

Надырова Фатима Камаловна

Преподаватель Кокшетауского университета

имени Абая Мырзахметова кафедры

«Информационные системы и информатика»

УДК 004.386

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ И МЕТОДОВ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИС

Аннотация: С развитием технологий в областях проектирования и производства ИС, происходит постоянное усложнение как самих проектируемых устройств и их отдельных компонентов, так и программных средств, позволяющих проводить их моделирование. В частности, повышение точности производства отдельных компонентов ИС привело к необходимости более полного и более точного описания физических характеристик схемотехнических моделей элементов и протекающих в них процессов. В задачах моделирования ИС подобные требования привели к усложнению описания программных моделей элементов, что, в свою очередь, послужило причиной увеличения времени машинного расчёта характеристик ИС. Для программ-симуляторов, выполняющих моделирование ИС на этапе схемотехнического проектирования, наиболее ресурсоёмкими задачами являются задачи формирования математической модели схемы в виде СЛАУ, а также её решение.

Abstract: With the development of technology in the design and manufacture of ICs, there is the increasing complexity of both the designed devices and their individual components, and software tools that enable them to carry out simulations. In particular, increased accuracy of individual components of IC production has led to the need for more complete and more accurate description of the physical characteristics of circuit elements and patterns occurring in them. The problems of modeling of IC such requirements have led to the complication of the description of software models of elements that, in turn, caused the increase of the calculation time machine performance ICs. For software simulations, the simulation IC circuit design at the stage of the most resource-intensive tasks are the tasks of forming a mathematical model in the form SLAE schemes, as well as its decision.

Статья посвящена разработке алгоритмов компиляционного формирования и решения математических моделей интегральных схем (ИС), а также созданию программного обеспечения (ПО), реализующего данные алгоритмы в задачах моделирования на этапе схемотехнического проектирования. Предметом исследования в данной статье являются существующие математические и алгоритмические методы формирования и решения математических моделей ИС. Проведённый анализ позволил выявить преимущества и недостатки существующих методов, и сформулировать требования к алгоритму компиляционного формирования математических моделей. По результатам анализа были предложены новый алгоритм формирования математической модели ИС, позволяющий ускорить процесс формирования математической модели в виде системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), а также алгоритм получения аналитических выражений для вычисления корня СЛАУ, записанных в явном виде, позволившие ускорить процесс решения математической модели. Актуальность. Оптимизации именно этих этапов моделирования схем посвящено основное количество разработываемых методов и алгоритмов. Основное внимание в задачах ускорения процесса моделирования ИС уделяется модификации математических методов, применяемых для формирования математической модели в виде СЛАУ и её решения. Однако такие подходы позволяют уменьшить общее время расчёта лишь при условии ухудшения некоторых других характеристик работы, например, при значительном увеличении расходуемой памяти компьютера или при уменьшении точности вычислений. Кроме того, существует ряд алгоритмов, применимых только при моделировании определённого класса схем. В настоящее время в технологии производства ИС происходит переход на субмикронный уровень, что

приводит к требованию значительной модификации и усложнению существующих моделей полупроводниковых элементов для того, чтобы наиболее полно описывать все протекающие процессы в схмотехнических компонентах такого размера. В связи с этим становится очевидной актуальность разработки новых алгоритмов и методов формирования математических моделей схем и новых подходов к их решению, не требующих дополнительных аппаратных затрат и позволяющих проводить моделирование ИС с высокой точностью.

Задача своевременного выпуска работоспособных ИС, пригодных к использованию, сложна и требует выполнения большого числа этапов [1,2]. К этим этапам относятся не только те, которые выполняются на фабрике непосредственно при изготовлении кремниевой пластины, но также предшествующие фабричному производству. Среди всех этапов проектирования ИС одним из основных как с точки зрения количества затрачиваемого времени, так и с точки зрения количества выполняемых проектировщиком действий является схмотехнический этап проектирования [1, 2, 3, 4].

На этом этапе выполняются следующие проектные процедуры:

- структурный синтез принципиальной электрической схемы;
- формирование математической модели схемы;
- решение сформированной математической модели схемы, включающий расчет статических состояний и переходных процессов;
- параметрическая оптимизация;
- статистический анализ.

Под структурным синтезом понимается получение конфигурации принципиальной электрической схемы, оптимальным образом удовлетворяющей требованиям технического задания по заданным критериям. Задача анализа заключается в формировании математической

модели анализируемой ИС в виде системы нелинейных интегро-дифференциальных уравнений и её решении. При этом в большинстве случаев проектировщик выполняет анализ статических и динамических характеристик. В ходе анализа производится моделирование физических процессов, происходящих в схеме. Например, определяются токи компонентов схемы, потенциалы в узлах и напряжения на выходах схемы, а также моделируется степень изменения этих характеристик в зависимости от изменения внешних условий. В данной главе проводится анализ существующих математических и алгоритмических подходов, применяющихся для моделирования схем на этапе схмотехнического проектирования. Выявляются недостатки существующих алгоритмов, формулируются задачи, решение которых позволит устранить эти недостатки.

Постановка задачи моделирования ИС.

Согласно [5] комплексы программ, выполняющие моделирование на этапе схмотехнического проектирования, условно можно разделить на три поколения. Основными критериями, по которым это можно сделать, являются применяемые математические методы и алгоритмы для хранения и обработки данных. К первому поколению относятся программы, характеризующиеся ограничениями на шаг интегрирования из-за использования явных методов численного решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в моделируемых схемах. Ко второму поколению принадлежат программы, не имеющие ограничений на шаг интегрирования, так как в них используются неявные методы интегрирования. В большинстве программ второго поколения учитывается разреженность матриц уравнений схемы, имеется значительно большая свобода (по сравнению с программами первого поколения) в использовании

различных математических моделей активных элементов. В этом поколении программ-симуляторов активные элементы представляются не схемами замещения, состоящими из соединения двухполюсных элементов, а многополюсными элементами. Характерной чертой программ, представляющих первые два поколения симуляторов, является то, что они позволяют оперировать только типами и моделями элементов, заложенными на этапе написания программы. К представителям третьего поколения симуляторов можно отнести программы, вобравшие в себя все достоинства программ второго поколения, но отличающиеся более широкими функциональными возможностями. Отличительной чертой программ схемотехнического анализа, относящихся к описанным выше поколениям, является то, что они включают в свой состав определённый фиксированный набор схемотехнических элементов, который может быть динамически дополнен в процессе расчёта схем. То есть, любая рассчитываемая схема обязана быть составлена только из элементов, входящих в состав заранее предопределённых симулятором элементов. Представители четвёртого поколения программ моделирования предоставляют возможность описания работы в составе проектируемой схемы устройств, не заложенных на этапе написания программного кода симулятора. В настоящее время эта задача решается описанием новых моделей элементов на языках Verilog-A и VHDL-A и включением кода этих моделей в код текстового описания схем [6, 7, 8, 9]. Следует также отметить, что некоторые программы моделирования аналоговых схем поддерживают также работу с чисто цифровыми устройствами, описанными на языках описания цифровых схем, такими, как языки Verilog и VHDL. При этом режим моделирования называется смешанным, поскольку моделируются одновременно и аналоговые, и цифровые блоки устройства. Вне зависимости от

типа применяемой для расчёта характеристик ИС программы, для получения результата проектировщику необходимо выполнить определённую последовательность действий. Она включает в себя формирование описания схемы на одном из входных языков, запуск программы и передачу ей сформированного описания схемы и задания на моделирование, а также верификацию полученных в результате расчётов данных. Ниже каждый из этих этапов будет рассмотрен более подробно. Этап формирования входных данных. Эксплуатационные характеристики того или иного программного обеспечения для моделирования ИС в значительной степени определяются поддерживаемым входным языком, поэтому вопрос выбора симулятора зачастую определяется задачами, которые можно описать и решить на его входном языке. Под входным языком понимается обычно совокупность лексических конструкций, поддерживающая определённые синтаксические и семантические правила, позволяющая сформировать информацию о моделируемой схеме и требуемых способах обработки этих данных. Условно, конструкции практически любых входных языков можно разделить на следующие три группы:

1. описание схемы - информация о фактическом составе элементов схемы, их типах и индивидуальных параметрах, а также о взаимном расположении элементов в схеме;

2. инструкции о процессе моделирования - какие математические методы должны быть использованы в процессе моделирования и каковы их параметры (например, требуемая точность метода линеаризации, значение или ограничение шага метода интегрирования и многие другие), какие начальные значения физических характеристик в схеме требуется установить перед началом процесса расчёта;

3. информация о сохраняемых данных - какие физические характеристики для каких узлов или

элементов необходимо сохранять, какие выходные форматы использовать для сохранения результатов. При описании схемы необходимыми являются данные об имени элемента, его характеристиках и его положении в схеме, задаваемом обычно перечнем имён узлов, между которыми он включен. В составе первых входных языков отсутствовала информация о технологическом процессе, поскольку в большинстве своём они предназначались не для расчёта схем в интегральном исполнении, а для расчёта схем с использованием дискретных элементов. Пример описания схемы на языке КАПР-Э приведён в листинге 1.

```
RI(1,2)-12КОМ,5%;
C1(2,5)=0.1МКФ,10%;
T1(4,1,3)=КТ12;
E1(0,2)=10В,5%;
```

Листинг 1. Описание входных данных на языке КАПР-Э.

Характерной особенностью описания на входном языке КАПР-Э является то, что при указании характеристик пассивных элементов используются не только номинальное значение, но и возможное отклонение от номинального значения в процентах, указание которого не является обязательным. Следует отметить, что описание транзистора не подразумевает указания никаких параметров, кроме серийного типа транзистора. На сегодняшний день наибольшей популярностью среди разработчиков пользуются два входных языка описания схем [10, 11]: входной язык симулятора SPICE, разработанного в университете Беркли, США, и входной язык симулятора SPECTRE, разработанного фирмой Cadence, США.

Виды анализов ИС. Вне зависимости от выбранной программы-симулятора и входного языка, в качестве входных данных программе-симулятору передаётся файл, содержащий описание схемы в текстовом виде. Даже в случае, когда проектировщиком используются графические

средства ввода схем, позволяющие создавать схемы в интерактивном удобном режиме, перед вызовом симулятора это графическое представление транслируется в текстовое описание. Непосредственно процессом моделирования можно управлять с помощью задания специальных языковых конструкций директив моделирования, указываемых в составе входного файла. Из всего набора возможных режимов моделирования в большинстве случаев при анализе работы ИС используются лишь несколько. К ним относятся:

1. анализ статического режима работы схемы;
2. анализ переходных процессов;
3. анализ чувствительности;
4. анализ частотных характеристик.

При выполнении статического анализа происходит расчёт внутреннего состояния схемы при фиксированных значениях источников питания. В результате расчёта проектировщик получает информацию о том, какие значения потенциалов в узлах схемы и какие значения токов в её ветвях формируются при отсутствии изменения входных воздействий. Анализ переходных процессов позволяет выявить динамику изменения внутренних параметров схемы при изменении значений некоторых источников напряжения или тока, обычно имитирующих изменение сигнала на входах схемы. В результате выполнения анализа переходных процессов можно определить, каким образом происходит перераспределение потенциалов или зарядов (в зависимости от выбранных типов расчётных моделей), а также провести анализ изменения токов и выделяющихся мощностей при изменении заданных сигналов. Анализ чувствительности выполняется, когда необходимо проанализировать характеристики работы элементов при разных частотах изменения входного сигнала. При выполнении частотного анализа исследуемая схема анализируется с целью получения передаточной характеристики для одной или нескольких частот

из заданного частотного диапазона. Характеристики схемы, полученные для каждой частоты, в общем случае являются комплексными функциями и могут быть представлены в виде амплитудно-фазовых характеристик.

Литература

1. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов. – М.: Наука, 1975. – 468 с.
2. Баладин М. Ю. Методы решения СЛАУ большой размерности. / М.Ю. Баладин., Э.П. Шурин. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 70 с.
3. Воеводин В.В. Матрицы и вычисления / В.В. Воеводин, Ю.А. Кузнецов. – М.: Наука, 1984. – 450 с.
4. Годунов С.К. Решение систем линейных уравнений / С.К. Годунов. – Новосибирск: Наука, 1980. – 250 с.
5. Джордж А. Численное решение больших разреженных систем уравнений / Джордж А., Дж. Лиу. – М.: Мир, 1984. – 390 с.
6. Жигульская В. Ю. Численные методы / В. Ю. Жигульская. – Луганск: Альма-матер, 2005 – 137 с.
7. Мак-Кракен Д. Численные методы и программирование на фортране / Мак-Кракен Д., У. Дорн. – М.: Мир, 1977 – 579 с.
8. Алберг Дж., Нильсон В., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. М.: Мир, 1972
9. Алгазин С.Д. Численные алгоритмы без насыщения в классических задачах математической физики. М.: Научный Мир, 2002

Сауле Нуркасымовна Нуркасымова¹,
Арай Бошанкызы Жаңыс²

1) Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, доктор педагогических наук, профессор. г. Астана РК

2) Кокшетауский университет имени Абая Мырзахметова, доктор философии PhD, профессор. г. Кокшетау РК

УДК 004.387.530.1

ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМУ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ ФИЗИКА

Abstract: Information technology is a versatile learning tool, its use allows you to create in students not only knowledge and skills but also to develop the personality of students to meet her educational interests. With the help of information technology, applied physics in the discipline, the level of knowledge of students achieves good results.[1]

The proposed technique compared to the traditional, allows students to develop algorithmic and logical thinking, imagination, desire to assert themselves, to get the final result.

The use of information technology in education provides a strong tendency to increase the level of mastery of the material, motivation to learn, the attractiveness of the object itself.

Keywords: Physics, drafting techniques, problem solving, research, information technology, decision issues.

Информатизация современного общества влечет за собой следующие социальные последствия:

- увеличение числа занятых, в информационной сфере (производители, обработчики, распространители информации);
- интеллектуализация многих видов труда и повышение требований к общеобразовательной подготовке специалистов, профессиональной