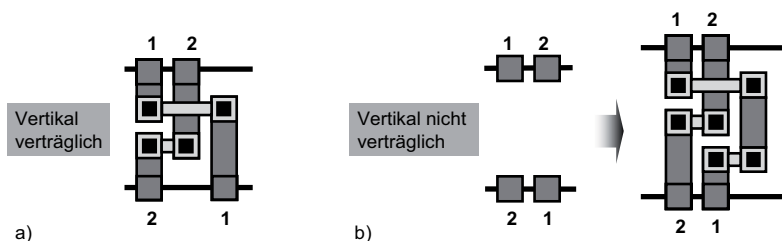


Abb. 6.5 Illustration der vertikalen Verträglichkeit an zwei Beispielen. Die Pinanordnung in (b) erfordert die Einführung einer zusätzlichen Spur, um die vertikale Unverträglichkeit zu umgehen.