

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ СТРОГО САМОСИНХРОННЫХ КМДП-СХЕМ

Л. П. Плеханов

Несмотря на значительное развитие теории самосинхронных (СС) и родственных им схем [1-4], их практическая реализация является делом весьма трудным и новым. Это связано с тем, что существующие теории и созданные на их основе инструментальные средства (например, [5]) не учитывают многие “земные” проблемы конкретной схемотехники - такие, как согласование нагрузок, ограничения на реализуемые функции со стороны технологии, экономию площади кристалла и другие.

Существующая не совсем четкая терминология в области несинхронных схем и неоднозначное использование термина “самосинхронность” приводят к необходимости более точного обозначения рассматриваемого класса схем, которые ранее (в статьях [6-8]) назывались самосинхронными.

Строго самосинхронной схемой (ССС-схемой) будем называть такую разомкнутую схему, которая при корректном замыкании образует полумодулярную (по Маллеру) схему.

ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ СССР-СХЕМ

Основным исходным принципом построения СССР-схем является соблюдение условий строгой самосинхронности на основе модели Маллера. Этот принцип существенно отличает данный подход от других - нестрогих - подходов.

В рамках нестрогих подходов к проектированию можно выделить две группы методов. В одной группе с помощью той или иной "схемной компиляции" синтезируются схемы, обеспечивающие взаимодействие типа "запрос-ответ" между блоками. Сами блоки при этом не независимы от задержек. Примером такого подхода может служить [3].

Методы другой группы основаны на "условной" (с выполнением некоторых условий) самосинхронизации и связаны с конструированием некоторой внутренней синхронизации в схеме или аналога "конвейера", например, [4]. Правильность функционирования таких схем целиком зависит от соотношения задержек между элементами. Поэтому подобные схемы нельзя считать независимыми от задержек и следует отнести к квазисамосинхронным схемам.

Достоинство нестрогих подходов состоит в том, что при приемлемых аппаратных затратах получаются схемы, в определенных пределах обладающие свойством самосинхронности. Недостаток их - в неполноте реализации принципа самосинхронности, не позволяющей получить многие важные качества, которые приобретаются схемами при строгом соблюдении этого принципа на уровне вентилей, блоков и выше. К таким "потерянным" качествам относятся, главным образом, показатели надежности.

Особенности ССС-схем и имеющийся в настоящее время опыт их проектирования показывают, что существующие САПР общего назначения не дают приемлемых средств проектирования на нижних уровнях: логическом (вентильном), транзисторном, топологическом. Общие средства логического моделирования могут быть использованы лишь для окончательной проверки правильности функционирования готовой схемы.

В процессе проектирования самосинхронных схем должен быть

выполнен ряд требований:

1) Необходимо обеспечить весьма специфические требования строгой самосинхронности по Маллеру для системы логических функций, описывающих схему. Свойство строгой самосинхронности - нелокальное, зависящее от всех элементов, составляющих схему. Любое функционально-эквивалентное изменение (например, декомпозиция) хотя бы одного элемента нарушает это свойство. Такая особенность составляет основную трудность в проектировании ССС-схем.

2) Условия реализуемости ССС-схем определяют набор базисных функций, корректно реализующих схему.

3) ССС-схема, выполняемая на транзисторном уровне, как и любая другая схема, должна обладать определенным схемотехническим качеством - быть сбалансированной по задержкам, оптимизированной по быстродействию, числу транзисторов, площади и т.д.

4) При топологическом проектировании на этапе трассировки необходимо обеспечить условия самосинхронности в разветвлениях.

Известные существующие системы проектирования, специально созданные для ССС-схем, не решают и не предназначены решать все эти задачи.

Методы и системы, развиваемые зарубежными авторами, обеспечивают только запрос-ответное взаимодействие на уровне блоков и/или квазисамосинхронность; отсутствует СС-кодирование, не выполняются условия строгой самосинхронности (полумодулярности).

В настоящее время единственной системой, предназначенной для проектирования полумодулярных схем, является система ФОРСАЖ, созданная группой В.И.Варшавского (по заказу ИПИ РАН). Однако и она выполняет только первое из приведенных выше требований. В силу этого система более пригодна для исследования полумодулярных

систем логических функций небольшого размера, чем для проектирования реальных схем практической сложности.

Целесообразно рассмотреть более подробно подход к проектированию ССС-схем, реализованный в системе ФОРСАЖ.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР ФОРСАЖ (F-ПОДХОД)

Достоинства методов проектирования в F-подходе таковы.

Впервые созданы регулярные методы анализа и синтеза полумодулярных схем на функционально-логическом уровне. Методы универсальны по отношению к способу СС-кодирования информации, наличию или отсутствию памяти, дисциплине смены наборов и другим исходным характеристикам. На основе разработанных методов создана, также впервые, программная система анализа и синтеза полумодулярных схем ФОРСАЖ.

Однако именно для схемотехнического проектирования эта система не дает удовлетворительного соответствия ни одному из приведенных выше схемотехнических требований и имеет серьезные недостатки.

Реализация алгоритмов анализа и синтеза в F-подходе связана с преобразованиями глобальных состояний. Это дает экспоненциальный характер зависимости ресурсов системы, необходимых для анализа и синтеза, от числа переменных. Использование других представлений и методов (опорные диаграммы, диаграммы изменений и другие) снижает требуемые ресурсы, но экспоненциальная их зависимость остается. Утверждения авторов F-подхода о том, что достигнута полиномиальная сложность алгоритмов, носит теоретический характер и не подтверждается в программной реализации.

В методах синтеза для описания исходных данных применяются

диаграммы изменений, подготавливаемые пользователем. В случаях слабо определенных схем такие описания имеют небольшую сложность. Но для схем, близких к полностью определенным, описание становится "переборным", то есть столь громоздким, что его практически невозможно создать. В частности, это относится к комбинационным схемам.

В F-подходе разработчик, проектируя исходное описание для синтеза, должен решить две задачи: обеспечить необходимое функционирование и обеспечить условия аperiodичности процесса (корректности). Эти условия есть не что иное, как условия самосинхронности, выраженные в других терминах. Поэтому исходное описание в изменениях и синтезированная модель Маллера эквивалентны в смысле самосинхронности. Система синтеза не вносит нового качества в схему: исходные данные, которые так или иначе подготавливает разработчик, уже должны иметь свойства самосинхронности.

Другой недостаток, который также следует из условий полумодулярности исходного описания - отсутствие входов и выходов схемы как в исходных данных для синтеза, так и в получаемом решении. Разработчик вынужден конструировать искусственное замыкание в исходном описании, а после синтеза - отбросить соответствующие этому замыканию элементы и связи. Это квалифицированный труд, затрачиваемый впустую.

Большим недостатком F-подхода является отсутствие модульности (иерархичности) исходного описания. Это значит, что фрагменты, разработанные ранее, нельзя компактно использовать в следующих схемах. В результате резко снижаются возможности проектирования практических схем.

Теперь о базисе реализации ССС-схем при синтезе - не о логическом базисе (типа RS-реализации), а о физическом: о минимальных элементах, описываемых одним булевым уравнением каждый. Недостаточно учитывать только требования монотонности функций элементов и ограничение количества входов, как это делается в F-подходе, поскольку существуют схемотехнические (на уровне транзисторов) ограничения на базисные элементы.

Наконец, в F-подходе задача качества синтезируемых схем не ставится и, соответственно, не решается. Стандартная операция минимизации ДНФ при получении решений необходима, но не достаточна для оптимизации схемы по числу транзисторов. О быстродействии и других показателях вообще речи нет.

Текстовый интерфейс системы - входной и выходной языки - неудобен тем, что эти языки отличаются от стандартных (например, VHDL), а также от общепринятых правил записи логических формул.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР РОНИС (R-ПОДХОД)

Вместо преимущественно исследовательского F-подхода предлагается более практический R-подход, реализуемый в создаваемой САПР ССС-схем РОНИС. При таком подходе пользователь проектирует обычное функциональное описание - автоматные логические уравнения, не имеющие свойств самосинхронности или аperiodичности. Функционирование должно быть описано в статическом режиме и без какой-либо синхронизации. Такое описание будем называть однофазным функциональным прототипом (ОФП). При проектировании ОФП могут использоваться существующие обычные системы функционального проектирования - моделирования, синтеза и т.д. Предусматривается использование

макроэлементов, то есть ранее разработанных готовых блоков.

Описание исходных данных в виде событийных (или временных) представлений, например, диаграмм изменений, в ряде случаев более удобно, чем описание в логических функциях. Поэтому в дальнейшем предполагается создание системы преобразования однофазных событийных или временных описаний в логические описания. В отличие от F-подхода, к этим исходным описаниям не предъявляются требования апериодичности (полумодулярности) процесса, что должно значительно упростить их подготовку. По полученным однофазным логическим описаниям может далее производиться синтез ССС-схем.

Результатом синтеза с помощью системы РОНИС будет ССС-устройство с парафазным кодированием информации и двухфазной (со спейсером) дисциплиной работы. Этот выбор объясняется тем, что, по имеющемуся опыту и оценкам, другие разновидности ССС-устройств имеют очень узкую область применения.

В основе методов синтеза в R-подходе лежит функциональное представление исходных данных и результатов синтеза. Синтез ведется по частям, "ССС-единицам" небольшого размера - в среднем до 10 вентиляей. Экспоненциальная сложность алгоритмов имеет место только в пределах таких "единиц". Количество самих "ССС-единиц" в схеме может быть практически неограниченным, поскольку их наращивание требует алгоритмов только линейной сложности.

R-подход имеет ряд преимуществ по сравнению с F-подходом.

- 1) Разработчик решает привычные для него задачи функционального проектирования, облегченные отсутствием всяческой синхронизации.

- 2) Для описания прототипа используется стандартный язык представления и моделирования дискретных схем (VHDL).

3) В исходном описании предусмотрено использование ранее разработанных схем - макроэлементов, что обеспечивает иерархичность проектирования и делает практически неограниченным размер разрабатываемого проекта.

4) Физический элементный базис R-подхода - КМДП и БиКМДП самосинхронные базовые элементы, которые удовлетворяют как требованиям модели Маллера, так и схемотехническим ограничениям [7]. Эти элементы будут поддержаны средствами транзисторного и микротопологического автоматизированного проектирования.

5) На всех этапах синтеза производится оптимизация решений по критериям быстродействия и/или числа транзисторов.

6) Проектирование в R-подходе осуществляется на функционально-логическом, вентиляльном и транзисторном уровнях.

7) В алгоритмах R-подхода используются преобразования логических функций. Это компактное представление функциональных зависимостей позволяет увеличить размер схемы, синтезируемой за один запуск, на 1-2 порядка по сравнению с F-подходом.

СТРУКТУРА САПР РОНИС И ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основной задачей системы РОНИС является проведение автоматизированного проектирования ССС-СБИС на нескольких уровнях.

На функционально-логическом уровне производится проектирование ОФП и их подготовка к синтезу. На вентиляльном уровне осуществляется синтез ССС-схем в базовых функциях (вентилей). На транзисторном уровне выполняется генерация электрических схем базовых элементов (вентилей) в транзисторах.

Кроме приведенных, к основным задачам системы относятся

поддержка базы данных системы, библиотек проектов и библиотек базовых элементов.

На рис. 1 приведена структура САПР РОНИС с основными информационными связями.

САПР состоит из 4 частей, которые выполняют следующие функции:

1) АСПЕКТ - система анализа ССС- и квазиСС-схем: анализ строго самосинхронных и квазисамосинхронных схем сложности до нескольких сотен вентилях.

2) МИРАЖ - система функционально-логического проектирования ССС-схем:

- подготовка функциональных несамосинхронных прототипов;
- синтез ССС-схем (комбинационных, схем с памятью, индикаторов, конвейеров и т.д.) в базисе самосинхронных функций.

3) СОЛОН - система синтеза прототипов:

- синтез функциональных несамосинхронных прототипов по событийным описаниям.

4) ВАВИЛ - система проектирования ССС-схем на вентилях и транзисторном уровнях:

- анализ ССС-схем на корректность реализации;
- синтез схем базовых библиотечных элементов в транзисторах;
- подсчет и оценка параметров ССС-схем (число транзисторов, задержки и т.д.);
- поддержка системных и проектных библиотек;
- обеспечение интерфейса с системами топологического проектирования СБИС.



Рис. 1. Структура системы проектирования ССС-схем РОНИС

При проектировании с помощью системы РОНИС предусматривается также использование существующих систем моделирования на языке VHDL и систем электрического моделирования типа PSPICE.

Систему АСПЕКТ целесообразно использовать для анализа и проектирования небольших ССС-схем (ячеек, макроэлементов) в нестандартных случаях: для схем, проектируемых "вручную", для схем узко специальных классов, когда стандартная процедура синтеза системы МИРАЖ может дать неоптимальные решения.

ВАРИАНТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ССС-УСТРОЙСТВ

На рис. 2-5 приводятся некоторые варианты создания ССС-схем в системе РОНИС - укрупненные маршруты их проектирования.

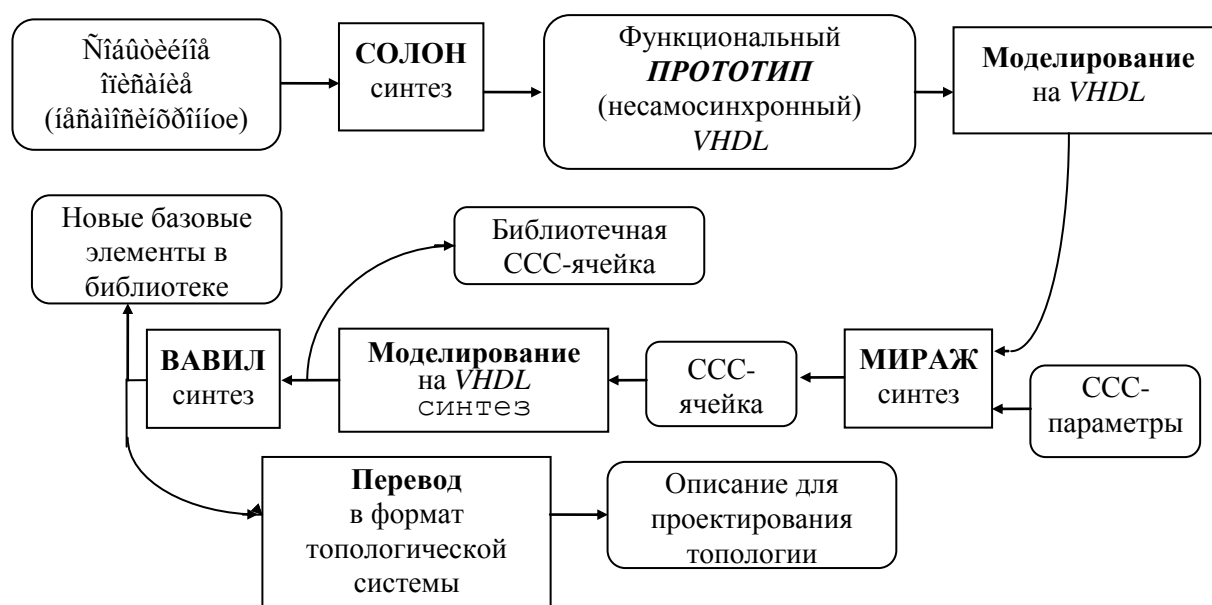


Рис 2. Проектирование небольших схем и ячеек (триггеров, ячеек регистров, ячеек счетчиков и т.п.)

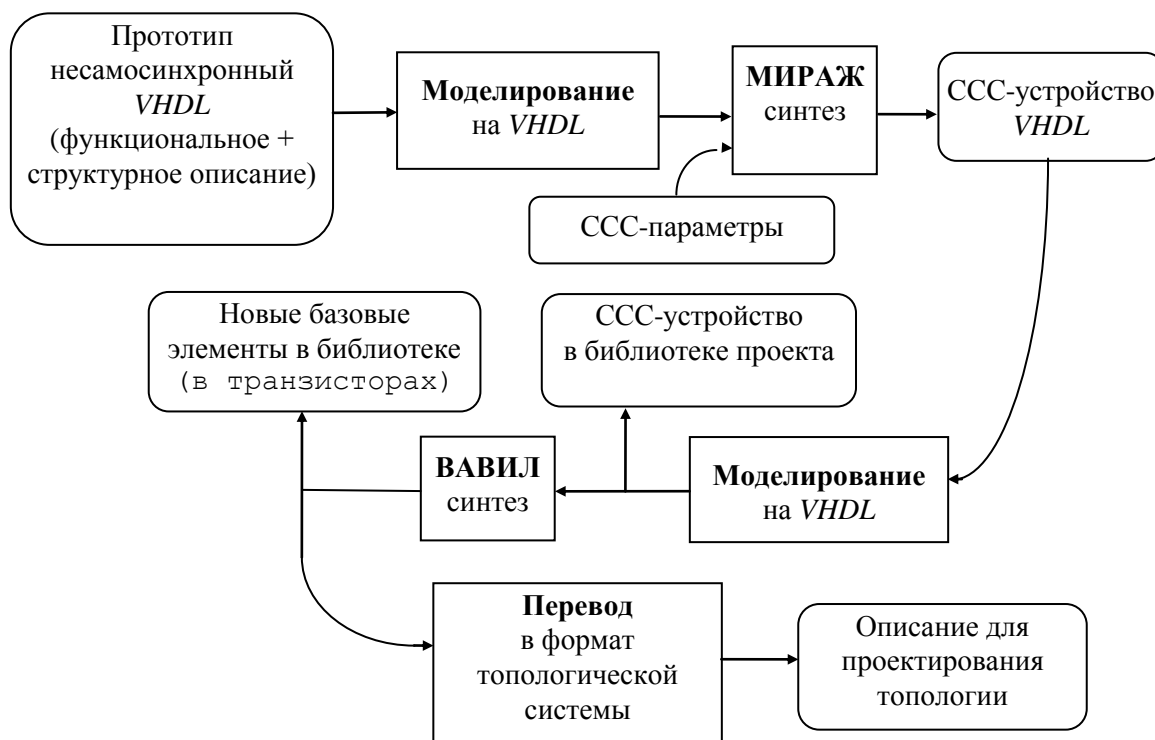


Рис. 3. Проектирование устройств среднего размера (регистры, АЛУ, счетчики и т.п.) по несамосинхронному описанию

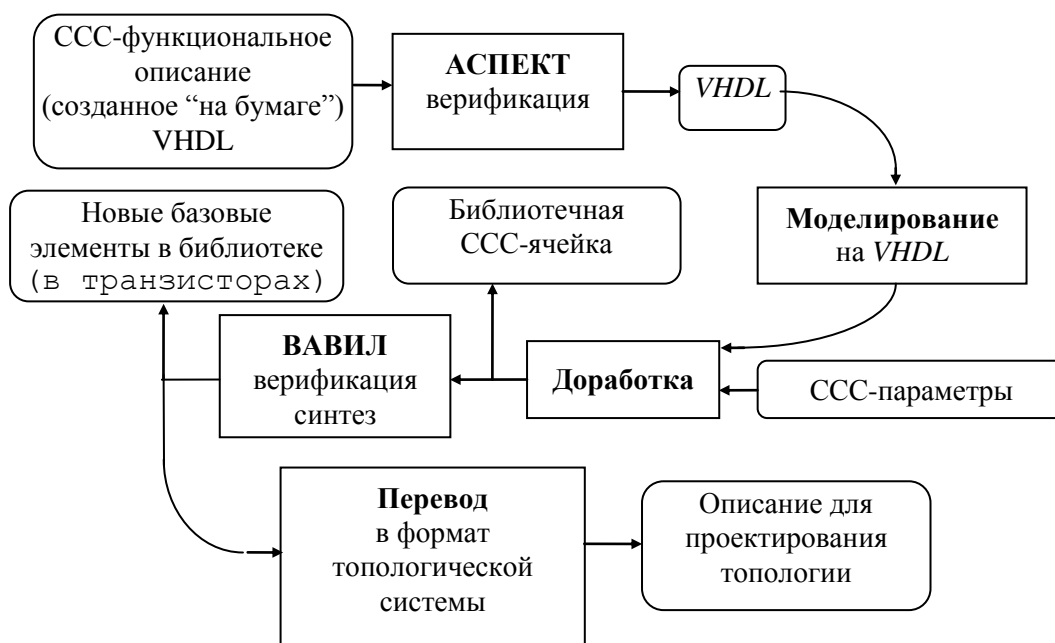


Рис. 4. Проектирование небольших и средних устройств по самосинхронному описанию

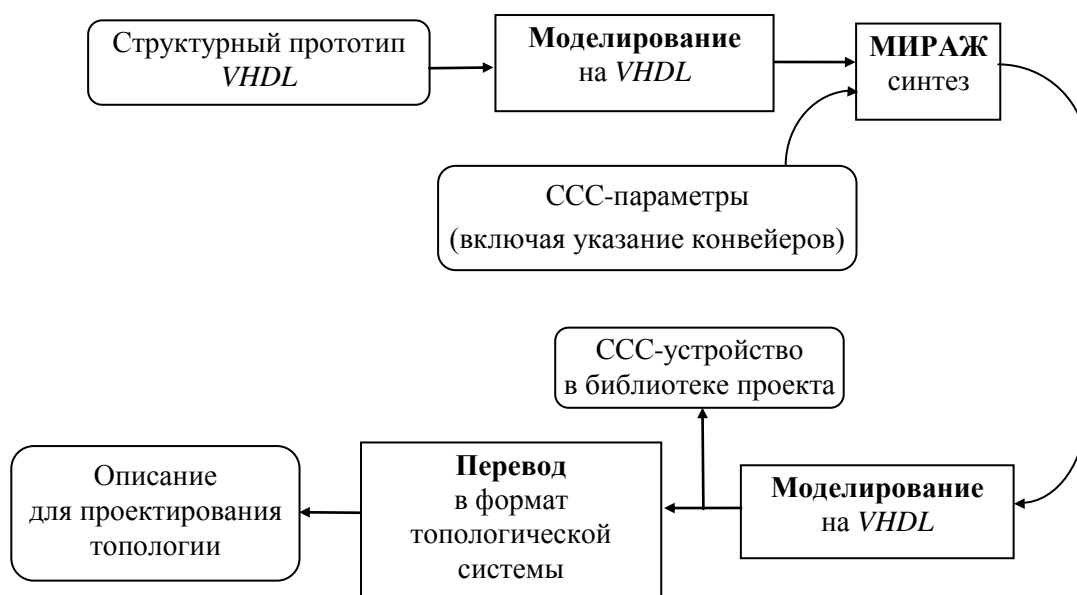


Рис. 5. Проектирование больших устройств (контроллеров, Фурье-преобразователей, процессоров и т.д.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах. / Под ред. В.И. Варшавского. М.: Наука, 1986, 398 с.
2. *A.J. Martin*. A Synthesis Method for Self-Timed VLSI Circuits. IEEE Intern. Conf. on Comp. Design: VLSI in Computers & Processors, 1987, p. 224-229.
3. The VLSI-Programming Language Tangram and its Translation into Handshake Circuits. K. van Berkel, J. Kessels, M. Ronchen and oth. Proc. of the EDAC-91. Los Alamitos, IEEE Comp. Ass. Press, 1991, p. 384-389.
4. *J. Compton, A. Albicki*. Self-Timed Pipeline with Adder. Proceeding GLSV'92, Kalamazoo, MI, 1992, p. 109-113.
5. *В.И. Варшавский, С.А. Карпов, А.Ю. Кондратьев и др.* Инструментальные средства автоматизации проектирования самосинхронных схем. // Системы и средства информатики. М.: Наука, 1993, вып. 5, с. 196-214.
6. *А.В. Филин, Ю.А. Степченко*. Схемотехника интегральной элементной базы естественно-надежных компьютеров. // Системы и средства информатики. М.: Наука, Физматгиз, 1995, вып 7, с. 222-239.
7. *Л.П. Плеханов*. Базовые элементы самосинхронных схем. // Системы и средства информатики. М.: Наука - Физматгиз, 1995, вып 7, с. 258-264.
8. *Л.П. Плеханов*. Условия самосинхронности в разветвлениях и физическая реализуемость самосинхронных схем. // Системы и средства информатики. М.: Наука, Физматгиз, 1995, вып 7, с. 273-278.