

Модели и средства проектирования сложных топологических объектов микроэлектронных систем в условиях неопределенности проектных норм

С. Э. Миронов¹, А. Ю. Васильев², А. Х. Мурсаев³

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

¹semironovspb@yandex.ru, ²ayuvasiliev@mail.ru, ³sashamursaev@yandex.ru

Аннотация. Приводятся результаты проведенных авторами исследований по автоматизации в области информационных систем иерархического проектирования топологии макроблоков КМОП СБИС в условиях неопределенности проектных норм. Описывается разработанная структурная модель нерегулярных макроблоков СБИС, позволяющая упростить управление согласованием сложных топологических объектов в макроблоках. Излагается методика иерархического проектирования топологии с помощью разработанного графического редактора *Matching of Cells*.

Ключевые слова: информационные системы; управление согласованием ячеек макроблоков СБИС; сложные топологические объекты; иерархическое проектирование; технологически инвариантное проектирование

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с постоянным усложнением микроэлектронных проектов и развитием технологии изготовления БИС широкое распространение получили средства проектирования сложных топологических объектов микроэлектронных систем в условиях неопределенности проектных норм, позволяющие оперативно настраивать топологию БИС на конструкторско-технологические требования предприятия-изготовителя.

Эти средства технологически инвариантного проектирования топологии называют системами сжатия топологии, так как настройка на требуемые проектные нормы осуществляется путем «прижимания» друг к другу элементов топологии, изначально размещенных в абстрактном разряженном пространстве.

В работах авторов [1], [2] рассматривались аспекты сжатия, связанные с согласованием габаритов и положения выводов ячеек, со сборкой из ячеек макроблоков (сложных иерархических топологических объектов) с регулярной структурой и с оптимизацией этих действий. Данная статья посвящена описанию разработанных авторами средств и

методики проектирования в условиях неопределенности проектных норм как регулярных, так и нерегулярных макроблоков БИС.

II. ОСОБЕННОСТИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ МАКРОБЛОКОВ КМОП БИС

Сложные топологические объекты микроэлектронных систем с регулярными матричными структурами, представляя собой своеобразные матрицы из ячеек, имеющих одинаковую ширину в столбце и одинаковую высоту в строке. Поэтому выравнивание габаритов и положения выводов их ячеек выполняется относительно общей для них точки отсчета, в качестве которой принимается левая граница для столбца ячеек или нижняя граница для строки.

Что же касается нерегулярных макроблоков БИС, то для них была разработана структурная модель, позволяющая упростить управление согласованием сложных топологических объектов в макроблоках. В соответствии с этой моделью для неструктурированных групп ячеек (не объединенных в строки или столбцы) при выравнивании положения выводов ячеек в качестве точки отсчета должны выступать границы последних из обработанных ячеек макроблока: верхние границы нижних ячеек и правые границы левых ячеек (рис. 1).

Например, на рис. 1 у стыкуемых выводов «А» 3-ей и 4-ой ячеек координаты по оси Y определяются выражениями

$$Y_A = H_1 + Y_{3A} \quad \text{и} \quad Y_A = H_2 + Y_{4A},$$

где H_1 и H_2 – высота ячейки 1 и ячейки 2 соответственно, а Y_{3A} и Y_{4A} – вертикальные координаты выводов «А» соответственно ячеек 3 и 4.

То есть при проектировании сложных топологических объектов с использованием алгоритмов сжатия, для ячеек (также как и для элементов их топологии) применимо понятие частоты – ломаной линии, которая повторяет границы последних обработанных ячеек.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 8.2080.2017/4.6.

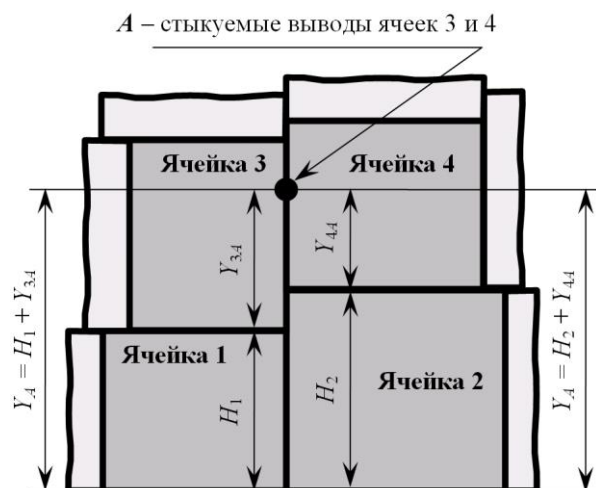


Рис. 1. Особенности определения положения выводов ячеек при их согласовании в рамках предложенной структурной модели нерегулярных макроблоков СБИС

Таким образом, принципы согласования ячеек и построения регулярных макроблоков БИС были распространены на нерегулярные макроблоки, которые являются более общим случаем организации сложных топологических объектов БИС.

Это позволило создать графический редактор топологических планов макроблоков БИС, ставший одной из составных частей подсистемы проектирования топологии макроблоков *Matching of Cells* [3].

Главное окно графического редактора подсистемы *Matching of Cells* с окнами, содержащими графические описания макроблоков разного типа, приведено на рис. 2.

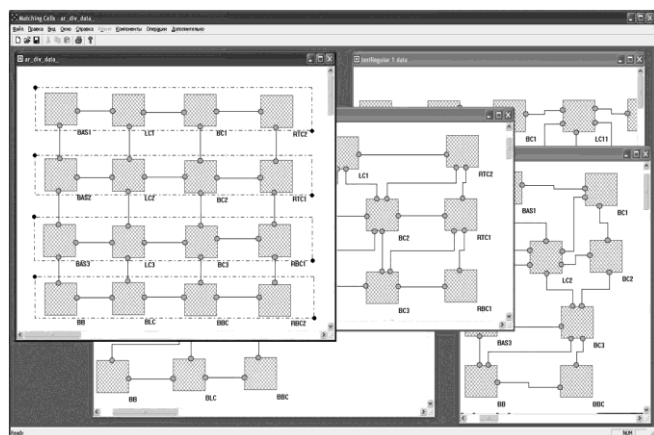


Рис. 2. Главное окно графического редактора подсистемы *Matching of Cells* с окнами, содержащими графические описания макроблоков разного типа

III. СТРУКТУРА ПОДСИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ИНВАРИАНТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МАКРОБЛОКОВ КМОП БИС *MATCHING OF CELLS*

Обобщенная структура подсистемы *Matching of Cells* автоматизированного проектирования топологии иерархических макроблоков БИС в условиях неопределенности проектных норм приведена на рис. 3.

На входы подсистемы подаются спецификация макроблока, спецификации ячеек и файлы виртуального описания ячеек (*vlf*-файлы). Файлы спецификации макроблока либо формируются вручную в текстовом редакторе, в соответствии с разработанным синтаксисом спецификаций, либо проектируются в графическом редакторе подсистемы. Файлы спецификации ячеек, содержат описание границ и выводов ячеек. Они либо генерируются из файлов виртуального описания ячеек с помощью программы парсера [4], либо формируются вручную в текстовом редакторе. Файлы виртуального описания ячеек создаются в системе символьного проектирования *TopDesign* [5].

Подсистема *Matching of Cells* состоит из трех модулей: модуля структурно-топологического проектирования макроблоков; модуля согласования топологии ячеек макроблока; модуля сборки топологии макроблоков. Данные в подсистему *Matching of Cells* загружаются из файла проекта макроблока или из файлов исходных данных. Причем структурно-топологическое описание макроблока БИС может не только загружаться из соответствующих файлов, но и проектироваться в графическом редакторе (вручную или с помощью генератора матриц ячеек макроблока).

После загрузки (или генерации) данные передаются в модуль согласования топологии ячеек макроблока, в процессе работы обращающийся к системе сжатия топологии *TopDesign*.

В состав модуля структурно-топологического проектирования макроблоков БИС входят: графический редактор структурно-топологического описания макроблоков БИС, позволяющий проверять на корректность описания макроблоков; генератор матриц ячеек макроблоков БИС; модуль верификации ячеек БИС.

Модуль согласования осуществляет сжатие ячеек в заданных проектных нормах, автоматически согласовывая расположение выводов и габариты ячеек. После согласования, осуществляется расчет габаритов ячеек, необходимых для сборки топологии макроблока.

Модуль сборки топологии макроблоков БИС осуществляет иерархическую сборку топологии на основании данные о структуре макроблока, получаемых из модуля структурно-топологического проектирования макроблоков БИС.

Результатом работы подсистемы *Matching of Cells*, является структурированный иерархически файл описания топологии макроблока БИС в заданных проектных нормах на языке описания топологии *CIF*.

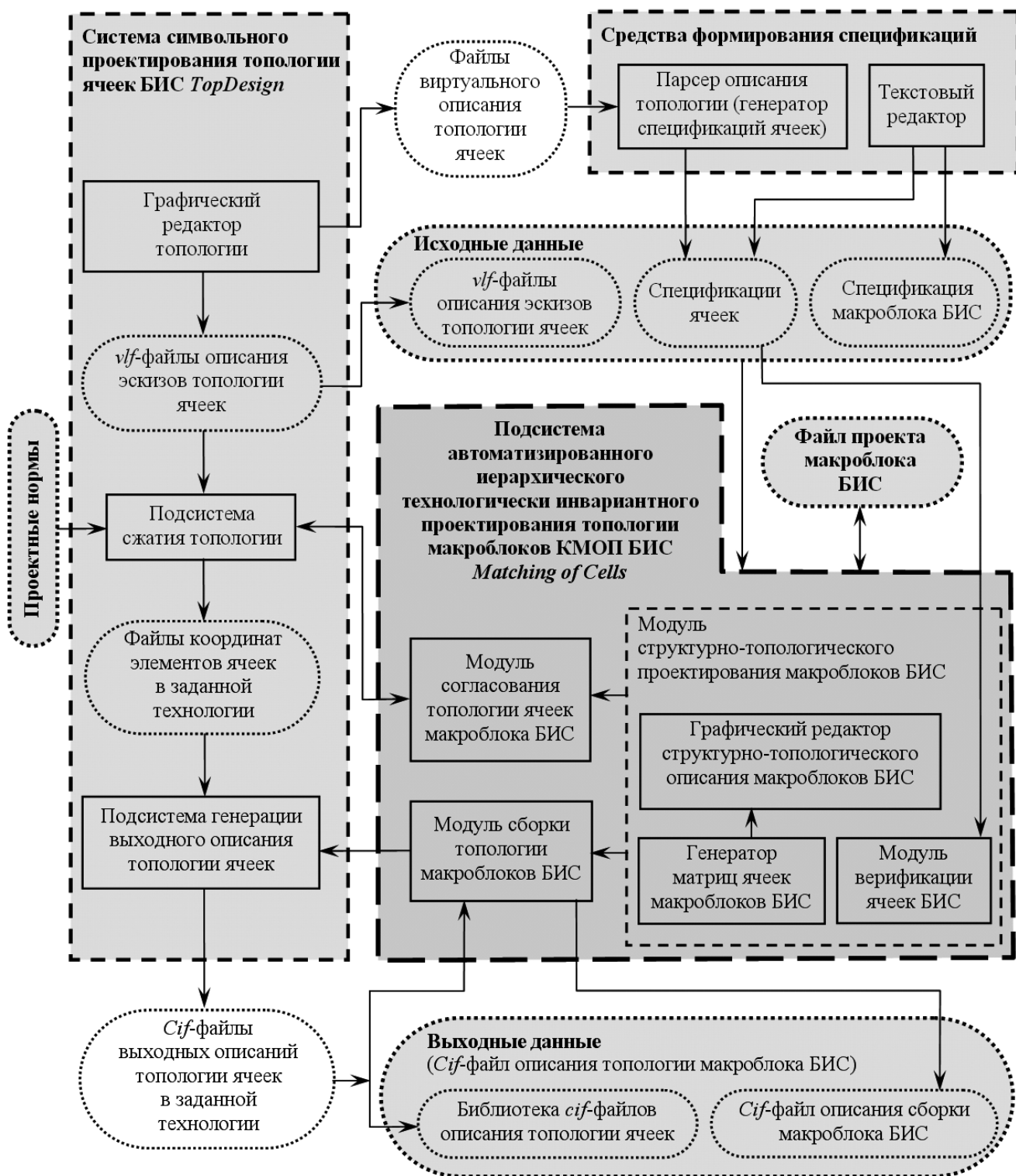


Рис. 3. Обобщенная структура подсистемы *Matching of Cells* автоматизированного иерархического технологически инвариантного проектирования топологии макроблоков КМОП БИС

Этот файл включает в себя: библиотеку ячеек макроблока; описание сборки строк и столбцов из ячеек; описание сборки макроблока из строк и столбцов.

При разработке нерегулярных макроблоков их сборка может быть выполнена непосредственно из ячеек.

Для контроля пользователем процесса генерации топологии подсистема выдает информацию о введенной исходной структуре и о ходе выполнения различных операций.

IV. МЕТОДИКА ИЕРАРХИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ МАКРОБЛОКОВ БИС С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА ПОДСИСТЕМЫ *MATCHING OF CELLS*

Формирование описания топологии макроблока БИС в требуемых проектных нормах осуществляется методом программной генерации в соответствии с этапами методики иерархического проектирования топологии макроблока, приведенными ниже.

1. Разработка структурного топологического плана макроблока.

2. Разработка схем ячеек, виртуальных описаний топологий ячеек в системе *TopDesign* и спецификаций ячеек макроблока.

3. Разработка текстовой спецификации макроблока БИС – иерархического описания структурного топологического плана макроблока. Для устройств с матричной структурой спецификацию макроблока можно загрузить в графический редактор, при разработке сложных нерегулярных устройств описание их структуры нужно собирать из ячеек и соединительных шин в графическом редакторе подсистемы *Matching of Cells*.

4. Генерация топологий ячеек макроблока в требуемых проектных нормах с помощью графического редактора подсистемы *Matching of Cells*, выполняемая с автоматическим согласованием габаритов и положения выводов ячеек в соответствии со структурным топологическим планом макроблока.

5. Генерация подсистемой *Matching of Cells* описания иерархической топологии макроблока на языке *CIF*.

Эта методика принципиально отличается от описанной в [6] тем, что позволяет: описывать и генерировать нерегулярные структуры; как загружать текстовые описания, так и формировать их в диалоге. Кроме того, если структурно-топологический план уже разработан, уже есть библиотека согласованных ячеек, и требуется изменить только параметры структуры реализуемого макроблока (разрядность данных) предусмотрена сокращенная методика программной генерации топологии. Тогда достаточно загрузить имеющийся проект и задать новые значения для коэффициентов матрицирования ячеек в структурных модулях (строках/столбцах) и модулей в макроблоке, а после этого выполнить операцию сборки.

На рис. 4 в качестве иллюстраций к описанию подсистемы *Matching of Cells* и приведенной методики иерархического проектирования топологии макроблока представлены примеры структурных планов иерархических макроблоков БИС и полученных на их основе топологий.

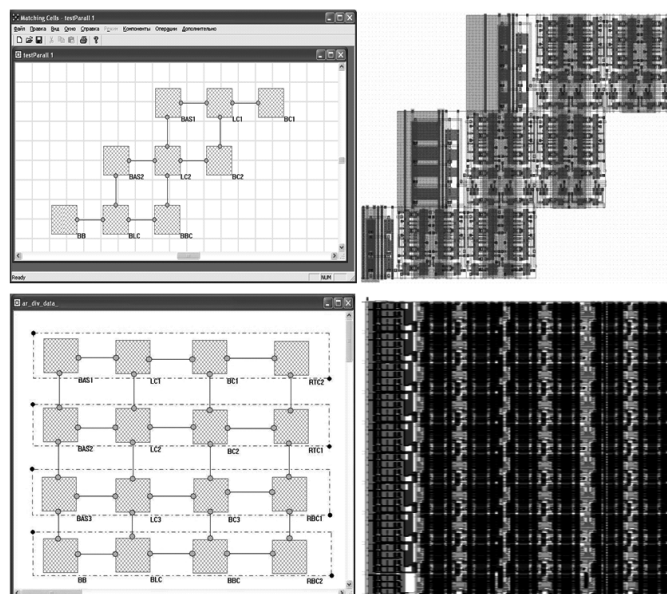


Рис. 4. Примеры структурных планов иерархических макроблоков БИС и полученных на их основе топологий

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Авторы выражают благодарность доценту ЛЭТИ И. С. Зуеву за постоянное внимание и практическую помощь в тематике исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Миронов С.Э. Автоматизация технологически инвариантного иерархического проектирования топологии регулярных макроблоков СБИС / А.Ю. Васильев, С.Э. Миронов // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы междунар. науч. конф., г. Саратов, 1-4 июля 2012. Саратов: Наука, 2012. С. 204-208.
- [2] Миронов С.Э. Управление процессом согласования сложных топологических объектов микросистемных систем в условиях неопределенности проектных норм / С.Э. Миронов, А.Ю. Васильев // Материалы II международной научной конференции по проблемам управления в технических системах (CTS'2017). Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017 г., 25–27 октября, с. 198-201.
- [3] Миронов С.Э. Подсистема автоматизированного иерархического технологически инвариантного проектирования топологии макроблоков КМОП СБИС Matching of Cells/ С.Э. Миронов, А.Ю. Васильев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. Вып. 4. С. 27-31.
- [4] Миронов С.Э. Средства автоматизации проектирования иерархических макроблоков СБИС с использованием параметризованных ячеек / С.Э. Миронов, А.А. Баранов, Т.О. Ефимова, // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. Вып. 4. С. 15-18.
- [5] Zuev I.S. High-Density Layout Designing of CMOS VLSI Parameterized Fragments / I.S. Zuev, A. Maximov // Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'10). St.Petersburg, 2010. P. 131–134.
- [6] Миронов С.Э. Итерационное сжатие с ограничениями при иерархическом технологически инвариантном проектировании топологии макрофрагментов СБИС / А.Ю. Васильев, С.Э. Миронов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. «Информатика, управление и компьютерные технологии». 2010. Вып. 3. С. 10-15.