

УДК 639.039.002

АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СБИС НА ПРИМЕРЕ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

А. А. Давлятшина, Е. С. Копкова

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – НИЯУ «МИФИ», РФ, г. Москва, Каширское ш., 31

Разработка СБИС с нормами 28 нм находит широкое применение в системах АСУ ТП атомной отрасли, однако, как показано в статье, производство данных интегральных микросхем является довольно дорогостоящим. С целью уменьшения издержек производства данных микросхем предлагается рассмотреть создание минифабов, которые позволят с минимальными затратами на доставку СБИС, с одной стороны, сократить время ввода в эксплуатацию станций, а с другой стороны, повысить производственный процесс.

Ключевые слова: *атомная энергетика, автоматизированные системы управления технологическими процессами, автономные системы, разработка микросхем, СБИС, инновационное развитие*

Сведения об авторах: *Давлятшина Алена Андреевна, кандидат физико-математических наук; Копкова Елена Сергеевна*

ANALYSIS AND PROSPECTS OF CREATION AND DEVELOPMENT OF DOMESTIC MICROCHIPS ON THE EXAMPLE OF NUCLEAR INDUSTRY

A.A. Davlyatshina, E.S. Kopkova

National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Russia, Moscow, Kashirskoye hgw., 31

Design of 28 nm VLSI chips is widely used in nuclear industry automated process control applications. However, as it is shown in this paper, production of such microchips is quite expensive. In order to reduce the production costs of these microchips we suggest to consider the foundation of minifabs. Such facilities will allow on one hand to decrease the set-up time of the nuclear plant and on the other hand to boost production processes with minimal VLSI delivery costs.

Keywords: *nuclear power, automated process control system, automated system, microchip design, VLSI, innovative development*

Authors: *Davlyatshina Alena Andreevna, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Kopkova Elena Sergeevna*

С развитием общества происходит увеличение потребления электроэнергии. Следовательно, стратегической задачей является реформирование и перевод электроэнергетики в режим устойчивого развития на базе применения прогрессивных технологий и рыночных принципов функционирования и обеспечение на этой основе надёжного, экономически эффективного удовлетворения платёжеспособного спроса на электрическую энергию в краткосрочной и долгосрочной перспективе. Основой электроэнергетики государства является объединённая энергетическая система, которая осуществляет технологический процесс производства электрической энергии, транспорта и распределения.

Потребление электроэнергии в энергосистемах изменяется в течение нескольких минут, производство электроэнергетики должно приспосабливаться к этим изменениям. С этой целью необходимо:

а) эффективно планировать строительство новых энергоблоков, энергосетей на несколько лет вперёд (обычно на 5 лет). При этом необходимо учитывать прогноз потребления на 10-15 лет;

б) эффективно перераспределять и прогнозировать графики потребления, используя алгоритмы техноценоза;

в) улучшать и разрабатывать методы управления производством электроэнергии с целью недопущения аварийных и других нештатных ситуаций на энергосистемах.

Исходя из проблематики, связанной в первую очередь с применением, исполь-

зованием и особенно доставкой к конечному устройству энергии, важно понимать, что успех возможен только в случае использования новейших достижений науки и технологий [8, 10].

Наука и технологии не стоят на месте, а движутся быстрыми темпами, разрабатывается и налаживается производство новых микросхем, а также сверхбольших схем, необходимых для управления технологическим процессом. Разрабатываемые микросхемы перешли на новый виток аппаратного развития, учитывая особенности программной части, которая обеспечивает определённые требования (размер, потребляемая энергия при необходимой и (или) максимальной мощности, стандарты, определяемые и предъявляемые к конечным изделиям, используемым как отдельно, так и сопрягаемым между собой при формировании «сетей»), влияющие на разработку и выпуск данных микросхем [8]. Как следствие, спрос рынка на подобные микросхемы нового поколения со стороны военного и гражданского сектора, вплоть до физических лиц, формирующих тренд в сторону развития микроэлектроники, использующейся при создании автоматизированных домашних систем, растёт. Используемые при этом микросхемы и электронная компонентная база более чем на 80 % производятся и закупаются за рубежом.

Таким образом, одним из приоритетных вопросов на современном этапе развития промышленности, в частности атомной энергетики, является вопрос импорто-

замещения. Данная задача является также актуальной и в области микроэлектроники. На данный момент, при развитии современного общества, новые технологии устанавливают одним из перспективных направлений «глубокую автоматизацию» процессов и систем, используемых на всех уровнях производства [5].

ГК «Росатом» показывает перспективные темпы роста на внешнем рынке, получая заказы по проектированию и строительству энергоблоков; на настоящий момент их количество составляет порядка 30 единиц. При этом стоит отметить, что цена автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) составляет до 10-12 % стоимости каждого энергоблока. Данный пример показывает уровень актуальности и необходимости замещения импортной ЭКБ отечественными разработками – задача глобальная, экономически выгодная и с точки зрения организации производства понятная [1].

В качестве примера стоит отметить, что в 2015 году доля отечественных компонентов на российском рынке составляла 33 % и оценивалась в 920 млн долларов; импортных – 67 % и соответственно 1,8 млрд долларов. Устоявшаяся зависимость отечественного рынка от зарубежных поставщиков объясняется невыгодными с позиции соотношения производство/цена отечественными компонентами [2, 3, 9]. Следовательно, потребности внутреннего российского рынка покрывались мировыми производителями. Рассмотрим, что же такое СБИС.

Термин СБИС (сверхбольшая интегральная схема) известен уже более трёх десятков лет – с момента размещения на кремниевой подложке или кристалле нескольких десятков тысяч транзисторов. В настоящее время общее число транзисторов на больших кристаллах приближается к нескольким сотням миллионов.

С развитием технологий производства и повышением степени интеграции появилась новая группа СБИС, комбинирующая свойства как СБИС специализированных применений, так и универсальных процессоров. Эту группу составляют системы на кристалле или Systems-on-Chip, которые представляют собой комбинацию специализированных и универсальных процессорных ядер и блоков, выполненных на единой кремниевой подложке.

Развитие процессов производства как отечественных, так и зарубежных предприятий показывает следующую тенденцию. Ведущие зарубежные компании достигли уровня производства чипов с минимальным топологическим размером 20 нм. Samsung и Intel начали тестовое производство чипов с минимальным разрешением 7 нм. Сформировавшийся мировой рынок полупроводников в 2017 году оценивался в \$518 млрд, и эксперты прогнозировали его рост до \$1 трлн к 2025 году. В этих условиях ГК «Росатом» занимает в области развития электроники двойственную позицию. С одной стороны, корпорация выступает в качестве потребителя изделий электроники, с другой, активно развивает производство электронных компонентов на

входящих в её состав предприятиях [2, 3, 4].

В то же время крупных российских производителей ЭКБ в разы меньше, чем за рубежом, и основные из подобных предприятий сосредоточены в инновационном кластере г. Зеленограда: к ним относятся предприятия «Микрон», «Протон», «Ангстрем», «Миландр» [5]. При этом разница в освоении технологий и продукции между ними остаётся. ПАО «Микрон», например, серийно производит микросхемы с топологическим разрешением 90 нм, получены тестовые образцы с нормами 65 нм. Правда, в массовое производство такие микросхемы на данный момент пока не запущены.

В перечне компаний, занимающихся развитием отечественной микроэлектронной ЭКБ, присутствует предприятие, входящее в ГК «Росатом», – ФНПЦ «НИИИС им. Е.Ю. Седакова», в производстве которого на настоящий момент находятся микросхемы с проектной нормой 350 нм, а в перспективе разработка с проектной нормой 150 нм. Важными и перспективными критериями развития производства на предприятиях являются глубокие субмикроны, абсолютная надёжность и долгий срок службы [5].

Каждый тип СБИС имеет свою нишу на рынке, которая определяется массовостью применения приборов и изделий, а также степенью универсальности характеристик СБИС.

Все типы СБИС различаются стоимостью проектирования и изготовления,

в некоторых случаях используются готовые СБИС, программируемые для различных приложений, что даёт минимальную цену подготовки производства, которую называют NRE – non-recurring engineering cost.

Рассмотрим основные этапы проектирования СБИС.

Упрощённый маршрут проектирования полузаказной СБИС включает ряд этапов. В любом случае он содержит части логического проектирования СБИС (front-end design) и физического проектирования СБИС (back-end design).

1. *Формальное описание проекта* (Designentry)

Проектирование СБИС осуществляется с использованием либо языка моделирования аппаратных средств (HDLVerilog, VHDL), либо разработанной принципиальной схемы. В обоих случаях используются специальные средства САПР от производителей – Cadence, Synopsys, MentorGraphics, Magna и т.п.

2. *Логический синтез* (Logic synthesis)

Средства САПР от производителей, указанных выше, обеспечивают генерацию списка логических вентилях и их межсоединений (netlist).

3. *Разбиение на модули* (System partitioning)

Большая система разбивается на модули, которые можно проектировать как отдельные СБИС или мегаблоки одной СБИС.

4. *Логическое моделирование дизайна СБИС* (Prelayout simulation)

Проверка всех функциональных параметров и характеристик СБИС на логическом уровне. Если моделирование не даёт корректных результатов, то этапы 1, 2, 3 повторяются до их достижения.

5. Топологическое размещение (Floorplanning)

Размещение модулей и блоков из списка логических вентилей и соединений на площади кристалла СБИС.

6. Размещение базовых элементов внутри блоков (Placement)

Выбор размещения базовых библиотечных элементов в блоках.

7. Трассирование и разводка межсоединений (Routing)

Соединение базовых библиотечных элементов, модулей и блоков между собой.

8. Экстракция паразитных сопротивлений и ёмкостей межсоединений (Extraction)

Определяются паразитные ёмкости и сопротивления, порождаемые спроектированной топологией межсоединений.

9. Моделирование с применением паразитных составляющих (Postlayout simulation)

Проверяется работоспособность будущей СБИС с добавленной паразитной нагрузкой на межсоединения. Если они не удовлетворяют требованиям по частоте и нагрузке, то этапы 5-9 повторяются до получения требуемого результата.

Экономический аспект разработки и производства СБИС

Можно выделить две основные части стоимости (цены) разработки и производства СБИС:

- стоимость разработки (Design cost);
- стоимость производства (Fabrication cost).

Общая цена СБИС-продукта является функцией фиксированной цены, переменной цены и числа проданных СБИС.

К примеру, допустим, что имеем следующую раскладку цен:

- фиксированная часть цены проектирования на FPGA \$21,800, переменная часть цены одной СБИС \$39;
- фиксированная часть цены проектирования на MGA \$86,000, переменная часть цены одной СБИС \$10;
- фиксированная часть цены проектирования на СІВС \$146,000, переменная часть цены одной СБИС \$18.

Если исходить из того, что на строительство одного энергоблока необходимо более 80 млрд долларов, при этом стоит отметить, что на управление производством отводится 10-12 % от общей стоимости станции, то это говорит о том, что 80 млн долларов можно использовать на проектирование, разработку и выпуск СБИС [7].

Следовательно, исходя из цели данной статьи, следует отметить, что наиболее целесообразно создавать мини-фабрики. Стоимость таких минифабов составляет не более 5млн долларов, а их достоинство состоит в том, что они могут трансформироваться в любое место независимо от первоначального производства. Это доказывает их мобильность, с одной стороны,

а с другой – после прибытия на постоянное место возможно уже через несколько дней начать производство продукции на новом месте.

Как указывалось ранее, заказы на производство и установку техпроцессов, а их на сегодняшний день более 30, дают возможность начать полное свое производство СБИС, необходимых для атомных реакторов, значительно сократив при этом издержки на производство интегральных микросхем с топологической нормой 28 нм.

Литература

1. Волкова, М.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов / М.С. Волкова. – Пермь: Изд-во Пермского нац. иссл. политех. ун-та, 2012. – 340 с.
2. Калабеков, Б.А. Автоматизация проектирования систем управления / Б.А. Калабеков. – М.: Финансы и статистика, 2017. – 630 с.
3. Автоматизированная система управления технологическими процессами АЭС: монография / В. В. Зверков. – М.: Нац. иссл. ядерный ун-т "МИФИ", 2013. – 558 с.
4. Грушвицкий, Р. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р. Грушвицкий, А. Мурсаев, Е. Угрюмов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
5. да Роза, А. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: учебное пособие / под ред. С.П. Малышенко, О.С. Попеля. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.
6. Стефании, Е. П. Основы расчёта и настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефании – М.: Энергия, 1972. – 344 с.
7. Щелкунов, Г.П. Передвижные таможенные комплексы. Новые средства рентгеноскопии / Г.П. Щелкунов, М. Симановский. – Электроника: наука, технологии, бизнес. – 1999. – № 6. – С. 32-35.

8. Астахов, М.И. Формирование национальной экосистемы на основе цифровых технологий и «умных вещей» / М.И. Астахов. – Вестник Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. – 2017. – № 4. – 30 с.
9. Головкин, М.В. Культура экономической безопасности и её стратегическое значение для атомной энергетики / М.В. Головкин. – Глобальная ядерная безопасность. – 2015. – № 2. – С. 100-105.
10. Цифровые платформы управления жизненным циклом комплексных систем / В.А. Гусева, А.И. Киреев, В.С. Кузнецов, И.А. Бочкарёв, П.В. Тупчиенко, В.А. Аликова, О.П. Путилов, А.В. Харитонов, В.В. Крянев, А.В. Юшков, Е.С. Силенко, А.Н. Смирнов, Д.С. Ростовский // под общ. ред. д.э.н., проф. Тупчиенко Н.С. – М.: Научный консультант, 2018. – 440 с.

References

1. Volkova M.S. Production Process Automation – Perm: Publishing house of the Perm National Research Polytechnic University, 2012. – p.340.
2. Kalabekov B.A. Control System Design Automation. – Moscow: Finansy I statistika Publ., 2017. – p.630.
3. Zverkov V.V. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya tekhnologicheskimi protsessami AES [Automated Process Control System for the Nuclear Plant]. – Moscow: National Research Nuclear University MPEI, 2013. – p.558.
4. Grushvitskiy R., Mursaev A., Ugrumov E. Programmable Logic Microchip System Design. – St. Petersburg: BKhV-Peterburg Publ, 2002. – p.608.
5. Da Rosa A. Fundamentals of Renewable Energy Processes. Translated to Russian, edited by S.P. Malysenko, O.S. Popel. – M.: Publishing House of MPEI, 2010. – p.704.
6. Stefaniy E.P. Fundamentals of Adjustment and Simulation of Heat and Power Processes Regulators. – Moscow: Energiya Publ., 1972. – p.344.
7. Shchelkunov G.P. Mobile Customs Complexes. New Tools for the X-ray Analysis // Elektronika NTB. – 1999. – no.6. – pp.32-35.

8. Astakhov M.I. Creation of the National Ecosystem Based on Digital Technology and Smart Things // Bulletin of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – 2017. – no.4. – p.30.
9. Golovko M.V. Culture of Economic Security and its Strategic Importance for the Nuclear Power Industry // Global Nuclear Safety. – 2015. –no.2. – pp.100 - 105.
10. Guseva A.I., Kireev V.S., Kuznetsov I.A., Bochkarev P.V., Tupchienko V.A., Alikova O.P., Putilov A.V., Kharitonov V.V., Kryanev A.V., Yushkov E.S., Silenko A.N., Smirnov D.S., Rostovskiy N.S. Digital Platforms for Lifecycle Management of Integrated Systems // Edited by Sc.D. Prof. Tupchienko V.A. –Moscow: Nauchniy Konsultant Publ., 2018. – p.440.