

SimOne – отечественный симулятор электронных схем

Александр Прикота (Санкт-Петербург), Сергей Сорокин (Москва)

В статье описаны возможности современного пакета моделирования электронных схем SimOne. Отмечены особенности алгоритмов моделирования, показана эффективность алгоритмов на примере моделирования схем большой размерности.

В настоящее время моделирование электронных схем стало неотъемлемой частью процесса разработки радиоэлектронной аппаратуры. Программы-симуляторы входят в состав всех современных систем схемотехнического проектирования и являются незаменимыми помощниками инженеров-электронщиков.

Основные системы моделирования электронных схем и их возможности

Сейчас в мире существует несколько десятков компаний, занимающихся разработкой систем моделирования электронных схем (см. табл. 1). Лидерами на рынке являются американские компании – Synopsys, Cadence, Mentor Graphics.

Их программные решения позволяют производить моделирование аналоговых, цифровых и аналого-цифровых схем.

Все эти программы, исключение составляют симуляторы схем ВЧ/СВЧ,

берут своё начало от первого и наиболее известного симулятора электронных схем SPICE. SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) был разработан в исследовательской лаборатории Калифорнийского университета (Беркли, США) в начале 70-х годов. Этот симулятор, обладая высокой точностью и достоверностью моделирования, позволял проводить расчёт широкого класса аналоговых, цифровых и цифроаналоговых электрических схем. Заложенные в нём функциональные возможности стали стандартом де-факто в моделировании электронных схем. Это относится, в частности, к таким аспектам, как:

- модели электронных компонентов (транзисторы, диоды, конденсаторы, резисторы, функциональные источники и т.п.);
- типы анализа схем:
 - расчёт по постоянному току;
 - малосигнальный анализ;
 - расчёт переходных процессов;
 - расчёт нелинейных искажений;

- численные алгоритмы:
 - методы численного интегрирования систем дифференциальных уравнений: трапеций, Гира и Эйлера;
 - метод Ньютона-Рафсона для решения систем нелинейных алгебраических уравнений;
 - LU-разложение матрицы при решении системы линейных алгебраических уравнений;
 - алгоритмы управления точностью вычислений (REL TOL, ABSTOL, VNTOL, PIVREL, PIVTOL и прочие).

Все современные симуляторы электронных схем поддерживают стандарты классического SPICE, дополняя и развивая их для соответствия нуждам современной радиоэлектронной промышленности.

Возможности отечественного пакета моделирования электронных схем

Компанией «ЭРЕМЕКС» с 2008 года разрабатывается и совершенствуется собственная программа моделирования электронных схем – SimOne.

SimOne – это современный высокоэффективный SPICE-совместимый пакет схемотехнического моделирования. Он поддерживает SPICE-модели электронных компонентов, предоставляет основные типы анализа схем, применяемых в SPICE, а также использует как классические алгоритмы SPICE-моделирования, так и оригинальные численные методы.

Пакет SimOne включает в себя (см. рис.):

- библиотеку моделей схемных компонентов;
- иерархический схемотехнический редактор;
- текстовый редактор-транслятор схем, представленных в виде SPICE-описания;
- графический модуль визуализации результатов моделирования;
- постпроцессор.

Библиотека моделей компонентов содержит в себе как встроенные SPICE-модели компонентов (SPICE-примитивы), так и обширную (более

Таблица 1. Наиболее известные системы моделирования различных типов электронных схем

Фирма	Продукты
<i>Моделирование интегральных схем</i>	
Synopsys (США)	HSPICE, CustomSim, FineSim
Cadence Design Systems, Inc (США)	Virtuoso Spectre
Mentor Graphics (США)	ELDO, AFS-Platform
Silvaco (США)	SmartSPICE
<i>Моделирование электронных схем общего назначения</i>	
Synopsys (США)	HSPICE
Cadence Design Systems, Inc (США)	PSPICE AD
Mentor Graphics (США)	HyperLynx Analog
National Instruments (США)	MultiSim
Spectrum Software (США)	MicroCap
Linear Technology (США)	LTSPICE (бесплатно)
Texas Instruments (США)	Tina-Ti (бесплатно)
<i>Моделирование схем ВЧ/СВЧ</i>	
Keysight EEsof (США)	ADS
National Instruments (США)	Microwave Office
CST (Германия)	CST MICROWAVE STUDIO

30 000 шт.) базу готовых моделей реальных схемных компонентов. Реализована возможность удобной работы с тестовыми SPICE-библиотеками (*.lib-файлы) и графическими макро-моделями.

SPICE-примитивы, поддерживаемые SimOne, это модели: резистора, конденсатора, индуктивности и взаимной индукции, трансформатора, линии передачи, независимых и управляемых источников тока и напряжения, управляемых переключателей, диода, биполярных транзисторов, полевых транзисторов, арсенид-галлиевых полевых и МОП-транзисторов.

Ведётся работа по включению современных компактных моделей транзисторов, таких как BSIM3- BSIM6, EKV, Mextram.

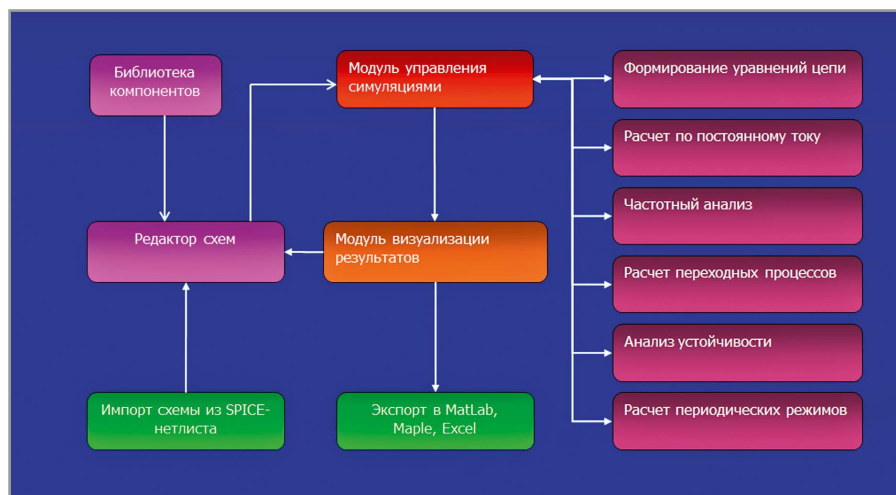
Схемный графический редактор SimOne представляет собой современное многодокументное Windows-приложение и позволяет:

- размещать элементы принципиальной электрической схемы;
- редактировать параметры моделей элементов;
- изменять положение элементов на схеме (сдвиг, поворот) с сохранением целостности цепей;
- прокладывать и именовать цепи;
- создавать и использовать в собственных библиотеках графические и тестовые подсхемы;
- управлять параметрами моделирования;
- отображать на схеме результаты моделирования;
- импортировать и экспортировать схемы, заданные в SPICE-формате;
- управлять библиотекой компонентов – добавление/удаление компонентов, изменение параметров моделей.

Текстовый редактор SPICE-формата позволяет открывать, создавать, редактировать, сохранять и проводить моделирование схем, заданных в виде текстового SPICE-описания.

Графический модуль визуализации результатов моделирования и постпроцессорной обработки позволяет пользователю:

- строить графики интересующих переменных и функций от них;
- использовать функции курсоров для оценки параметров кривых;
- производить измерения и их пересчёт при последующих запусках моделирования характеристик построенных кривых;



Структура пакета SimOne

Таблица 2. Анализ схемы по постоянному току

Вид анализа	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5 PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	National Instruments MultiSim 13	Altium Designer 15	SimOne 2.3
Рабочая точка	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Статические характеристики	Ограниченно	Есть	Есть	Ограниченно	Ограниченно	Есть
Функции передачи	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	I квартал 2016 года
Чувствительность	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть

Таблица 3. Малосигнальный анализ схемы

Вид анализа	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5 PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	National Instruments MultiSim 13	Altium Designer 15	SimOne 2.3
Анализ гармонического режима	Нет	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть
Частотные характеристики	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Анализ шумов	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	I квартал 2016 года
Расчёт нулей и полюсов передаточных функций	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет	I квартал 2016 года

Таблица 4. Временной анализ схемы

Вид анализа	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5 PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	National Instruments MultiSim 13	Altium Designer 15	SimOne 2.3
Расчёт переходных процессов	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Анализ Фурье	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Анализ нелинейных искажений	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	I квартал 2016 года

- получать спектральные характеристики кривых на основе быстрого преобразования Фурье.

В SimOne реализована возможность экспорта в Matlab, Maple и Excel уравнений цепи в численном и символьном видах, а также результатов моделирования.

Функциональные возможности SimOne и их сравнение с наиболее

популярными в нашей стране программами моделирования приведены в таблицах 2–6.

Высокая скорость и точность моделирования электронных схем

SimOne, как современная программа моделирования, обладает существенными преимуществами в сравнении

с классическими SPICE-программами. Они заключаются в следующих аспектах.

Высокая скорость моделирования обусловлена оригинальными алгоритмами декомпозиции матриц:

- модификация стандартного алгоритма SPICE Sparse1.3;
- модификация современных блочных алгоритмов BBDF и KLU;
- ускоренная работа с декомпозируемыми матрицами;
- использование технологий параллельных вычислений при декомпозиции матрицы.

Повышенная точность вычислений. В отличие от классических SPICE-симуляторов SimOne контролирует выполнение законов Кирхгофа для

каждой точки вычислений, что позволяет получать точные решения, избегая ложной сходимости методов. При этом выполняется улучшенный контроль локальной погрешности интегрирования.

Высокая производительность достигается 64-битной версией программы. Эффективное использование памяти позволяет моделировать схемы больших размерностей. Различные виды анализа схемы могут проводиться одновременно за счёт использования технологии многопоточности.

Быстрый и производительный парсер SPICE-формата. Поддерживаются следующие SPICE-форматы: SPICE2G, SPICE3, PSPICE, LTSPICE, NGSPICE и HSPICE.

Таблица 5. Многовариантный анализ схемы

Вид анализа	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5 PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	National Instruments MultiSim 13	Altium Designer 15	SimOne 2.3
Температурный анализ	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Параметрический анализ	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Статический анализ	Ограниченно	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Анализ наихудшего случая	Нет	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть

Таблица 6. Дополнительные виды анализа схемы

Вид анализа	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5 PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	National Instruments MultiSim 13	Altium Designer 15	SimOne 2.3
Оптимизация	Нет	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть
Графики измерений	Нет	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть
Периодические режимы	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть
Устойчивость	Нет	Нет	Ограниченно	Нет	Нет	Есть

Таблица 7. Результаты решения СЛАУ

Матрица	Размерность	Заполнение, %	Время решения, с		Ускорение, раз
			П	Б	
bcsstk34	588	6,36	0,372	0,070	5,1
mcs01050	1050	2,74	3,965	0,113	35,2
bcsstm13	2003	0,59	0,551	0,202	2,72
c-18	2169	0,37	0,813	0,072	11,3
bcsstk24	3562	1,29	98,198	1,755	55,9
c-37	8204	0,12	29,038	3,571	8,13
sit100	10262	0,06	238,605	3,732	63,9
tuma2	12992	0,03	51,138	1,168	43,7
ncvxp9	16554	0,02	62,203	4,176	14,9
rail_20209	20209	0,04	129,676	4,455	29,1
Dtoc	24993	0,01	7,817	1,506	5,2
ncvxbqp1	50000	0,02	8494,010	385,000	22,0

Таблица 8. Время моделирования тестовых схем (в секундах)

Схема	Linear Technology LTSPICE IV	Cadence OrCad 16.5, PSPICE AD	Spectrum Software Micro-Cap 11	Altium Designer 15	SimOne 2.5	Synopsys HSPICE
lbmpg1	3671,93	75,47	91,60	43	6,1	8,27
lbmpg1t	4931,77	540,05	384,6	Отказ	104,2	52,76
lbmpg2	11090,27	Ошибка чтения	1488,6	2450,18	87,2	66,02

ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

SimOne позволяет осуществлять быстрое и точное моделирование электронных схем. Высокая скорость моделирования достигается за счёт применения оригинальных программных технологий, современных численных алгоритмов и технологии параллельных вычислений.

Основное время в процессе моделирования тратится на решение системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Для ускорения процесса моделирования больших схем программа SimOne использует блочные методы проведения матричных операций. Одним из наиболее эффективных методов является метод приведения исходной матрицы системы к блочно-окаймлённому виду (1) с последующим применением к матрице принципа дополнения Шура [2]. Использование матрицы в блочно-окаймлённом виде позволяет существенно снизить количество операций, необходимых для решения СЛАУ. Это достигается за счёт независимого решения малых систем с матрицами, являющимися диагональными блоками матрицы исходной системы.

$$\begin{bmatrix} A_1 & O & \dots & O & B_1 \\ O & A_2 & \dots & O & B_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ O & O & \dots & A_m & B_m \\ C_1 & C_2 & \dots & C_m & Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \\ b_q \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Процесс решения системы (1) с блочно-окаймлённой матрицей легко распараллеливается. Использование технологий параллельных вычислений также позволяет существенно увеличить скорость решения СЛАУ на компьютерах с многоядерной архитектурой процессора.

Алгоритм приведения исходной несимметричной разреженной матрицы к блочно-окаймлённому виду предложен в работе Antonio Sangiovanni-Vincentelli [5].

В таблице 7 приведены результаты сравнений решения нескольких СЛАУ из коллекции разреженных матриц [5] прямым методом LU-разложения (П) и с помощью приведения к блочно-окаймлённому виду (Б). Как видно из результатов, использование алгоритма позволяет на порядок ускорить процесс получения решения СЛАУ.

Следует отметить, что специфика задач моделирования такова, что для получения искомых решений необходимо многократно решать системы уравнений. При получении решения от шага к шагу матрицы сохраняют одинаковую структуру, отличаясь друг от друга только численными значениями и часто – весьма существенно. Этот факт учитывает оригинальная программная технология SimOne – кодовый матричный процессор.

Кодовый матричный процессор представляет собой эффективную программную реализацию основных матричных операций, необходимых для проведения типовых расчётов, учитывающий характерную структуру матриц, способ их включения в расчётные формулы, изменяемость элементов при пересчёте и прочее. Применение этой технологии позволило существенно ускорить моделирование схем в сравнении с обычными SPICE-программами.

В таблице 8 приведено время, затраченное разными программами на моделирование тестовых схем большой размерности. Данные схемы входят в набор тестовых схем компании IBM (IBM Power Grid Benchmarks) и использовались в докладе на международной конференции DAC в 2008 г. [6].

Тестирование проводилось на персональном компьютере IBM PC с процессором Intel Core i3 550 с частотой 3,20 ГГц, ОЗУ объёмом 16 Гбайт и 64-разрядной Windows 7.

Результаты, приведённые в таблице 8, демонстрируют преимущество SimOne в скорости моделирования по отношению к другим популярным программам моделирования. Исключение составляет симулятор HSPICE компании Synopsys.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПАКЕТА SimOne

SimOne является динамически развивающимся программным продуктом. Основные направления развития:

- схемы ВЧ/СВЧ;
- связанные линии передач с потерями;
- пассивные многополюсники в формате Touchstone;
- расчёт S-параметров схемы;
- метод гармонического баланса для расчёта периодических режимов;
- интегральные схемы: компактные модели транзисторов BSIM3-BSIM6, EKV, Mextram и модели, задаваемые описанием на языке Verilog-A;

- анализ целостности сигналов – предтопологический и постопологический анализы.

ЛИТЕРАТУРА

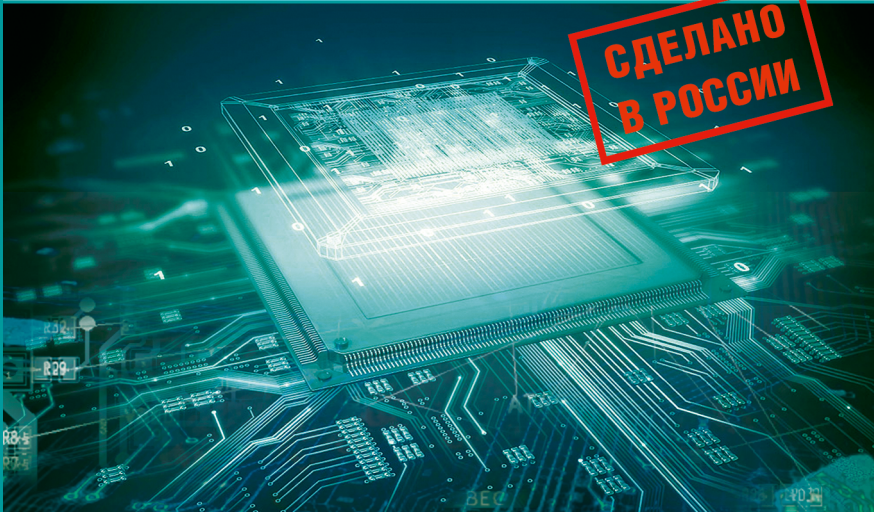
1. ЭРЕМЕКС. Инновационный подход к проектированию электроники. <http://eda.eremex.ru/downloads/>.
2. Najm F.M. Circuit Simulation. John Wiley & Sons. Inc. 2010.
3. Прикота А.В., Ерёмин А.С., Морозов А.В., Перов А.С. Аспекты схемотехнического моделирования с применением графических ускорителей. CAD/CAM/PDM-2012. М. 2012. С. 258–262.
4. Sangiovanni-Vincentelli A., Chen L.-K., Chua L.O. An Efficient Heuristic Cluster Algorithm for Tearing Large Scale Networks. IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1977. Vol. CAS24. No. 12. P. 709–717.
5. Tim Davis. The University of Florida Sparse Matrix Collection. <http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/matrices/index.html>.
6. Power Grid Analysis Benchmarks ASP-DAC 2008. <http://dropzone.tamu.edu/~pli/PGBench/>.





Иновационный подход к проектированию электроники

САПР электроники





DELTA DESIGN — система сквозного проектирования электронных устройств на базе печатных плат

- Менеджер библиотек LiBerty
- Схемотехнический редактор FlexyS
- Схемотехническое моделирование SimOne
- HDL-симулятор Simtera
- Ведение правил DRM
- Редактор печатных плат RightPCB
- Топологический трассировщик TopoR

WWW.DD.RU

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК ПРОДУКЦИИ EREMEX



Тел.: (495) 234-0636 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

