

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                        |           |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung .....</b>                                | <b>3</b>  |
| 1.1      | Entwurfsautomatisierung in der Elektronik (EDA) .....  | 3         |
| 1.2      | Hinweise zum Buch .....                                | 4         |
| 1.3      | Bedeutung der Entwurfsautomatisierung .....            | 6         |
| 1.4      | Entwicklung der Entwurfsautomatisierung .....          | 7         |
| 1.5      | Übersicht über den Entwurfsprozess.....                | 9         |
|          | 1.5.1 Systemspezifikation (System Specification).....  | 9         |
|          | 1.5.2 Architekturentwurf (Architectural Design) .....  | 10        |
|          | 1.5.3 Verhaltensentwurf (Functional Design) .....      | 10        |
|          | 1.5.4 Logikentwurf (Logic Design) .....                | 10        |
|          | 1.5.5 Layoutsynthese (Physical Design) .....           | 11        |
|          | 1.5.6 Layoutverifikation (Layout Verification).....    | 12        |
|          | 1.5.7 Herstellung (Fabrication) .....                  | 13        |
|          | 1.5.8 Verpackung, Test (Packaging, Testing) .....      | 13        |
| 1.6      | Entwurfsstile.....                                     | 14        |
|          | 1.6.1 Kundenspezifischer Entwurf .....                 | 14        |
|          | 1.6.2 Standardzellen-Entwurf .....                     | 15        |
|          | 1.6.3 Makrozellen-Entwurf .....                        | 17        |
|          | 1.6.4 Gate-Array-Entwurf.....                          | 17        |
| 1.7      | Layoutebenen .....                                     | 19        |
| 1.8      | Entwurfsregeln .....                                   | 20        |
| 1.9      | Layoutsynthese als Optimierungsproblem .....           | 21        |
| 1.10     | Rechenkomplexität der Layoutsynthese .....             | 23        |
| 1.11     | Einteilung von Entwurfsalgorithmen .....               | 25        |
| 1.12     | Lösungsqualität von Entwurfsalgorithmen.....           | 27        |
| 1.13     | Graphentheoretische Grundbegriffe .....                | 27        |
| 1.14     | Häufig verwendete Layoutbegriffe .....                 | 30        |
|          | Literatur zu Kapitel 1 .....                           | 34        |
| <b>2</b> | <b>Partitionierung .....</b>                           | <b>37</b> |
| 2.1      | Einführung .....                                       | 37        |
| 2.2      | Begriffsbestimmungen .....                             | 38        |
| 2.3      | Optimierungsziele .....                                | 39        |
|          | 2.3.1 Externe Verbindungen.....                        | 39        |
|          | 2.3.2 Bounded-Size-Partitionierung.....                | 40        |
| 2.4      | Partitionierungsalgorithmen .....                      | 40        |
|          | 2.4.1 Kernighan-Lin (KL)-Algorithmus .....             | 41        |
|          | 2.4.2 Erweiterungen des Kernighan-Lin-Algorithmus..... | 45        |
|          | 2.4.3 Fiduccia-Mattheyses (FM)-Algorithmus.....        | 46        |
|          | 2.4.4 Simulated-Annealing (SA)-Algorithmus.....        | 54        |
|          | Aufgaben zu Kapitel 2 .....                            | 60        |
|          | Literatur zu Kapitel 2 .....                           | 60        |

|          |                                                |            |
|----------|------------------------------------------------|------------|
| <b>3</b> | <b>Floorplanning</b>                           | <b>63</b>  |
| 3.1      | Einführung                                     | 63         |
| 3.2      | Optimierungsziele                              | 65         |
| 3.2.1    | Fläche und Form des umschließenden Rechtecks   | 65         |
| 3.2.2    | Gesamtverbindungslänge                         | 65         |
| 3.2.3    | Fläche und Gesamtverbindungslänge              | 66         |
| 3.2.4    | Signalverzögerungen                            | 66         |
| 3.3      | Begriffsbestimmungen                           | 66         |
| 3.4      | Algorithmen für das Floorplanning              | 70         |
| 3.4.1    | Floorplan-Sizing-Algorithmus                   | 70         |
| 3.4.2    | Cluster-Wachstums-Algorithmus (Cluster Growth) | 76         |
| 3.4.3    | Weitere Algorithmen für das Floorplanning      | 80         |
| 3.5      | Pinzuordnung (Pin Assignment)                  | 81         |
| 3.5.1    | Problembeschreibung                            | 81         |
| 3.5.2    | Pinzuordnung mittels konzentrischer Kreise     | 82         |
| 3.5.3    | Topologische Pinzuordnung                      | 84         |
|          | Aufgaben zu Kapitel 3                          | 86         |
|          | Literatur zu Kapitel 3                         | 88         |
| <b>4</b> | <b>Platzierung</b>                             | <b>91</b>  |
| 4.1      | Einführung                                     | 91         |
| 4.2      | Optimierungsziele                              | 92         |
| 4.2.1    | Gewichtete Gesamtverbindungslänge              | 93         |
| 4.2.2    | Maximale Schnitzzahl                           | 95         |
| 4.2.3    | Lokale Verdrahtungsdichte                      | 97         |
| 4.2.4    | Signalverzögerungen                            | 98         |
| 4.3      | Platzierungsalgorithmen                        | 99         |
| 4.3.1    | Min-Cut-Platzierung                            | 100        |
| 4.3.2    | Min-Cut-Platzierung mit Anschlussfestlegung    | 104        |
| 4.3.3    | Kräfteplatzierung (Force Directed Placement)   | 106        |
| 4.3.4    | Simulated Annealing                            | 110        |
| 4.3.5    | Quadratische Zuordnung (Quadratic Assignment)  | 114        |
| 4.3.6    | Weitere Platzierungsalgorithmen                | 117        |
|          | Aufgaben zu Kapitel 4                          | 123        |
|          | Literatur zu Kapitel 4                         | 124        |
| <b>5</b> | <b>Globalverdrahtung</b>                       | <b>129</b> |
| 5.1      | Einführung                                     | 129        |
| 5.1.1    | Allgemeines Verdrahtungsproblem                | 129        |
| 5.1.2    | Globalverdrahtung                              | 130        |
| 5.2      | Begriffsbestimmungen                           | 131        |
| 5.3      | Optimierungsziele                              | 135        |
| 5.3.1    | Kundenspezifischer Entwurf                     | 135        |
| 5.3.2    | Standardzellen-Entwurf                         | 136        |
| 5.3.3    | Gate-Array-Entwurf                             | 138        |
| 5.4      | Abbildung von Verdrahtungsregionen             | 138        |
| 5.5      | Ablauf der Globalverdrahtung                   | 140        |
| 5.6      | Algorithmen für die Globalverdrahtung          | 141        |
| 5.6.1    | Steinerbaum-Verdrahtung                        | 142        |

|                              |                                                         |            |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|------------|
| 5.6.2                        | Globalverdrahtung im Verbindungsgraphen .....           | 146        |
| 5.6.3                        | Wegsuche mit dem Dijkstra-Algorithmus .....             | 150        |
| Aufgaben zu Kapitel 5 .....  |                                                         | 155        |
| Literatur zu Kapitel 5 ..... |                                                         | 156        |
| <b>6</b>                     | <b>Feinverdrahtung .....</b>                            | <b>159</b> |
| 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        |
| <b>7</b>                     | <b>Flächenverdrahtung .....</b>                         | <b>187</b> |
| 7.1                          | Einführung .....                                        | 187        |
| 7.2                          | Begriffsbestimmungen .....                              | 189        |
| 7.3                          | Festlegung der Netzreihenfolge .....                    | 191        |
| 7.4                          | Manhattan- und euklidische Metrik .....                 | 193        |
| 7.5                          | Verdrahtung der Versorgungsnetze .....                  | 194        |
| 7.6                          | Optimierungsziele .....                                 | 196        |
| 7.7                          | Sequentielle Verdrahtungsalgorithmen .....              | 197        |
| 7.7.1                        | Rasterverdrahtung nach Lee .....                        | 197        |
| 7.7.2                        | Rasterverdrahtung mit Wegwichtung .....                 | 203        |
| 7.7.3                        | Linienverdrahtung .....                                 | 207        |
| 7.8                          | Quasiparallele Verdrahtung .....                        | 211        |
| 7.8.1                        | Hierarchische Verdrahtung .....                         | 211        |
| 7.8.2                        | Rip-Up and Reroute .....                                | 212        |
| 7.9                          | Dreidimensionale Verdrahtung .....                      | 215        |
| 7.9.1                        | Rasterverdrahtung .....                                 | 216        |
| 7.9.2                        | Mehrstufen-Verdrahtung .....                            | 217        |
| 7.9.3                        | Planarverdrahtung .....                                 | 217        |
| 7.9.4                        | Turmverdrahtung .....                                   | 218        |
| 7.10                         | X-Verdrahtung .....                                     | 220        |
| 7.10.1                       | Oktilineare Steinerbäume .....                          | 220        |
| 7.10.2                       | Oktilineare Wegsuche .....                              | 222        |
| Aufgaben zu Kapitel 7 .....  |                                                         | 223        |
| Literatur zu Kapitel 7 ..... |                                                         | 225        |

|          |                                                     |            |
|----------|-----------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b> | <b>Kompaktierung .....</b>                          | <b>229</b> |
| 8.1      | Einführung .....                                    | 229        |
| 8.2      | Begriffsbestimmungen .....                          | 230        |
| 8.3      | Symbolisches Layout .....                           | 232        |
| 8.4      | Kompaktierungsalgorithmen .....                     | 233        |
| 8.4.1    | Schnittkompaktierung .....                          | 233        |
| 8.4.2    | Abstandsgraph-Kompaktierung .....                   | 236        |
|          | Aufgaben zu Kapitel 8 .....                         | 242        |
|          | Literatur zu Kapitel 8 .....                        | 243        |
| <b>A</b> | <b>Lösungen zu den Aufgaben.....</b>                | <b>247</b> |
|          | Kapitel 2. Partitionierung .....                    | 247        |
|          | Kapitel 3. Floorplanning .....                      | 249        |
|          | Kapitel 4. Platzierung .....                        | 251        |
|          | Kapitel 5. Globalverdrahtung .....                  | 253        |
|          | Kapitel 6. Feinverdrahtung .....                    | 254        |
|          | Kapitel 7. Flächenverdrahtung .....                 | 257        |
|          | Kapitel 8. Kompaktierung .....                      | 259        |
| <b>B</b> | <b>Begriffe, Symbole, Datenformate .....</b>        | <b>263</b> |
| B.1      | Layoutabkürzungen und -begriffe (Auswahl) .....     | 263        |
| B.2      | Symbole von Bauelementen und Zellen (Auswahl) ..... | 266        |
| B.3      | Layoutbeispiele von CMOS-Standardzellen .....       | 269        |
| B.4      | Layout-Datenformate .....                           | 270        |
|          | <b>Sachwortverzeichnis .....</b>                    | <b>271</b> |