

# Интерактивная система синтеза стандартных ячеек цифровых СБИС, использующая штрих-диаграммы

А.М. Марченко<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор, Е.А. Попов<sup>1</sup>, инженер, В.Ю. Савченко<sup>2</sup>, аспирант,  
e-mail: [valentine.savchenko@gmail.com](mailto:valentine.savchenko@gmail.com)

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

**Аннотация** — Рассмотрен маршрут синтеза топологии стандартной ячейки с использованием штрих-диаграммы. Предложен алгоритм предварительной обработки штрих-диаграмм позволяющий сократить время синтеза топологии, повысить количество синтезированных топологий и выявить некачественную трассировку без использования программы сжатия.

**Ключевые слова** — синтез топологии, трассировка, сжатие, штрих диаграмма, стандартные ячейки.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация синтеза библиотечных ячеек является актуальной задачей для современных технологических норм. Во-первых, с усложнением технологии и переходом к нанометровым технологическим нормам практически каждая новая СБИС может потребовать дополнительные библиотечные элементы для оптимизации своих характеристик. Во-вторых, расширение библиотек требует дополнительных временных и материальных ресурсов для проектирования и увеличивает его стоимость.

Это приводит к необходимости применять средства автоматизации процесса синтеза библиотечных элементов. С другой стороны, к библиотечным элементам предъявляются очень высокие требования по качеству: в зависимости от назначения библиотеки, это миними-

зация используемой площади, максимальное быстродействие и т.д. Известно такое требование, как доступность портов [1]. Как правило, эти требования сложно формализовать, что приводит к необходимости включить разработчика в интерактивный процесс синтеза и при этом максимально сократить время проектирования по сравнению с полностью ручным. Можно считать приемлемым, если 80% ячеек синтезируются автоматически, а остальные 20% - при участии человека. Средняя производительность такой интерактивной САПР должна быть не менее 30 ячеек за один рабочий день в расчете на одного дизайнера. Для сравнения необходимо отметить, что дизайнер может визуально проверить до 50 ячеек в день без редактирования, что можно считать максимальной производительностью такой системы.

В данной статье предложен метод синтеза библиотечных элементов, основанный на использовании грубого эскиза топологии (абстрактной топологии [2]), синтезированной вручную, для его автоматического преобразования в корректную топологию (конкретную топологию [3]) с учетом всех конструкторско-технологических ограничений. Эскиз топологии может быть спроектирован специально для данной задачи или повторно использован при изменении технологических норм или шаблона библиотеки.

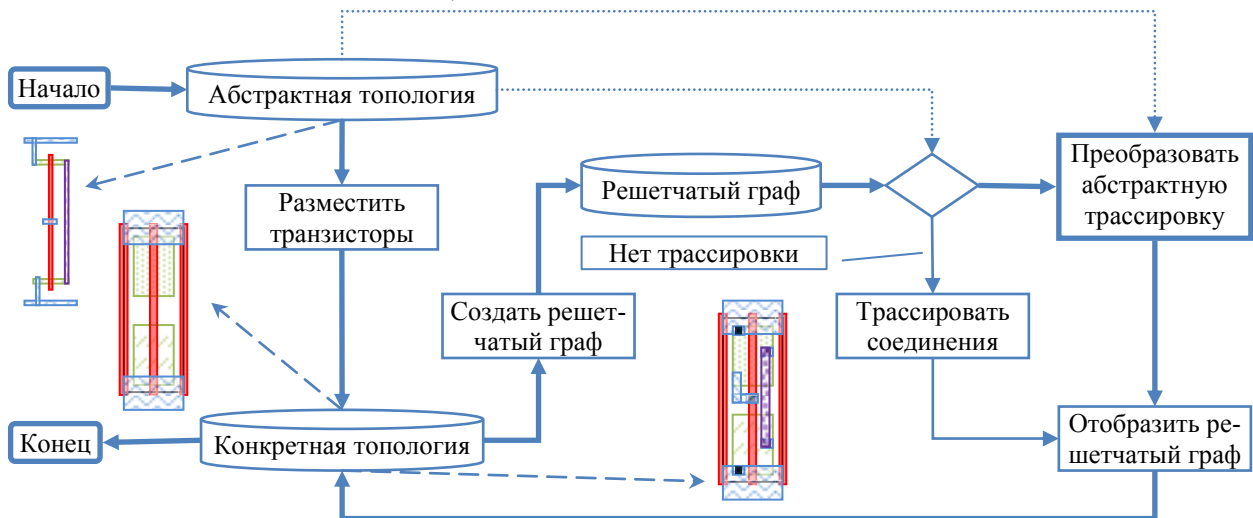


Рис. 1. Гибридный маршрут трассировки

## II. МАРШРУТ СИНТЕЗА ТОПОЛОГИИ СТАНДАРТНОЙ ЯЧЕЙКИ

Гибридный маршрут трассировки стандартной ячейки представлен на Рис. 1. Основная особенность маршрута состоит в том, что для представления трассировки используется как абстрактная, так и конкретная топология. Синтез начинается с абстрактной топологии, которая может содержать трассировку для всех целей. Данный маршрут поддерживает как полностью автоматический, так и интерактивный синтез библиотеки. В этой статье рассмотрен интерактивный вариант синтеза.

Первый шаг состоит в отображении размещения транзисторов с абстрактной на конкретную топологию: каждый  $P$  транзистор размещается как можно ближе к шине питания, каждый  $N$  транзистор – к шине земли.

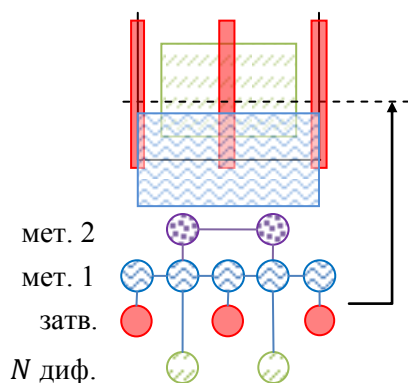


Рис. 2.  $N$  область некоторого размещения и разрез соответствующего графа

На втором этапе создаётся решетчатый граф. Для построения графа каждому трассировочному слою ставится в соответствие прямоугольная сетка. Сетка моделируется подмножеством вершин и ребер графа. Вершины соответствуют пересечениям вертикальных и горизонтальных линий сетки, ребра – сегментам линий, заключённым между соседними вершинами. Каждая вершина хранит слой и координату пересечения.

Если вершина находится на слое затворов или на слое одной из диффузий, а также лежит на середине терминала транзистора, то цепь этого терминала хранится в вершине. Межслойные переходы моделируются с помощью ребер, которые создаются между вершинами из соседних слоёв с совпадающими координатами.

Цепь представляет собой неупорядоченное множество вершин решетчатого графа. Трассировка цепи представляется с помощью множества ребер графа.

На Рис. 2 приведён разрез графа для некоторого размещения транзисторов. Граф построен для пяти слоёв:  $N$  диффузии,  $P$  диффузии, затворов, первого и второго металлов. Вершины показаны с помощью окружностей, а ребра – с помощью линий. При построении графа горизонтальный шаг сетки на слое  $N$  диффузии, затворов и второго металла выбран равным расстоянию между центрами затворов, а горизонтальный шаг на слое первого металла равен половине расстояния между затворами.

Третий этап имеет две реализации. Выбор реализации зависит от того, содержит ли абстрактная топология трассировку или нет. После завершения этого этапа решетчатый граф заполняется информацией о трассировке, которую можно однозначно преобразовать в конкретную топологию (Рис. 6).

## III. АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ТОПОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТРИХ-ДИАГРАММ

Алгоритм синтеза топологии, основанный на штрих диаграммах (Рис. 3), состоит из нескольких последовательных шагов.

Первый шаг заключается в горизонтальном масштабировании сегментов абстрактной топологии (Рис. 4) на вертикальные ребра графа. На втором шаге сегменты упорядочиваются вертикально относительно шин земли и питания. На третьем шаге терминалы сегментов назначаются на вершины графа (Рис. 5). Четвёртый шаг заключается в построении соединений между терминалами сегментов на ребрах решетчатого графа.

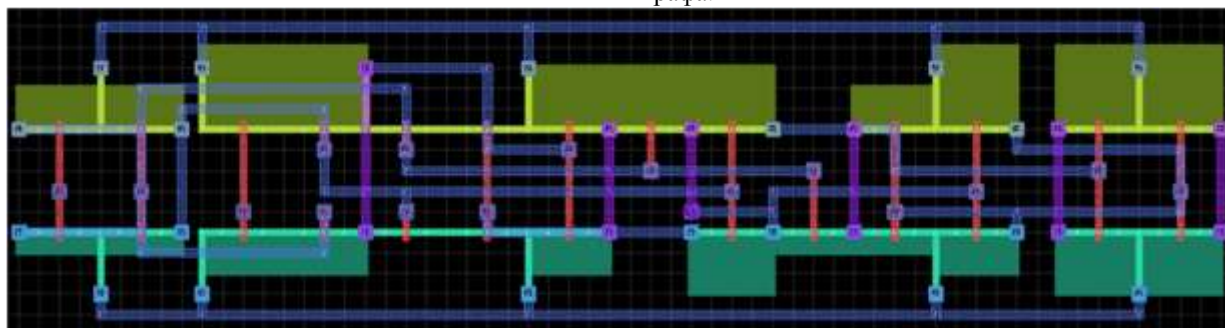


Рис. 3. Абстрактная топология

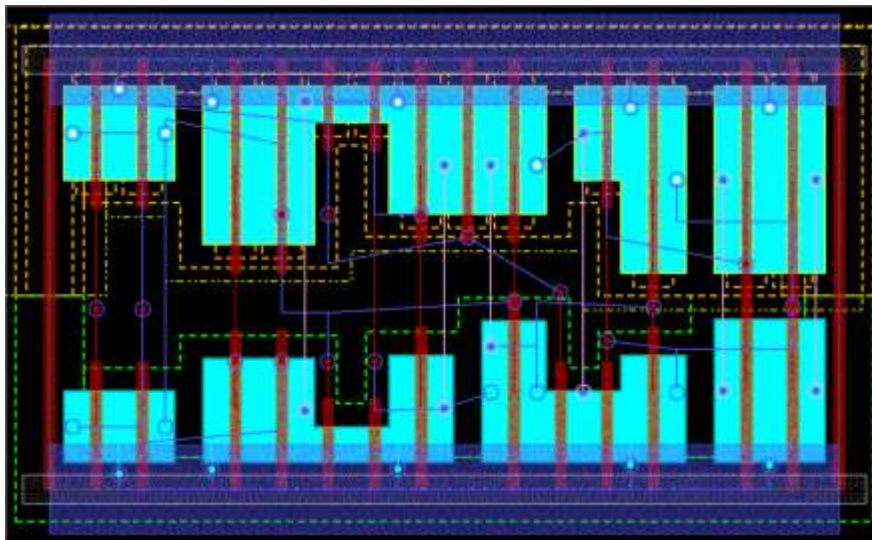


Рис. 4. Масштабирование сегментов

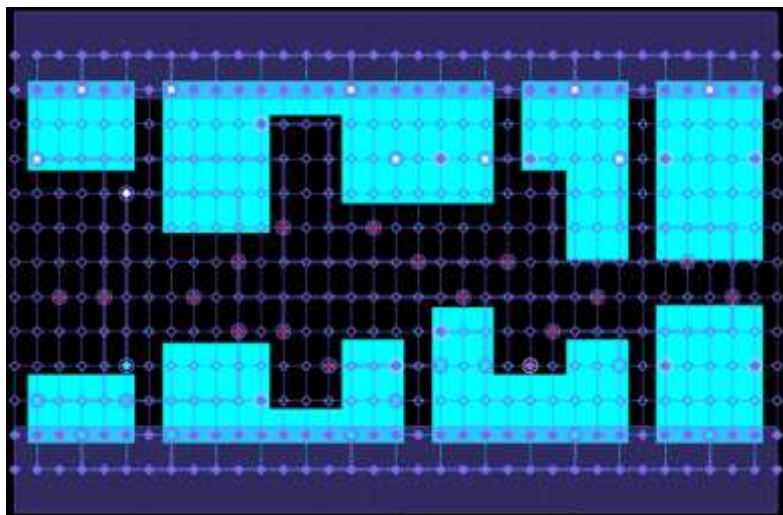


Рис. 5. Назначение вершин графа

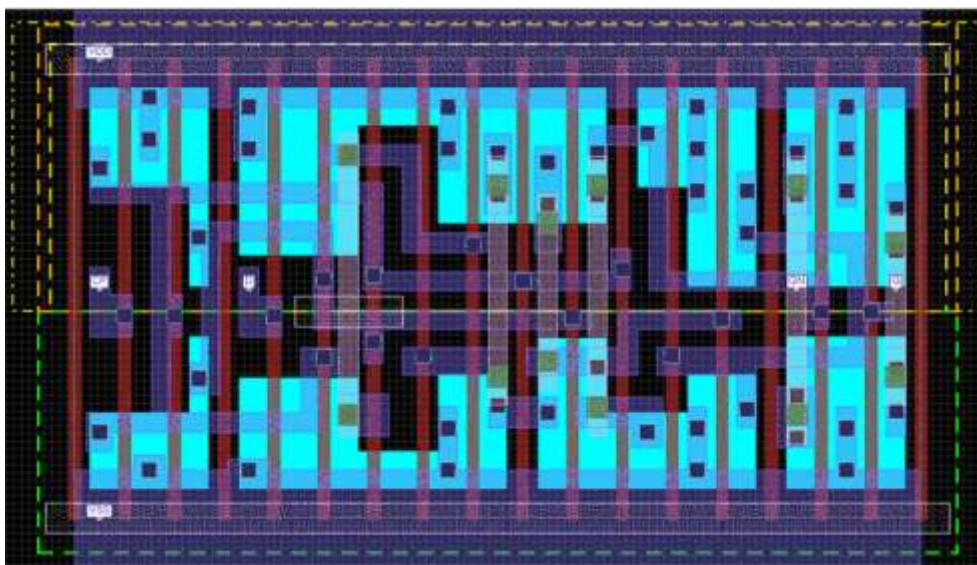


Рис. 6. Конкретная топология

#### IV. ПРЕИМУЩЕСТВА ПОДХОДА

По сравнению с известным маршрутом синтеза топологии стандартных ячеек, предложенный маршрут с включением этапа автоматического преобразования эскиза топологии в сеточную топологию позволяет применять стратегии двумерного сжатия: перемещать объекты топологии в вертикальном и горизонтальном направлении, как вверх, так и вниз одновременно; применять более гибкий механизм минимизации длин проводников по сравнению с известными методами. Важным преимуществом метода является возможность одновременного изгибания нескольких проводников (wire jogging). Наконец, сеточная модель топологии позволяет выполнить большинство технологических правил проектирования и значительно уменьшает число положительных циклов в графах ограничений при окончательном сжатии топологии. Необходимо отметить, что метод позволяет выявить варианты некорректной абстрактной топологии до применения алгоритма сжатия и сократить время синтеза.

#### V. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для оценки эффективности маршрута было исследовано три сценария его использования. Сценарии отличаются предположениями относительно входной абстрактной топологии:

- абстрактная топология может быть отображена в конкретную, и алгоритм сжатия получает выходную топологию без нарушения технологических правил;
- абстрактная топология может быть отображена в конкретную, но алгоритм сжатия не в состоянии преобразовать абстрактную топологию в выходную топологию из-за собственных ограничений;
- абстрактная топология не может быть отображена в конкретную и требует ручного редактирования.

Для проведения экспериментов использовалась библиотека, состоящая из 152 ячеек. Эта библиотека синтезировалась в компании Nangate дважды при помощи стандартного и предложенного маршрутов. 110

ячеек были синтезированы как первым, так и вторым методами. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты проектирования библиотеки

	Традиционный маршрут	Гибридный маршрут
Среднее время синтеза ячейки (мин)	30	19
Средняя ширина ячейки (сет-ка)	10,5	10,4

Еще 20 ячеек были успешно синтезированы только с помощью гибридного маршрута; 22 абстрактных топологии содержали ошибки, которые были обнаружены в процессе синтеза. Эксперимент показал, что суммарное время синтеза библиотеки с помощью модифицированного маршрута составило 65% от суммарного времени традиционного маршрута. Качество ячеек по критерию минимизации ширины немного лучше для гибридного алгоритма. Второй сценарий показал, что модифицированный маршрут повышает количество синтезированных ячеек на 18%. С помощью третьего сценария установлено, что время редактирования входных топологий снижено на 60%, так как гибридный маршрут позволяет обнаруживать ошибки на абстрактной топологии до запуска алгоритма сжатия топологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lefebvre M., Marple D., Sechen C. The Future of Custom Cell Generation in Physical Synthesis // Proceedings of the 34th Design Automation Conference. 1997. P. 446-451.
- [2] Saint C., Saint J. IC Layout Basics, S. Chapman. Red., New York: McGraw-Hill. 2002.
- [3] Guruswamy M., Maziasz R., Dulitz D., Raman S., Chiluvuri V., Fernandez A., Jones L. CELLERITY: A Fully Automatic Layout Synthesis System for Standard Cell Libraries // Proceedings of the 34th Design Automation Conference. 1997. P. 327-332.