SimOne

Руководство пользователя

Общие сведения

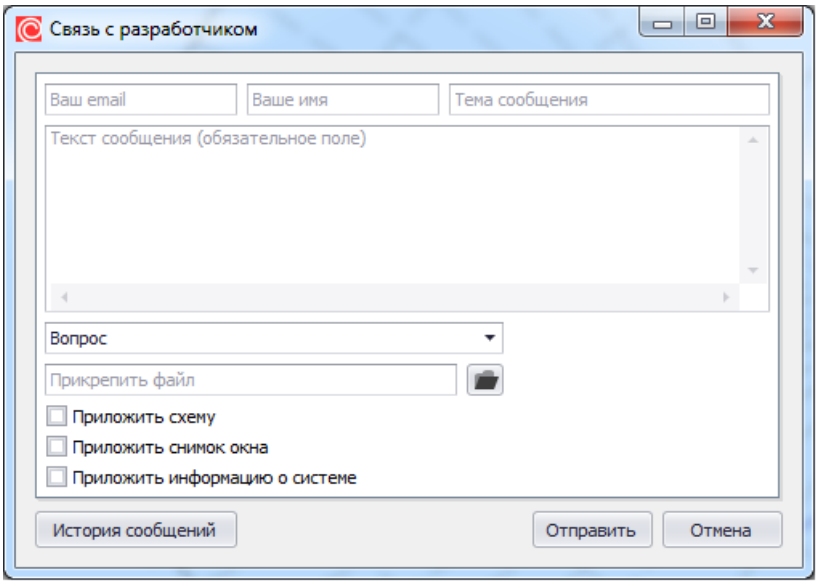
Авторские права, патенты

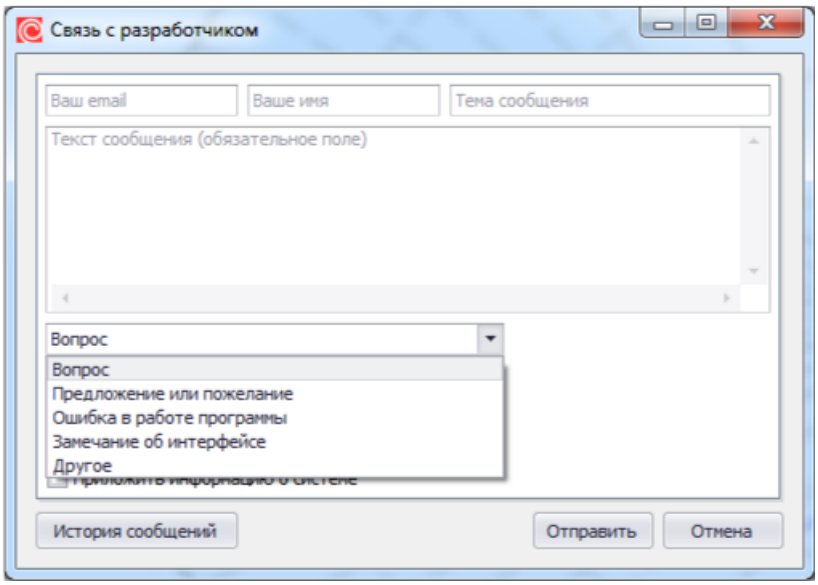
Настоящее руководство пользователя и программа **SimOne**, описанная в нём, защищены законом об авторских правах РФ.

Любое копирование, цитирование, передача, перевод на любой язык позволительны только со специального разрешения компании ЭРЕМЕКС.

Сведения о форме обратной связи

Отправить запрос, сообщение или пожелание разработчикам можно также используя форму обратной связи в самой программе: меню **Справка#Обратная связь. рис 1а,1б**





В окне отправки запроса разработчикам можно указать адрес электронной почты для обратной связи, имя пользователя, тему запроса и текстовое сообщение.

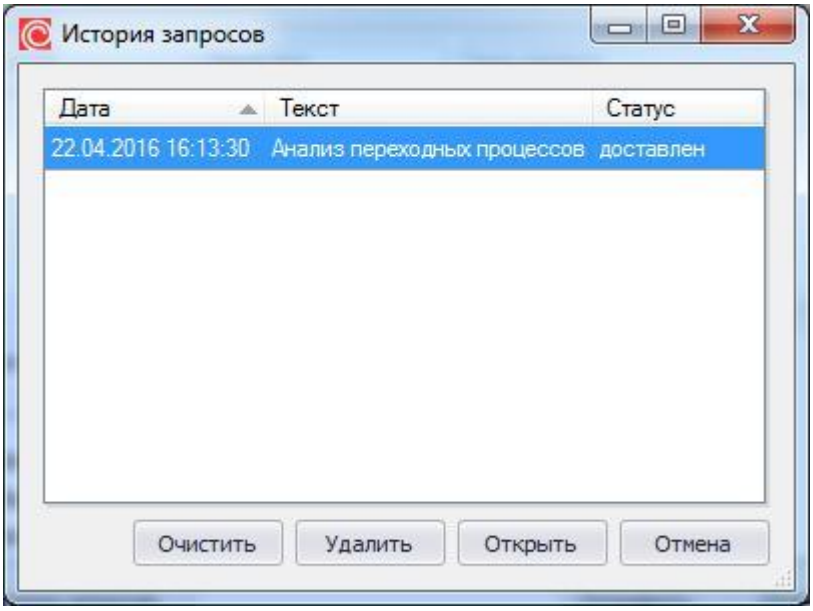
Также необходимо выбрать тип запроса:

- Вопрос.
- Предложение или пожелание.
- Ошибка в работе программы.
- Замечание об интерфейсе.

К отправляемому сообщению можно приложить следующие документы:

- Схему\нетлист.
- Снимок экрана.
- Информацию о системе.
- Файл.

Просмотр истории отправленных сообщений доступен по нажатию кнопки История запросов. рис 2.



В истории указывается время и дата отправки сообщения, его текст и статус. По нажатию кнопки Открыть его можно просмотреть, удалить из истории сообщение можно с помощью кнопки Удалить.

Используемые обозначения

В руководстве используются следующие сокращения и обозначения:

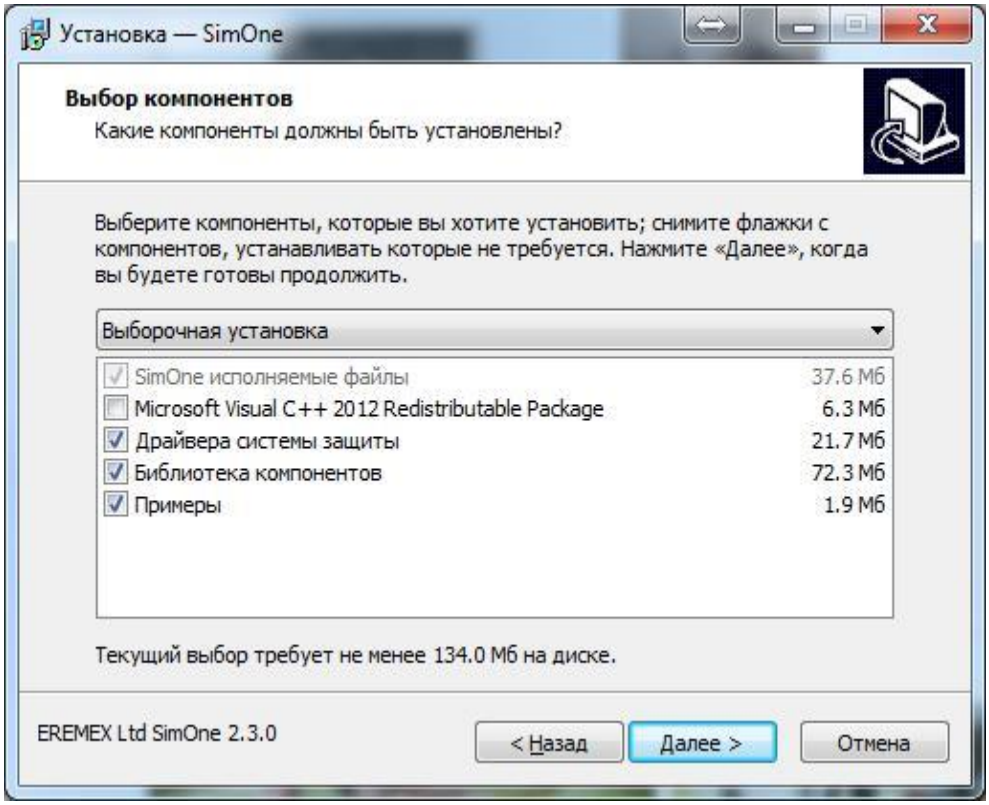
SPICE (*Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) – программа моделирования электронных схем общего назначения, разработанная в Университете Беркли США.
УГО – условное графическое отображение.
Нетлист – текстовый файл, содержащие список соединений схемы и задание на моделирование в форматах SPICE, PSPICE, HSPICE, LTSPICE, NGSPICE.
Примитивы – виртуальный электронный компонент графической схемы с параметрами моделей, заданными по умолчанию, которые предназначены для редактирования пользователем.
ЛКМ – левая кнопка мыши.
ПКМ – правая кнопка мыши.
Проводники – соединения, предназначенные для обозначения наличия гальванической связи между элементами схемы.
ИНУН – источник напряжения, управляемый напряжением.
ИНУТ – источник напряжения, управляемый током.
ИТУН – источник тока, управляемый напряжением.
ИТУТ – источник тока, управляемый током.

Установка SimOne

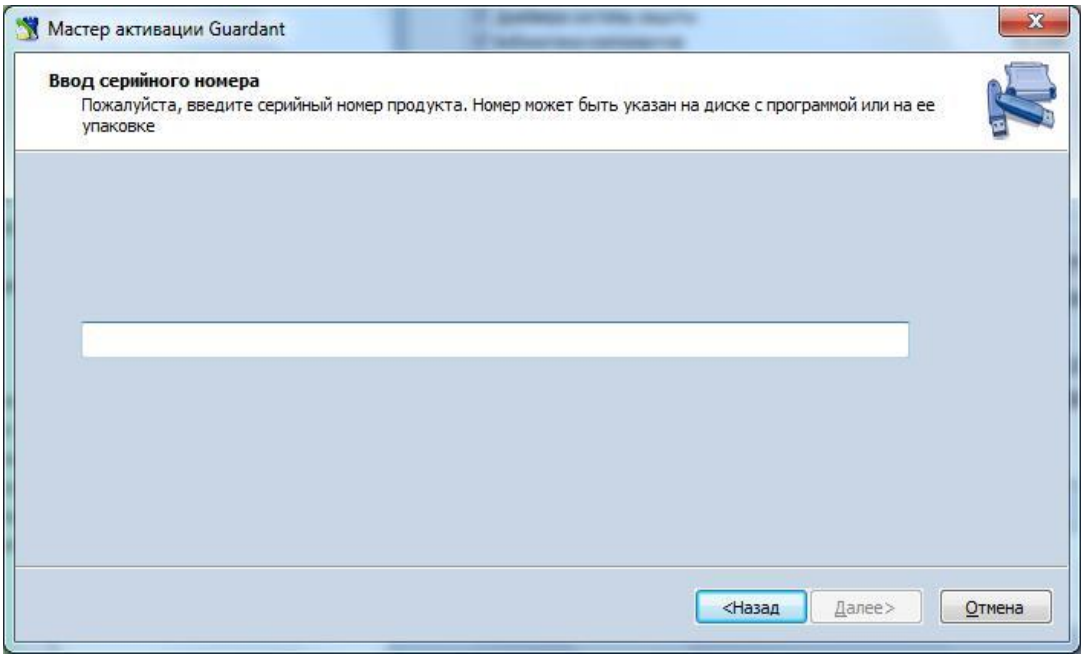
Установка программы **SimOne** производится с помощью установочного файла **SetupSimOne№сборки.exe**.

Процедура установки ничем не отличается от установки обычного приложения Windows. При установке предлагается выбор между русскоязычной либо англоязычной версиями программы. В окне установки пользователь может выбрать, устанавливать ли Библиотеку компонентов **SimOne** – базу данных, содержащую УГО и SPICE-модели существующих электронных компонентов, а также Примеры – схемы, уже созданные и промоделированные в **SimOne**.

Установка коммерческой версии программы – **SetupSimOnePro№сборки.exe** – дополнительно требует установки системы защиты и ввода серийного номера.



В случае, если лицензионный ключ не был активирован, запустите систему активации лицензии после завершения работы Мастера установки **SimOne**. В соответствующем поле введите серийный номер лицензии и нажать кнопку **Далее**.



После успешной проверки корректности введенного серийного номера установка программы заканчивается.

Подкаталоги (папки) и основные файлы папки, в которую устанавливается **SimOne**:

- Папка **bin**. Содержит исполняемый файл программы – simone.exe и файлы динамических библиотек программы.
- Папка **db**. Содержит базу данных электронных компонентов, используемых в программе.
- Папка **help**. Содержит файлы справки программы и руководство пользователя.
- Папка **license**. Содержит файлы, связанные с активацией лицензии.
- **Licence.rtf**. Лицензионный файл пользовательского соглашения.

Система обновлений версий

Система обновления версии **SimOne** работает при наличии доступа компьютера пользователя к сети интернет и позволяет удобно и быстро обновить используемую версию программы на последнюю, выпущенную разработчиками. При обновлении система производит резервное копирование текущей версии и впоследствии разработчик может вернуться к ней.
Вызов окна обновлений (рис.1)

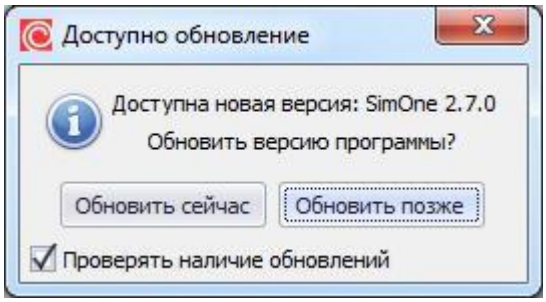


рис.1 Окно обновлений версий **SimOne**

осуществляется из окна справки **SimOne** (рис.2): меню **Справка#О программе...**

рис.2 Окно О программе

Восстановление предыдущей версии программы осуществляется нажатием на соответствующую кнопку окна справки **SimOne**.

Структура файлов проекта SimOne

Моделируемые схемы представлены в **SimOne** в виде совокупности следующих файлов:

- Файла-схемы **(*.ssch**) . Файл-схема содержит графическое представление моделируемой схемы и открывается для работы с помощью схемотехнического редактора **SimOne**.
- Текстового файла SPICE-формата **(*.net, *.cir, *.ckt, *.sp**). Файл этого типа включает в себя описание схемы в виде списка соединений и задание на моделирование в форматах SPICE, LTSPICE, HSPICE, NGSPICE. Для работы с этим типом файлов в **SimOne** используется текстовый редактор SPICE-формата.
- Файлы результатов моделирования схемы. Находятся в подкаталоге папки, в которой находится файл схемы, либо текстовый файл SPICE-формата: **\Имя схемы.simdata\<Имя симуляции>**. Файлы этого каталога содержат в себе все результаты проведённого моделирования симуляции с именем **<Имя симуляции>**.

Электрическая схема может разрабатываться в **SimOne** двумя разными способами:

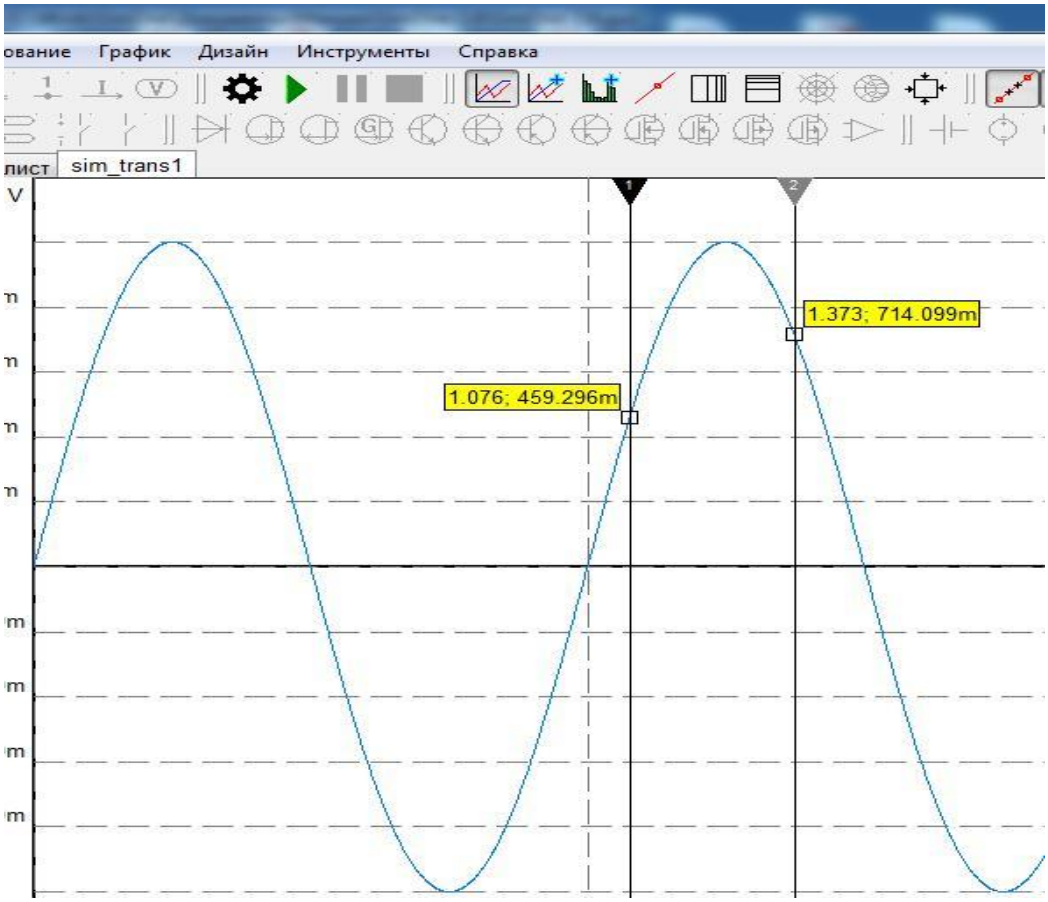
- с помощью схемотехнического редактора в графическом виде **(*.ssch** файл);
- с помощью текстового редактора в виде SPICE-файла **(*.net, *.cir, *.ckt, *.sp** файлы).

Файлы задания на моделирования и файлы с результатами моделирования находятся в своих подкаталогах и относятся только к файлу схемы как к своему главному файлу проекта **SimOne**.

Что нового в SimOne

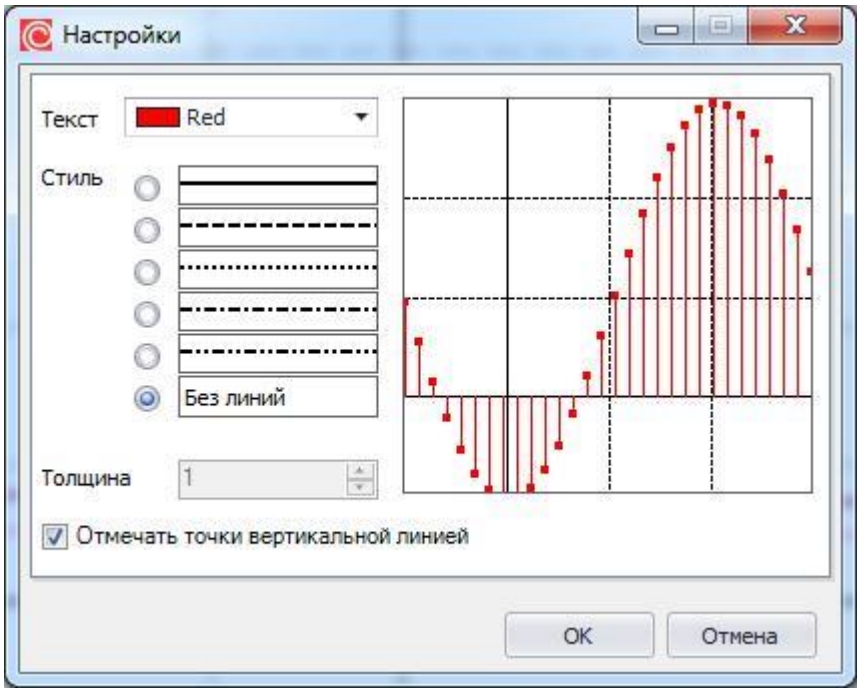
Окно отображения результатов моделирования

- Улучшен интерфейс работы курсоров



- Добавлена возможность отображения интеполированных данных графиков

- Улучшено построение сетки графиков
- Добавлена возможность отображения результатов моделирования с вертикальными линиями



Исправления

Исправлены ошибки работы с отображением результатов моделирования и др.

.

1 Пользовательский интерфейс

1.1 Ознакомление с пользовательским интерфейсом

SimOne является многодокументным приложением Windows, позволяющим создавать и редактировать схемы в графическом и текстовом представлении, отображать результаты моделирования в графическом, табличном и текстовом виде. Для работы с программой нужны общие знания и навыки работы с приложениями Windows.

На рис. 1.1.1 – 1.1.3 представлен общий вид главного окна программы при работе со схемой в графическом и текстовом представлении и отображении результатов моделирования.

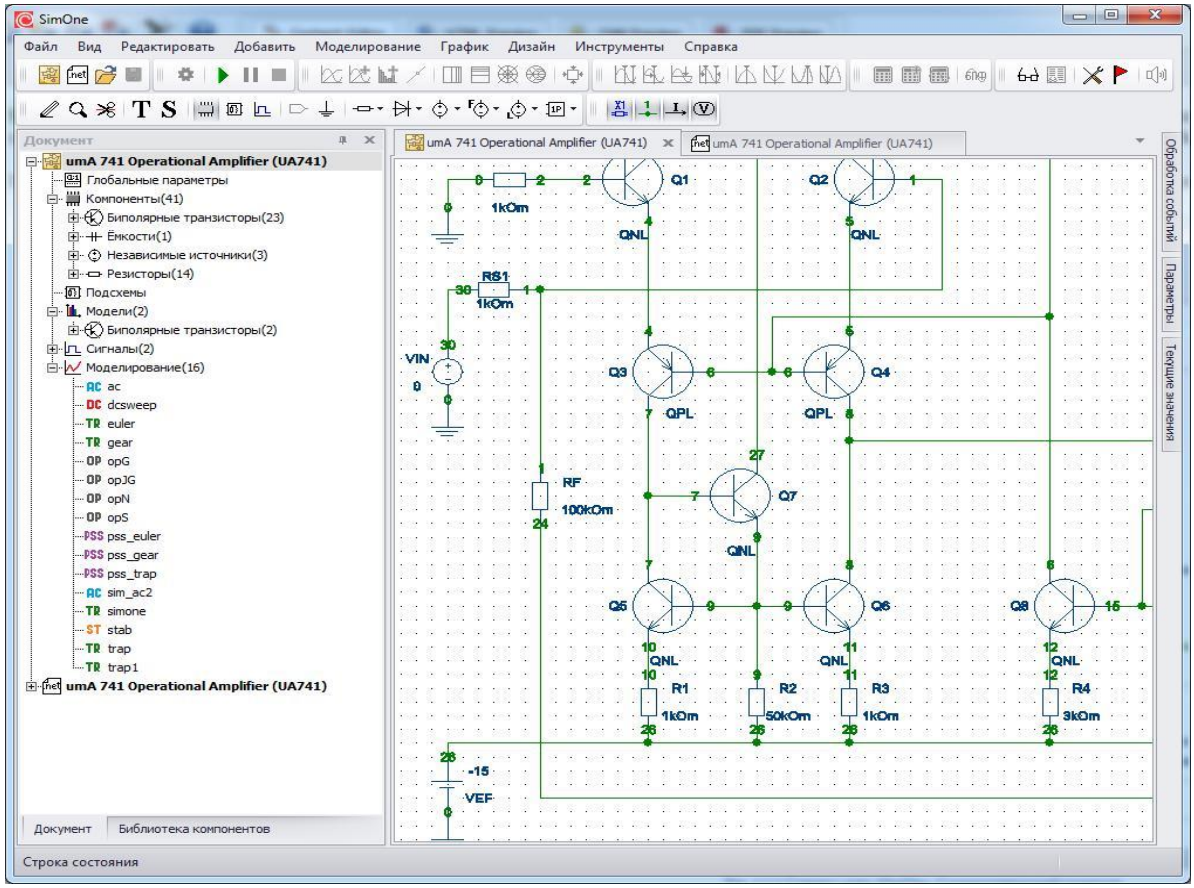


Рис. 1.1.1 Главное окно SimOne. Схемотехнический редактор.

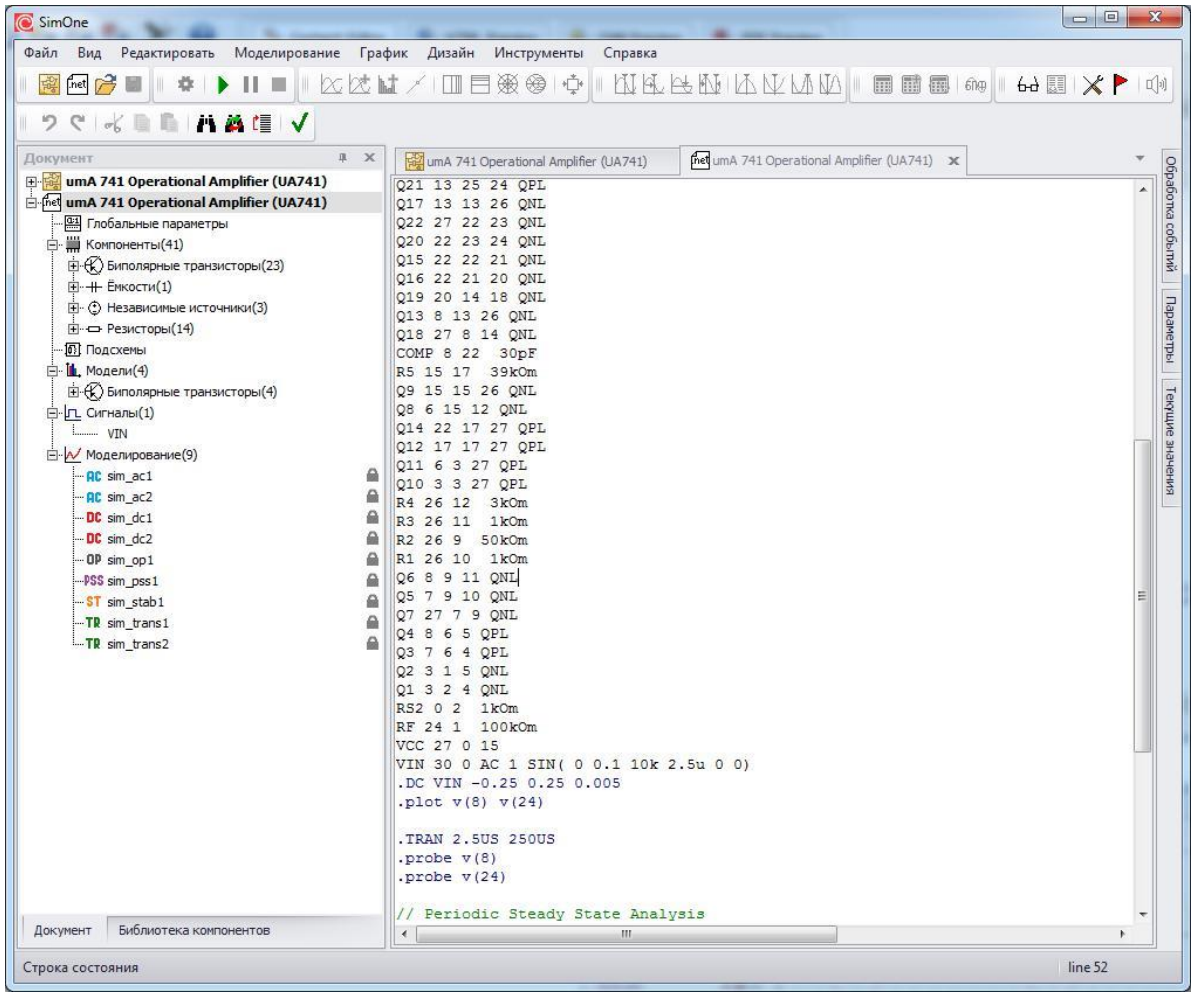


Рис. 1.1.2 Главное окно SimOne. Текстовый редактор SPICE-формата

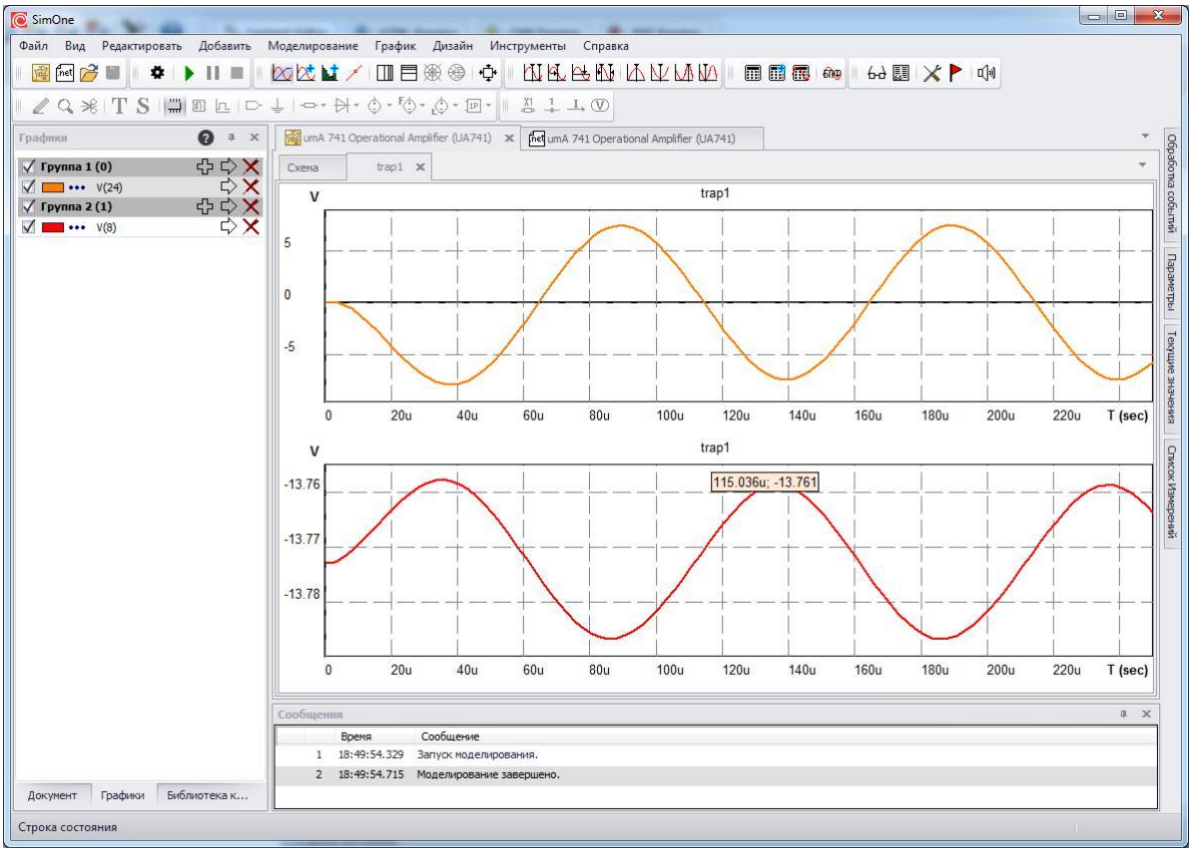


Рис. 1.1.3 Главное окно SimOne. Вывод результатов моделирования

Список элементов главного окна программы:

Заголовок окна расположен в первой строке окна. Содержит имя текущего открытого файла программы.

Системное меню расположено в левом верхнем и правом верхнем углу окна программы. Служит для стандартного управления окном приложения Windows: изменение или восстановление размера, сворачивание, закрытие окна.

Главное меню команд расположено на второй строке окна программы. Содержит пункты и опции, обеспечивающие доступ пользователя ко всем возможностям программы.

Строка панелей инструментов находится под строкой **главного меню** и содержит в себе кнопки быстрого доступа к различным опциям и командам программы. Графические изображения на кнопках быстрого запуска аналогичны тем пунктам **главного меню**, доступ к которым они обеспечивают.

Панель документов по умолчанию находится в левой части окна программы. Содержит информацию обо всех открытых проектах программы, файлах активного проекта и даёт возможности управления ими.

Панель сообщений по умолчанию находится внизу вкладки вывода результатов моделирования главного окна программы. В панель сообщений выводится информация о ходе процесса моделирования, сообщения об ошибках создания схемы, ошибках моделирования и соответствующие предупреждения.

Строка состояния находится внизу окна и содержит информацию о текущем состоянии активного документа.

Линейки прокрутки находятся справа окон и панелей (вертикальная линейка прокрутки) либо внизу окон и панелей (горизонтальная линейка прокрутки). Используются для панорамирования.

1.2 Главное меню команд

Главное меню команд содержит следующие пункты:

- **Файл**. Содержит команды управления файлами проекта.
- **Вид.** Содержит команды для отображения, масштабирования схемы, получения информации о схеме.
- **Редактировать.** Содержит команды редактирования схемы и глобальных параметров схемы.
- **Добавить.** Пункт относится только к схемотехническому редактору и содержит команды добавления новых компонентов на схему.
- **Моделирование.** Содержит команды для проведения моделирования схемы.
- **График.** Пункт относится к представлению и обработке результатов проведённого моделирования.
- **Дизайн.** Содержит команды вызова окон автоматического синтеза схем.
- **Инструменты.** Управление настройками программы: панелями инструментов, цветом, библиотечными путями и др.
- **Справка.** Содержит справочную информацию о программе, руководство пользователя.

1.2.1 Меню Файл

Таблица 1.2.1 Команды меню Файл

Команда	Горячие клавиши	Описание
Создать # Схема		Создание новой графической схемы
Создать # Нетлист		Создание новой схемы в виде текстового файла SPICE-формата
Открыть	**Ctrl+O**	Открытие схемы или SPICE-нетлиста
Открыть примеры		Открытие схем из списка примеров, поставляемых с программой и находящихся в папке, указанной пользователем при установке программы
Сохранить	**Ctrl+S**	Сохранить схему или SPICE-нетлист
Сохранить как...		Сохранить схему или SPICE-нетлист с новым именем
Печать	**Ctrl+P**	Вывод на принтер схем и результатов моделирования
Пути…		Вызывает вкладку настроек путей (для поиска библиотек в окне настроек)
Экспорт в SPICE-нетлист		Позволяет экспортировать графическую схему в SPICE-нетлист
Предыдущие документы		Открывает список 16 последних рабочих документов

1.2.2 Меню Вид

Таблица 1.2.2 Команды меню Вид

Команда	Горячие клавиши	Описание
Увеличить	+	Приближение схемы, активной группы графиков.
Уменьшить –	–	Удаление схемы, активной группы графиков.
Масштабировать область		Переводит схемотехнический редактор в режим масштабирования схемы. Выход из режима – Esc либо нажатие ПКМ.
Отображать атрибуты элементов		Отобразить/скрыть атрибуты элементов на схеме в схемотехническом редакторе. К атрибутам относятся имя компонента, имя модели, номиналы.
Отображать имена цепей		Отобразить/скрыть имена цепей на схеме в схемотехническом редакторе.
Отображать токи		Отобразить/скрыть на схеме в схемотехническом редакторе номиналы токов, текущих через компоненты цепей.
Отображать потенциалы узлов		Отобразить/скрыть на схеме в схемотехническом редакторе значения потенциалов узлов схемы.
Документ		Отобразить/скрыть панель документов.

1.2.3 Меню Редактировать

Таблица 1.2.3 Команды меню Редактировать

Команда	Горячие клавиши	Описание
Отмена	Ctrl+Z	Отменить предыдущее действие пользователя в схемотехническом или текстовом редакторах
Повтор	Ctrl+Y	Повторить предыдущее действие пользователя в схемотехническом или текстовом редакторах
Вырезать	Ctrl+X	Скопировать данные в буфер обмена, удалив их из схемотехнического или текстового редактора
Копировать	Ctrl+C	Скопировать в буфер обмена данные в схемотехническом или текстовом редакторах, окнах просмотра текущих значений, таблицах вывода результатов моделирования и т.п.
Вставить	Ctrl+V	Вставить данные буфер обмена да схемотехнический или текстовый редактор, окно просмотра текущих значений и т.п.
Найти	Ctrl+F	Вызвать диалоговое окно поиска/ замены исходной текстовой строки в текстовом редакторе.
Заменить	Ctrl+H	Вызвать диалоговое окно поиска/ замены исходной текстовой строки в текстовом редакторе.
Перейти	Ctrl+G	Перейти к указанному номеру строки текстового документа
Поиск компонента...	Ctrl+E	Вызвать окно поиска компонента на схеме
Повернуть против часовой стрелки	Alt+L	Повернуть компонент схемы в схемотехническом редакторе против часовой стрелки

Повернуть по часовой стрелке	**Alt+R**	Повернуть компонент схемы в схемотехническом редакторе по часовой стрелке
Отразить по горизонтали	**Alt+H**	Отразить компонент схемы в схемотехническом редакторе относительной горизонтальной оси
Отразить по вертикали	**Alt+V**	Отразить компонент схемы в схемотехническом редакторе относительной вертикальной оси
Включить\Выключить	**Ctrl+U**	Включить или выключить для моделирования компонент на схеме
Удалить	**Delete**	Удалить выделенный фрагмент схемы в схемотехническом редакторе или фрагмент текста в текстовом редакторе
Разрезать соединения	**Ctrl+T**	Перевести схемотехнический редактор в режим удаления соединений компонентов с проводниками схемы. Выход из режима – клавиша Esc на клавиатуре, либо нажатие ПКМ, либо повторный вызов данной команды.
Параметры подсхемы		Вызвать окно задания параметров графической подсхемы (макромодели) в редакторе подсхем.
Глобальные параметры		Вызывает окно задания глобальных параметров схемы. Аналогично команде SPICE **.PARAM.**

1.2.4 Меню Добавить

Таблица 1.2.4 Команды меню Добавить

Команда	Горячие клавиши	Описание
Элемент…		Добавить в схему элемент из выпадающего списка примитивов (см. §3.2 Примитивы). Актуально только для схемотехнического редактора.
Подсхемы…		Добавить в схему ранее созданную подсхему из кэша документа или из файлов-схем (подробнее см. §3.8. Добавление подсхем в схему). Актуально только для схемотехнического редактора.
Библиотеки...		Добавить в схему компонент указанного файла SPICE-библиотеки или Touchstone-библиотеки. (подробнее см. §4.4. SPICE и Touchstone библиотеки). Актуально только для схемотехнического редактора.
Библиотека компонентов…	**Ctrl+E**	Вызвать окно библиотеки компонентов. Актуально только для схемотехнического редактора.
Соединение	**Ctrl+W**	Перевести схемотехнический редактор в режим рисования соединений (проводников). Выход из режима – двойное нажатие клавиши Esc на клавиатуре, либо двойной щелчок ПКМ, либо повторный вызов данной команды.
Новая подсхема…	**Ctrl+D**	Вызвать диалог создания новой графической подсхемы (макромодели) либо новой текстовой SPICE-подсхемы. Актуально только для схемотехнического редактора.

Новая модель…		Вызвать диалог создания новой SPICE-модели. Актуально только для схемотехнического редактора.
Сигналы		Вызвать диалог создания нового сигнала. Актуально только для схемотехнического редактора.
SPICE-блок		Добавить текстовое поле на схему в схемотехническом редакторе для введения команд SPICE.
Текст		Добавить текстовое поле на схему в схемотехническом редакторе.

1.2.5 Меню Моделирование

Таблица 1.2.5 Команды меню Моделирование

Команда	Горячие клавиши	Описание
Глобальные настройки …		Открыть окно, в котором содержатся настройки моделирования компонентов схемы.
Рабочая точка…	**Alt+1**	Открыть окно расчёта рабочей точки схемы.
Статический анализ…	**Alt+2**	Открыть окно расчёта статических характеристик схемы.
Расчёт чувствительности по постоянному току…	**Alt+3**	Открыть окно расчёта чувствительности схемы на постоянном токе к изменению её параметров.
Анализ гармонического режима…	**Alt+4**	Открыть окно расчёта гармонического режима схемы.
Анализ переходных процессов…	**Alt+5**	Открыть окно задания параметров расчёта переходных процессов схемы.
Анализ периодических режимов…	**Alt+6**	Открыть окно задания параметров поиска периодических режимов схемы
Частотный анализ…	**Alt+7**	Открыть окно расчёта частотных характеристик схемы.
Анализ устойчивости…	**Alt+8**	Открыть окно анализа устойчивости схемы в рабочей точке.
Анализ чувствительности	**Shift+1**	Открыть окно задания параметров для расчета чувствительностей выходных характеристик схемы к изменению параметров компонентов.
Оптимизация…	**Shift+2**	Открыть окно задания параметров для оптимизации схемы по заданным критериям качества.

Монте-Карло…	**Shift+3**	Открыть окно установки параметров статистического анализа Монте-Карло или Наихудшего случая.
Запустить	**Ctrl+R; F5**	Запустить расчёт текущей симуляции.
Приостановить		Приостановить выполнение текущей симуляции.
Прервать	**Ctrl+H**	Прервать выполнение текущей симуляции.
Параметры…		Открыть окно задания симуляции.
Подстройка параметров…		Открыть окно подстройки параметров. Запускает интерактивную процедуру запуска симуляций при изменении параметра схемы с помощью окна подстройки параметров.
Обработка событий		Открыть окно отслеживания и обработки событий. Подробнее см. §22.4 Обработка событий
Текущие значения		Открыть/закрыть окно просмотра текущего состояния схемы: потенциалов узлов, токов и т.п
Вывод текущих значений		Вывести на экран информацию о текущем состоянии схемы в текстовом виде.
Экспорт		Экспортировать уравнения схемы в численном и символьном виде в сторонние программные продукты.

1.2.6 Меню График

Таблица 1.2.6 Команды меню График

Команда	Горячие клавиши	Описание
Исходный масштаб	F6	Отображать график в исходном масштабе.
Список графиков		Отобразить/скрыть панель списка графиков
Добавить график…		Вызвать интерфейс добавления новых графиков.
Добавить гистограмму...		Вызвать интерфейс добавления новых гистограмм.
Курсоры		Отобразить/скрыть курсоры на графиках, позволяет устанавливать курсоры с учётом произведённых измерений
Режим		Установить режим отображения графика для группы текущего графика: • логарифмическая ось X , • логарифмическая ось Y , • полярные координаты , • диаграмма Вольперта-Смита .
Область отображения		Установить область отображения группы графиков. Для случая нескольких групп в окне графиков область отображения устанавливается для группы текущего графика.
Отобразить маркеры точек на графике		Отобразить/скрыть расчётные точки на графиках.
Список измерений		Отобразить/скрыть панель списка измерений
Добавить измерения…		Вызвать интерфейс добавления новых измерений в симуляции.

Графики измерений…		Вызвать интерфейс добавления графиков измерений в многовариантных симуляциях.
БПФ…		Вызвать окно расчёта коэффициентов ряда Фурье для выбранных графиков или выражений.
Экспорт…		Конвертировать графики программы в форматы Excel, Matlab, Maple, txt.
Импорт…		Импортировать графики из форматов LTSPICE, PSPICE, HSPICE, txt.
Воспроизвести\Остановить		Запустить/Остановить воспроизведение графика, преобразованного в аудиопоток формата wav.

1.2.7 Меню Дизайн

Таблица 1.2.7 Список команд меню Дисзайн

Команда	Описание
Фильтры…	Открыть окно конструктора фильтров **SimOne**.
Дисперсионные линии задержки...	Открыть окно конструктора дисперсионных линий задержек **SimOne**.
Цепи с линейной наклонной АЧХ...	Открыть окно конструктора схем с линейной наклонной амплитудно-частотной характеристикой **SimOne**.

1.2.8 Меню Инструменты

Таблица 1.2.8 Команды меню Инструменты

Команда	Описание
Настройки	Открыть окно настроек программы.

1.2.9 Меню Справка

Таблица 1.2.9 Список команд меню Справка

Команда	Горячие клавиши	Описание
Справка…	**F1**	Открыть окно справочника программы
Справочное руководство…		Открыть "Справочное руководств **SimOne**".
Новые возможности…		Открыть страницу с описание новых возможностей текущей верси программы
Обратная связь...		Открыть окно связи с разработчикам программы.
О программе...		Открыть окно информации о программ **SimOne** и окно обновлений версий.

1.3 Панели инструментов

По умолчанию в **SimOne** созданы следующие панели инструментов:

- **File.** Содержит кнопки управления файлами.
- **Schematic.** Содержит кнопки управления функциями схемотехнического редактора.
- **View.** Содержит кнопки отображения данных на схеме в схемотехническом редакторе.
- **Simulation.** Содержит кнопки управления симуляциями.
- **Graph.** Содержит кнопки управления графиками симуляций.
- **Cursors, Cursors2.** Содержат кнопки управления курсорами на графиках симуляций.
- **Measurements.** Содержит кнопки управления измерениями в симуляции.
- **ViewAdv.** Содержит кнопки включения/отключения возможностей просмотра текущего состояния схемы.
- **Place.** Содержит кнопки размещения новых компонентов, соединений на схеме в схемотехническом редакторе.
- **Passive Components.** Содержит кнопки размещения примитивов пассивных компонентов на схеме в схемотехническом редакторе.
- **Semiconductor.** Содержит кнопки размещения примитивов полупроводниковых компонентов на схеме в схемотехническом редакторе.
- **Sources.** Содержит кнопки размещения примитивов источников на схеме в схемотехническом редакторе.
- **Connectors.** Содержит кнопки размещения примитивов соединителей подсхем на схеме в схемотехническом редакторе.

1.3.1 Панель управления файлами

Таблица 1.3.1 Команды панели File

Команда	Описание
Новая схема	Создать новую схему в схемотехническом редакторе
Новый нетлист	Создать новый SPICE-нетлист схемы в текстовом редакторе
Открыть файл	Открыть схему или SPICE-нетлист.
Сохранить документ	Сохранить схему или SPICE-нетлист.

1.3.2 Панель команд схемотехнического редактора

Таблица 1.3.2 Команды панели Schematic

Команда	Описание
Масштабировать область	Перевести схемотехнический редактор в режим масштабирования схемы. Выход из режима – клавиша Esc на клавиатуре, либо нажатие ПКМ.
Разрезать соединение	Перевести схемотехнический редактор в режим удаления соединений. Выход из режима – клавиша Esc на клавиатуре, либо нажатие ПКМ, либо повторный вызов данной команды.
Добавить текст	Добавить текстовое поле на схему в схемотехническом редакторе.
Добавить SPICE-блок	Добавить текстовое поле на схему в схемотехническом редакторе для введения команд SPICE.

1.3.3 Панель отображения

Таблица 1.3.3 Команды панели View

Команда	Описание
Отображать атрибуты элементов	Отобразить/скрыть атрибуты элементов на схеме в схемотехническом редакторе. К ним относятся: имя компонента, имя модели, номиналы.
Отображать имена цепей	Отобразить/скрыть имена цепей на схеме в схемотехническом редакторе.
Отображать токи	Отобразить/скрыть значения токов на схеме в схемотехническом редакторе.
Отображать потенциалы узлов	Отобразить/скрыть значения потенциалов узлов на схеме в схемотехническом редакторе.

1.3.4 Панель управления моделированием

Таблица 1.3.4 Команды панели Simulation

Команда	Описание
Параметры…	Открыть окно задания параметров текущей симуляции.
Запустить	Запустить выполнение текущей симуляции.
Приостановить	Приостановить выполнение текущей симуляции.
Прервать	Прервать выполнение текущей симуляции.

1.3.5 Панель графиков

Таблица 1.3.5 Команды панели Graph и Graph2

Команда	Описание
Исходный масштаб	Отобразить текущие графики в исходном масштабе
Список графиков	Отобразить/скрыть панель списка графиков
Добавить график	Вызвать интерфейс добавления новых графиков.
Добавить гистограмму	Вызвать интерфейс добавления новых гистограмм.
Отобразить маркеры точек на графике	Отобразить/скрыть расчётные точки на графиках.
Область отображения	Установить область отображения группы графиков. Для случая нескольких групп в окне графиков область отображения устанавливается для группы текущего графика.
Логарифмировать ось X	Включает логарифмический масштаб по оси абсцисс для группы текущего графика.
Логарифмировать ось Y	Включает логарифмический масштаб по оси ординат для группы текущего графика.
Полярные координаты	Отображение графика на комплексной плоскости. Доступно только для частотного анализа схемы.
Диаграмма Вольперта-Смита	Отображение графика на диаграмме Вольперта-Смита. Доступно только для частотного анализа схемы.

1.3.6 Панели курсоров

Таблица 1.3.6 Команды панелей Cursors и Cursors2

Команда	Описание
Режим интерполяции	Включить/выключить режим интерполяции данных при работе с курсорами
Отобразить курсоры	Отобразить/скрыть курсоры в окнах графиков.
Установить курсор в координату X	Установить курсоры в заданную точку по оси абсцисс
Установить курсор в координату Y	Установить курсоры в заданную точку по оси ординат
Установить курсор в измерение	Установить курсоры в точку, соответствующую заданному измерению. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в точку, соответствующую новому значению заданного измерения.
Установить курсор в пик	Установить курсоры в точку, соответствующую локальному максимуму графика кривой. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в следующий локальный максимум.
Установить курсор во впадину	Установить курсоры в точку, соответствующую локальному минимуму графика кривой. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в следующий локальный минимум.
Установить курсор в максимум	Установить курсоры в точку, соответствующую максимуму текущего графика.

Установить курсор в минимум	Установить курсоры в точку, соответствующую минимуму текущего графика.
Установить курсор в следующую точку	Устанавливает курсор в следующую расчетную точку текущего графика.

1.3.7 Панель измерений

Таблица 1.3.7 Команды панели Measurements

Команда	Описание
Список измерений	Отобразить/скрыть панель списка измерений
Добавить измерения	Открыть интерфейс добавления новых измерений в симуляции.
Добавить графики измерений	Открыть интерфейс добавления графиков измерений в многовариантных симуляциях.
БПФ	Вызвать окно расчёта коэффициентов ряда Фурье для выбранных графиков или выражений.

1.3.8 Панель дополнительных возможностей

Таблица 1.3.8 Команды панели ViewAdv

Команда	Описание
Текущие значения	Отобразить/скрыть окно просмотра текущего состояния схемы
Вывод текущих значений	Вывести на экран текстовую информацию о текущем состоянии схемы.
Подстройка параметров	Открыть окно подстройки параметров. Запустить интерактивную процедуру запуска симуляций при изменении параметра схемы с помощью окна подстройки параметров.
Обработка событий	Отобразить/скрыть окно отслеживаний и обработки событий моделирования
Возпроизведение	Запустить/Остановить воспроизведение графика, преобразованного в аудиопоток формата wav.

1.3.9 Панель добавления объектов на схему

Таблица 1.3.9 Команды панели Place

Команда	Описание
Добавить соединение	Перевести схемотехнический редактор в режим рисования соединений (проводников). Выход из режима – двойное нажатие клавиши Esc на клавиатуре, либо двойной щелчок ПКМ, либо повторный вызов данной команды.
Добавить компонент	Открыть окно библиотеки компонентов. Актуально только для схемотехнического редактора.
Создать подсхему	Открыть диалог создания новой графической подсхемы (макромодели) либо новой текстовой SPICE-подсхемы. Актуально только для схемотехнического редактора.
Сигналы	Открыть диалог создания нового сигнала. Актуально только для схемотехнического редактора.

1.3.10 Панель добавления пассивных виртуальных компонентов

Таблица 1.3.10 Команды панели Passive Components

Команда	Описание
Резистор	Добавить резистор на схему
Конденсатор	Добавить конденсатор на схему
Индуктивность	Добавить катушку индуктивности на схему
Двухобмоточный трансформатор	Добавить двухобмоточный трансформатор на схему
Взаимная индуктивность	Добавить на схему взаимную индуктивность катушек индуктивности
Длинная линия	Добавить на схему длинную линию.
Переключатель, управляемый напряжением	Добавить на схему ключ, управляемый напряжением.
Переключатель, управляемый током	Добавить на схему ключ, управляемый током.

1.3.11 Панель добавления полупроводниковых виртуальных компонентов

Таблица 1.3.11 Команды панели Semiconductor

Команда	Описание
Диод	Добавить диод на схему.
Полевой транзистор N-типа	Добавить полевой транзистор N-типа на схему.
Полевой транзистор P-типа	Добавить полевой транзистор P-типа на схему.
Арсенид-галлиевый полевой транзистор	Добавить арсенид-галлиевый полевой транзистор на схему.
Биполярный NPN-транзистор	Добавить биполярный транзистор N-типа на схему.
Биполярный NPN-транзистор с подложкой	Добавить биполярный транзистор с подложкой N-типа на схему.
Биполярный PNP-транзистор	Добавить биполярный транзистор P-типа на схему.
Биполярный PNP-транзистор с подложкой	Добавить биполярный транзистор с подложкой P-типа на схему.
МОП-транзистор N-типа	Добавить МОП-транзистор с индуцированным каналом N-типа на схему.
МОП-транзистор DN-типа	Добавить МОП-транзистор с индуцированным каналом истоком N-типа и объединёнными подложкой и истоком на схему.
МОП-транзистор P-типа	Добавить МОП-транзистор с индуцированным каналом P-типа на схему.
МОП-транзистор DP-типа	Добавить МОП-транзистор с индуцированным каналом истоком P-типа и объединёнными подложкой и истоком на схему.

Операционный усилитель	Добавить операционный усилитель на схему.

1.3.12 Панель добавления виртуальных источников

Таблица 1.3.12 Команды панели Sources

Команда	Описание
Батарея	Добавить источник постоянного напряжения на схему
Источник напряжения	Добавить независимый источник напряжения на схему
Источник тока	Добавить независимый источник тока на схему

1.3.13 Панель добавления функциональных источников

Таблица 1.3.13 Команды панели Functional Sources

Команда	Описание
ИНУН	Добавить на схему источник напряжения, управляемый напряжением
ИНУТ	Добавить на схему источник напряжения, управляемый током
ИТУН	Добавить на схему источник тока, управляемый напряжением
ИТУТ	Добавить на схему источник тока, управляемый током
Функциональный источник напряжения	Добавить на схему функциональный источник напряжения.
Функциональный источник тока	Добавить на схему функциональный источник тока.

1.3.14 Панель добавления лапласовых функциональных блоков

Таблица 1.3.14 Команды панели Laplace Sources

Команда	Описание
Лапласов ИНУН	Добавить на схему лапласов источник напряжения, управляемый напряжением
Лапласов ИНУТ	Добавить на схему лапласов источник напряжения, управляемый током
Лапласов ИТУН	Добавить на схему лапласов источник тока, управляемый напряжением
Лапласов ИТУТ	Добавить на схему лапласов источник тока, управляемый током
Лапласов функциональный источник напряжения	Добавить на схему лапласов функциональный источник напряжения.
Лапласов функциональный источник тока	Добавить на схему лапласов функциональный источник тока.

1.3.15 Панель добавления многополюсных элементов

Таблица 1.3.15 Команды панели Connectors

Команда	Описание
Двухполюсный элемент	Добавить на схему двухполюсный элемент.
Четырехполюсный элемент	Добавить на схему четырехполюсный элемент.
Шестиполюсный элемент	Добавить на схему шестиполюсный элемент.
Восьмиполюсный элемент	Добавить на схему восьмиполюсный элемент.

1.3.16 Панель добавления соединителей

Таблица 1.3.16 Команды панели Connectors

Команда	Описание
вывод подсхемы	Добавить вывод подсхемы. Актуально при создании и редактировании графической подсхемы.
Земля	Добавить общий узел на схему.

1.4 Панель документов

Панель документов отображает всю информацию обо всех открытых проектах программы и предоставляет полный доступ для управления ими (рис1.4.1). Информация представлена в виде соответствующего дерева проектов, включающего в себя следующие пункты:

- **Глобальные параметры** схемы.
- **Компоненты.** Отображает страницу текстового редактора с описанием схемы в виде SPICE-нетлиста. Нажатие ЛКМ на этом пункте панели приводит к открытию SPICE-нетлиста во вкладке текстового редактора.
- **Подсхемы.** Все существующие в проекте графические и текстовые подсхемы. Нажатие ЛКМ на выбранном имени подсхемы приводит к открытию этой подсхемы в соответствующем редакторе подсхем.
- **Пользовательские симуляции.** Этот список симуляций схемы включает в себя те симуляции, которые были созданы пользователем с помощью окна **Симуляция**.
- **Порождённые симуляции.** В этот список симуляций схемы включаются те симуляции, которые были сгенерированы программой по командам SPICE, заданным в SPICE-нетлисте или с помощью SPICE-блока в графической схеме.

Слева от имени каждой симуляции находится иконка с обозначением типа симуляции:

- OP – расчёт рабочей точки схемы,
- DCS – анализ чувствительности схемы по постоянному току,
- DC – анализ передаточных функций по постоянному току,
- ACP – анализ гармонического режима схемы,
- AC – частотный анализ схемы,
- TR – анализ переходных процессов,
- PSS – расчёт периодических режимов схемы,
- ST – анализ устойчивости схемы в рабочей точке,
- OPT – оптимизация схемы,
- MC – статистический анализ по методу Монте-Карло.

Нажатие ЛКМ на выбранном имени симуляции приводит к открытию окна **Симуляции**. Нажатие ЛКМ на иконке , расположенной напротив имени симуляции, вызывает вкладку с отображением результатов симуляции. С помощью иконки , расположенной напротив имени симуляции, можно удалить ненужную симуляцию.

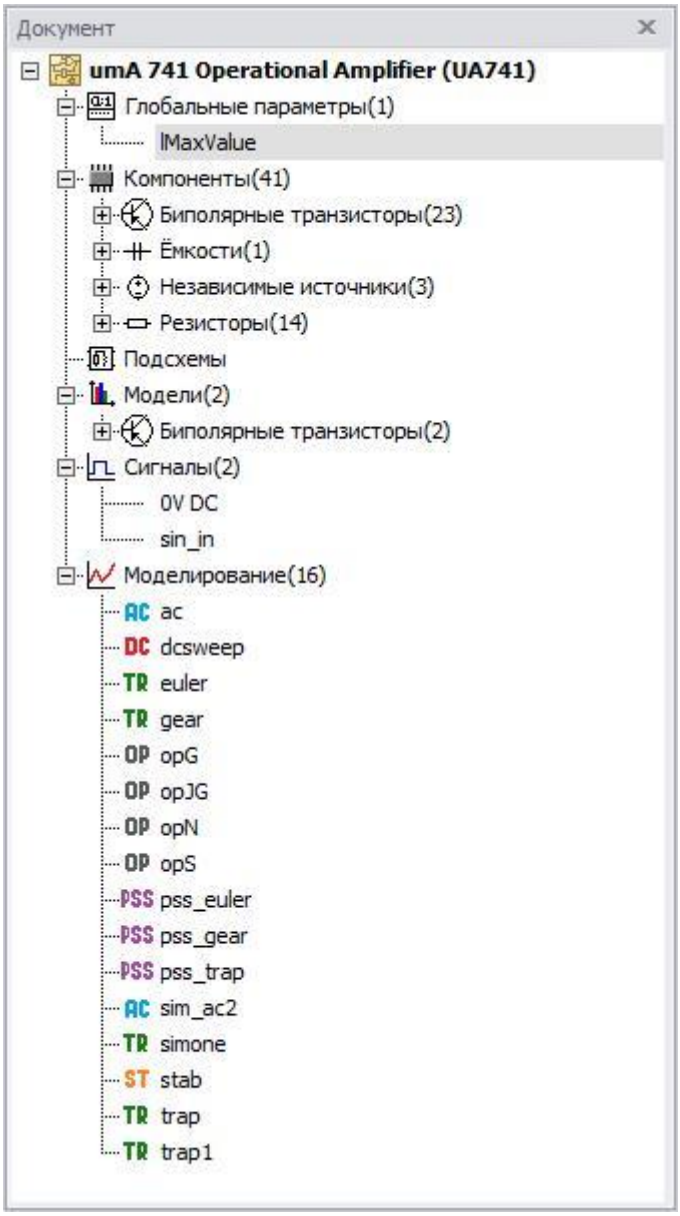


Рис. 1.2.1 Панель документов SimOne.

1.5 Контекстное меню

Контекстное меню программы вызывается нажатием ПКМ и доступно в схемотехническом редакторе (рис.1.5.1 - рис. 1.5.3) графическом модуле отображения данных (рис. 1.5.4) и диалоговых окнах.

В диалоговых окнах контекстное меню служит для выполнения стандартных операций редактирования: копирования, вставки, вырезания и др.

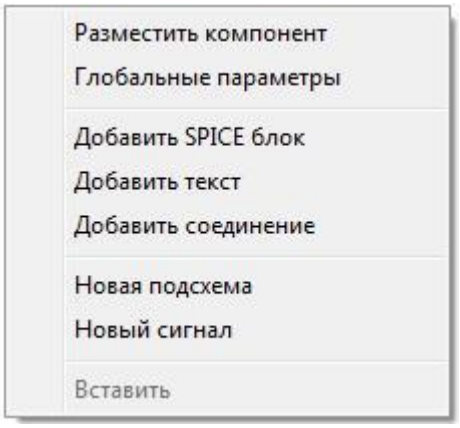


Рис. 1.5.1 Контекстное меню схемотехнического редактора

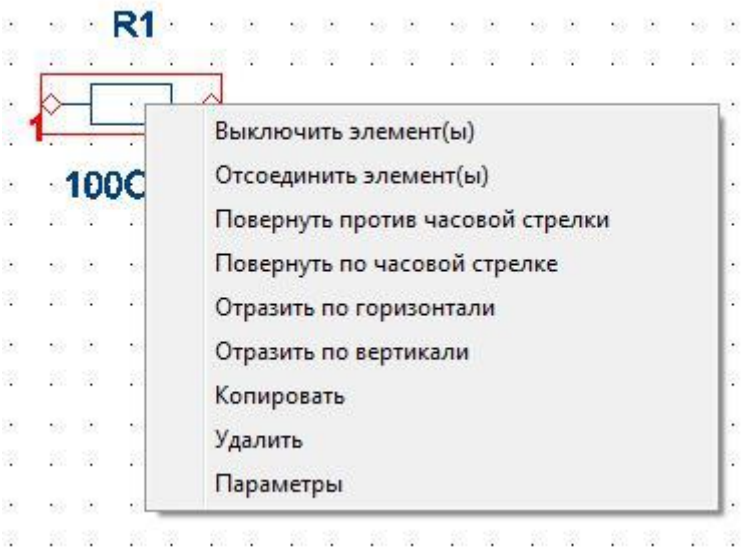


Рис. 1.5.2 Контекстное меню схемотехнического редактора

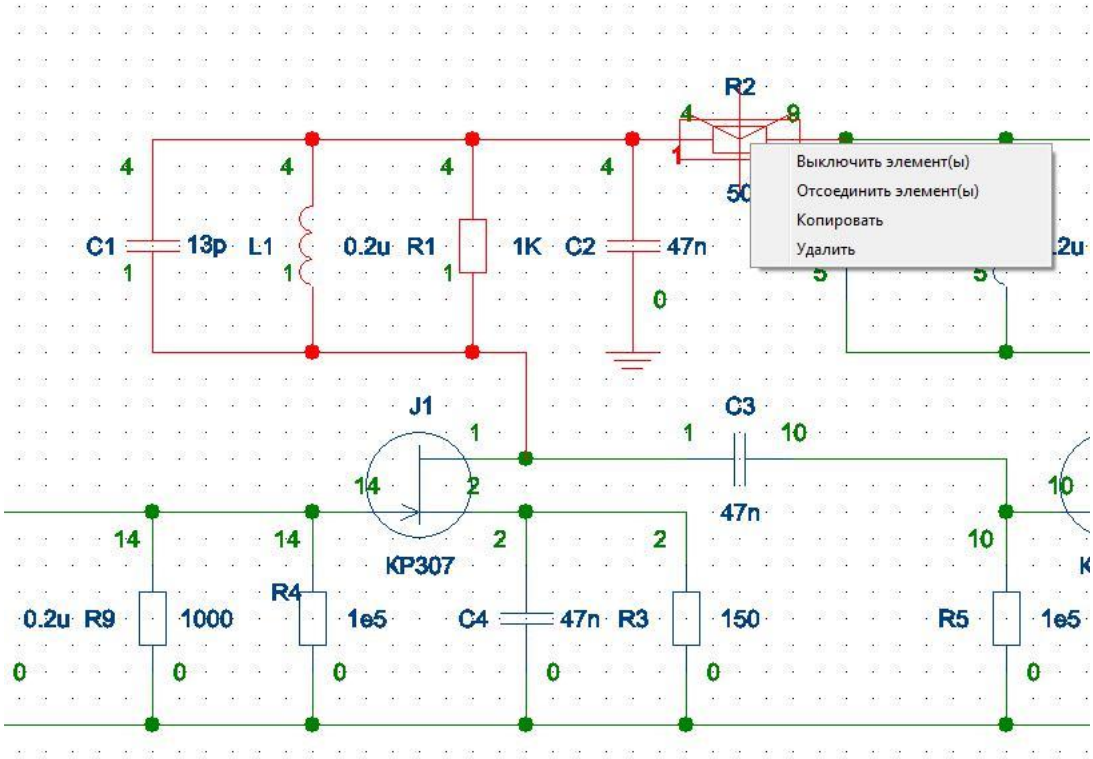


Рис. 1.5.3 Контекстное меню схемотехнического редактора

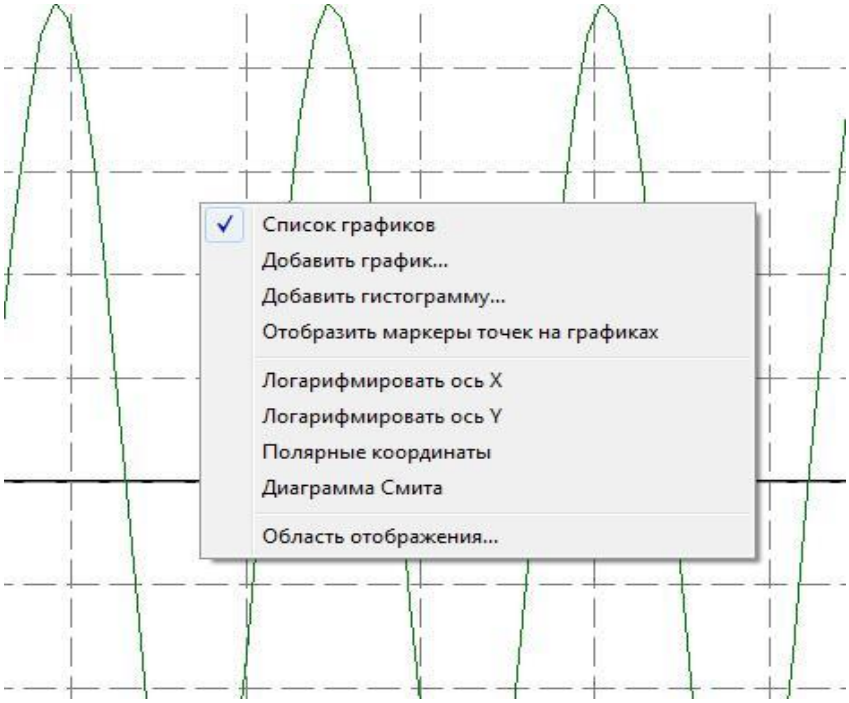


Рис. 1.5.1 Контекстное меню модуля отображения данныха

1.6 Настройки программы

Окно настроек программы вызывается с помощью главного меню команд программы: **Инструменты#Настройки**. Окно содержит несколько вкладок (рис. 1.6.1):

- **Общие** настройки.
- **Цвета**. Настройка цветов схемотехнического редактора.
- **Панели инструментов**. Позволяет редактировать существующие и создавать новые панели инструментов программы.
- **Пути**. Позволяет добавлять пути к файлам-библиотекам, содержащих модели электронных компонентов схемы, для последующего их использования в схемотехническом редакторе.
- **Предупреждения**. Содержит настройки вывода предупреждений в панель сообщений программы.
- **WAV**. Содержит настройки прослушивания аудиопотока.
- **Обратная связь**. Содержит настройки системы обратной связи программы.

Внизу окна расположены следующие кнопки:

- Установить настройки по умолчанию.
- Применить.
- Ok.
- Отмена.

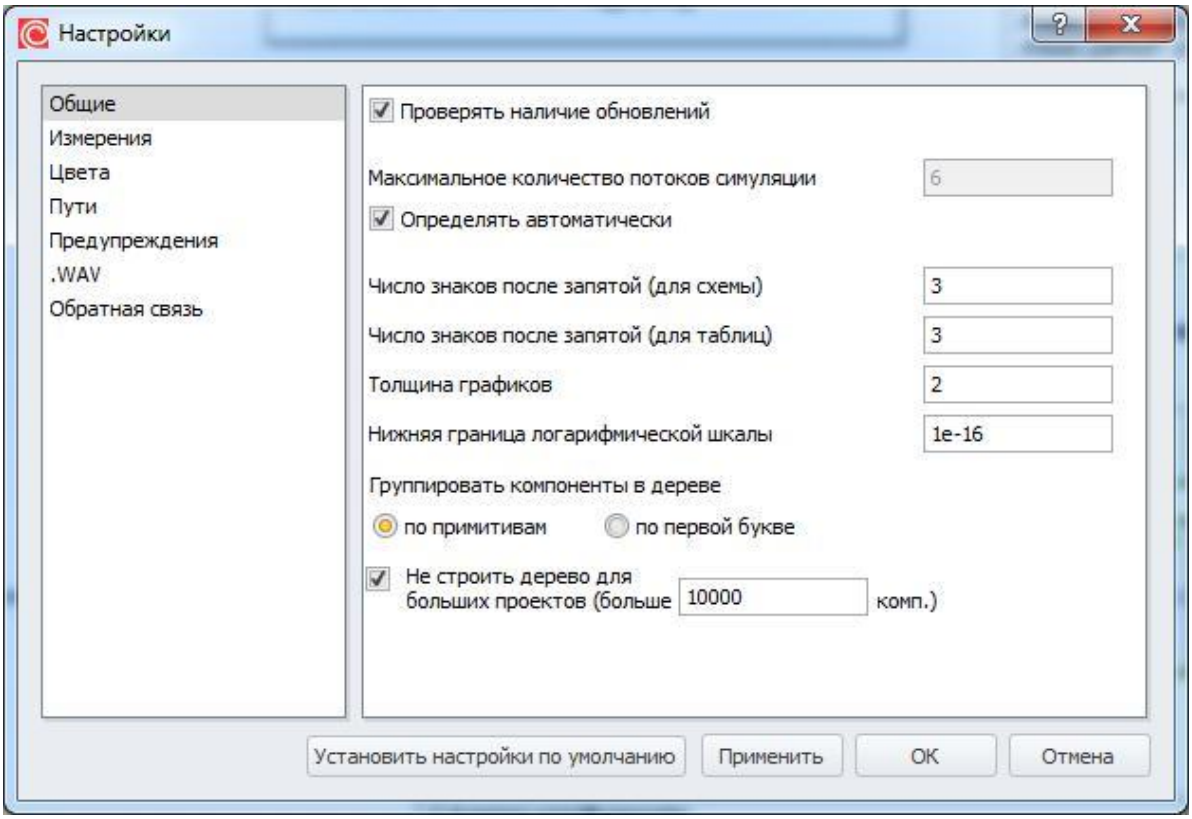


Рис. 1.6.1 Окно "Настройки". Вкладка "Общие"

В таблице 1.6.1 приведены названия настроек программы и их описания.

Таблица 1.6.1 Настройки программы

Название	Описание	Значение по умолчанию
Вкладка "Общие"		
Проверять наличие обновлений	Автоматически проверять наличие обновлений при каждом запуске программы.	Вкл.
Максимальное количество потоков симуляции	Определяет максимальное количество потоков, которые могут быть созданы одной симуляцией. Значение по умолчанию равно	

	числу ядер процессора.	
Определять автоматически	Программа определяет число ядер процессора. Число потоков симуляции равно числу ядер процессора.	Вкл.
Число знаков после запятой (для схемы)	Определяет количество знаков после запятой при выводе результатов моделирования на схему	3
Число знаков после запятой (для таблиц)	Определяет количество знаков после запятой при выводе результатов моделирования в таблицы и печати в файлы.	3
Толщина графиков	Толщина графиков в пикселях.	1
Нижняя граница логарифмической шкалы	Наименьшее положительное значение координат графиков при отображении на логарифмических шкалах	1e-16
Вкладка "Цвета"		
Цвет фона	Цвет фона в схемотехническом редакторе.	Белый
Цвет проводников	Цвет проводников на схеме в схемотехническом редакторе.	Зеленый

Цвет элементов	Цвет элементов схемы в схемотехническом редакторе.	Синий
Цвет выделенных объектов	Цвет выделенных объектов схемы в схемотехническом редакторе.	Красный
Цвет результатов моделирования	Цвет вывода результатов моделирования на схему в схемотехническом редакторе.	Малиновый
Вкладка "Панели инструментов"		
Список панелей	Список существующих панелей инструментов программы.	
Добавить панель инструментов	Позволяет создать новую панель инструментов.	
Удалить панель инструментов	Удаляет текущую панель инструментов.	
Доступные команды	Список команд программы, доступных для установки на текущую панель.	
Команды на панели	Список команд программы, установленных на текущей панели.	
Вкладка "Пути"		
Пути к файлам библиотек	Содержит пути к файлам-библиотекам	

	SPICE-формата – файлы с расширением ***.lib**. Пути могут быть указаны вручную (текстом) или с помощью диалогового окна. Разные пути отделяются друг от друга с помощью знака точка с запятой: ‘;’.	
Добавить…	Вызывает диалог добавления нового пути.	
Пути к файлам подсхем	Содержит пути к файлам, содержащим графические подсхемы – файлы-схемы **SimOne** с расширением ***.ssch**. Пути можно указать вручную (текстом) или с помощью диалогового окна. Разные пути отделяются друг от друга с помощью знака точка с запятой: ‘**;**’.	
Добавить…	Вызывает диалог добавления нового пути.	

Вкладка "Предупреждения"

Выводить сообщения об	Каждый узел схемы должен иметь путь на	Вкл.

отсутствии пути на землю	землю по постоянному току. При отсутствии такого пути программа использует настройку **R_NODE_GND** из настроек схемы.	
Выводить сообщения о висячих узлах	Если узел схемы не подсоединён к другому узлу, то программа может выдать соответствующее сообщение.	Вкл.
Интерпретировать висячие узлы как ошибки	Если узел схемы не подсоединён к другому узлу, то программа считает это ошибкой в схеме.	Выкл.
Интерпретировать предупреждения как ошибки	Позволяет интерпретировать все сообщения программы как ошибки.	Выкл.
Вкладка "WAV"		
Частота дискретизации	Частота дискретизации исходного графика для представления его в аудио формате	11025 Гц
Квантование, бит	Разрядность аналогово-цифрового преобразователя	16
Диапазон	Определяет максимальную	1

	величина преобразованного сигнала	
Вкладка "Обратная связь"		
Путь к архиву запросов	Путь к папке с файлами сообщений пользователя	C:\Users\... \Documents \SimOne\Feedback
Хранить не более	Максимальный допустимый объем памяти для хранения файлов сообщений пользователя	1000Мб

1.7 Печать документа

SimOne позволяет выводить на принтер следующие части проекта (рис. 1.7.1 – 1.7.3):

- схему, представленную в схемотехническом редакторе,
- графики,
- таблицы.

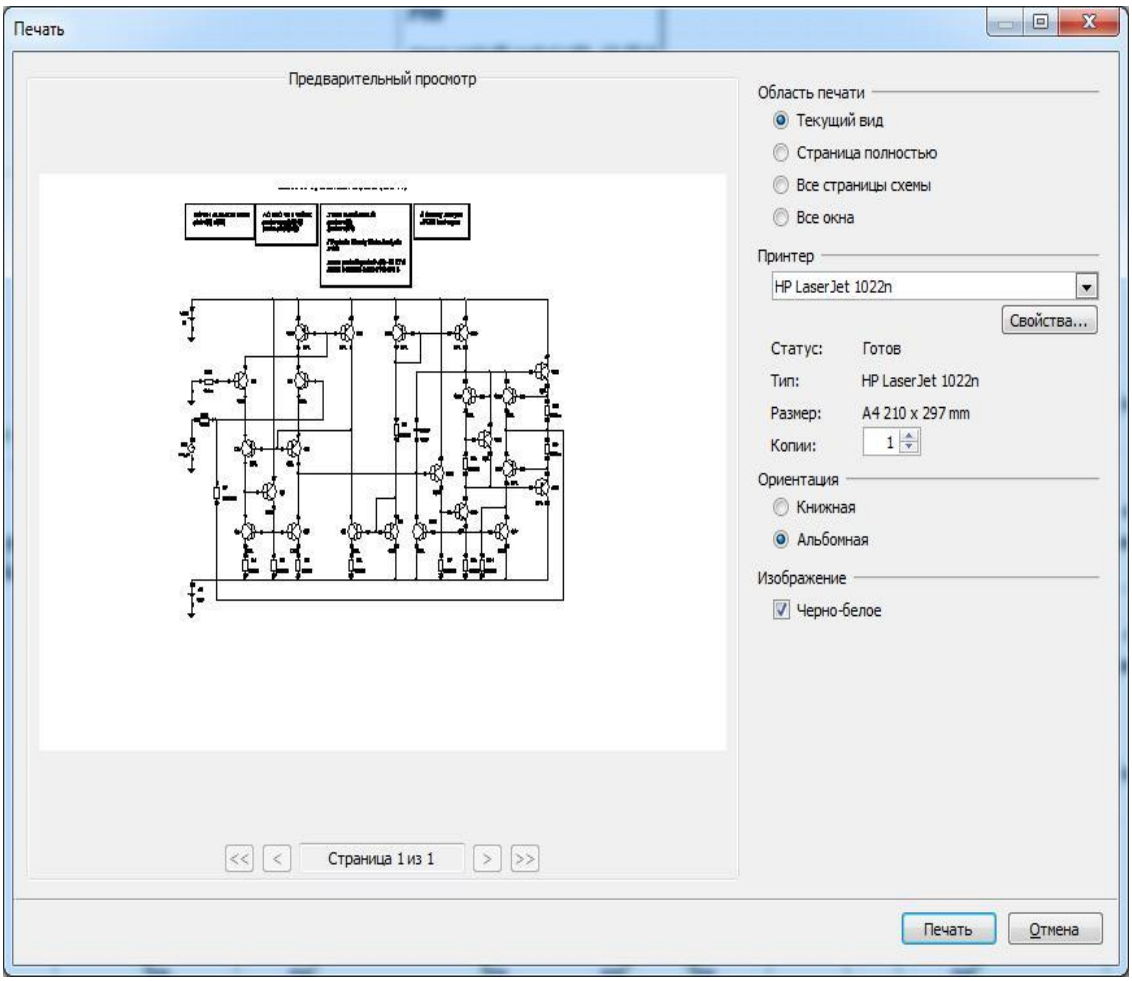


Рис. 1.7.1 Окно вывода на печать. Схема

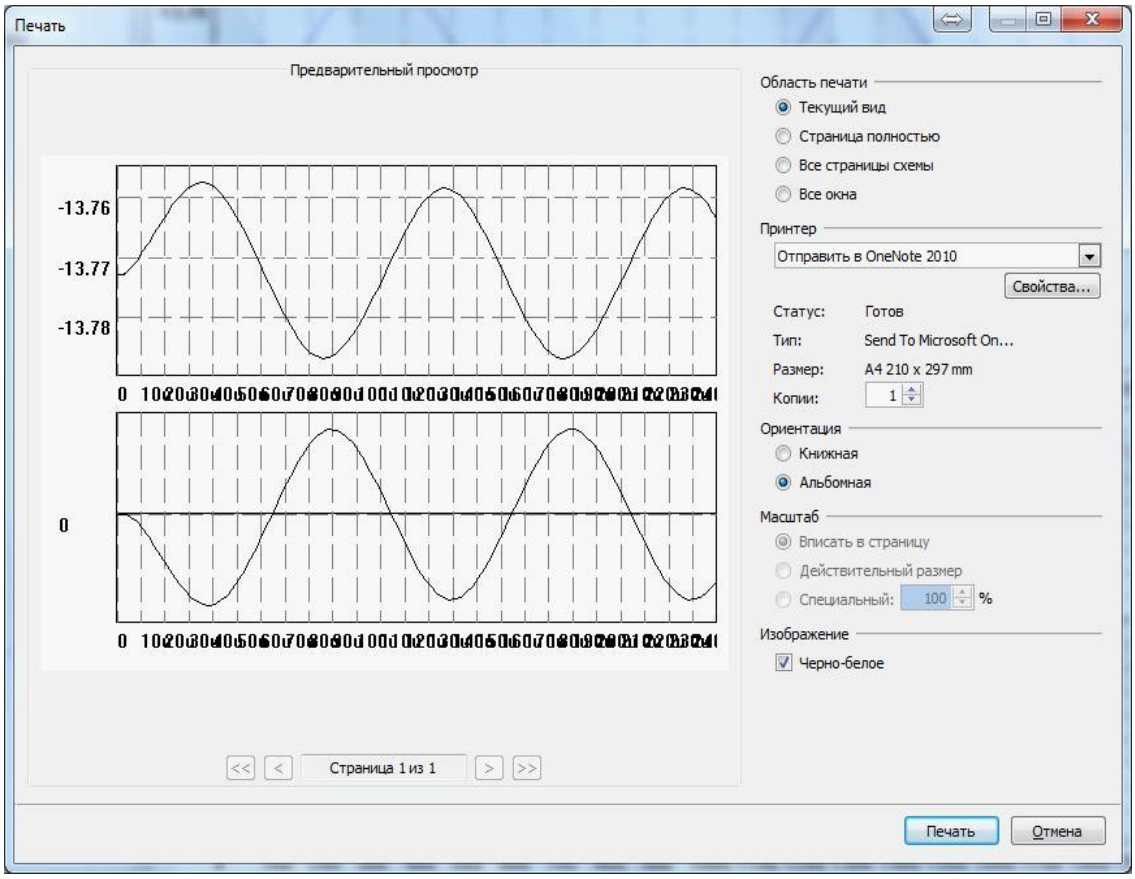


Рис. 1.7.2 Окно вывода на печать. Графики

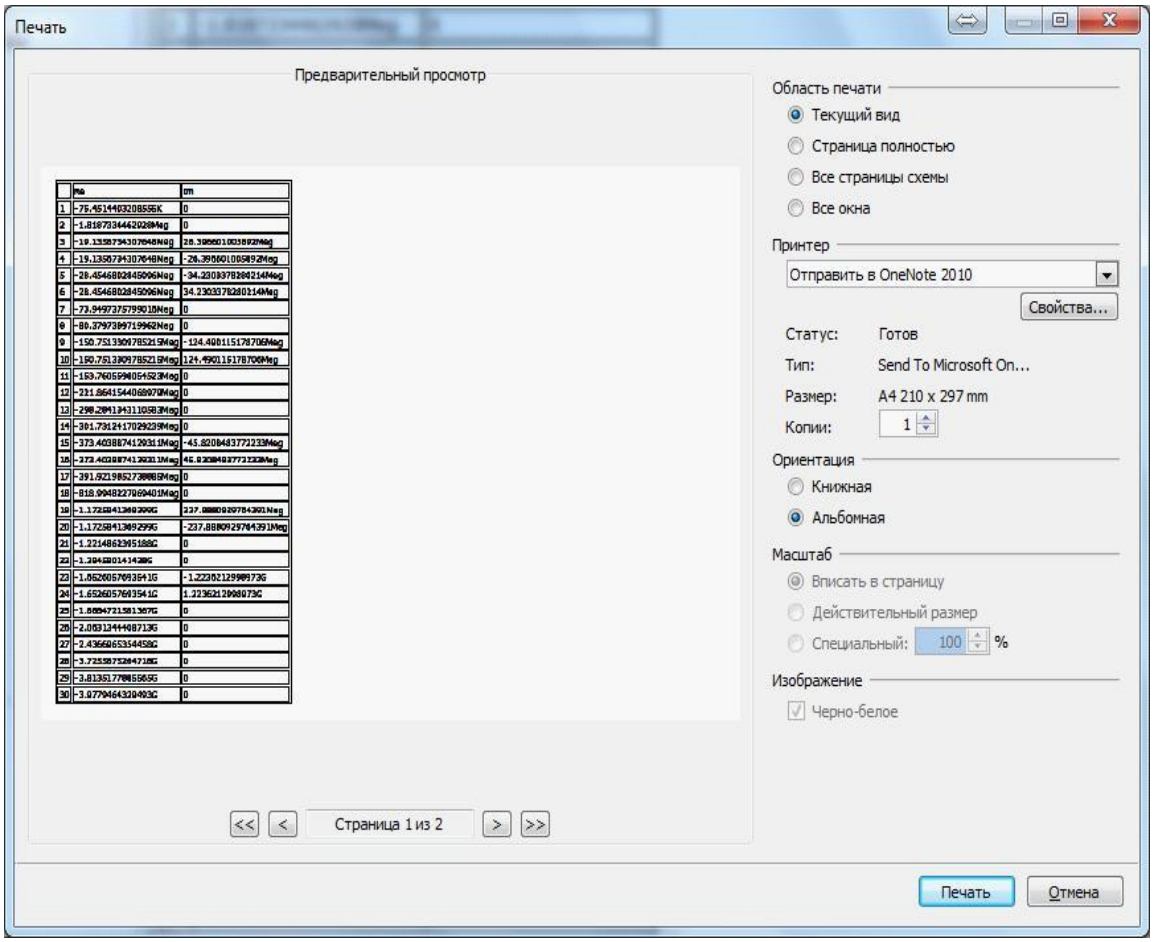


Рис. 1.7.3 Окно вывода на печать. Таблица

Настройки печати позволяют:

1. Выбрать область печати:

- Текущий вид. На печать будет выведен тот вид, который в текущий момент представлен на экране.
- Страница полностью. На печать будет выведено все содержимое текущей вкладки.
- Все страницы схемы. При выборе этой настройки будут выведены на печать схема и все её графические подсхемы, при этом каждая подсхема будет напечатана на отдельном листе.
- Все окна. Будет распечатана информация со всех открытых вкладок проекта.

2. Задать настройки принтера (тип, размер бумаги, число копий).
3. Выбрать ориентацию страницы (книжная или альбомная).
4. Выбрать вариант отображения (чёрно-белое или цветное).

Таблица печатается на нескольких страницах в зависимости от количества строк, при её печати недоступно изменение изображения (цветное или чёрно-белое).

2 Текстовый редактор SPICE-формата

2.1 Общие сведения

С помощью текстового редактора **SimOne** можно разрабатывать и редактировать схемы в текстовом формате SPICE.

SimOne поддерживает следующие варианты SPICE-формата:

- SPICE3f5
- PSPICE
- LTSPICE
- HSPICE
- NGSPICE

Файл указанных форматов может иметь расширения ***.net, *.cir, *.ckt, *.sp**.

В общем случае SPICE-файл включает в себя:

- Описание схемы в виде списка соединений.
- Описание моделей электронных компонентов.
- Установка настроек моделирования.
- Задание на моделирование схемы.
- Задание на постпроцессную обработку данных моделирования.
- Задание на вывод результатов моделирования.

На рис. 2.1.1 приведён вид SPICE-файла в текстовом редакторе **SimOne**.

В **SimOne** используется следующая расцветка строк:

- описание в виде списка соединений – чёрный цвет.
- команды SPICE (Dot-commands) – синий цвет.
- комментарии в файле – зеленый цвет.

Комментарии в файле могут начинаться с символов: **`*'**, **';'**, **'//'**, **`$'**.

Номер текущей строки текста отображается в правом углу строки состояния окна редактора.

```
Первая строка всегда принимается за комментарий

*
* Пример SPICE - файла
*
*----------------------------------------
; Описание схемы в виде списка соединений
v1 10 SIN(0 1 1meg 0 0.0)
vcc 7 0 0.0
r1 3 2 180
r2 9 2 5k
rh1 out 1 5
c1 1 2 1p
Q1 5 6 7 QMOD1
Q2 4 6 7 QMOD1
Q3 6 5 3 QMOD2
Q4 5 4 2 QMOD2
*---------------------------------------
// Описание моделей
.model QMOD1 PNP BF=20 VAF=50
.model QMOD2 NPN BF=130 VAF=80
*---------------------------------------
// Настройки моделирования
.options  reltol=0.0001

*---------------------------------------
$ Задание на моделирование
.op
.dc vcc 0.0 15.0 1.0
.tran 10n 10u

*---------------------------------------
* Задание на постобработку результатов моделирования
.meas period trig v(out)=0.5 rise=6 targ v(out)=0.5 rise=7
.meas period1 period v(out) 0.5 11

*---------------------------------------
* Задание на отображение результатов моделирования
.print DC v(2) v(18) v(19)

// окончание SPICE-файла
.end
```

Рис. 2.1.1 Пример SPICE-файла в текстовом редакторе

Запуск SPICE-файла на моделирование можно осуществить с помощью команды **Моделирование#Запустить**, либо кнопкой на панели инструментов, либо с помощью горячих клавиш **Ctrl+R, F5**.

Отметим, что в **SimOne** для запуска моделирования SPICE-файлов можно также использовать обычный механизм симуляций.

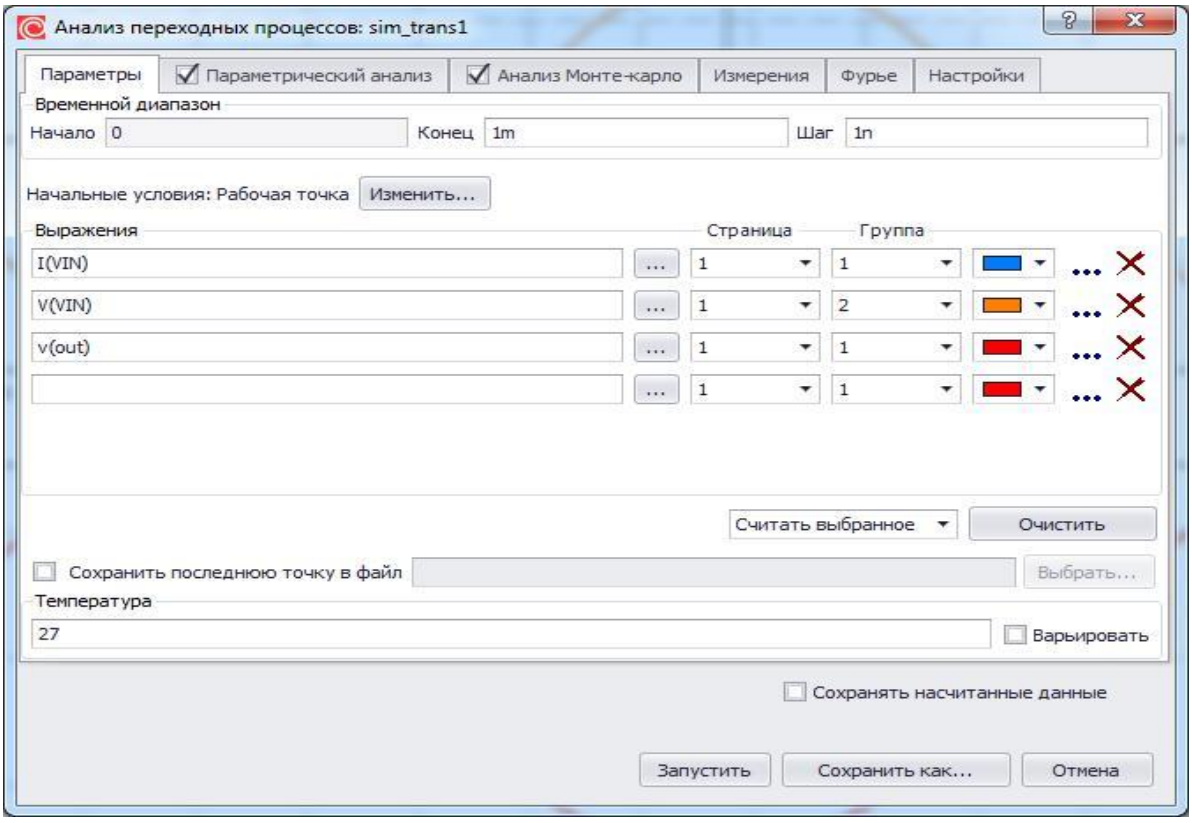


Рис. 2.1.2 Окно задания параметров симуляции

С помощью соответствующего диалогового окна задания параметров (рис. 2.1.2) пользователь создаёт новый профиль симуляции и запускает расчёт. При этом задание на моделирование, указанное в SPICE-файле, будет проигнорировано. Подробнее об этом способе см. главу 7 Моделирование.

Синтаксис задания SPICE-компонентов и моделей в SPICE-нетлисте схемы рассматривается в главе 5 Модели электронных компонентов для каждого компонента в отдельности.

Описание синтаксиса задания на моделирования приводится в главах 8–19, посвящённых конкретным видам моделирования схем.

Синтаксис задания на постобработку данных моделирования см. в главе 21 Измерения.

Примечание: симуляции, созданные в результате запуска моделирования SPICE-нетлиста, помечаются символом и не могут быть изменены пользователем.

2.2 Список команд и функций редактора

Список команд и возможностей редактора приведён в таблице 2.2.1:

Таблица 2.2.1 Команды текстового редактора

Команда	Способ задания
Создание нового SPICE-нетлиста схемы в текстовом редакторе	Меню: **Файл#Создать#Нетлист**
Открыть нетлист.	Меню: **Файл#Открыть файл** Горячие клавиши: **Ctrl+O**.
Сохранить нетлист	Меню: **Файл#Сохранить** Горячие клавиши: **Ctrl+S**.
Сохранить нетлист под другим именем	Меню: **Файл#Сохранить**
Выделить фрагмент текста	Мышь: движение мышью при нажатой ЛКМ. Горячие клавиши: **Shift+Стрелка**.
Выделить весь текст	Горячие клавиши: **Ctrl+A**.
Скопировать в буфер обмена выделенный фрагмент текста.	Меню: **Редактировать#Копировать** Горячие клавиши: **Ctrl+C**.
Вставить в текст данные из буфера обмена.	Меню: **Редактировать#Вставить** Горячие клавиши: **Ctrl+V**.
Вырезать в выделенный фрагмент текста.	Меню: **Редактировать#Вырезать** Горячие клавиши: **Ctrl+X**.
Найти строку в тексте	Меню: **Редактировать#Найти** Горячие клавиши: **Ctrl+F**.
Заменить строку в тексте	Меню: **Редактировать#Заменить** Горячие клавиши: **Ctrl+H**.
Перейти к номеру строки	Меню: **Редактировать#Перейти** Горячие клавиши: **Ctrl+G**.
Удалить символ за курсором	Клавиатура: **Delete**
Удалить символ перед курсором	Клавиатура: **Backspace**

Отмена предыдущего действия пользователя	Меню: **Редактировать#Отмена** Горячие клавиши: **Ctrl+Z**.
Повтор предыдущего действия пользователя	Меню: **Редактировать#Повтор** Горячие клавиши: **Ctrl+Y**.
Комментарий в тексте	Клавиатура: *** ; //**
Запустить моделирование	Меню: **Моделирование#Запусить** Горячие клавиши: **Ctrl+R; F5**

Запустить	**Ctrl+R; F5**	Запустить расчёт текущей симуляции.
Приостановить		Приостановить выполнение текущей симуляции.
Прервать	**Ctrl+H**	Прервать выполнение текущей симуляции.

3 Схемотехнический редактор

3.1 Общие сведения

Схемотехнический редактор программы **SimOne** позволяет создавать, редактировать, сохранять электронные схемы в графическом представлении.

Файл описания такого представления схемы имеет расширение ***.ssch** и содержит информацию, необходимую для отображения и редактирования схемы.

Компонентами схемы являются:

- Примитивы – электронные компоненты графической схемы, включающие в себя УГО и абстрактную модель замещаемого компонента.
- Электронные компоненты из библиотеки компонентов.
- Подсхемы. Графические (макромодели) и текстовые.
- Соединения. Предназначены для обозначения наличия гальванической связи между элементами схемы.
- SPICE-блоки. Текстовые объекты, позволяющие использовать SPICE-формат для описания схемы, моделирования.
- Текстовые объекты. Позволяют добавлять информацию в виде текста на схему.

3.2 Примитивы

Примитивы – это встроенные в программу модели электронных компонентов со схемным УГО. Примитивы располагаются в разделе **Добавить#Элемент** главного меню программы, в разделе **Примитивы Библиотеки компонентов**, а также на **Панели инструментов**.

Список поддерживаемых примитивов приведён в таблице 3.2.1:

Таблица 3.2.1 Примитивы компонентов схемы

Символ	Описание	Символ	Описание
	Резистор		Биполярный PNP-транзистор с подложкой
	Конденсатор		МОП-транзистор с индуцированным каналом N-типа
	Катушка индуктивности		МОП-транзистор с индуцированным каналом истоком N-типа и объединёнными подложкой и истоком
	Нелинейный резистор		МОП-транзистор с индуцированным каналом P-типа
	Нелинейная емкость		МОП-транзистор с индуцированным каналом истоком P-типа и объединёнными подложкой и истоком
	Нелинейная индуктивность		Операционный усилитель
	Двухобмоточный трансформатор		Батарея – источник постоянного напряжения.
	Магнитосвязанная индуктивность		Независимый источник напряжения.

	Линия передачи		Независимый источник тока.
	Ключ, управляемый напряжением		Источник напряжения, управляемый напряжением.
	Ключ, управляемый током		Источник напряжения, управляемый током.
	Диод, стабилитрон		Источник тока, управляемый напряжением.
	Полевой транзистор N-типа		Источник тока, управляемый током.
	Полевой транзистор P-типа		Функциональный источник напряжения.
	Арсенид-галлиевый полевой транзистор.		Функциональный источник тока.
	Биполярный NPN-транзистор.		Лапласов источник напряжения, управляемый напряжением.
	Биполярный NPN-транзистор с подложкой.		Лапласов источник тока, управляемый током.
	Биполярный PNP-транзистор.		Лапласов источник тока, управляемый напряжением.
	Земля.		Лапласов источник напряжения, управляемый током.
	Лапласов функциональный источник напряжения.		Лапласов функциональный источник тока

Каждому компоненту из приведённого списка, добавленному на схему, назначается уникальное имя и модель, соответствующая типу примитива компонента.

Модели большинства примитивов – это стандартные SPICE-модели, но некоторые объекты имеют свои модели, например – операционный усилитель.

3.3 Добавление примитивов на схему

Объекты коллекции примитивов в **SimOne** доступны для добавления на схему при отсутствии внешних библиотек. Доступ к встроенным элементам осуществляется через меню **Добавить#Элемент**. Подменю **Элемент** открывает каскадное меню, содержащее группы и подгруппы элементов, которые, в свою очередь, дают доступ к пунктам выбора отдельных элементов (см. рис. 3.3.1).

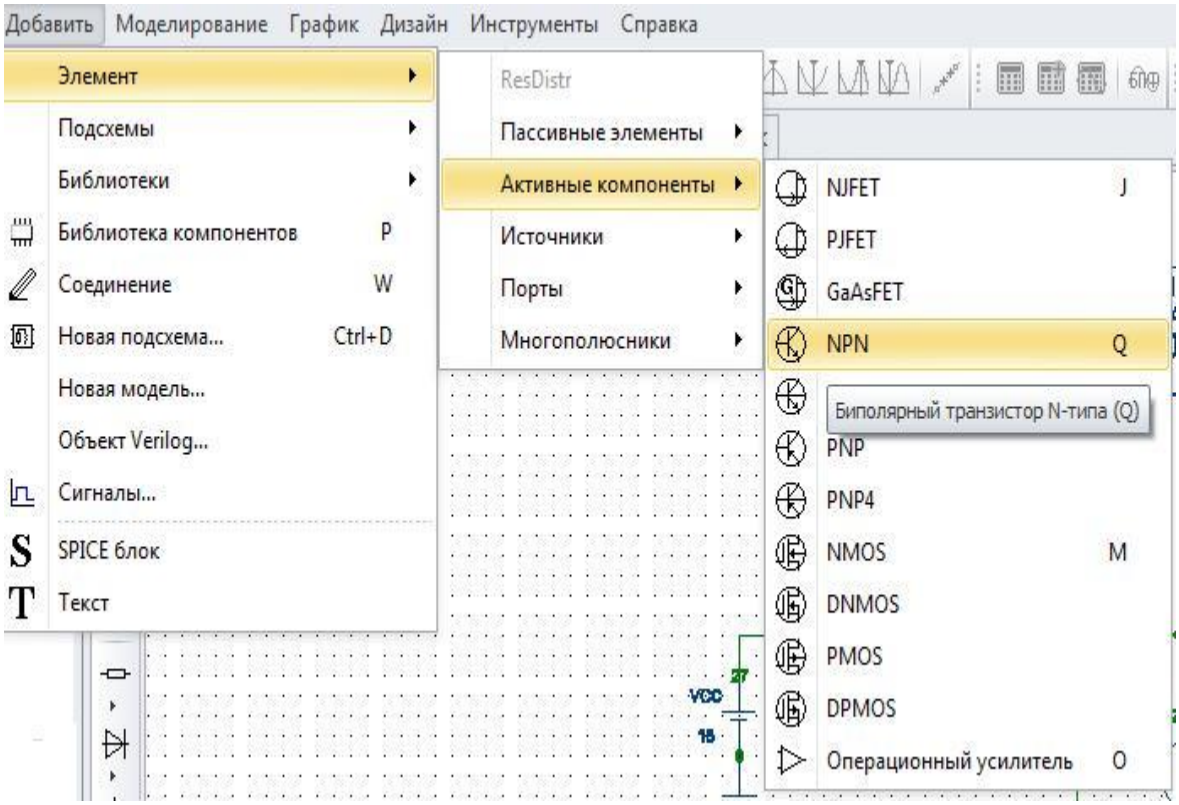


Рис. 3.3.1 Добавление элементов на схему с помощью меню

Другим способом добавления объектов на схему является использование Панели инструментов. Также добавить элементы на схему можно с помощью раздела "Примитивы" Библиотеки компонентов: **Добавить#Библиотека компонентов** (рис.3.3.2).

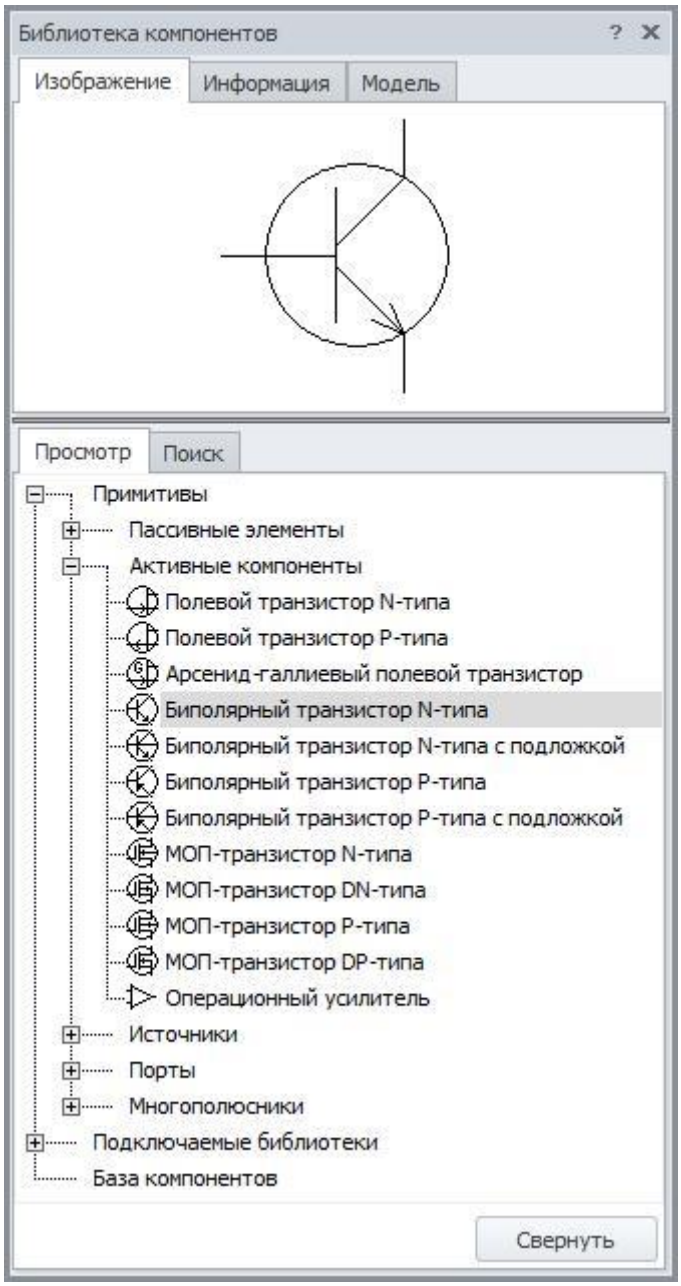


Рис. 3.3.2 Добавление элементов на схему из Библиотеки компонентов

При добавлении на схему Условное графическое обозначение (УГО) элемента «прицепляется» к указателю мыши и перемещается вместе с ним. Элемент может быть установлен в текущую позицию щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ). Выводы установленного на схему элемента, не связанные ни с какими соединениями, помечаются маркерами в виде пустых ромбов.

Если при перемещении курсора габаритный прямоугольник УГО элемента накладывается на расположенный на схеме элемент, узел или проводник, курсор меняет вид на , показывая, что установка элемента в текущую позицию невозможна.

Если при перемещении курсора выводы УГО элемента касаются выводов установленных на схему элементов или узлов, курсор меняет вид на , показывая, что при установке элемента в текущую позицию один или несколько его выводов будут подключены к существующим на схеме объектам.

Потенциальные точки соединения помечаются маркерами в виде залитых ромбов. Цвет маркеров устанавливается в настройках.

Щелчок ПКМ или нажатие клавиши Esc позволяет выйти из режима добавления элемента.

После добавления на схему новому элементу присваивается имя и назначается модель по умолчанию.

3.4 Редактирование параметров модели компонента

Каждая модель электронного компонента имеет набор входных параметров, с помощью которых описывается поведение данного электронного компонента схемы. Входные параметры модели могут быть изменены пользователем, и модель с новым набором параметров может быть сохранена под другим именем (рис. 3.4.1).

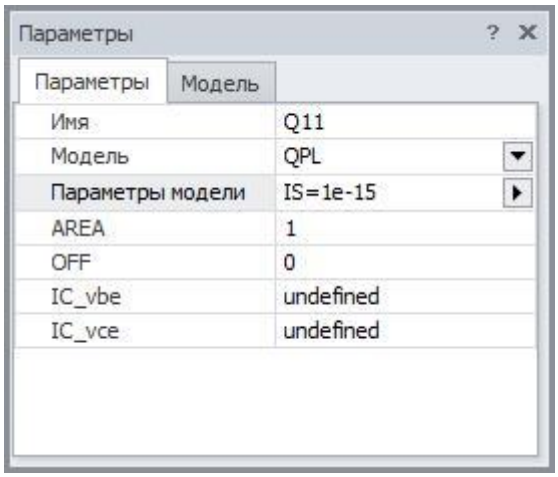


Рис. 3.4.1 Параметры модели биполярного транзистора

Параметры, значения которых отличаются от принятых по умолчанию, выделяются жирным шрифтом.

Сохранение модели с другим именем осуществляется с помощью нажатия ЛКМ на иконку с дискетой . Новая модель добавляется в список моделей, доступных для данного примитива. В дальнейшем пользователь может назначать модель компоненту, просто выбирая её из списка моделей (рис. 3.4.2).

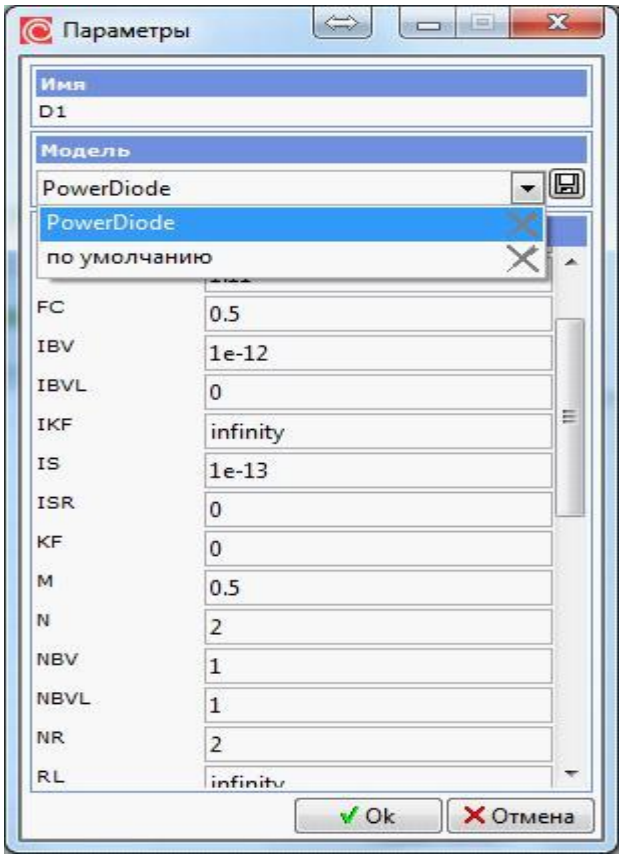


Рис. 3.4.2 Доступные модели диода

Список доступных моделей компонента открывается также по нажатию ЛКМ на имени модели на схеме (рис 3.4.3).

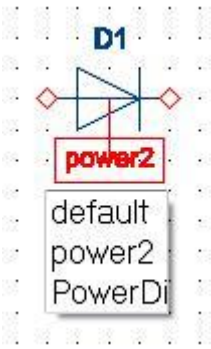


Рис. 3.4.3 Выпадающий список доступных моделей диода

3.5 Подсхемы

Подсхемы представляют собой схемные компоненты с собственной внутренней структурой и внешними выводами для включения в общую схему. Описание внутренней структуры подсхемы задаётся в виде схемы. Подсхемы могут включать в себя примитивы, другие подсхемы, соединения. При создании подсхем задаются описание подсхемы и её внешние выводы. Подсхема может иметь входные передаваемые параметры. Эти параметры могут быть использованы при задании параметров компонентов внутри подсхемы (например – номиналов резисторов или конденсаторов).

SimOne поддерживает два типа подсхем:

- Графические подсхемы (макромодели). Описание подсхемы представлено в графическом виде, подсхема создается с помощью схемотехнического редактора.
- Текстовые подсхемы (SPICE-подсхемы). Описание подсхемы представлено в текстовом виде SPICE-формата, подсхема создается с помощью текстового редактора.

Графические подсхемы, в отличие от текстовых, могут иметь несколько моделей. Каждая модель графической подсхемы содержит свой, в общем случае отличный от других моделей, фиксированный набор численных значений входных параметров подсхемы. При этом структура подсхемы у всех моделей подсхемы одинакова. Аналогия – модели примитивов.

3.6 Создание графической подсхемы

Окно создания подсхемы (рис. 3.6.1) может быть вызвано следующими командами:

- Меню **Добавить#Новая подсхема…**
- Панель инструментов: иконка .
- Горячие клавиши: **Ctrl+D**

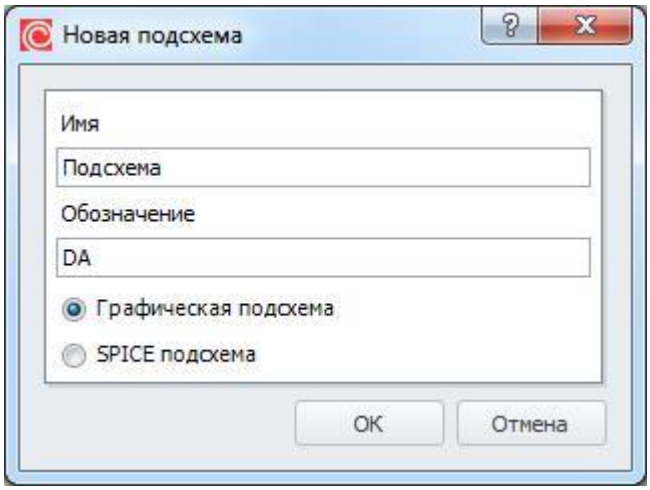


Рис. 3.6.1 Окно создания подсхемы

Для новой подсхемы указывается её имя и текстовое обозначение на схеме.

После нажатия кнопки

открывается вкладка графического редактора подсхемы. На этой вкладке пользователь рисует схему так же, как и в обычном окне схемотехнического редактора: добавляет необходимые компоненты, соединяет их проводниками.

При отображении на схеме подсхема будет иметь вид прямоугольника с выводами с правой и левой стороны, сверху и снизу. Это внешние выводы подсхемы. Добавить их в редакторе подсхем можно следующим образом: если пользователь хочет, чтобы выбранный проводник или вывод компонента стал внешним левым выводом, он присоединяет к нему вывод подсхемы с панели инструментов левой стороной. Аналогично, чтобы выбранный проводник или вывод компонента стал внешним правым выводом, пользователь присоединяет к нему вывод подсхемы с панели инструментов правой стороной. Аналогичные действия - для создания выводов сверху и снизу подсхемы.

Внешние выводы подсхемы также можно ставить через главное меню (рис. 3.6.2): **Добавить#Элемент#Порты.**

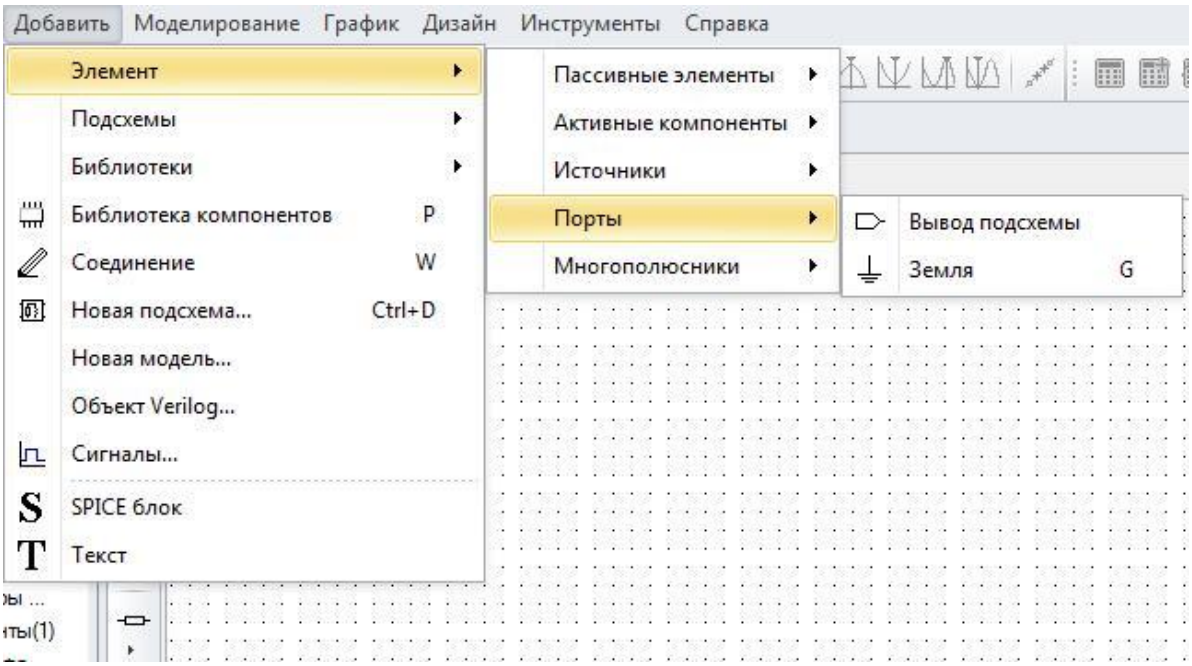


Рис. 3.6.2 Окно добавления внешних выводов подсхемы

Подсхема может иметь входные передаваемые параметры. Эти параметры аналогичны SPICE-параметрам подсхемы или параметрам, заданным командой **.PARAM**. Они могут быть использованы при задании параметров компонентов внутри подсхемы (например, номиналов резисторов, конденсаторов, внутри выражений функциональных источников).

Задать параметры подсхемы можно с помощью окна параметров подсхемы (рис.3.5.3):

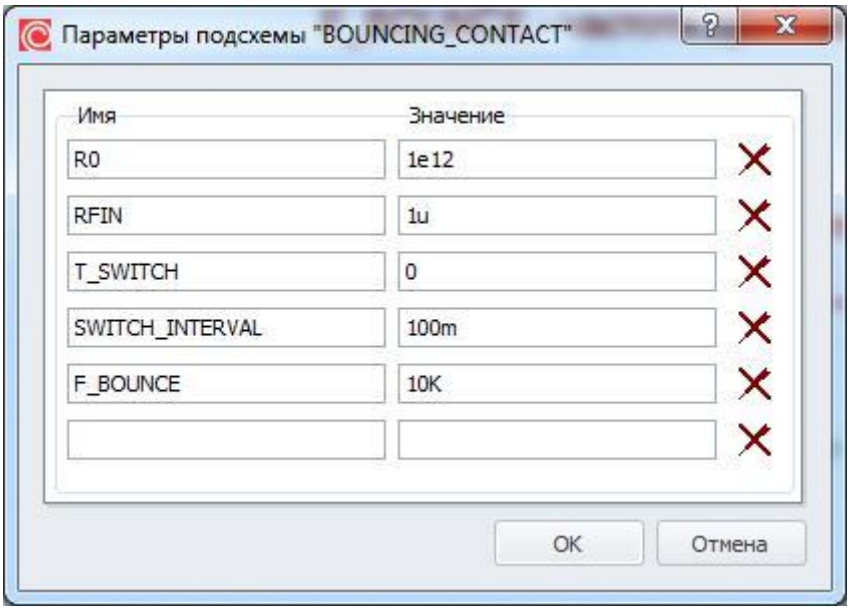


Рис. 3.6.3 Окно редактирования параметров подсхемы

Окно параметров вызывается из главного меню программы при активной вкладке редактирования подсхемы (должна быть открыта с именем подсхемы):

Редактировать#Параметры подсхемы… При добавлении нового параметра задаётся его имя и значение по умолчанию. В качестве последнего может быть использовано константное выражение.

3.7 Создание текстовой подсхемы

Окно создания текстовой подсхемы (рис. 3.7.1) может быть вызвано теми же командами, что и для создания графической подсхемы:

- Меню **Добавить#Новая подсхема…**
- Панель инструментов: иконка .
- Горячие клавиши: **Ctrl+D**

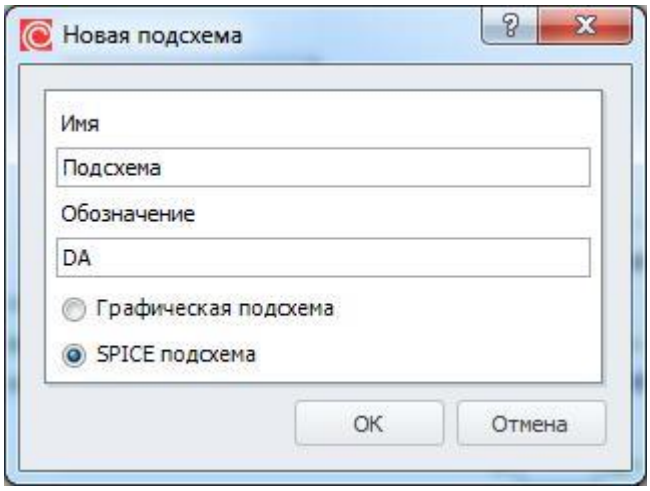


Рис. 3.7.1 Создание текстовой подсхемы

Для подсхемы указывается её имя и текстовое обозначение на схеме. После нажатия кнопки

открывается вкладка текстового редактора подсхемы. На этой вкладке пользователь создаёт обычную SPICE-подсхему. Синтаксис задания SPICE-подсхемы приведён в §5.21 X. Подсхема.

Внешние выводы подсхемы указываются пользователем после ключевого слова **.SUBCKT**. При отображении на схеме эти выводы будут разделены на правые и левые выводы прямоугольника подсхемы. При этом первая половина выводов, указанных в строке, будут отображаться левыми выводами, а вторая половина – правыми.
Возможность задания входных параметров текстовой подсхемы поддерживается синтаксисом SPICE.

3.8 Добавление подсхем в схему

После создания подсхема появляется в кэше документа и доступна для размещения на схеме. Для размещения подсхемы выберите её из списка существующих подсхем документа. Доступ к этому списку осуществляется двумя способами:

- Меню **Добавить#Подсхема…**
- **Библиотека Компонентов#Кэш документа#Подсхемы.**

В первом случае подменю **Подсхема** открывает выпадающий список всех подсхем документа (рис.3.8.1).

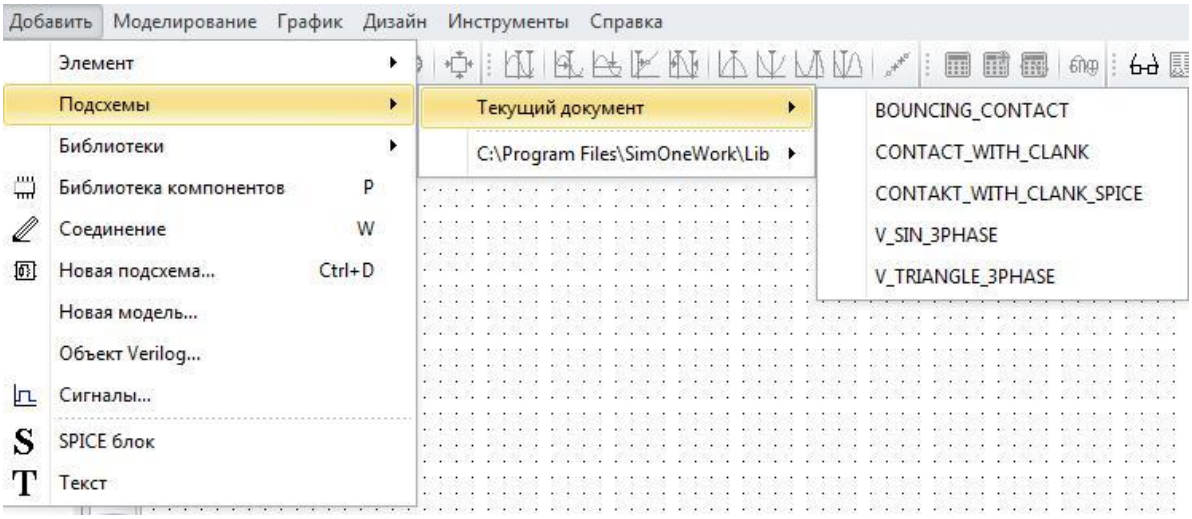


Рис. 3.8.1 Добавление подсхемы с помощью меню

Во втором случае добавление существующей подсхемы документа на разрабатываемую схему выполняется с помощью раздела **Подсхемы Кэша документов** окна **Библиотеки компонентов** (рис.3.8.2).

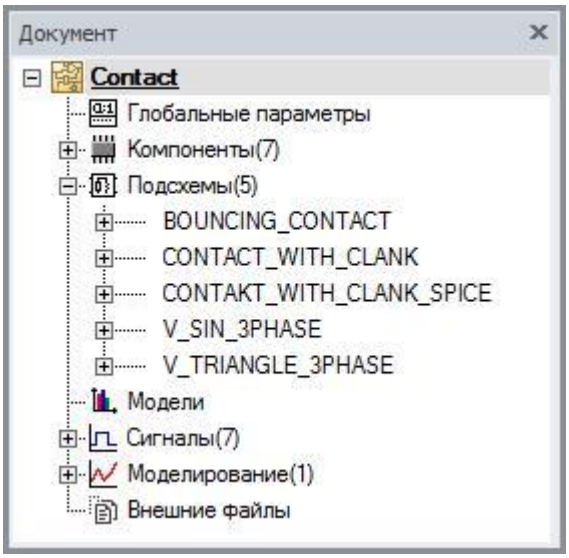


Рис. 3.8.2 Добавление подсхемы с помощью Библиотеки компонентов

При добавлении на схему УГО подсхемы «прицепляется» к указателю мыши и перемещается вместе с ним. Подсхема может быть установлена в текущую позицию щелчком ЛКМ. Выводы установленной на схему подсхемы, не связанные ни с какими соединениями, помечаются маркерами в виде пустых ромбов.

Если при перемещении курсора габаритный прямоугольник УГО элемента накладывается на расположенный на схеме элемент, узел или проводник, курсор меняет вид на , показывая, что установка подсхемы в текущую позицию невозможна.

Если при перемещении курсора выводы УГО элемента касаются выводов установленных на схему элементов или узлов, курсор меняет вид на , показывая, что при установке подсхемы в текущую позицию один или несколько выводов будут подключены к существующим на схеме объектам.

Потенциальные точки соединения помечаются маркерами в виде залитых ромбов. Цвет маркеров устанавливается в настройках.

Щелчок ПКМ или нажатие клавиши Esc позволяет выйти из режима добавления подсхемы.

3.9 Редактирование подсхемы

Изменения параметров и структуры подсхемы производится в соответствующем (графическом или текстовом) редакторе в открытой вкладке подсхемы. Открыть вкладку редактирования подсхемы можно двумя способами:

- С помощью **Панели документов**.
- Из страницы основной схемы в схемотехническом редакторе.

В первом случае нажмите ЛКМ на имени нужной подсхемы из списка в разделе **Подсхемы** документа на панели документов (рис.3.9.1), при этом выбранная подсхема откроется для редактирования.

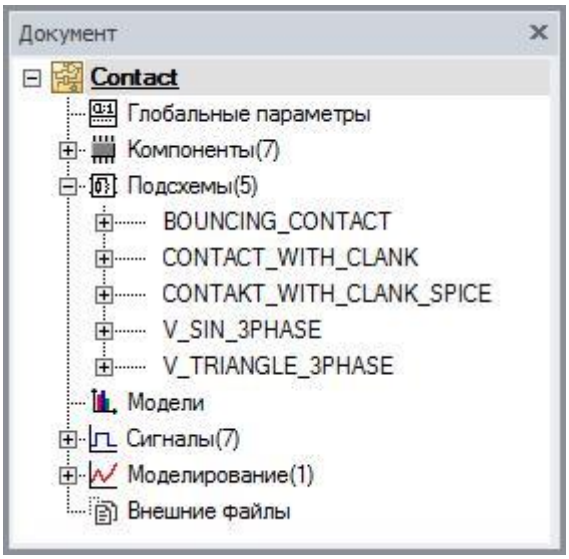


Рис. 3.9.1 Отображение списка подсхем на панели документов

Во втором случае нажатие ПКМ по УГО экземпляра подсхемы, поставленного на исходную схему, приводит к открытию контекстного меню, которое позволяет перейти на вкладку редактирования данной подсхемы (рис. 3.9.2).

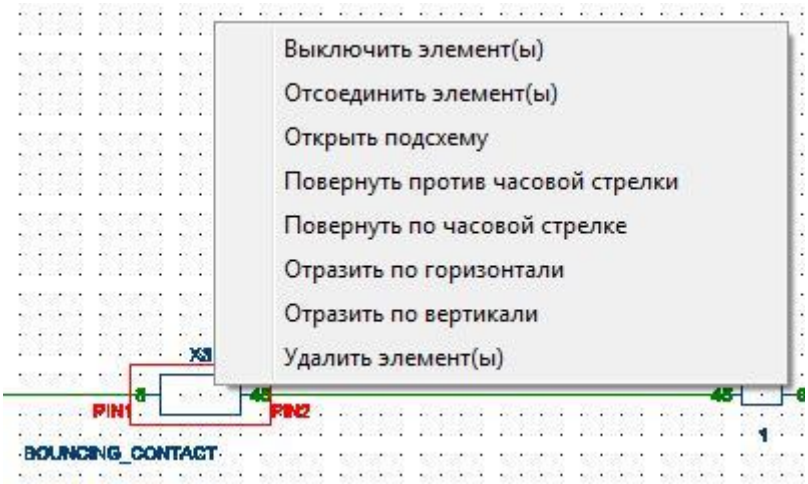


Рис. 3.9.2 Контекстное меню редактирования подсхемы

Изменения, сделанные при редактировании подсхемы, автоматически сохраняются в документе в момент переключения со вкладки редактирования текущей подсхемы или в момент её закрытия.

Можно редактировать модель графической подсхемы (в отличие от текстовой), просто изменяя значения её входных параметров. Такое редактирование доступно со страницы основной схемы в схемотехническом редакторе. Двойной щелчок ЛКМ по экземпляру графической подсхемы вызывает окно параметров подсхемы (рис. 3.9.3)

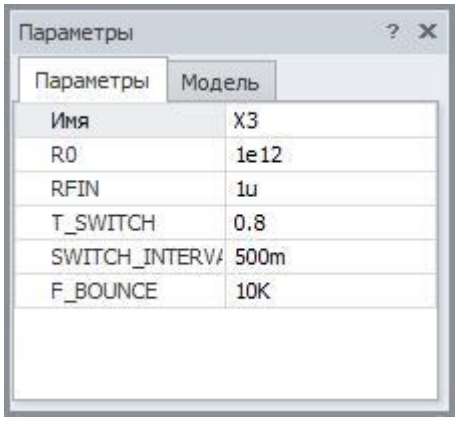


Рис. 3.9.3 Окно редактирования параметров графической подсхемы

3.10 Редактирование имени схемного элемента

Каждому компоненту, добавленному на схему (объектам из коллекции примитивов и компонентной базы, подсхеме и др.) присваивается своё уникальное имя.

Изменить имя компонента можно двумя способами:

- в строке **Имя** окна **Параметры компонента**.
- Редактируя текстовое поле с именем компонента на схеме.

В первом случае (рис. 3.10.1) в строке **Имя** окна **Параметры** нужно ввести новое имя компонента.
Во втором случае редактируется имя компонента с помощью нажатия ЛКМ на текстовом окне с именем компонента на схеме. Новое имя сохраняется по нажатию клавиши ENTER, либо по нажатию ЛКМ в любом месте схемы. Клавиша ESC – отмена редактирования имени компонента.

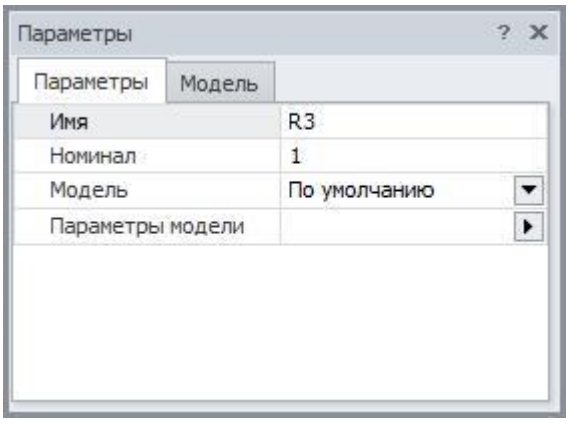


Рис. 3.10.1 Редактирование имени компонента схемы

3.11 Соединения

В **SimOne** соединения предназначены для обозначения наличия гальванической связи между элементами. Каждое соединение состоит из узлов и сегментов проводников и имеет своё имя, уникальное в пределах схемы или подсхемы.

Все узлы и сегменты, имеющие одинаковое имя, считаются одним соединением, даже если они визуально не соединены.

Имя соединения отображается возле выводов элементов, подсоединённых к нему, и возле узлов, соединённых не более чем с одним сегментом проводника.

Примечание: соединение с именем GND или 0 соответствует узлу с нулевым потенциалом (земле) независимо от того, подсоединены ли к нему элементы «земля».

3.12 Добавление соединений

Переход в режим добавления соединений на схеме осуществляется следующими способами:

- С помощью главного меню: **Добавить#Соединение**.
- С помощью Панели инструментов: иконка .
- горячей клавишей **Ctrl+W**.

При входе в режим добавления соединений курсор меняет вид на . При наведении курсора на элемент он меняет вид на , показывая, что начало или окончание соединения в текущей позиции невозможно. При наведении курсора на вывод элемента, узел или сегмент проводника курсор меняет вид на , показывая, что при начале или окончании соединения в текущей точке оно будет объединено с существующим на схеме соединением. Потенциальная точка соединения помечается маркером в виде залитого ромба. Цвет маркеров устанавливается в настройках. Щелчок ЛКМ в выбранной точке начинает прокладку соединения. При перемещении курсора в направлении перемещения тянется сегмент проводника. Сегменты могут прокладываться только горизонтально или вертикально. Повторный щелчок ЛКМ приводит к созданию сегмента проводника и началу прокладки нового сегмента из точки окончания предыдущего сегмента.

- Если создаваемый сегмент не подсоединён ни к одному из существующих соединений, то создаётся новое соединение, состоящее из этого сегмента и узлов на его концах.
- Если создаваемый сегмент одним концом присоединён к существующему соединению, то он добавляется в это соединение.
- Если создаваемый сегмент обоими концами присоединён к разным существующим соединениям, то эти соединения объединяются в одно, после чего результирующее соединение получает имя одного из исходных соединений.
- Если хотя бы одно из исходных соединений – земля, то результирующее соединение также будет землёй.

Щелчок ПКМ или нажатие клавиши Esc при прокладке проводника отменяет текущую прокладку и позволяет указать новую начальную точку.

Выход из режима добавления соединения осуществляется с помощью:

- нажатия ПКМ,

- нажатия клавиши Esc,
- главного меню: **Добавить**#**Соединение**,
- нажатия кнопки на Панели инструментов.
- горячей клавишей **Ctrl+W**.

3.13 Переименование соединений

Переименование соединения в SimOne осуществляется изменением текстового поля, отображающего его имя на схеме. Однако переименование соединения немного отличается от простого изменения текстового поля. При двойном щелчке ЛКМ по названию соединения на схеме вызывается окно переименования соединения (рис.3.12.1).

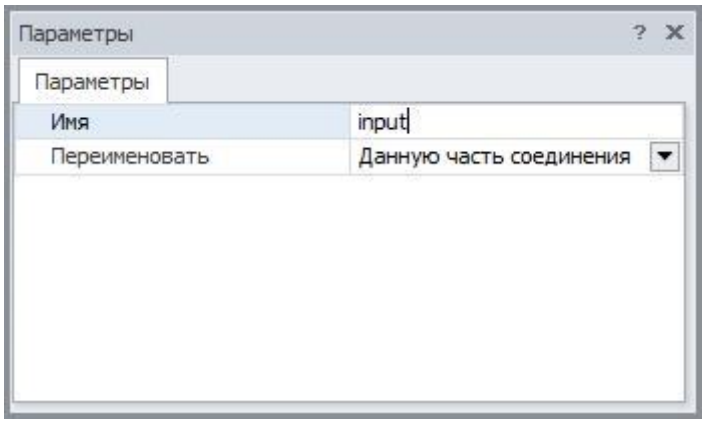


Рис. 3.13.1 Окно переименования соединения

В нём пользователь может сделать выбор:

- переименовать данную часть соединения,
- переименовать соединение полностью.

Соединение может включать более чем одну связную группу узлов и проводников. Эти группы не связаны между собой визуально, но имеют одинаковое имя. Переименование части соединения позволяет переименовать одну связную группу, не изменяя остальные. При этом такая группа будет отделена от соединения и добавлена к соединению с новым именем.

Переименование соединения целиком позволяет одновременно изменить имена всех групп, принадлежащих одному соединению. Если соединение состоит из одной связной группы, то оба варианта равнозначны. Если при переименовании задать имя существующего соединения, то переименовываемое соединение (или его часть) будет объединено с существующим. В противном случае, если переименовывается всё соединение, оно просто получит новое имя. Если переименовывается часть соединения, то она будет выделена в отдельное новое соединение.

3.14 Текст

Текстовые объекты необходимы для отображения на схеме текста. Они позволяют добавлять, удалять, редактировать текстовые строки.

3.15 Добавление текста на схему

Добавление на схему текстового объекта осуществляется с помощью главного меню (рис. 3.15.1): **Добавить#Текст** либо кнопкой **T** панели инструментов .

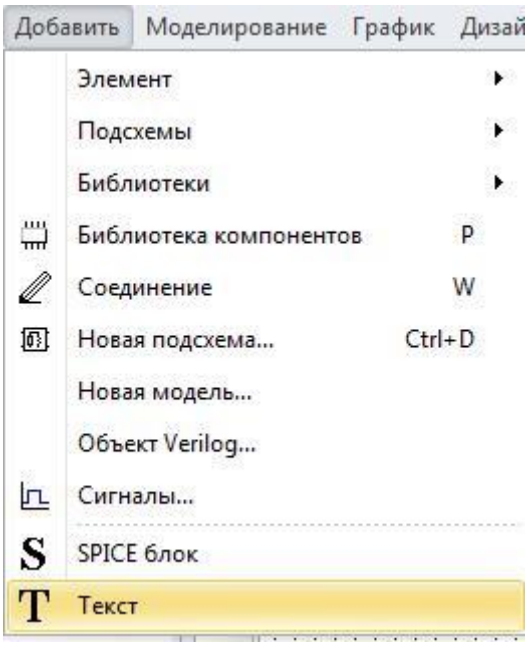


Рис. 3.15.1 Добавление текстового объекта с помощью меню

При добавлении на схему Условное графическое обозначение (УГО) элемента «прицепляется» к указателю мыши и перемещается вместе с ним. Элемент устанавливается в текущую позицию нажатием ЛКМ, при этом текстовый объект, в отличие от других объектов схемы, может быть установлен поверх установленных на схеме компонентов, проводников, других текстовых объектов. Нажатие ПКМ или кнопки ESC отменяет установку текстового объекта.

3.16 Редактирование текста

Для ввода нового текста или редактирования исходного текста дважды щёлкните ЛКМ по нужному текстовому объекту. После этого в текстовом объекте откроется окно редактора. Интерфейс текстового редактора стандартен, за исключением перевода строки: строка переводится клавишами **Shift+Enter**.

По нажатию клавиши Enter, или по нажатию ЛКМ в любой точки схемы осуществляется выход из режима редактирования текста.

Для изменения стиля текста вызовите окно управления шрифтами (рис. 3.16.1) с помощью контекстного меню: нажатие ПКМ (рис. 3.16.2).

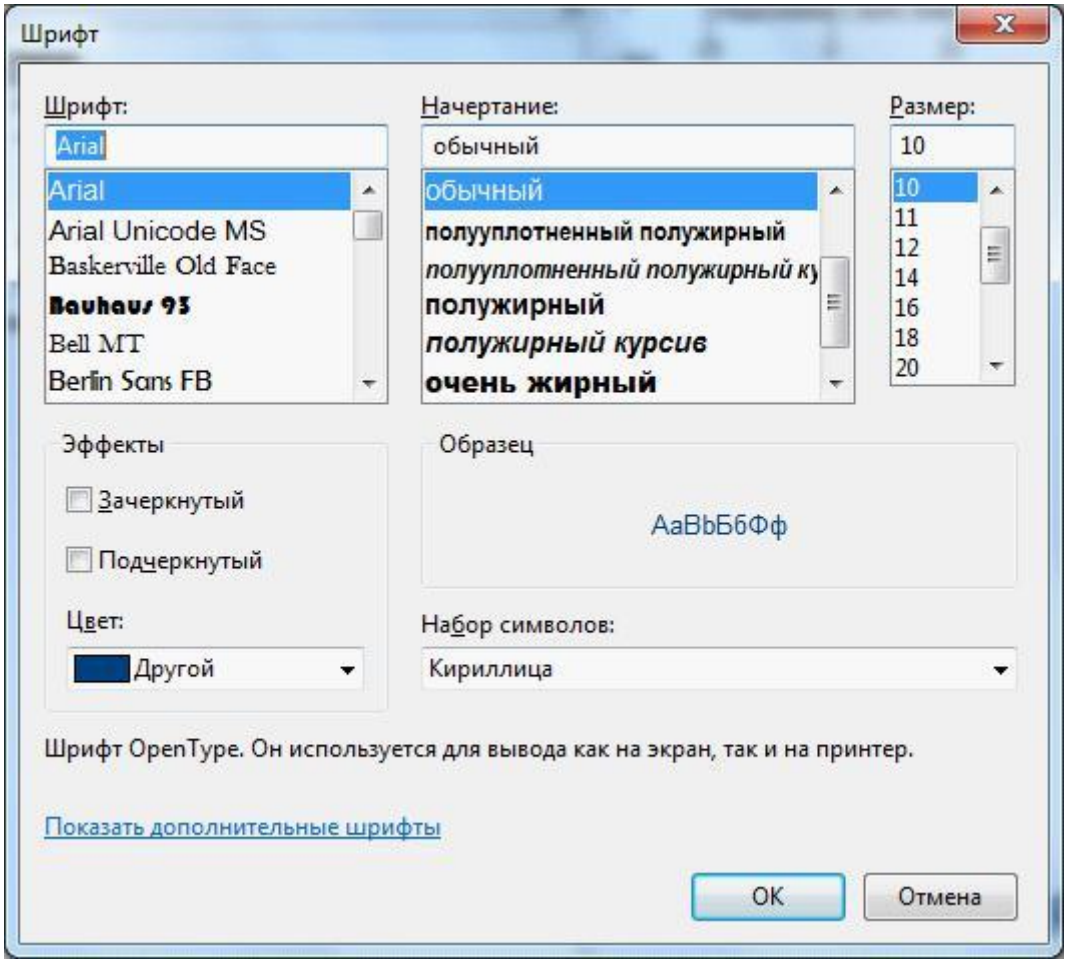


Рис. 3.16.1 Окно изменения шрифта

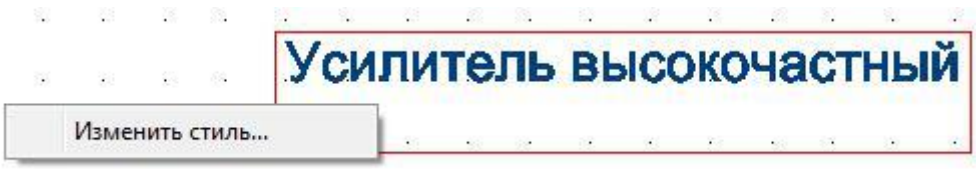


Рис. 3.16.2 Контекстное меню изменения стиля текста

Окно изменения шрифта позволяет выбрать тип шрифта, начертание, размер, цвет и пр.

3.17 SPICE-блоки

SPICE-блоки – это текстовые объекты, текст которых **SimOne** интерпретирует как SPICE-текст. С их помощью можно задавать описание схемы в виде SPICE-нетлиста, задание на моделирование схемы и постобработку результатов моделирования, переменные и выражения для вывода их на графики. Также с помощью SPICE-блоков удобно задавать глобальные параметры схемы, температуру расчёта и пр. Подробнее о возможностях SPICE-формата см. главу 2 Текстовый редактор SPICE-формата..

3.18 Добавление SPICE-блоков на схему

Добавление на схему текстового объекта осуществляется с помощью главного меню (рис. 3.18.1): **Добавить#SPICE-блок** либо кнопкой **S** панели инструментов.

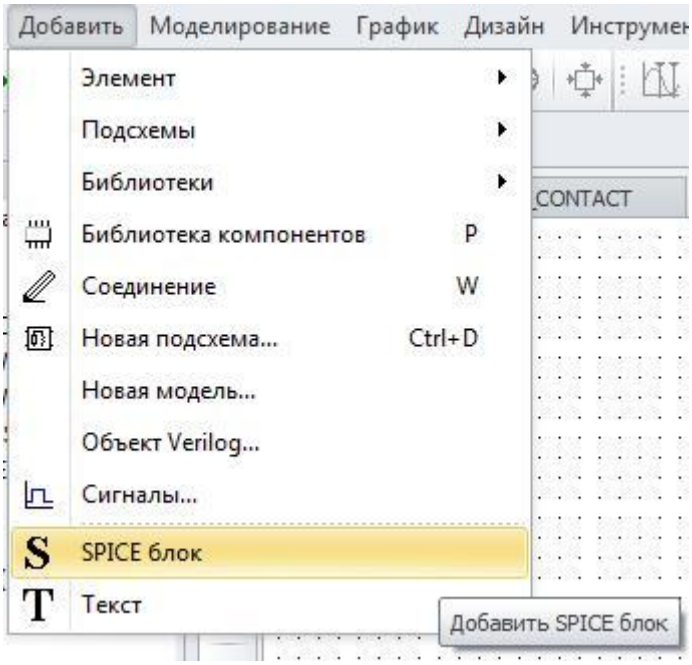


Рис. 3.18.1 Добавление объекта SPICE-блока с помощью меню

При добавлении на схему Условное графическое обозначение (УГО) элемента «прицепляется» к указателю мыши и перемещается вместе с ним. Элемент устанавливается в текущую позицию нажатием ЛКМ, при этом объект SPICE-блока может быть установлен поверх установленных на схеме компонентов, проводников, других текстовых объектов.

Нажатие ПКМ или кнопки ESC отменяет установку объекта SPICE-блока.

3.19 Редактирование объектов SPICE-блоков

Для введения нового SPICE-текста или редактирования исходного дважды щёлкните ЛКМ по нужному объекту SPICE-блока. После этого в текстовом объекте откроется окно редактора. Функции текстового редактора стандартны, за исключением перевода строки: строка переводится клавишами Shift+Enter.

По нажатию клавиши Enter, или по нажатию ЛКМ в любой точки схемы осуществляется выход из режима редактирования текста.

Примечание: после выхода из режима редактирования SPICE-текста программа делает синтаксический разбор введенного текста блока. Если синтаксический разбор обнаружит несоответствие текста поддерживаемым форматам, программа выдаст сообщение об ошибке (рис. 3.19.1) и снабдит такой SPICE-блок значком в левом верхнем углу (рис. 3.19.2).

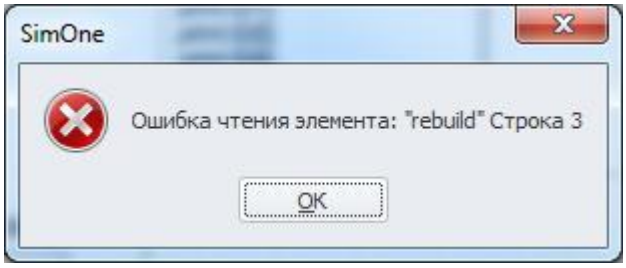


Рис. 3.19.1 Сообщение об ошибках текста в SPICE-блоке

Рис. 3.19.2 SPICE-блок с обнаруженной ошибкой в тексте

Для изменения стиля текста следует вызвать окно управления шрифтами (рис. 3.19.3) с помощью контекстного меню: нажатие ПКМ (рис. 3.19.4).

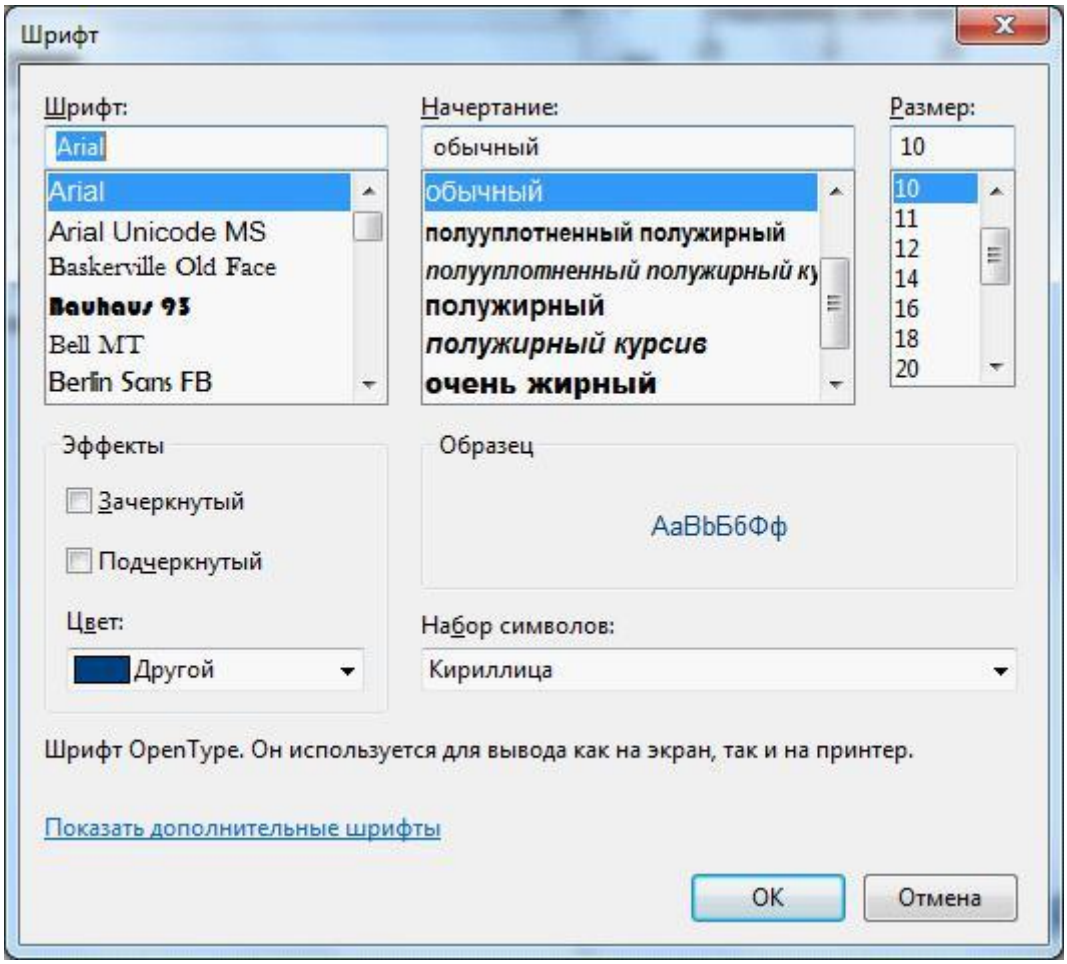


Рис. 3.19.3 Окно изменения шрифта

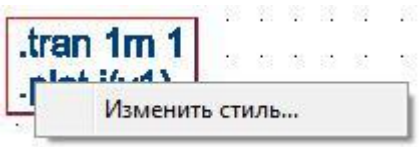


Рис. 3.19.4 Контекстное меню изменения стиля текста

Окно изменения шрифта позволяет выбрать тип шрифта, начертание, размер, цвет и пр.

3.20 Создание новой схемы

Новая схема создается в **SimOne** с помощью главного меню программы: **Файл** # **Создать** # **Схема**, или с помощью кнопки Панели инструментов.

На открытую страницу схемы пользователь добавляет необходимые ему компоненты схемы из списка:

- примитивы (§3.2 Примитивы),
- компоненты из библиотек и компонентной базы (глава 4 Библиотека компонентов),
- подсхемы (§3.5 Подсхемы),
- SPICE-блоки (§3.17 SPICE-блоки),
- текст

Все добавленные компоненты соединяются в нужном порядке проводниками (§3.11 Соединения). Схема создана.
С помощью пункта **Файл#Сохранить как…** главного меню программы или кнопки Панели инструментов схема может быть сохранена на носитель.

3.21 Общий вид схемы

На рис. 3.21.1 приведён пример созданной в программе схемы.

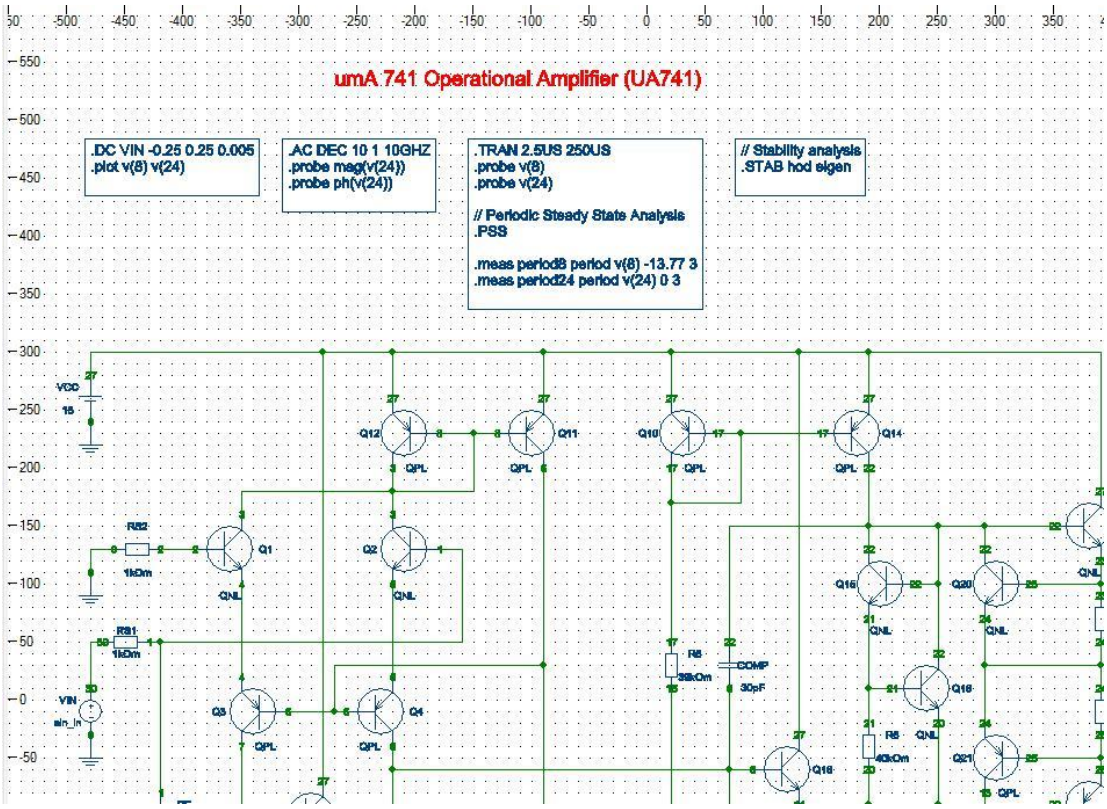


Рис. 3.21.1 Фрагмент схемы, созданной в SimOne

Схема содержит объекты примитивов: биполярные транзисторы, резисторы, батарею, независимый источник напряжения, SPICE-блоки с заданием на моделирование схемы, текстовый объект, содержащий название схемы. Компоненты схемы соединены друг с другом проводниками.

Настройка цветов отображения компонентов и проводников на схеме делается с помощью вкладки **Цвета** окна **Настройки** (рис. 3.21.2), вызываемого из главного меню: **Инструменты#Настройки.**

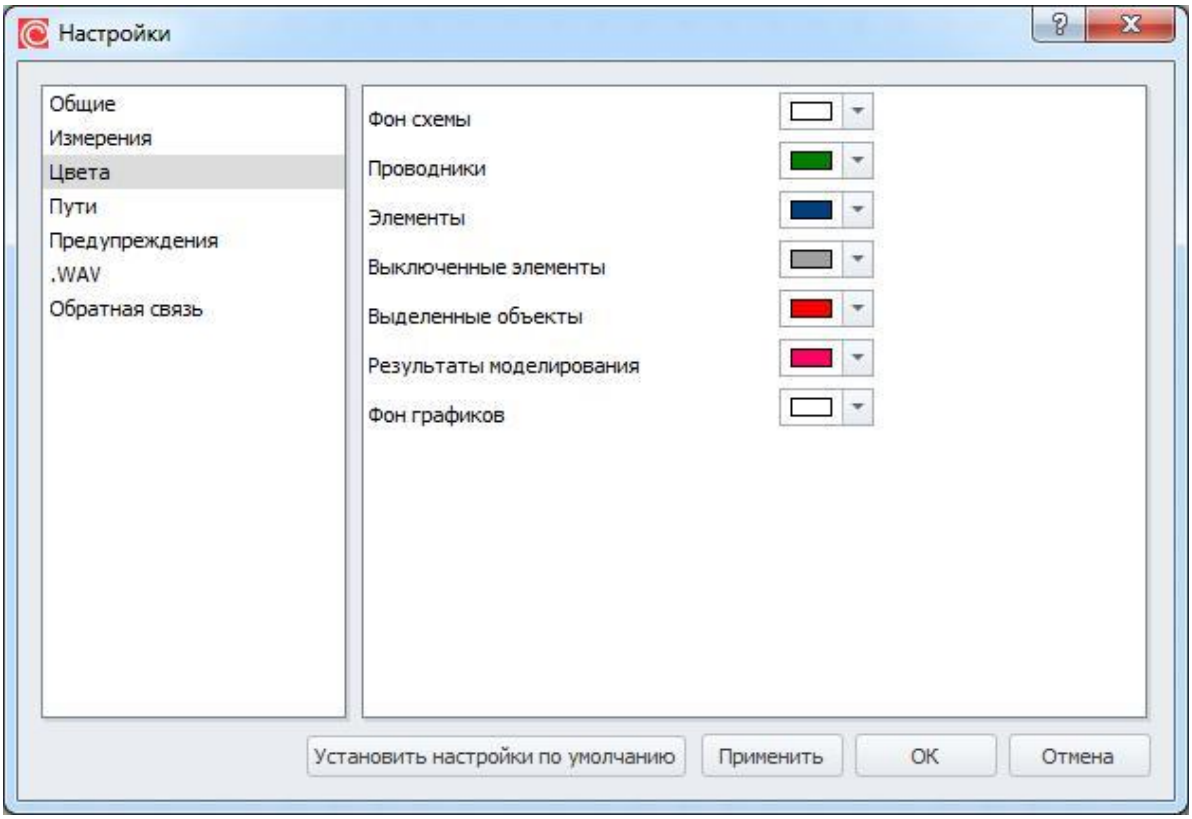


Рис. 3.21.2 Настройка цвета схемотехнического редактора

Настройки цветов редактора пояснены в таблице 3.21.1:

Таблица 3.21.1 Настройки цветов схемотехнического редактора

Название	**Описание**	**По умолчанию**
Цвет фона	Цвет фона в схемотехническом редакторе.	Белый
Цвет проводников	Цвет проводников на схеме в схемотехническом редакторе.	Зеленый
Цвет элементов	Цвет элементов схемы в схемотехническом редакторе.	Синий
Цвет выделенных объектов	Цвет выделенных объектов схемы в схемотехническом редакторе.	Красный
Цвет результатов моделирования	Цвет вывода результатов моделирования на схему в схемотехническом редакторе.	Малиновый

На схеме отображаются:

•

Атрибуты компонентов схемы. Сюда входит имя компонента и атрибуты, специфичные для разных компонентов: имя модели транзистора или подсхемы; номиналы резисторов, ёмкостей и индуктивностей; коэффициент усиления операционного усилителя и т.д.

- Отобразить/скрыть атрибуты: **Вид#Отображать атрибуты элементов**, .
- Имена соединений (цепей) схемы.
- Отобразить/скрыть имена цепей: **Вид#Отображать имена цепей**, .
- Токи через компоненты. Значения токов, полученные в результате моделирования схемы.
- Отобразить/скрыть токи: **Вид#Отображать токи**, .
- Потенциалы узлов схемы. Значения потенциалов узлов, полученные в результате моделирования схемы.
- Отобразить/скрыть потенциалы: **Вид#Отображать потенциалы узлов**,

Масштабирование просмотра схемы осуществляется следующими способами:

- Прокрутка колеса мыши: Прокрутка от себя – приближение схемы, к себе – удаление схемы.
- Кнопки клавиатуры «+» – приближение схемы, «–» – отдаление схемы.
- Режим масштабирования: Меню **Вид#Масштабировать область**, кнопка Панели инструментов. В этом режиме курсор мыши принимает вид . Приближение: при нажатой ЛКМ сдвинуть курсор из II квадранта в IV квадрант (слева сверху – вправо вниз).
- Удаление – при нажатой ЛКМ переместить курсор из квадранта IV в квадрант II (справа снизу – влево вверх).
- Выход из режима – кнопка **ESC**, нажатие ПКМ.

3.22 Редактирование схемы

Возможности, доступные при редактировании схемы, приведены в таблице 3.22.1:

Таблица 3.22.1 Действия при редактировании схемы

Действие редактирования	Способ выполнения
Выделение компонента или сегмента проводника схемы	Нажать ЛКМ на нужном объекте
Повернуть компонент против часовой стрелки	Меню: **Редактировать#Повернуть против часовой стрелки.** Горячие клавиши: **L.**
Повернуть компонент по часовой стрелке	Меню: **Редактировать#Повернуть по часовой стрелке.** Горячие клавиши: **R.**
Отразить компонент по горизонтали	Меню: **Редактировать#Отразить по горизонтали.** Горячие клавиши: **H.**
Отразить компонент по вертикали	Меню: **Редактировать#Отразить по вертикали.** Горячие клавиши: **V.**
Разрезать соединение	В режиме разрезания соединений нажать ЛКМ на проводнике, где необходимо разрезать соединение. Вход в режим – кнопка Панели инструментов или пункт меню **Редактировать#Разрезать соединение.** Выход из режима – кнопка ESC или ПКМ.
Отсоединить компонент от проводников	В режиме разрезания соединений нажать ЛКМ на компоненте, который необходимо отсоединить от проводников.

Выделение фрагмента схемы	Движение мышью при нажатой ЛКМ с выделением рамкой необходимого участка схемы
Снятие выделения фрагмента схемы	Нажать ЛКМ в любое не выделенное место схемы
Копирование выделенного фрагмента схемы в буфер обмена	Меню: **Редактировать#Копировать** Горячие клавиши: **Ctrl+C.**
Вставить фрагмент схемы из буфера обмена	Меню: **Редактировать#Вставить.** Горячие клавиши: **Ctrl+V.**
Вырезать выделенный фрагмент схемы	Меню: **Редактировать#Вырезать.** Горячие клавиши: **Ctrl+X.**
Удалить выделенный фрагмент схемы	Меню: **Редактировать#Вырезать.** Горячие клавиши: **Delete.**
Отменить действие	Меню: **Редактировать#Отменить.** Горячие клавиши: **Ctrl+Z.**
Вернуть отменённое действие	Меню: **Редактировать#Повтор.** Горячие клавиши: **Ctrl+Y.**

Редактирование компонентов схемы подробно описано в параграфах, посвящённых описанию компонентов:

- редактирование имён компонентов – в §3.10 Редактирование имени схемного элемента,
- моделей компонентов – в §3.4 Редактирование параметров модели компонента,
- подсхем – в §3.9 Редактирование подсхемы,
- SPICE-блоков – в §3.19 Редактирование объектов SPICE-блоков,
- текстовых объектов – в §3.16 Редактирование текстовых объектов.

3.23 Включение и выключение компонентов

Компоненты поставленные на схему и соединенные в электрическую цепь могут оперативно выключаться из процесса моделирования и подключаться в него. Это делается с помощью контекстного меню, вызываемого по щелчку ПКМ на компоненте, который необходимо выключить или включить (рис. 3.23.1).

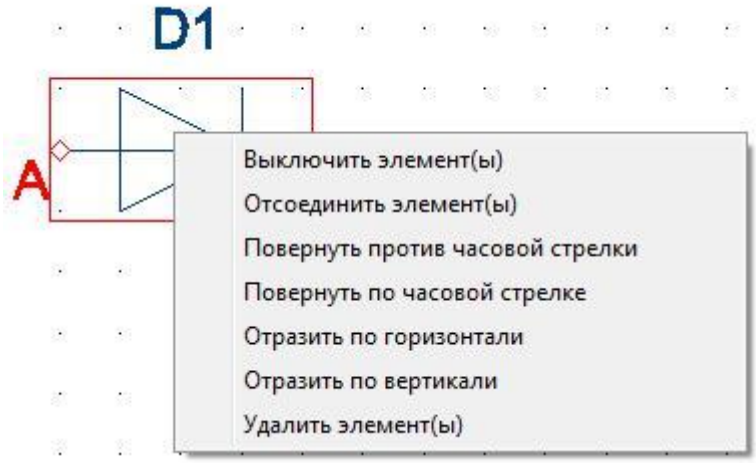


Рис. 3.23.1 Выключение компонента из моделирования

Компоненты, не участвующие в процессе моделирования, отображаются на схеме серым цветом (рис. 3.23.2).

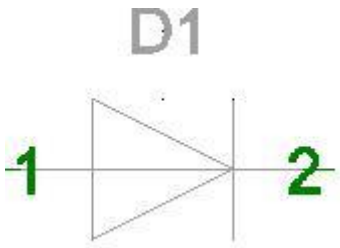


Рис. 3.23.2 Выключение компонента из моделирования

Включение компонента в процесс моделирования производится также с помощью контекстного меню (рис. 3.23.3).

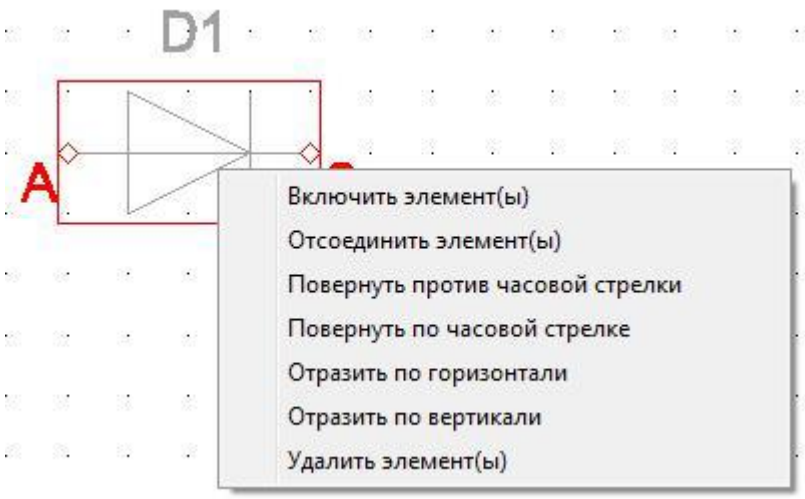


Рис. 3.23.2 Включение компонента в моделирование

Все компоненты, которые добавляются на схему, по умолчанию считаются участвующими в процессе моделирования.

3.24 Запуск моделирования схемы

Для запуска моделирования графических схем в **SimOne** создан механизм симуляций. Интерфейс задания параметров симуляций доступен в специальном пункте главного меню **Моделирование** (рис. 3. 24.1).

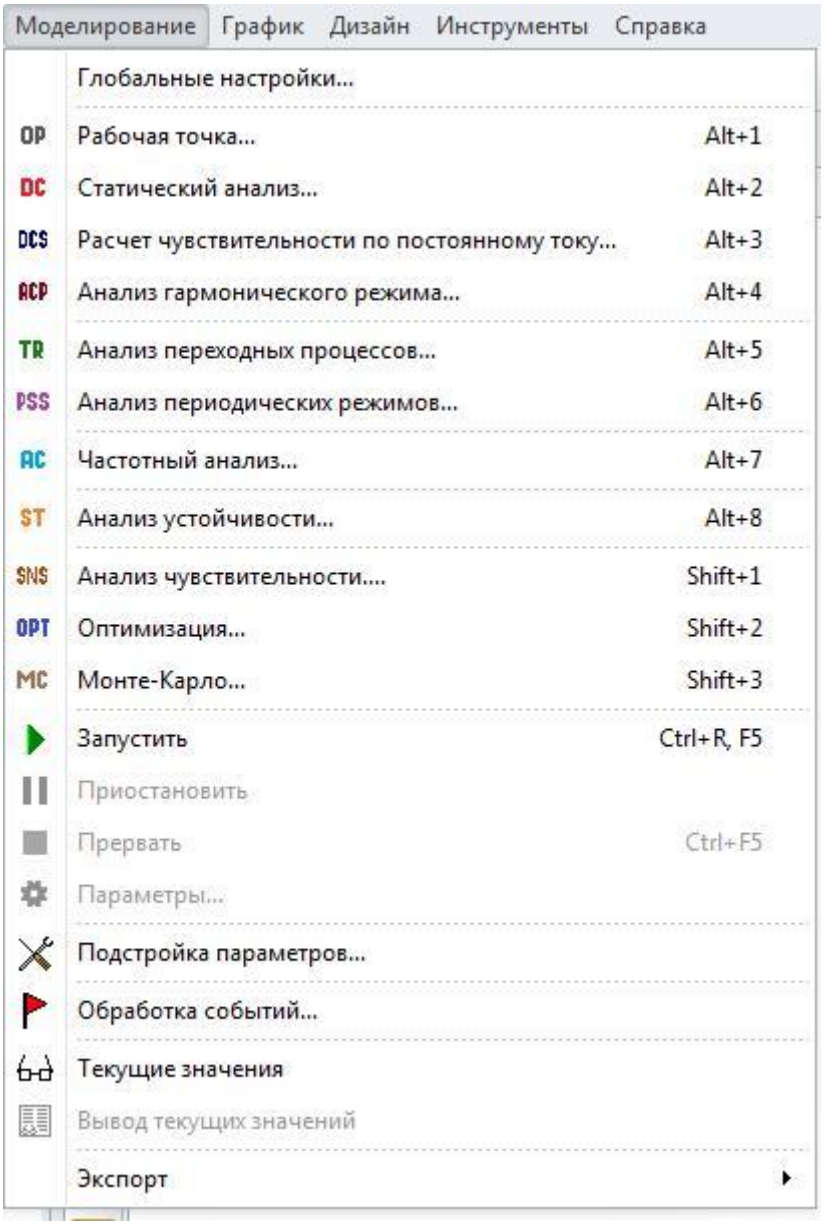


Рис. 3.24.1 Пункт "Моделрование" главного меню

С помощью диалогового окна задания параметров (рис. 3.24.2) пользователь создаёт новый профиль симуляции и запускает расчёт.

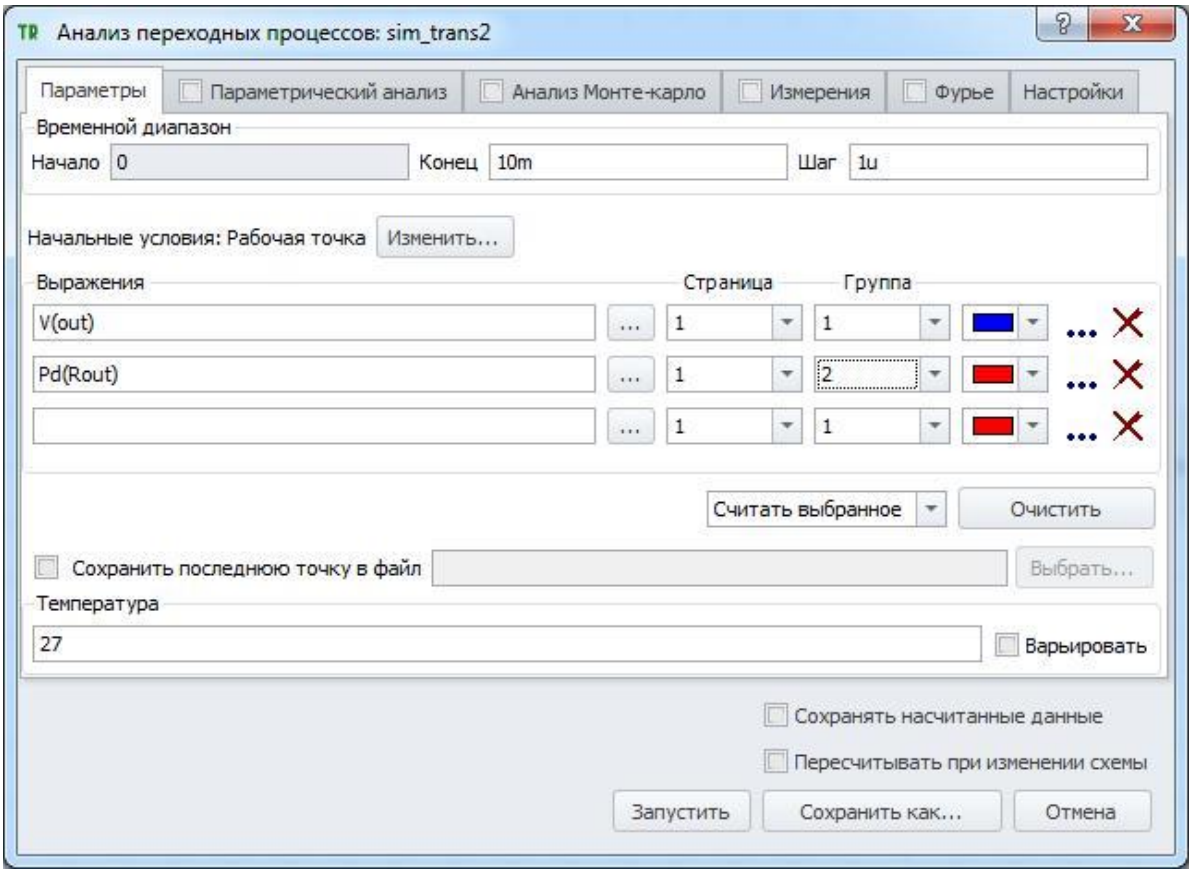


Рис. 3.23.2 Задание параметров симуляция

Подробно о механизме симуляций и моделировании схем см. главу 7 Моделирование, а также главы 8–19.

Если созданная графическая схема содержит в себе SPICE-блоки с заданием на моделирование, то запустить моделирование схемы можно так же, как и SPICE-нетлист:

1. с помощью команды **Моделирование#Запустить**,
2. кнопкой на панели инструментов,
3. с помощью горячих клавиш **Ctrl+R, F5**.

Описание синтаксиса задания на моделирования приводится в главах 8–19, посвящённых конкретным видам моделирования схем.

Синтаксис задания на постобработку данных моделирования см. в главе 21 Измерения.

Примечание: симуляции, созданные пользователем с помощью окна задания параметров симуляции (рис. 3.24.2) помещаются в

документе в раздел **Пользовательские симуляции**. Симуляции, созданные в результате запуска моделирования схемы с помощью SPICE-блоков, помещаются в раздел **Порождённые симуляции** документа программы.

3.25 Использование внешних библиотек

Файлы-схемы **SimOne** (**`.*ssch`**), содержащие графические подсхемы (макромодели) и тестовые подсхемы (SPICE подсхемы) могут быть использованы в качестве библиотек подсхем. Все подсхемы, содержащиеся в них могут быть подключены и доступны для использования в текущем документе.

Для этого пользователю достаточно указать путь к этому соответствующему файлу. Путь указывается в строке **Пути к файлам подсхем (`*.ssch`)** вкладки **Пути** окна **Настройки** (рис. 3.25.1).

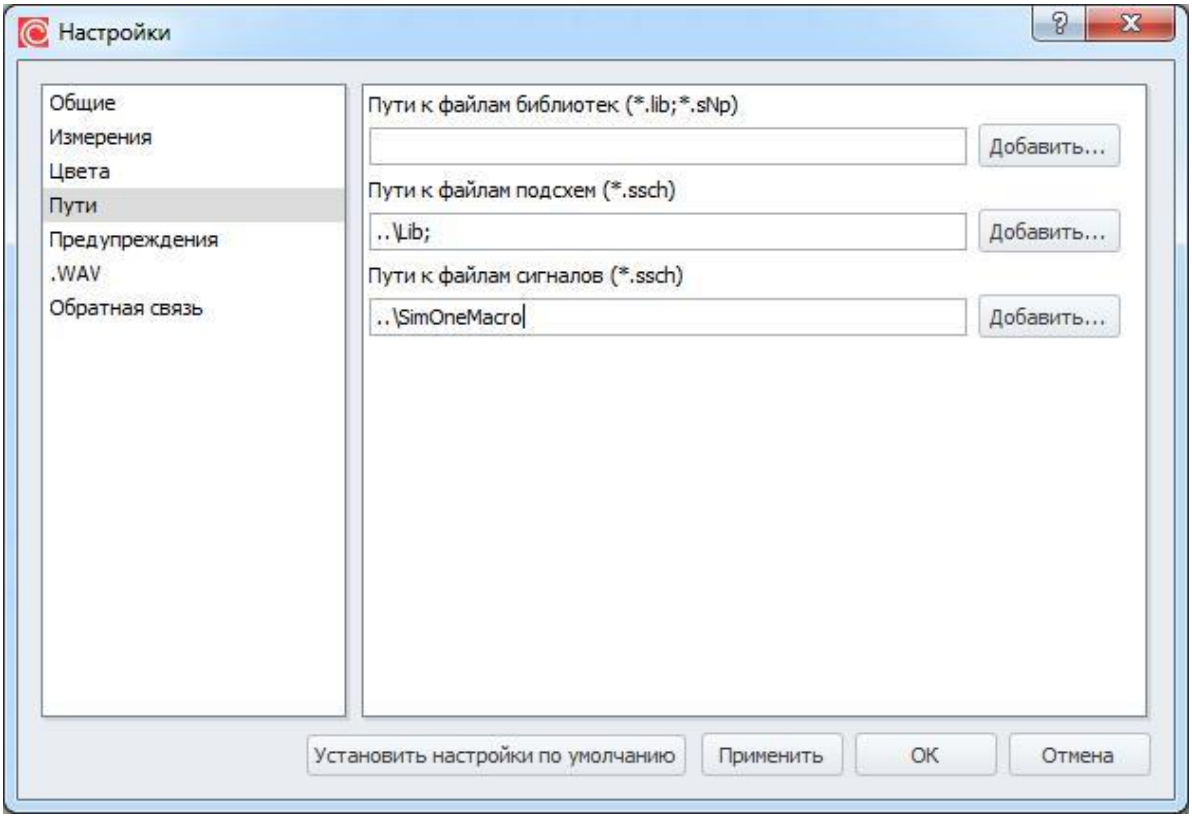


Рис. 3.25.1 Пути к файлам библиотек подсхем

Добавление нового пути осуществляется вводом соответствующего текста в строку либо с помощью вызова стандартного интерфейса нажатием ЛКМ на кнопку **Добавить**. В строке могут быть указаны несколько путей к файлам библиотек. В этом случае пути должны быть отделены друг от друга точкой с запятой без пробелов.

Подключенные таким образом подсхемы из файлов-библиотек станут доступны для размещения на схеме.
Доступ к списку доступных подсхем документа осуществляется двумя способами:

- Меню **Добавить # Подсхемы # <Имя файла библиотеки> # <Имя подсхемы>**
- **Библиотека Компонентов # Библиотеки подсхем # <Имя файла библиотеки> # <Имя подсхемы>.**

В первом случае подменю **Подсхемы** открывает выпадающий список всех подсхем документа (рис. 3.25.2).

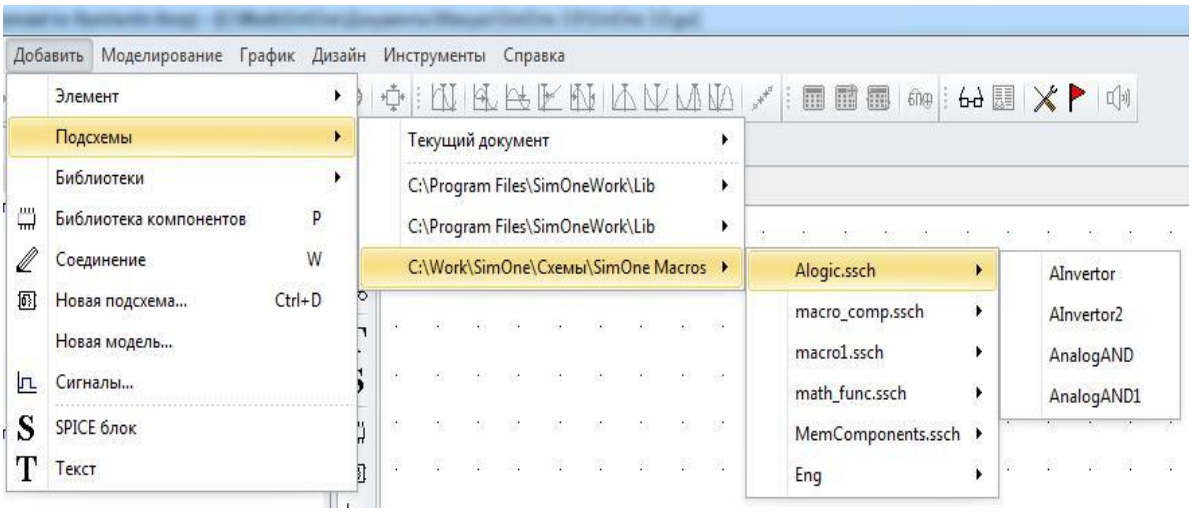


Рис. 3.25.2 Добавление подсхемы с помощью меню

Во втором случае выбор файла из библиотек подсхем осуществляется нажатием ЛКМ на имени файла в каталоге **Библиотеки подсхем**, при этом в разделе **Элементы** отображаются имена подсхем, содержащихся в файле-библиотеке (рис. 3.25.3).

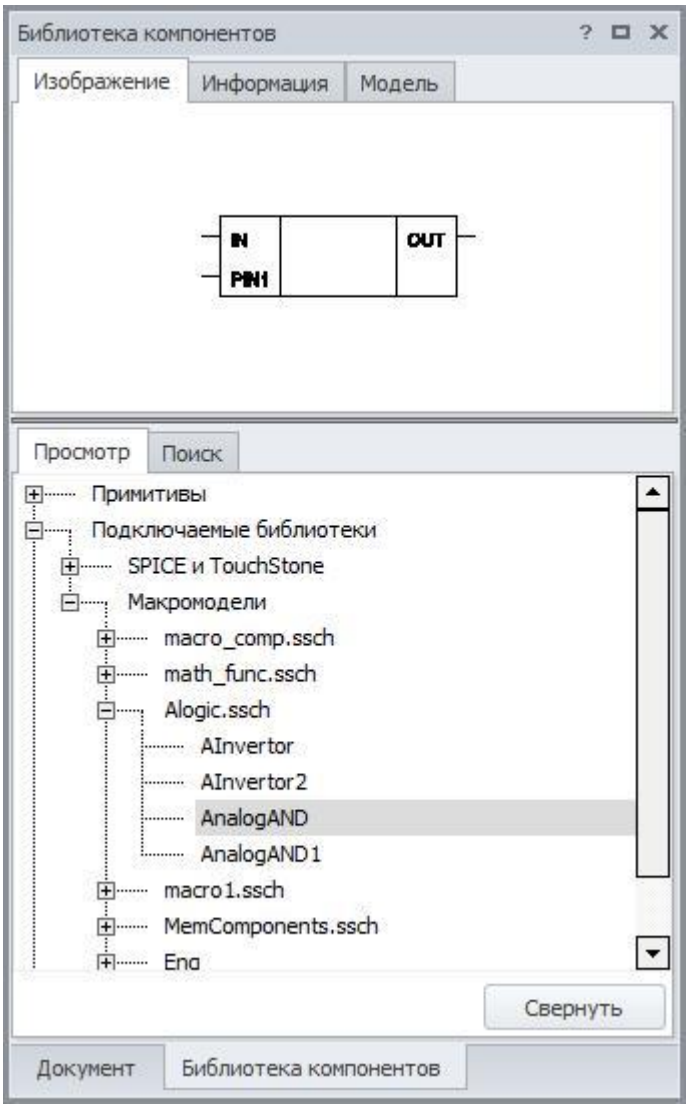


Рис. 3.25.3 Файлы библиотек подсхем

Нажатие ЛКМ на имени модели приводит к тому, что УГО модели появляется в разделе **Изображение**, а параметры – в разделе **Модель**. Для размещения объекта выбранной модели на схеме используется кнопка Разместить.

Аналогичным образом организована в **SimOne** и работа с внешними SPICE-библиотеками – текстовыми файлами с расширением ***.lib**, содержащих описание моделей компонентов в SPICE-формате. Все модели, содержащиеся в них, могут быть подключены и доступны для использования в текущем документе, при этом УГО компонента создаётся программой автоматически.

Для этого пользователю достаточно указать путь к этому соответствующему файлу. Путь указывается в строке **Пути к файлам библиотек (*.lib)** вкладки **Пути** окна **Настройки** (рис. 3.25.1). Добавление нового пути осуществляется вводом соответствующего текста в строку либо с помощью вызова стандартного интерфейса

нажатием ЛКМ на кнопку **Добавить**. В строке могут быть указаны несколько путей к файлам библиотек. В этом случае пути должны быть отделены друг от друга точкой с запятой без пробелов. Подключенные таким образом модели компонентов из файлов-библиотек станут доступны для размещения на схеме.

Доступ к списку моделей, доступных в данном файле-библиотеке осуществляется двумя способами:

- Меню **Добавить** # **Библиотеки** # **<Имя файла библиотеки>** # **<Имя модели>**
- **Библиотека Компонентов** # **SPICE-библиотеки** # **<Имя файла библиотеки>** # **<Имя модели>.**

В первом случае подменю **Библиотеки** открывает выпадающий список всех SPICE-библиотек документа (рис. 3.25.4).

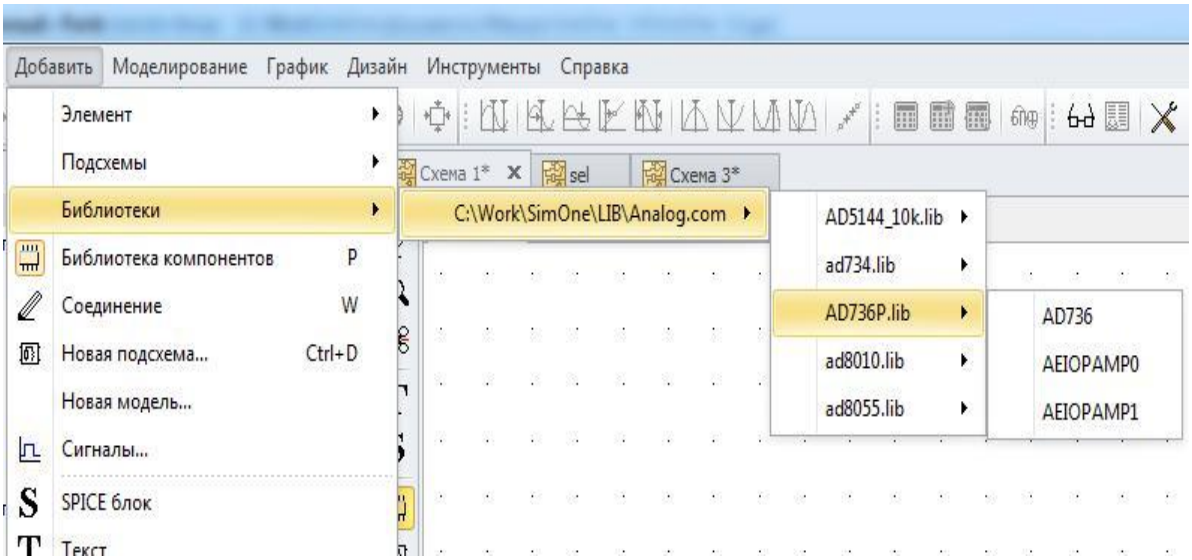


Рис. 3.25.4 Добавление компонента из SPICE-библиотеки с помощью меню

Во втором случае выбор файла из SPICE-библиотек осуществляется нажатием ЛКМ на имени файла в каталоге **SPICE библиотеки**, при этом в разделе **Элементы** отображаются имена моделей, содержащихся в файле-библиотеке (рис. 3.25.5).

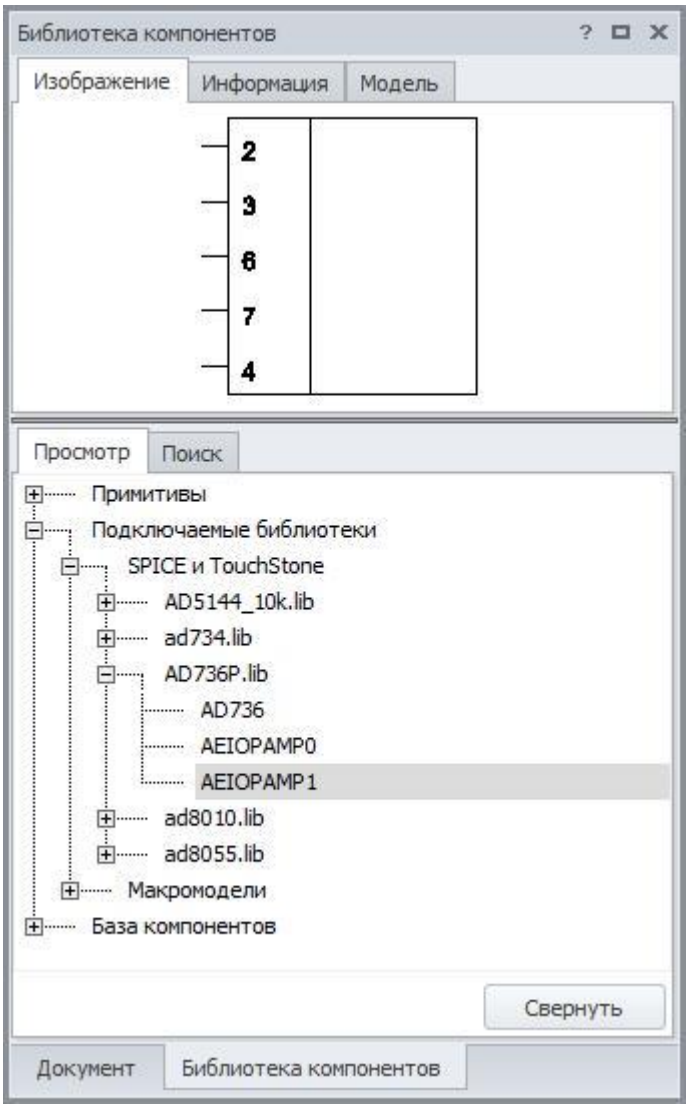


Рис. 3.25.5 Файлы SPICE-библиотек

Нажатие ЛКМ на имени модели приводит к отображению её УГО в разделе **Изображение**, а параметров – в разделе **Модель**. Для размещения объекта выбранной модели на схеме используется кнопка Разместить.

4 Библиотека компонентов

4.1 Общие сведения

Библиотека компонентов **SimOne** содержит в себе все компоненты, которые пользователь может использовать при работе со схемой в схемотехническом редакторе. Окно библиотеки приведено на рис. 4.1.1. Оно включает в себя три основных панели:

- Панель каталогов библиотеки. Включает в себя две вкладки – **Категории** (отображение каталога по категориям) и **Поиск (**поиск по базе готовых моделей**)**.
- Панель отображения содержания каталога. На ней отображаются имена моделей, которые содержатся в выбранном разделе каталога библиотеки. Панель также содержит строку быстрого поиска по имени модели в отображаемом списке.
- Информационная панель. Содержит следующую информацию о выбранном компоненте библиотеки: УГО, производитель, корпус, краткое описание компонента, параметры его модели (доступно на отдельной вкладке).

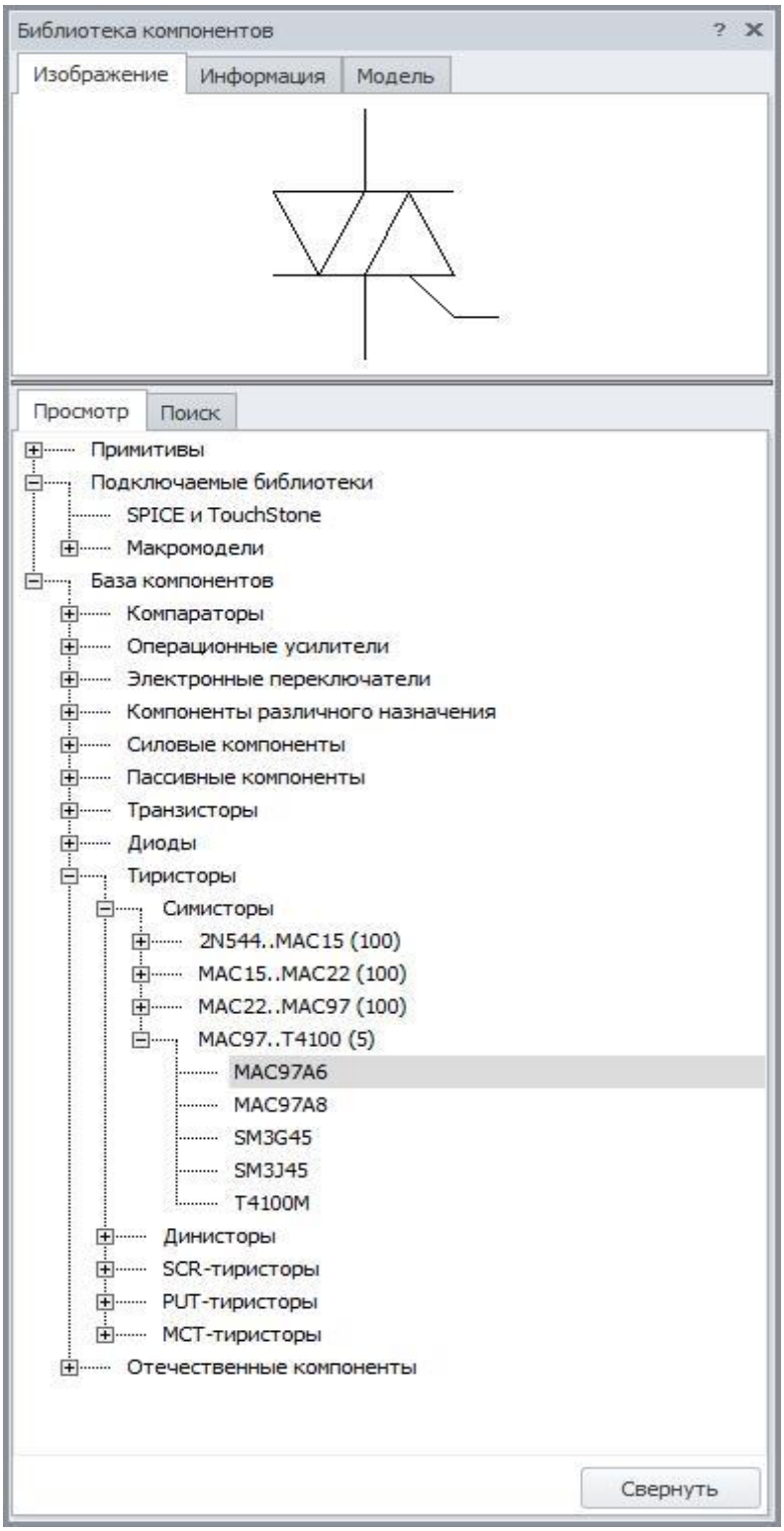


Рис. 4.1.1 Библиотека компонентов SimOne

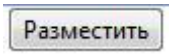
Библиотека компонентов содержит следующие основные каталоги:

- Кэш документа. В кэш документа попадают все модели, которые когда-либо были добавлены на схему.
- Примитивы. Набор компонентов, имеющих определённые модели по умолчанию.

- Текстовые библиотеки. Сюда входят SPICE-библиотеки – файлы с расширением *.lib.
- Библиотеки подсхем. Сюда входят файлы, созданные в схемотехническом редакторе SimOne и содержащие графические подсхемы (подробнее о графических подсхемах – см. §3.6 Создание графической подсхемы).
- База компонентов. Содержит каталогизированный список моделей существующих электронных компонентов, в отличие от примитивов, содержащих абстрактные модели.

Окно Библиотеки компонентов можно открыть через:

- Главное меню: **Добавить#Библиотека компонентов**.
- Панель инструментов: кнопка .
- Горячие клавиши: **Ctrl+E**

Нажатие ЛКМ на кнопке 

закрывает окно библиотеки и переводит схемотехнический редактор в режим добавления выбранного компонента из библиотеки в схему. Выход из режима – нажатием **ESC** или ПКМ.

4.2 Кэш документа

Любые модели, когда-либо добавленные в схему, заносятся в кэш документа (рис. 4.2.1). Это относится также к моделям и подсхемам, созданным пользователем в текущей схеме.

Объект из кэша документа может быть добавлен в схему: для этого его следует выделить, нажав ЛКМ на его имя на панели отображения содержимого кэша и нажать кнопку Разместить.

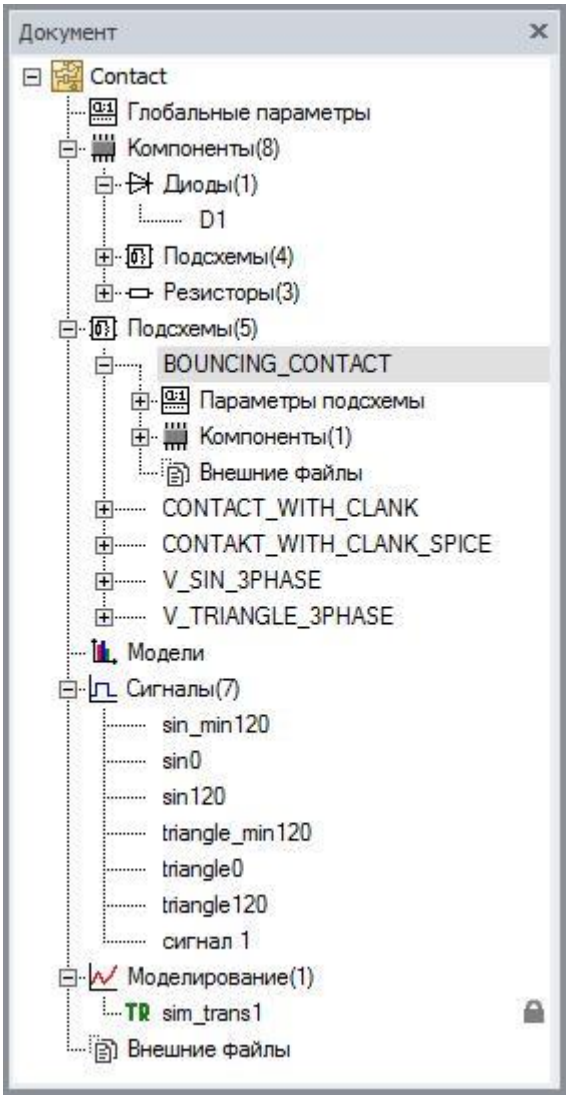


Рис. 4.2.1 Кэш документа

Модели и подсхемы можно удалять из кэша документа: если в текущий момент на схеме ни один компонент не использует данную подсхему или модель, то она удаляется нажатием ЛКМ на иконку .

4.3 Примитивы

Примитивы – это виртуальные компоненты схемы, содержащие абстрактные модели замещаемых электронных компонентов. Подробнее о примитивах см. §3.2 Примитивы

4.4 SPICE и Touchstone библиотеки

В каталог текстовых библиотек включаются:

- SPICE-библиотеки – текстовые файлы с расширением ***.lib**, содержащие описание моделей компонентов в SPICE-формате.
- Touchstone-библиотеки – текстовые файлы с расширением ***.sNp**, содержащие описание моделей компонентов в Touchstone-формате с помощью S,Y,Z-параметров.

УГО (условное графическое отображение) компонента на схеме генерируется самой программой при чтении типа SPICE или Touchstone--модели компонента.

Выбор файла текстовой библиотеки осуществляется нажатием ЛКМ на имя файла в каталоге, при этом в разделе **Элементы** отображаются имена моделей, содержащихся в файле (рис. 4.4.1).

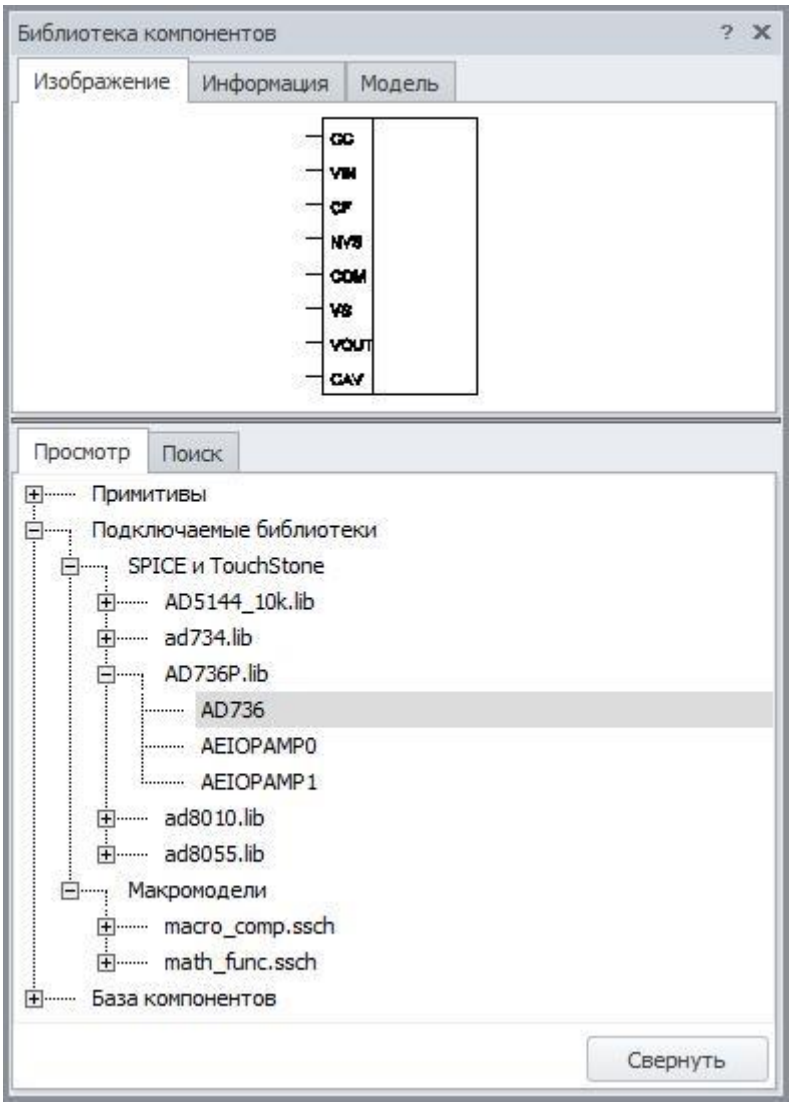


Рис. 4.4.1 Файлы текстовых библиотек

Нажатие ЛКМ на имени модели вызывает отображение её УГО в разделе **Изображение**, а параметров модели – в разделе **Модель**.

Для размещения объекта выбранной модели на схеме используется кнопка Разместить.

В комплект поставки программы **SimOne** текстовые библиотеки не входят (соответствующий каталог пуст).

Чтобы добавить в каталог текстовых библиотек новую SPICE- или Touchstone-библиотеку, пользователю достаточно указать путь к файлу. Путь указывается в строке **Пути к файлам библиотек (*.lib, *.sNp)** вкладки **Пути** окна **Настройки** (рис. 4.4.2).

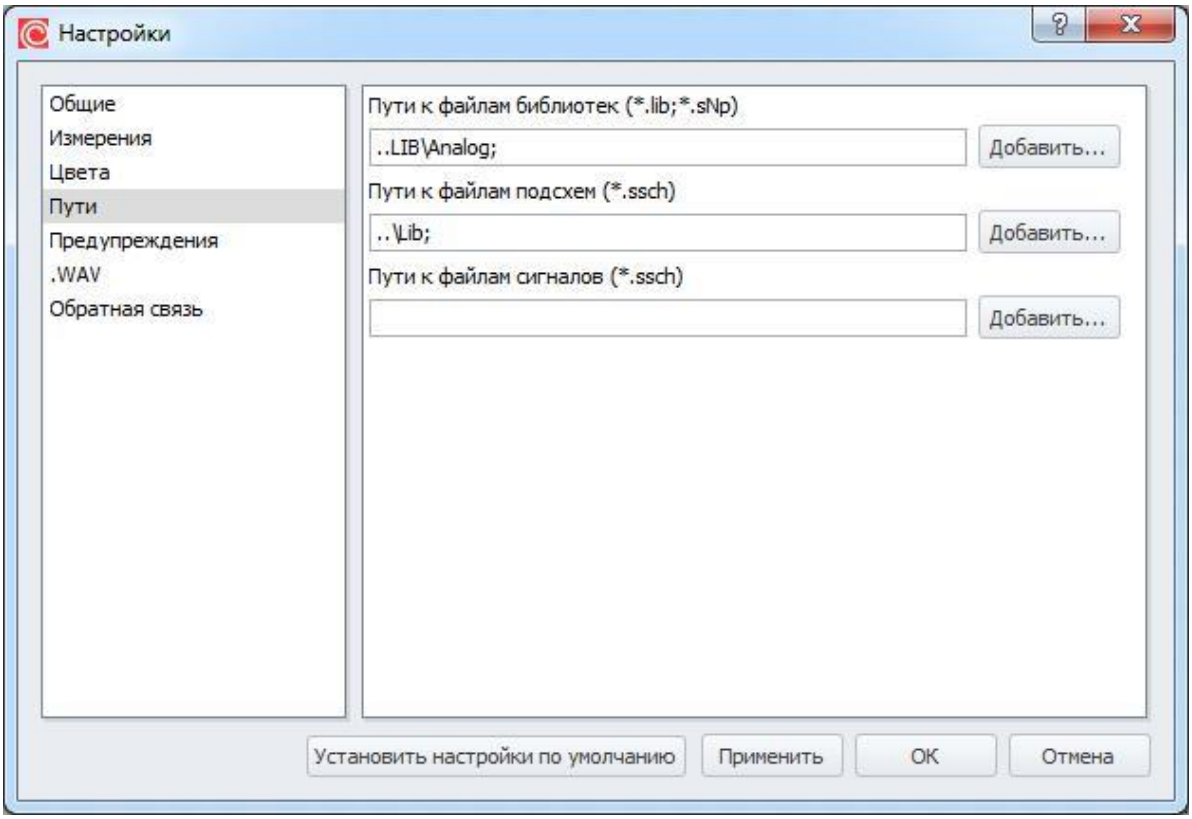


Рис. 4.4.2 Задание путей к файлам текстовых библиотек

Добавление нового пути осуществляется вводом соответствующего текста в строку, либо нажатием ЛКМ на кнопку **Добавить**.

В строке могут быть указаны несколько путей к файлам библиотек: в этом случае пути должны быть отделены друг от друга точкой с запятой без пробелов.

4.5 Библиотеки подсхем

В каталог библиотек подсхем включаются файлы с расширением ***.ssch**, созданные в схемотехническом редакторе **SimOne** и содержащие графические подсхемы.

Выбор файла из библиотек подсхем осуществляется нажатием ЛКМ на имени файла в каталоге, при этом в разделе **Элементы** отображаются имена подсхем, содержащихся в файле (рис. 4.5.1).

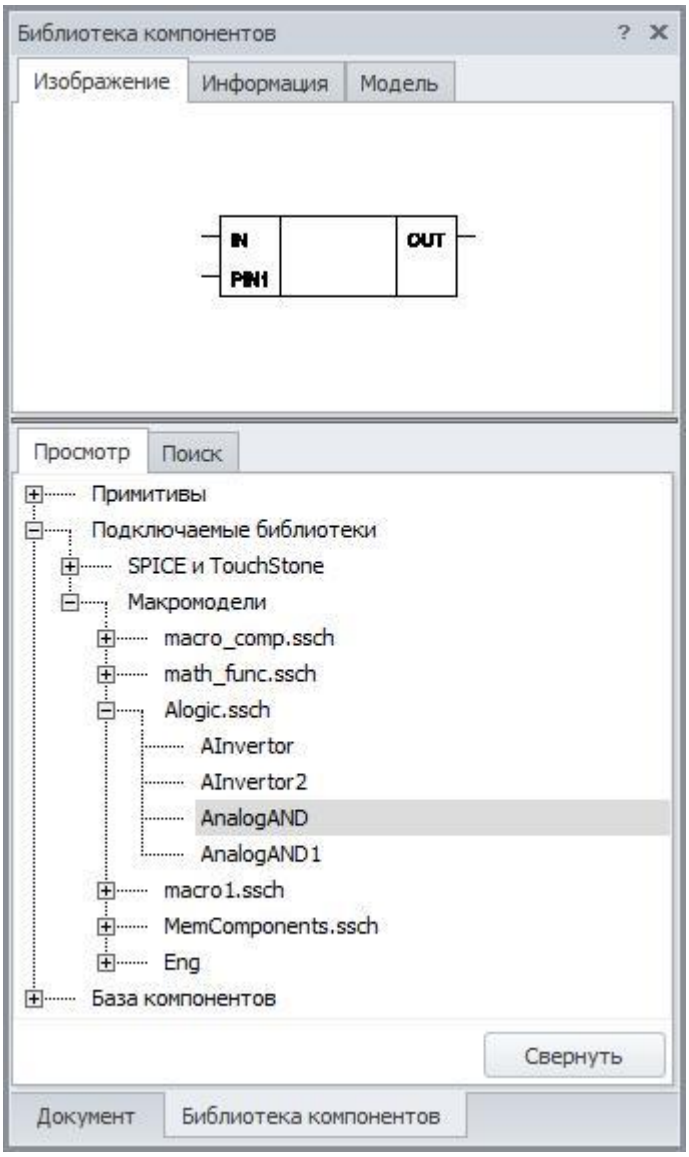


Рис. 4.5.1 Файлы библиотек подсхем

Нажатие ЛКМ на имени модели вызывает отображение её УГО в разделе **Изображение**, а параметров модели – в разделе **Модель**. Для размещения объекта выбранной модели на схеме используется кнопка Разместить.

Чтобы добавить в каталог текстовых библиотек новую SPICE-библиотеку, пользователю достаточно указать путь к этому файлу. Путь указывается в строке **Пути к файлам подсхем (*.ssch)** вкладки **Пути** окна **Настройки** (рис. 4.5.2).

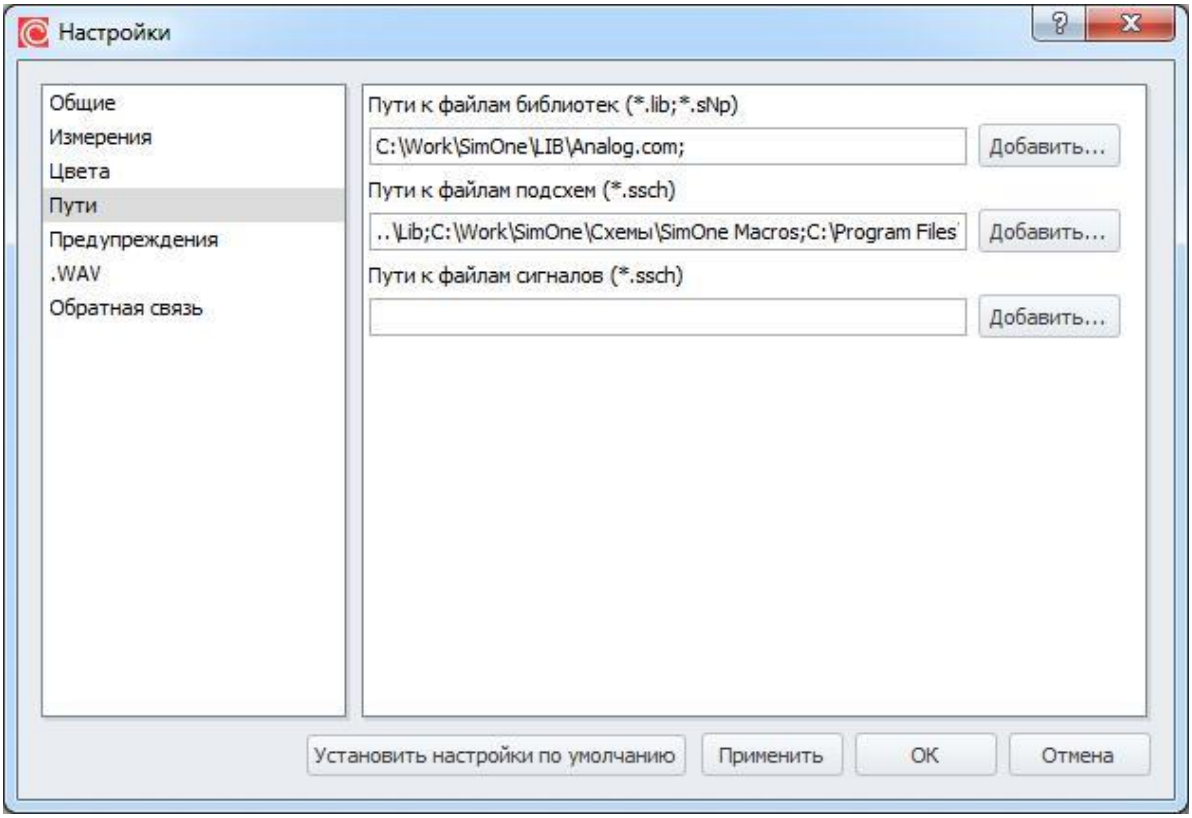


Рис. 4.5.2 Пути к файлам библиотек подсхем

Добавление нового пути осуществляется вводом соответствующего текста в строку либо с помощью вызова стандартного интерфейса нажатием ЛКМ на кнопку **Добавить**. В строке могут быть указаны несколько путей к файлам библиотек. В этом случае пути должны быть отделены друг от друга точкой с запятой без пробелов.

4.6 База компонентов

База компонентов поставляется с программой и включает более 30 000 готовых моделей реальных электронных компонентов. Модели в базе компонентов объединены в разделы и группы (таблица 4.6.1):

Таблица 4.6.1 Группы базы компонентов

Имя раздела или группы	Описание
Comparator	Компараторы
Opamp	Операционные усилители
Switch	Электронные переключатели
Miscellaneous (компоненты различного назначения)	
Crystal	Кристалл
Optocoupler	Оптопары
Vacuum Tube	Вакуумные элементы, электронные лампы
Timer	Таймеры
Filter	Фильтры
Transmission line	Линии передачи
Sensor	Сенсоры
Power (Силовые компоненты)	
Voltage Reference	Генераторы опорного напряжения
Voltage Regulator	Стабилизаторы напряжения
Pulse Width Modulator	Широтно-импульсные модуляторы
Transient Voltage Suppressor	Защитные диоды (силовые стабилитроны)
Switched-Mode Power Supply	Импульсные стабилизаторы напряжения
DC-DC Converter	Преобразователи постоянного напряжения
RMS-DC Converter	Преобразователи напряжения среднеквадратичного уровня в постоянный
Power-Supply Controller	Вторичные источники питания
Misc	Разное

Passive (Пассивные компоненты)	
Capacitor	Конденсаторы
Inductor	Катушки индуктивности
Resistor	Резисторы
Thermistor	Терморезисторы
Varistor	Полупроводниковые резисторы
Transformer	Трансформаторы
Non-Linear Transformer	Трансформаторы с нелинейным сердечником
Switch	Переключатели
Connector	Соединители
Ferrite Core	Ферритовые цилиндры
Ferrite Beads	Ферритовые фильтры
Transistor (Транзисторы)	
NJFET	Полевые транзисторы N-типа
PJFET	Полевые транзисторы P-типа
GaAsFET	Арсенид-галлиевые полевые транзисторы
IGBT	Биполярные транзисторы с изолированным затвором
BJT (Биполярные транзисторы)	
NPN	Биполярные транзисторы NPN-типа
PNP	Биполярные транзисторы PNP-типа
Arrays	Цепочки биполярных транзисторов
Darlington NPN	Составные транзисторы NPN-типа
Darlington PNP	Составные транзисторы PNP-типа
Resistor Equipped NPN	Биполярные транзисторы NPN-типа со встроенными резисторами
Resistor Equipped PNP	Биполярные транзисторы PNP-типа со встроенными резисторами
RF NPN	Радиочастотные биполярные транзисторы NPN-типа
RF PNP	Радиочастотные биполярные транзисторы PNP-типа

Power NPN	Силовые биполярные транзисторы NPN-типа
Power PNP	Силовые биполярные транзисторы PNP-типа
MOSFETs (МОП-транзисторы)	
NMOS	МОП-транзисторы с каналом N-типа
PMOS	МОП-транзисторы с каналом P-типа
Power NMOS	Силовые МОП-транзисторы с каналом N-типа
Power PMOS	Силовые МОП-транзисторы с каналом P-типа
Arrays	Цепочки МОП-транзисторов
Thermal	Терморегулируемые МОП-транзисторы
RF NMOS	Радиочастотные МОП-транзисторы с каналом P-типа
Driver	Управляемые МОП-транзисторы с каналом P-типа
Diode (Диоды)	
General	Диоды общего назначения
Bridge Rectifier	Диодные выпрямительные мосты
Dual Rectifier	Диодные выпрямительные пары
Zener	Стабилитроны
Varactor	Варикапы
Schottky	Диоды Шотки
Photo	Фото-диоды
Tunel	Туннельные диоды
Pin-diode	Pin-диоды
Current-Regulator	Диодные источники тока
LED	Светодиоды
Misc	Разное
Thyristor (Тиристоры)	
TRIAC	Симисторы
DIAC	Динисторы

SCR	SCR-тиристоры
PUT	PUT-тиристоры
MCT	MCT-тиристоры
Russian (Российские, Советские)	
Comparator	Компараторы
Opamp	Операционные усилители
Diode (Диоды)	
General	Диоды общего назначения
Zener	Стабилитроны
Transistor (Транзисторы)	
BJT (Биполярные транзисторы)	
NPN	Биполярные транзисторы NPN-типа
PNP	Биполярные транзисторы PNP-типа
MOSFETs (МОП-транзисторы)	
NMOS	МОП-транзисторы с каналом N-типа
PMOS	МОП-транзисторы с каналом P-типа
NJFET	Полевые транзисторы N-типа
PJFET	Полевые транзисторы P-типа

Выбор компонента из базы осуществляется либо с помощью открытия его в соответствующем каталоге (рис. 4.6.1), либо с помощью вкладки поиска по базе компонентов (рис. 4.6.2).

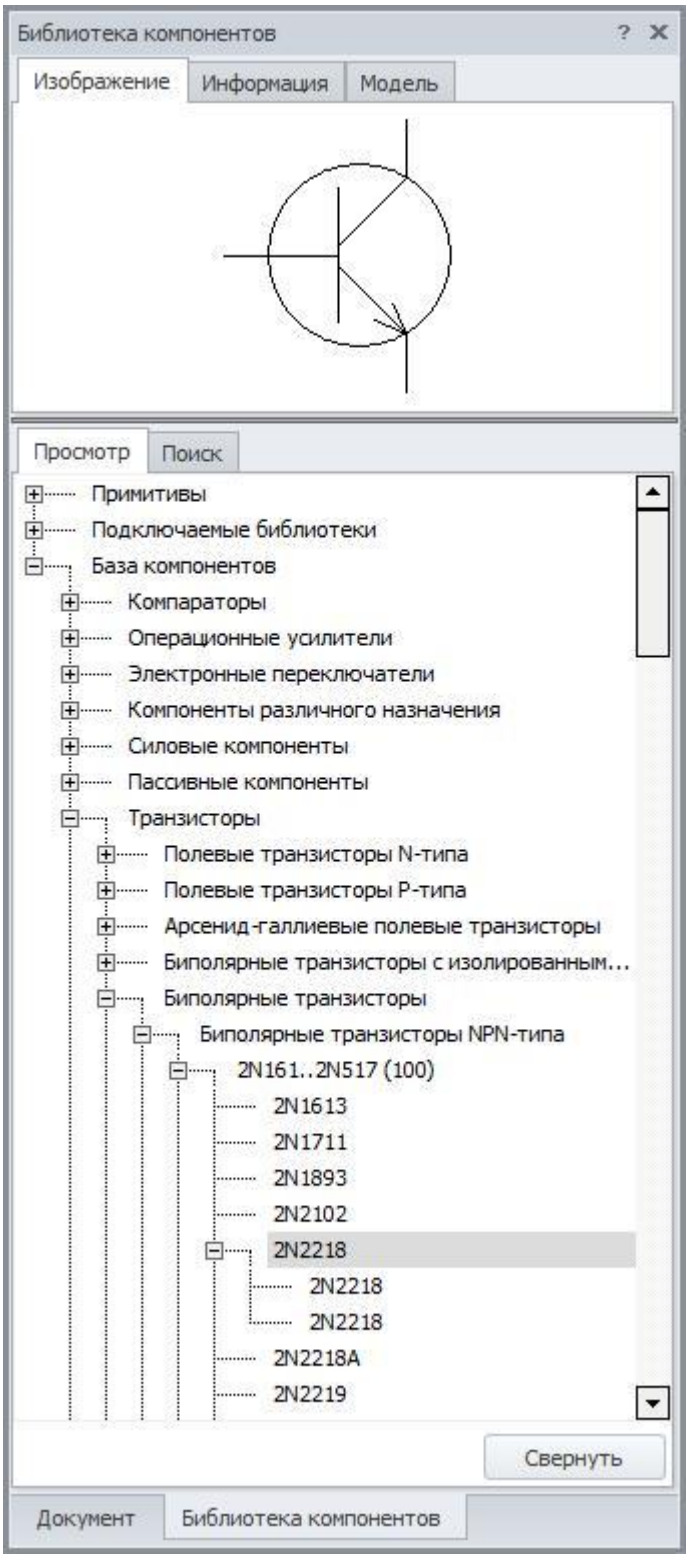


Рис. 4.6.1 Нахождение компонента в базе с помощью каталога

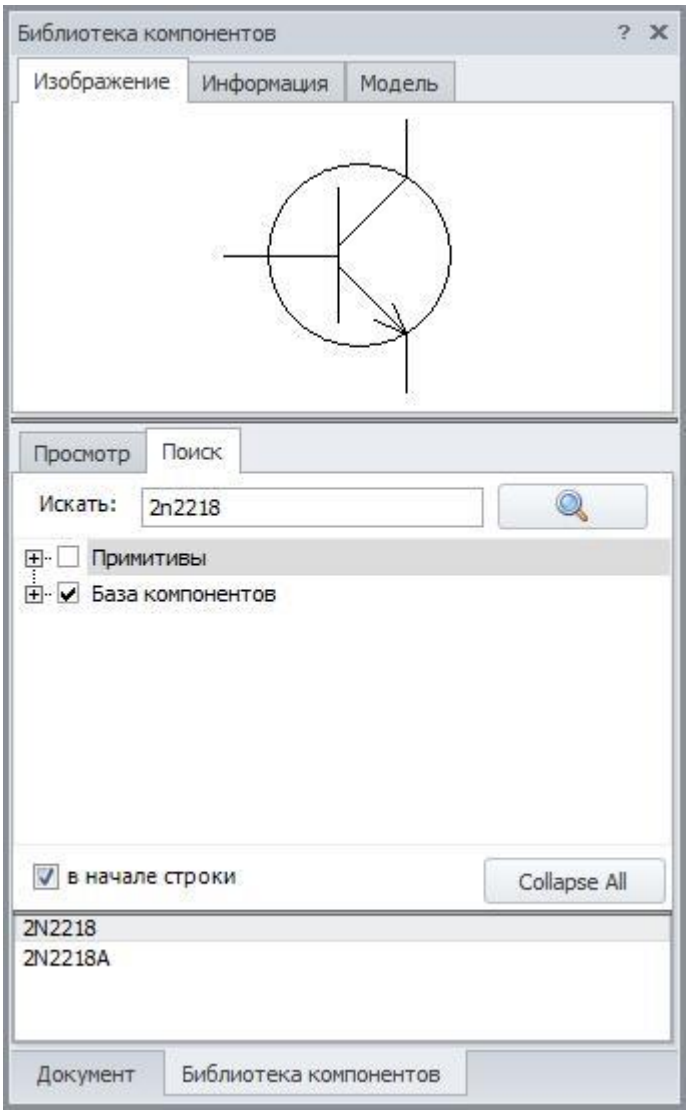


Рис. 4.6.2 Нахождение компонента в базе с помощью поиска

Поиск по компонентной базе осуществляется по совпадению строки в имени компонента с введённой пользователем строкой. Совпадение может быть как в любом месте строки имени, так и (при выставленном флажке) только в начале имени компонента. Инструменты поиска позволяют также выбирать каталоги, в которых делается поиск (рис. 4.6.3).

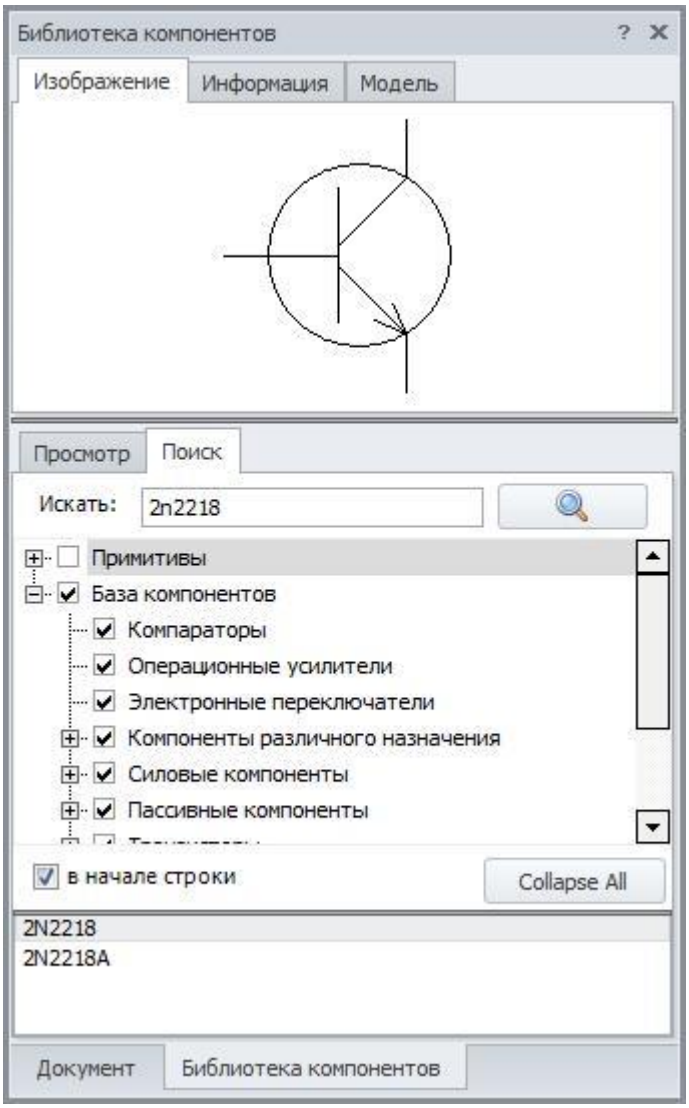


Рис. 4.6.3 Настройки поиска

Для размещения объекта выбранной модели на схеме используется кнопка **Разместить**.

5 Модели электронных компонентов

5.1 Общие сведения

В **SimOne** используются два основных типа математических моделей электронных компонентов:

- встроенные модели стандартных компонентов,
- макромодели произвольных электронных компонентов (подсхемы).

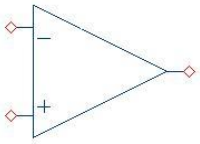
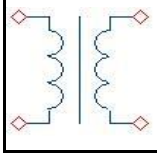
Встроенные модели представляются определённой неизменяемой схемой замещения компонента и набором варьируемых параметров. Пользователю недоступно изменение структуры модели, он может только изменять значения её параметров. Примером таких моделей являются SPICE-модели резистора, ёмкости, индуктивности, диода, транзисторов, независимых и управляемых источников и т.д.

Макромодели создаются пользователем из любого количества стандартных компонентов, а также любых уже созданных макромоделей. Макромодели могут создаваться как в графическом виде – в виде схемы, нарисованной в схемотехническом редакторе **SimOne** с определёнными наружными выводами-портами, так и в виде текстового описания в формате SPICE-подсхем. С помощью макромоделей обычно описывают такие сложные, составные электронные компоненты, такие как операционный усилитель, компаратор, регуляторы напряжения и проч. Подробнее о макромоделях (подсхемах) см. §§ 3.5 – 3.10 Подсхемы, Создание графической подсхемы, Создание текстовой подсхемы, Добавление подсхем на схему, Редактирование подсхемы, Редактирование имени схемного элемента.

В настоящей главе подробно описаны модели электронных компонентов, поддерживаемые **SimOne**. Список поддерживаемых моделей приведён в таблице 5.1.1:

Таблица 5.1.1 Встроенные модели электронных компонентов

SPICE обозначение	Описание	SPICE обозначение	Описание
B	Функциональные источники напряжения и тока	K	Магнитосвязанная индуктивность
B	Арсенид-галлиевый полевой транзистор	L	Катушка индуктивности
C	Конденсатор	M	Полевой транзистор с изолированным затвором

D	Диод, Стабилитрон, Диод Шоттки, Варикап, Светодиод	Q	Биполярный транзистор
E	Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН). Функциональный источник напряжения.	R	Резистор
F	Источник тока, управляемый током (ИТУТ)	S	Ключ, управляемый напряжением
G	Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН). Функциональный источник тока	T	Длинная линия без искажений (потерь)
H	Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	V	Независимый источник напряжения.
I	Независимый источник тока. Независимый источник постоянного тока	W	Ключ, управляемый током
J	Полевой транзистор	X	Подсхема (макромодель)
	Независимый источник постоянного напряжения – батарея		Операционный усилитель
	Двухобмоточный трансформатор	S	Многополюсные элементы

Параметры моделей компонентов задаются либо в соответствующем окне задания параметров схемотехнического редактора, либо в текстовом SPICE-формате. Задание параметров в SPICE-формате возможно либо непосредственно в строке подключения модели, например для управляемых и независимых источников тока, напряжения, либо с помощью команды **.MODEL**.

.MODEL <имя модели> [<AKO:<имя модели прототипа>]

```
+ <имя типа модели>
+ ([<имя параметра>= <значение>
+ [<спецификация случайного разброса значения параметра>]]
+ [T MEASURED=<значение>] [[T_ABS>=<значение>] или
+ [T_REL_GL0BAL=<значение>] или [T_REL_LOCAL=<значение>]])
```

<Имя модели> – имя модели компонента схемы, например RMOD, 2N2369. После ключевого слова AKO помещается ссылка на имя модели прототипа, что позволяет указывать только различающиеся параметры.
<Имя типа модели> указывает тип электрической схемы замещения компонента. Типы моделей, поддерживаемых **SimOne**, представлены в таблице 5.1.2.

Спецификация случайного разброса значения параметра используется в статистических анализах схемы, таких как анализ Монте-Карло или анализ наихудшего случая. В этих случаях указанный параметр может принимать случайные значения относительно своего номинального значения в соответствии заданным допуском.

Таблица 5.1.2 Имена типов моделей компонентов

Имя типа модели	Компонент
CAP	Конденсатор
CORE	Магнитный сердечник трансформатора
D	Диод
GASFET	Арсенид-галлиевый полевой транзистор
IND	Индуктивность
ISWITCH	Ключ, управляемый током
LPNP	биполярный транзистор p-n-p – транзистор с вертикальной структурой
NIGBT	Статически индуцированный биполярный транзистор
NJF	Полевой транзистор с каналом n-типа
NMOS	МОП транзистор с каналом n-типа
NPN	Биполярный n-p-n транзистор
PJF	Полевой транзистор с каналом p-типа
PMOS	МОП транзистор с каналом p-типа
PNP	Биполярный p-n-p транзистор
RES	Резистор
TLINE	Линия передачи

VSWITCH	Ключ, управляемый напряжением

Параметры T_ MEASURED, T_ABS, T_REL_GL0BAL, T_REL_LOCAL используются для задания температуры работы компонента. Температура может быть задана непосредственно как опция задания на моделирование, может быть изменена в процессе моделирования для температурного анализа схемы, а может быть установлена для каждого компонента в отдельности с помощью команды **.MODEL**.

T_ MEASURED – значение температуры, при которой измерены параметры модели;

T_ABS – значение абсолютной температуры компонента; T_REL_GL0BAL =TEMP+

5.2 B. Функциональные источники напряжения и тока

LTSPICE\SimOne-формат

Синтаксис:
Функциональный источник напряжения:
B<*имя*> <*плюс*> <*минус*> V=<выражение> [[laplace=<выражение>] [method=<simone>] [window=<time>] [nfft=<number>] [mtol=<number>]]
Функциональный источник тока:
B<*имя*> <*плюс*> <*минус*> I=<выражение> [[laplace=<выражение>] [method=<simone>] [window=<time>] [nfft=<number>] [mtol=<number>]]

<*выражение*> может включать в себя:

- Потенциалы узлов, например: V(1).
- Падения напряжений, например: V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например: I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Примеры:

```
B1  3 0 V= I(v1)*sin(1MEG*time)
B2  4 0 I = v(2)+exp(-abs(v(1))) +f*f
B3  5 0 V=V(1)+v(1)*v(2) laplace = s/(2*s^2+3*s+1) method=ift
tol=0.01

B4  6 0 I=V(1)+v(1)*v(2) laplace = exp(-s)
```

Таблица 5.2.1 Параметры функционального источника с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения

nfft	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки	–	c
mtol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
method	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера	SimOne	–

5.3 B. Арсенид-галлиевый полевой транзистор

SPICE-формат

Синтаксис:
B<*имя*> <*drain*> <*gate*> <*source*>
[<*Area*>] + [OFF][IC=<*vds*>[,*vgs*]]

Area – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов. Значение по умолчанию =1. Если присутствует ключевое слово [OFF], оно указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании [OFF] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на p-n-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> GASFET ([параметры модели])

Примеры

```
B1  1 2 3 B1

B2  4 5 6 B2 2

.MODEL B1 GASFET (VTO=-2 .0 LAMBDA=1m)
.MODEL B2 GASFET (ALPHA=2.5 BETA=0.1m)
```

Схемотехнический редактор

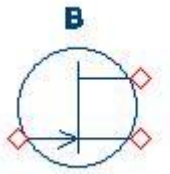
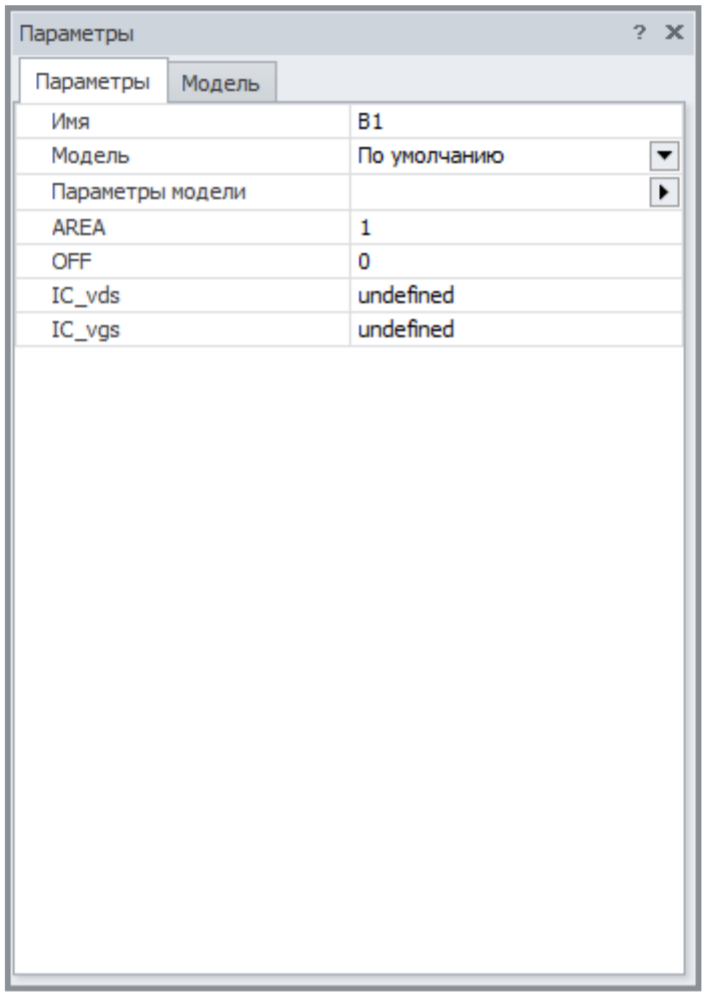


Рис. 5.3.1 Арсенид-галлиевый полевой транзистор. УГО на схеме


Параметры
Параметры
Модель
Имя
B1
Модель
По умолчанию
Параметры модели
AREA
1
OFF
0
IC_vds
undefined
IC_vgs
undefined

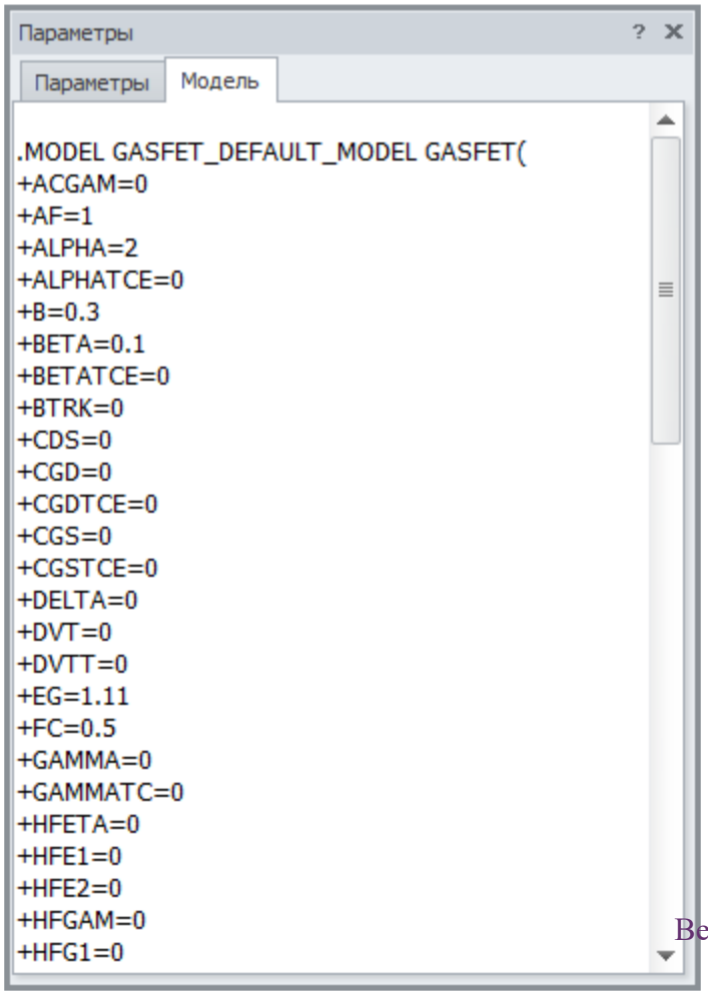

Параметры
Параметры
Модель
.MODEL GASFET_DEFAULT_MODEL GASFET(
+ACGAM=0
+AF=1
+ALPHA=2
+ALPHATCE=0
+B=0.3
+BETA=0.1
+BETATCE=0
+BTRK=0
+CDS=0
+CGD=0
+CGDTCE=0
+CGS=0
+CGSTCE=0
+DELTA=0
+DVT=0
+DVTT=0
+EG=1.11
+FC=0.5
+GAMMA=0
+GAMMATC=0
+HFETA=0
+HFE1=0
+HFE2=0
+HFGAM=0
+HFG1=0

Рис. 5.3.2 Арсенид-галлиевый полевой транзистор. Окно параметров

Поддерживаемые модели

Параметр Level	Имя модели
1	модель Куртиса (Curtice)
2	модель Рэйтеона (Raytheon)
3	модель TriQuit TOM
4	модель TriQuit TOM-2
5	модель Паркера-Скеллерна

Модель Куртиса дает удовлетворительные результаты лишь при расчёте статического режима, в то время как остальные модели отражают и динамические характеристики арсенид-галлиевого транзистора. Параметры математических моделей приведены в таблице 5.3.1.

Таблица 5.3.1 Параметры модели арсенид-галлиевого полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	1	
ALPHA	Коэффициент для напряжения насыщения тока стока (LEVEL=1,..3,5)	2,0	1/В
B	Параметр легирования (LEVEL=2)	0,3	1/В
BETA	Коэффициент пропорциональности в выражении для тока стока	0,1	$А/В^2$
BETATCE	Температурный коэффициент BETA	0	%/°C
CDS	Ёмкость сток-исток при нулевом смещении	0	Ф
CGD	Ёмкость затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф

RG	Объёмное сопротивление области затвора	0	Ом
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RS	Объёмное сопротивление области истока	0	Ом
CGD	Ёмкость затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф
CDS	Ёмкость сток-исток фиксированная	0	Ф
DELTA	Параметр выходной обратной связи (LEVEL=3,4)	0	$(AB)^{-1}$
EG	Ширина запрещенной зоны	1,11	эВ
FC	Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещенного p-n-перехода затвора	0,5	
GAMMA	Параметр статической обратной связи (LEVEL=3,5)	0	
IS	Ток насыщения p-n-перехода затвор-канал	1E–14	A
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	
LAMBDA	Параметр модуляции длины канала(LEVEL=1,2)	0	1/B
LEVEL	Тип модели: 1 – модель Куртиса, 2 – модель Рэйтеона, 3 – TOM – модель TriQuint, 4 – модель Паркера-Скеллерна, 5 – TOM-2 – модель TriQuint	1	
M	Коэффициент плавности p-n-перехода затвора(LEVEL=1..3)	0,5	
N	Коэффициент эмиссии p-n-перехода затвор-канал	1	
Q	Показатель степени (LEVEL=3)	2	

RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RG	Объёмное сопротивление области затвора	0	Ом
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
TAU	Время переноса носителей заряда (LEVEL=1,..3,5)	0	с
TRD1	Линейный температурный коэффициент RD	0	1/°C
TRG1	Линейный температурный коэффициент RG	0	1/°C
TRS1	Линейный температурный коэффициент RS	0	1/°C
T_ABS	Абсолютная температура		°C
T_MEASURED	Температура измерения		°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура		°C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа		°C
VBI	Контактная разность потенциалов p-n-перехода затвора	1	В
VDELTA	Напряжение, входящее в выражения для ёмкостей переходов (LEVEL=2, 3)	0,2	В
VMAX	Максимальное напряжение, входящее в выражения для ёмкостей переходов (LEVEL=2, 3)	0,5	В
VTO	Барьерный потенциал перехода Шоттки	–2,5	В
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	В/°C
XTI	Температурный коэффициент тока IS	0	
Дополнительные параметры для модели уровня LEVEL=4			
ACGAM	Коэффициент модуляции ёмкости	0	
HFETA	Параметр обратной связи напряжения VGS на высокой частоте	0	

HFE1	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGS	0	1/B
HFE2	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGD	0	1/B
HFGAM	Параметр обратной связи напряжения VGD на высокой частоте	0	
HFG1	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGS	0	1/B
HFG2	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGD	0	1/B
IBD	Ток пробоя перехода затвора	0	A
LFGAM	Параметр обратной связи на низкой частоте	0	
LFG1	Коэффициент модуляции LFGAM напряжением VGS	0	1/B
LFG2	Коэффициент модуляции LFGAM напряжением VGD	0	1/B
MVST	Параметр подпороговой модуляции	0	1/B
MXI	Параметр напряжения насыщения	0	
P	Показатель степени		2
TAUD	Время релаксации временных процессов	0	c
TAUG	Время релаксации параметра обратной связи GAM	0	C
VBD	Потенциал пробоя перехода затвора	1	B
VST	Подпороговый потенциал	0	B
XC	Фактор уменьшения ёмкости заряда	0	
XI	Параметр, определяющий точку излома потенциала насыщения		1000
Z	Параметр точки излома характеристики транзистора		0.5
Дополнительные параметры для модели уровня LEVEL=5			
ALPHATCE	Температурный коэффициент ALPHA	0	%/°C

BTRK	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	$А/В^3$
CGDTCE	Температурный коэффициент CGD	0	1/°C
CGSTCE	Температурный коэффициент CGD	0	1/°C
DVT	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	В
DVTT	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	В
GAMMATC	Температурный коэффициент GAMMA	0	
ND	Параметр крутизны проходной характеристики в субпороговом режиме	0	
VBITC	Максимальное напряжение при расчёте ёмкости затвор-исток	0.5	В

5.4 C. Конденсатор

SPICE-формат

Синтаксис:

C<имя><плюс> <минус> [имя модели] [значение]

+ [IC=<начальное значение напряжения>]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-формат

C<имя><плюс> <минус> [C=]<*выражение*>
C<имя><плюс> <минус> [C=]'<*выражение*>'
C<имя><плюс> <минус> [C=](<*выражение*>)
C<имя><плюс> <минус> [C=]{<*выражение*>}
C<имя><плюс> <минус> Q=<*выражение*>
C<имя><плюс> <минус> Q='<*выражение*>'
C<имя><плюс> <минус> Q=(<*выражение*>)
C<имя><плюс> <минус> Q={<*выражение*>}

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения конденсатора. Полярность используется как для задания начальных условий на конденсаторе, так и для построения графиков тока I(C<имя>) конденсатора и падения напряжения на нём V(C<имя>).
[IC=<начальное значение напряжения>] задаёт начальное значение напряжения на ёмкости в расчёте переходных процессов схемы. [C=] – задание выражения для ёмкости.
Q= – задание выражения для заряда ёмкости.

<*выражение*> может включать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> CAP ([параметры модели])

Примеры:

```
C1  1  0 1pF
C2  1  2 2.2n IC=1V
C3  1  0 2n+1n*sin(v(1))
C4  2  0 Q=2n*x
C5  2  0 Q=2n*v(2)

C6  3  4 CMOD 10uF
.MODEL CMOD CAP (C=100n TC1=0.01)
```

Схемотехнический редактор

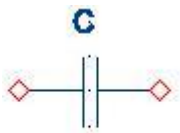


Рис. 5.4.1 Конденсатор. Условное графическое обозначение на схеме

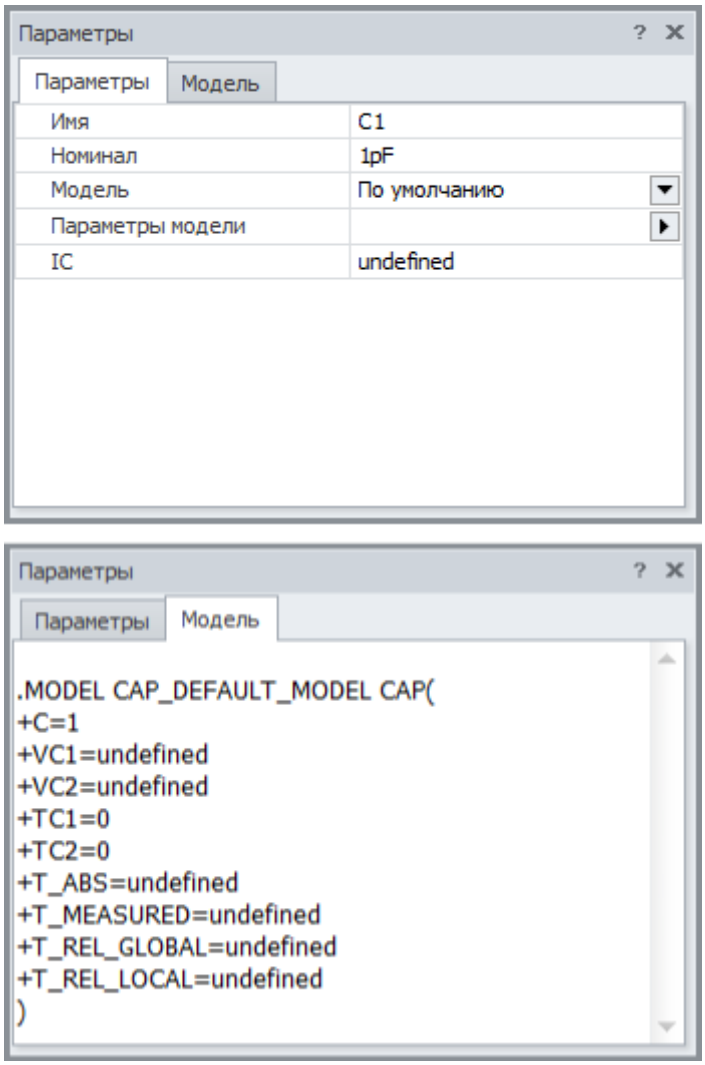


Рис. 5.4.2 Конденсатор. Окно параметров

В поле «Имя» указывается имя компонента, например, C1. В поле «Модель» указывается имя модели, используемой компонентом.

Таблица 5.4.1 Параметры модели конденсатора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Номинал\Выражение	Номинал ёмкости или Выражение для неё	1p	Ф
Q	Выражение для заряда ёмкости	–	Кл

VC1	Линейный коэффициент напряжения		$В^{-1}$
C	Масштабный множитель емкости	1	Ф
VC2	Квадратичный коэффициент напряжения		$В^{-2}$
TC1	Линейный температурный коэффициент ёмкости	0	$С^{-1}$
TC2	Квадратичный температурный коэффициент ёмкости	0	$С^{-2}$
TOLERANCE	Допуск	0	%
T_ABS	Абсолютная температура	–	C
T_MEASURED	Температура измерений	–	C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	–	C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой конденсатора и модели-прототипа	–	C

5.5 D. Диод

SPICE-формат

D<*имя*> <*анод*> <*катод*> <*имя модели*> [*area*][*OFF*][*IC*=<*vd*>]

Area – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких диодов.
Если присутствует ключевое слово [OFF], оно присутствует, указывает на отключение диода на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании OFF см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.
С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на диоде при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании IC см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

Задание модели

.MODEL <имя модели> Diode (<параметры модели>)

Пример :

```
D1 1 2 1N3208 OFF IC=0.001
.MODEL MOD_ D (BV=100 CJO=105.p IBV=100p)
```

Схемотехнический редактор

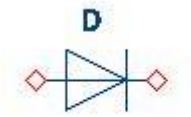
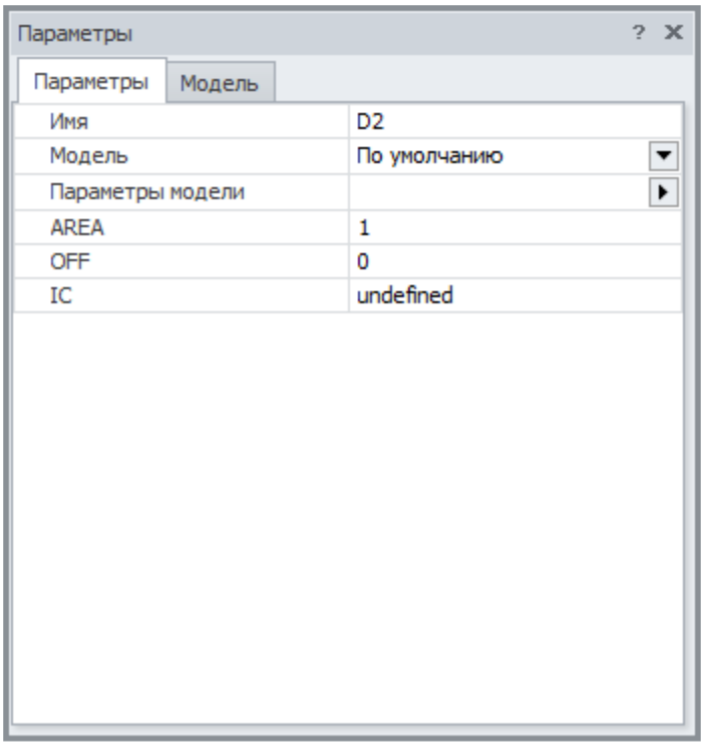


Рис. 5.5.1 Диод. УГО на схеме



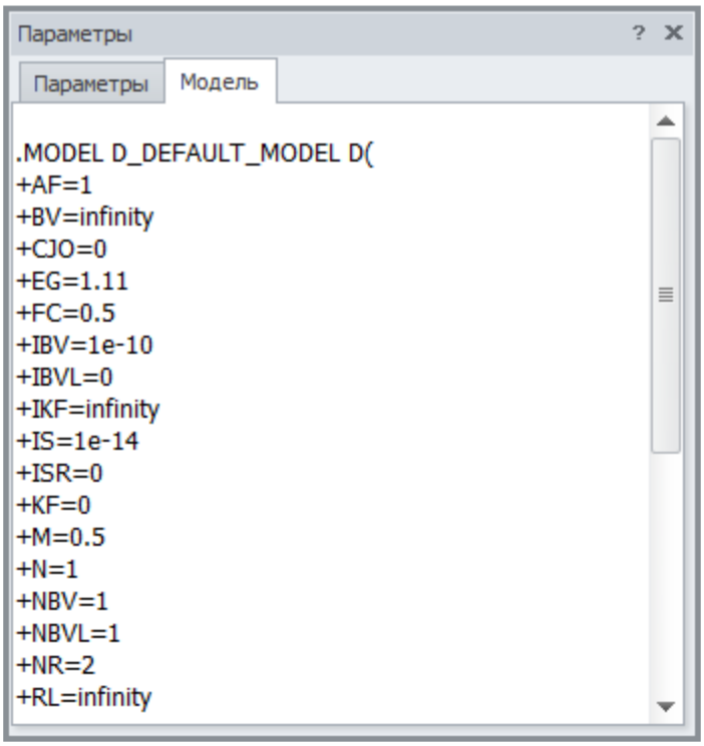


Рис. 5.5.2 Диод. Окно параметров

Таблица 5.5.1 Параметры модели диода

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения

AF	Показатель степени в формуле фликкер-шума	1	–
BV	Обратное напряжение пробоя (положительная величина)		В
CJO	Барьерная ёмкость при нулевом смещении	0	Ф
EG	Ширина запрещенной зоны	1,11	эВ
FC	Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещенного перехода	0,5	–
IBV	Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (положительная величина)	10^{-10}	А
IBVL	Начальный ток пробоя низкого уровня	0	А
IKF	Предельный ток при высоком уровне инжекции		А
IS	Ток насыщения при температуре 27°C	10^{-14}	А
ISR	Параметр тока рекомбинации	0	А
KF	Коэффициент фликкер-шума	0	–

M	Коэффициент лавинного умножения	0,5	–
N	Коэффициент инжекции	1	–
NBV	Коэффициент неидеальности на участке пробоя	1	–
NBVL	Коэффициент неидеальности на участке пробоя низкого уровня	1	–
NR	Коэффициент эмиссии для тока ISR	2	
RS	Объёмное сопротивление	0	Ом
RL	Сопротивление утечки p-n-перехода	∞	Ом
TBV1	Линейный температурный коэффициент BV	0	C^{-1}
TBV2	Квадратичный температурный коэффициент BV	0	C^{-1}
TIKF	Линейный температурный коэффициент IKF	0	C^{-1}
TRS1	Линейный температурный коэффициент RS	0	C^{-1}
TRS2	Квадратичный температурный коэффициент RS	0	C^{-2}
TT	Время переноса заряда	0	с
T_ABS	Абсолютная температура	–	C

T_MEASURED	Температура измерений	–	C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	–	C
T_REL_LOCL	Разность между температурой диода и модели-прототипа	–	C
VJ	Контактная разность потенциалов	1	B
XTI	Температурный коэффициент тока насыщения IS	3	–

В **SimOne** используется стандартная модель диода с добавлением резистора **RL**, учитывающего активные потери на p-n-переходе.

5.6 E. Источник напряжения, управляемый напряжением

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:
E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ <коэффициент передачи>

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> POLY(<значения>)
+ <+управляющий узел><–управляющий узел> <полиномиальные

коэффициенты> E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> V[ALUE] = <*выражение*>

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий
узел> +table = <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> TABLE(<*выражение*>) =
+ <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ laplace = <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> LAPLACE (<*выражение*>) =
+ <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

E <*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ freq = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

E<*имя*> <*плюс*> <*минус*> FREQ (<*выражение*>) =
+ [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

<*выражение*> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).

- Ключевые слова time или t – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Описание параметров method, window, nfft и mtol приведено в таблице 5.6.2

Примеры:

```
E1  2  0 1  0 5
E2  3  0 poly(2)  1  0  2  0  0  1e3  2e3
E3  3  0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(t)
E4  3  0 1  0 table = -10  -1  0  0  10  0.01
E5  3  0 table(i(v1)*i(v2)) = -10  -1  0  0  10  0.01
E6  3  0 1  0 laplace = s/(2*s^2+s*2+1)
E7  3  0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) method=ift
mtol=1m
E8  3  0 1  0 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

E9  3  0 freq(v(1)+v(1)*v(2)) = r_i 0,1,0,1,2,5,10,1.5,1.3
```

Схемотехнический редактор

Управляемый источник напряжения:

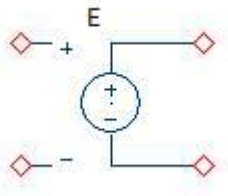


Рис. 5.6.1 ИНУН. УГО на схеме

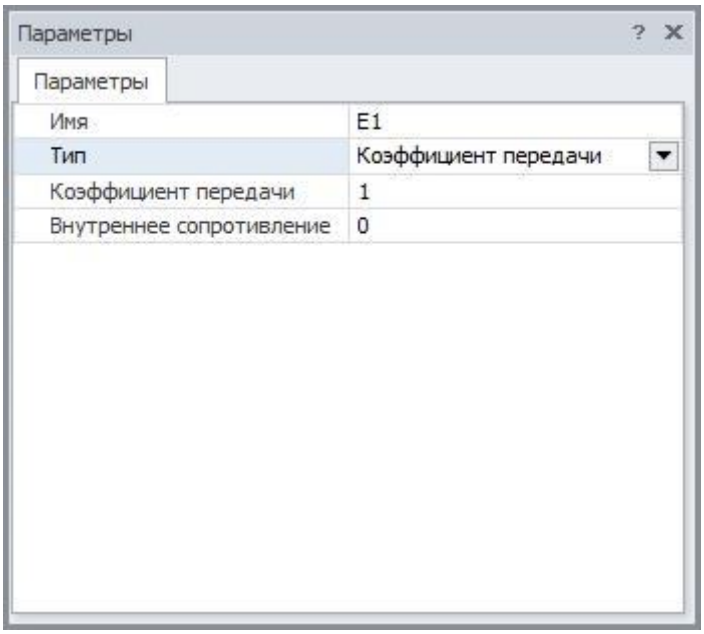


Рис. 5.6.2 ИНУН. Окно параметров

Таблица 5.6.1 Параметры модели ИНУН

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единиц
Коэффициент передачи	Коэффициент передачи	1	
Табличная зависимость	Табличная зависимость	–	
Внутреннее сопротивление	Внутреннее сопротивление	0	

В источнике напряжения, управляемом напряжением, можно использовать два способа задания зависимости выходного напряжения от падения напряжения на управляющих узлах:

- С помощью коэффициента усиления: V=Gain*Vy. Здесь Vy – падение напряжения на управляющих потенциалах.
- Таблично. Таблица берётся от управляющего напряжения и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение напряжения управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение управляющего напряжения Vy, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Управляемый источник напряжения с функцией Лапласа

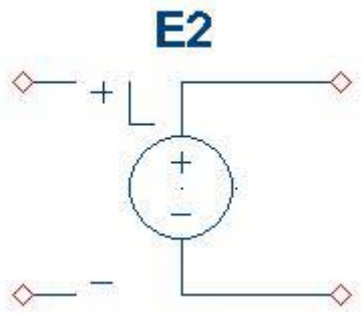
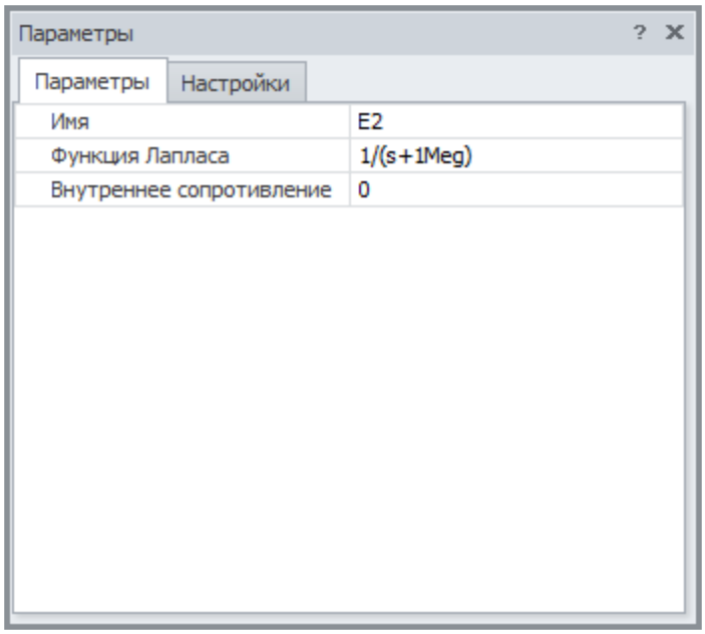


Рис. 5.6.3 ИНУН с функцией Лапласа. УГО на схеме



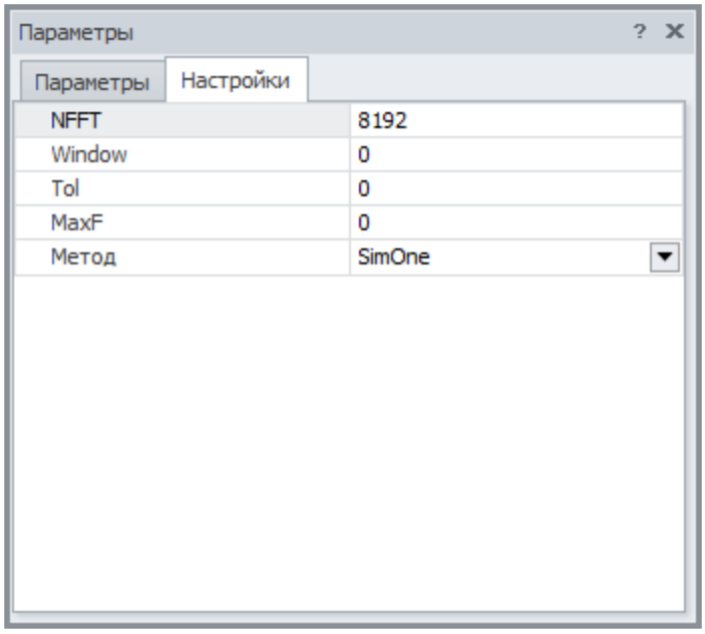


Рис. 5.6.4 ИНУН с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.6.2 Параметры модели ИНУН с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Laplace	Передаточная функция Лапласа	1/(s+1Meg)	–
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если Window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.	–	с
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода:	SimOne	–

	• SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходное напряжение источника считается с помощью взятия интеграла свертки управляющего напряжения и передаточной функции Лапласа.

Функциональный источник напряжения:

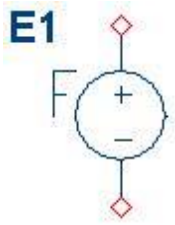


Рис. 5.6.5 Функциональный источник напряжения. УГО на схеме

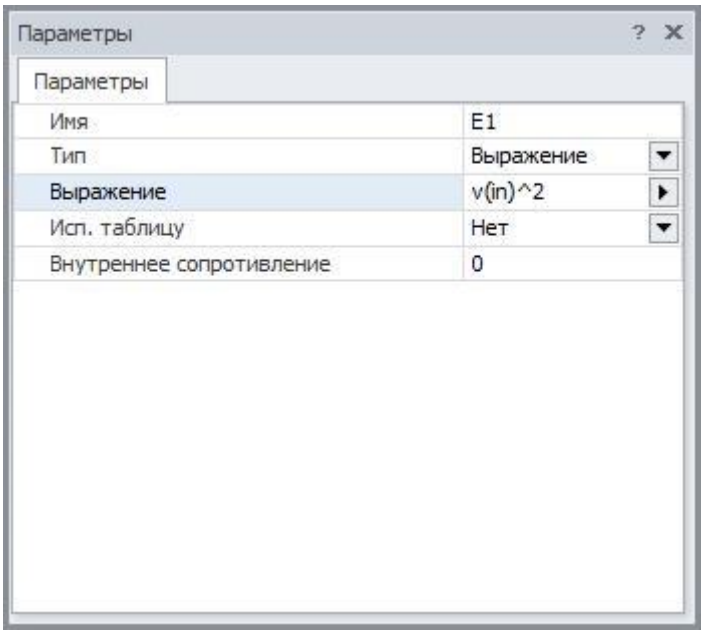


Рис. 5.6.6 Функциональный источник напряжения. Окно параметров

Таблица 5.6.3 Параметры модели функционального источника напряжения

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
EXPESSION	Выражение	1	–
POLY	Функция POLY формата SPICE	–	–
TABLE	Табличная зависимость от Выражения или значений функции POLY	–	–
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом

В функциональном источнике напряжения можно использовать следующие способы задания зависимости для выходного напряжения:

- Создание выражения. Подробно о выражениях см. главу 23 Выражения.
- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. §23.8 Математические функции.
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом

случае значение напряжения управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа

Рис. 5.6.7 Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа. УГО на схеме

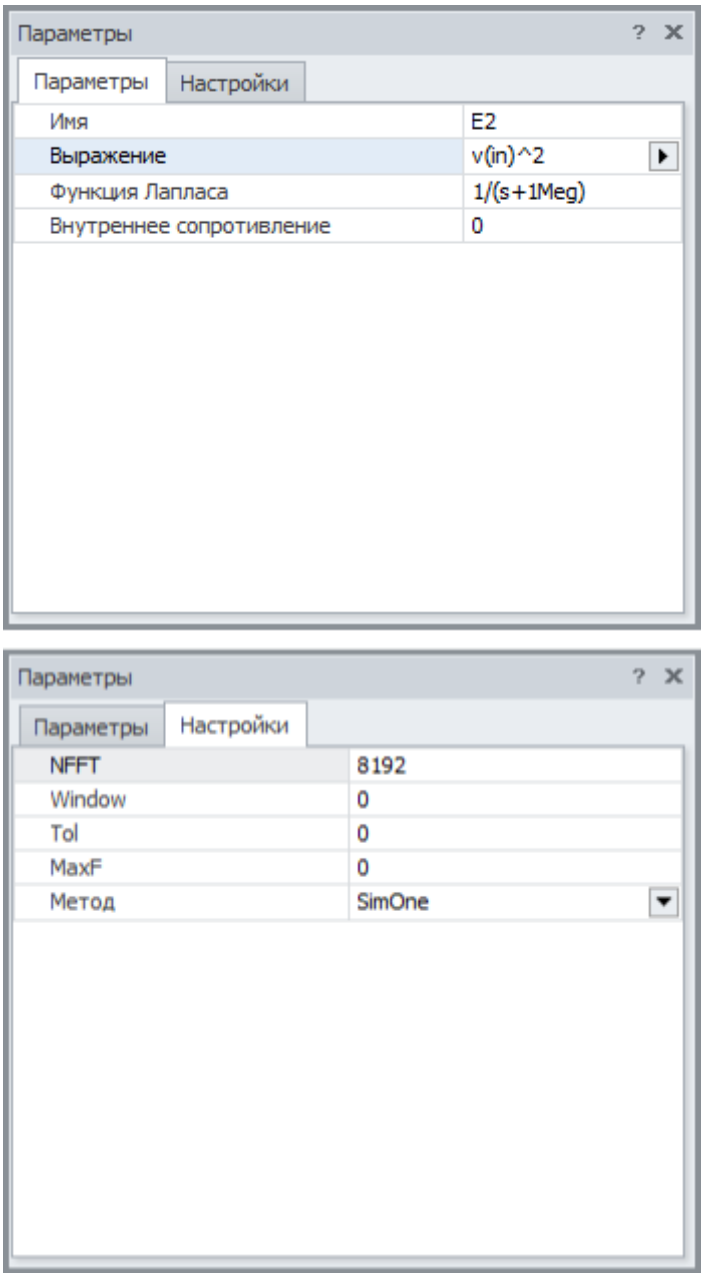


Рис. 5.6.8 Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.6.4 Параметры функционального источника тока с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
EXPESSION	Выражение	1	–
LAPLACE	Передаточная функция Лапласа, применяемая к Выражению	–	–
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом

NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки	–	c
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера	SimOne	–

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходное напряжение источника считается с помощью взятия интеграла свертки Выражения и передаточной функции Лапласа.

5.7 F. Источник тока, управляемый током

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

F<имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения> +<коэффициент передачи>

F <имя> <+узел> <–узел> POLY(<значения>) <имя управляющего источника напряжения>
+ <полиномиальные коэффициенты>

F <имя> <+узел> <–узел> VALUE = <*выражение*>

F <имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения> +table = <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

F<имя> <+узел> <–узел> TABLE(<*выражение*>) =
+ <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

F<имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения>
+ laplace = <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

F<имя> <+узел> <–узел> LAPLACE (<*выражение*>) =
+ <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

F <*имя*> <*плюс*> <*минус*> <имя управляющего источника напряжения>
+ freq = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >, <<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

F<*имя*> <*плюс*> <*минус*> FREQ (<*выражение*>) =
+ [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >, <<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

<*выражение*> может включать в себя:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).

- Ключевые слова time или t – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Описание параметров method, window, nfft и mtol приведено в таблице 5.7.2

Примеры:

```
F1  2  0 V1 5
F2  3  0 poly(2) V1 V2 0 1e3 2e3
F3  3  0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(time) +f^2
F4  3  0 V1 table = -10 -1 0 0 10 0.01
F5  3  0 table(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01
F6  3  0 V1 laplace = s/(2*s^2+s*2+1)
F7  3  0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) method=ift
nfft=8192
F8  3  0 v1 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

F9  3  0 freq(v(1)+v(1)*v(2)) = r_i 0,1,0,1,2,5,10,1.5,1.3
```

Схемотехнический редактор

Управляемый источник тока:

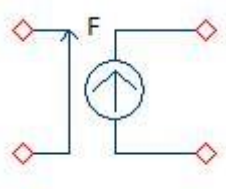


Рис. 5.7.1 ИТУТ. УГО на схеме

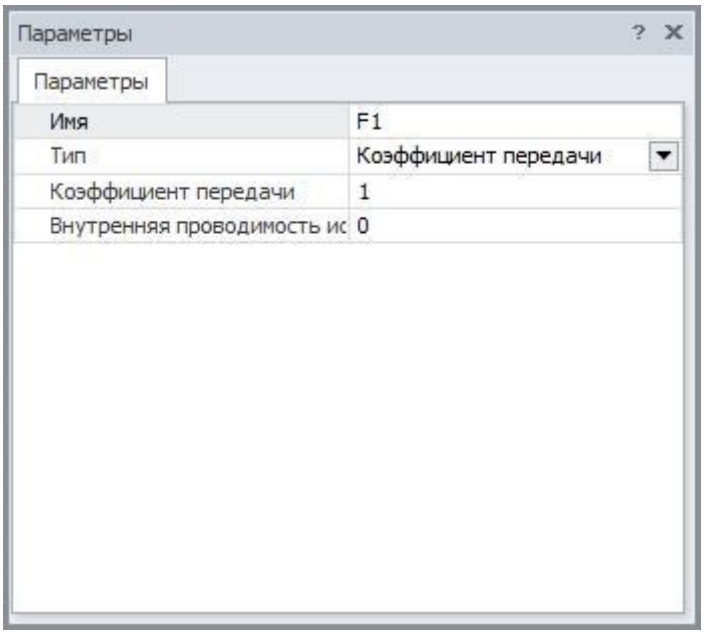


Рис. 5.7.2 ИТУТ. Окно параметров

Таблица 5.7.1 Параметры модели ИТУТ

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Коэффициент передачи	Коэффициент передачи	1	–
Табличная зависимость	Табличная зависимость	–	–
Внутренняя проводимость источника	Внутренняя проводимость	–	См.

В источнике тока, управляемого током, можно использовать два способа задания зависимости выходного тока от управляющего:

- С помощью коэффициента усиления: I=GAIN*Iy. Здесь Iy – ток управляемого источника.
- Таблично. Таблица берётся от управляющего напряжения и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение тока управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение управляющего тока Iy, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, и, наконец, с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

Управляемый источник тока с функцией Лапласа

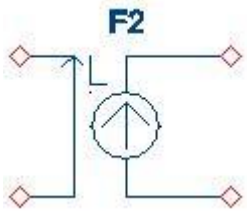


Рис. 5.7.3 ИТУТ с функцией Лапласа. УГО на схеме

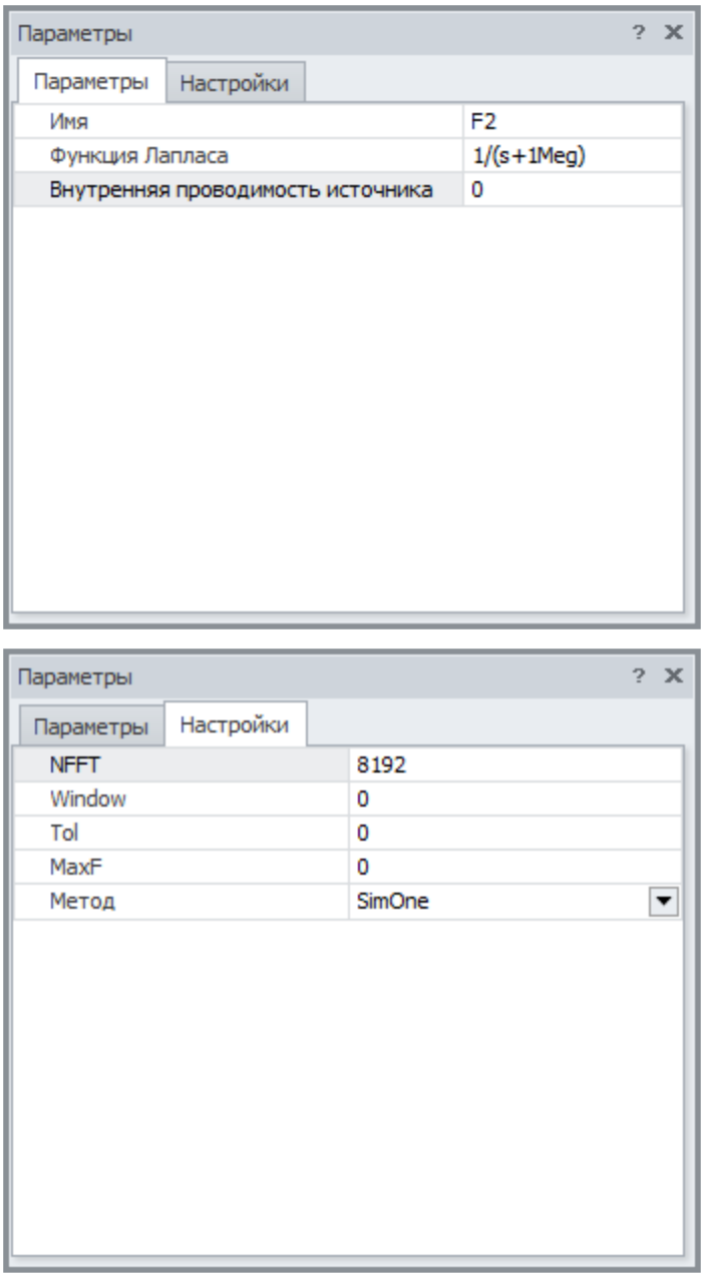


Рис. 5.7.4 ИТУТ с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.7.2 Параметры модели ИТУТ с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Функция Лапласа	Передаточная функция Лапласа	1/(s+1Meg)	–
G	Параллельная проводимость	–	См
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если Window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.	–	с
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ.	SimOne	–

	• Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходной тока источника считается с помощью взятия интеграла свертки управляющего напряжения и передаточной функции Лапласа.

Функциональный источник тока

Рис. 5.7.5 Функциональный источник тока. УГО на схеме

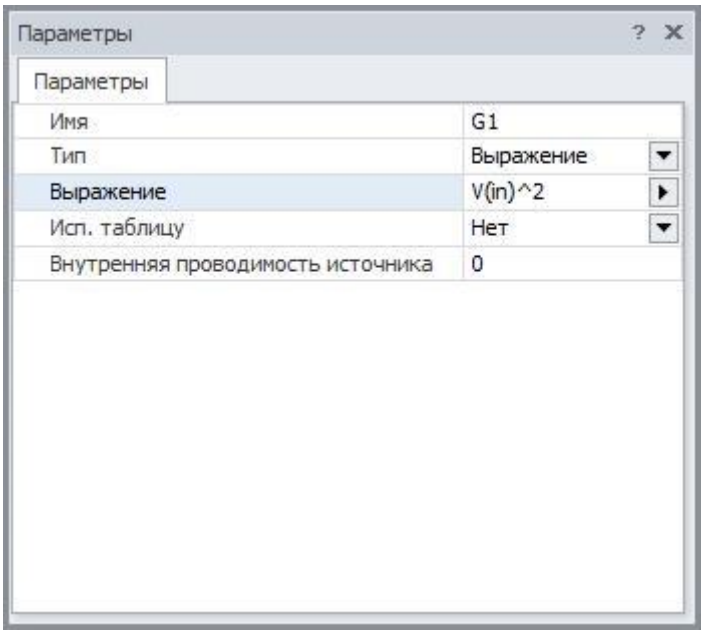


Рис. 5.7.6 Функциональный источник тока. Окно параметров

Таблица 5.7.3 Параметры функционального источника тока

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию
EXPESSION	Выражение	1
POLY	Функция POLY формата SPICE	–
TABLE	Табличная зависимость от Выражения или значений функции POLY	–
G	Параллельная проводимость	–

В функциональном источнике тока можно использовать следующие способы задания зависимости для выходного напряжения:

- Создание Выражения. Подробно о выражениях см. главу 23 Выражения.
- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. §23.8 Математические функции.
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение тока управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

Функциональный источник тока с функцией Лапласа

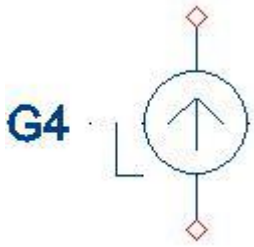
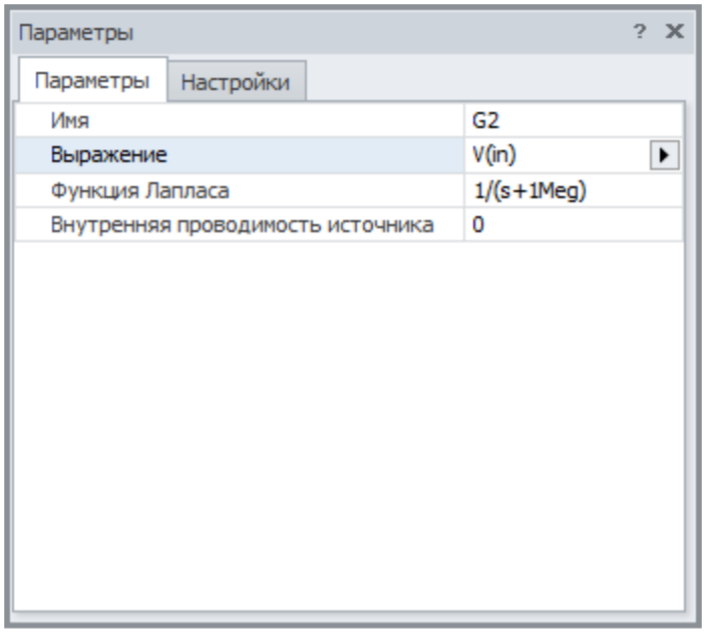


Рис. 5.7.7 Функциональный источник тока с функцией Лапласа. УГО на схеме



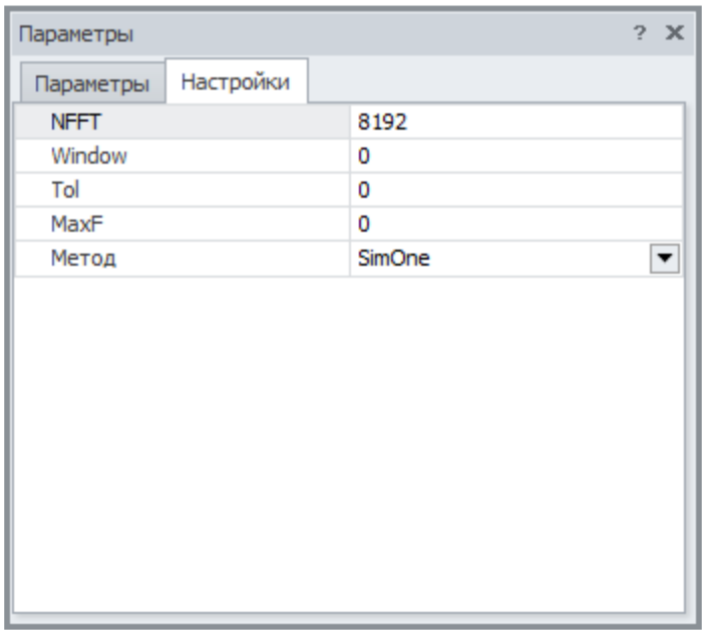


Рис. 5.7.8 Функциональный источник тока с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.7.4 Параметры функционального источника тока с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
EXPESSION	Выражение	1	–
LAPLACE	Передаточная функция Лапласа, применяемая к Выражению	–	–
G	Параллельная проводимость	–	См
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки	–	с
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода:	SimOne	–

	• SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходной тока источника считается с помощью взятия интеграла свертки Выражения и передаточной функции Лапласа.

5.8 G. Источник тока, управляемый напряжением

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ <коэффициент передачи>

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> POLY(<значение>)
+ <+управляющий узел><–управляющий узел><полиномиальные

коэффициенты> G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> VALUE = <*выражение*>

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий
узел> +table = <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> TABLE(<*выражение*>) =
+ <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

G <*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ laplace = <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<time>] [nfft=<number>] [mtol=<number>]]

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> LAPLACE (<*выражение*>) =
+ <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

G <*имя*> <*плюс*> <*минус*> <+управляющий узел><–управляющий узел>
+ freq = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

G<*имя*> <*плюс*> <*минус*> FREQ (<*выражение*>) =
+ [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

<*выражение*> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t – текущее время.

- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Описание параметров method, window, nfft и mtol приведено в таблице 5.8.2

Примеры:

```
G1  2 0 1  0 5
G2  3 0 poly(2) 1 0 2 0 0 1e3 2e3
G3  3 0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(t)
G4  3 0 1  0 table = -10 -1 0 0 10 0.01
G5  3 0 table(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01
G6  3 0 1  0 laplace = s/(2*s^2+s*2+1)
G7  3 0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) method=ift
G6  3 0 1  0 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

G7  3 0 freq(v(1)+v(1)*v(2)) = r_i 0,1,0,1,2,5,10,1.5,1.3
```

Схемотехнический редактор

Управляемый источник тока

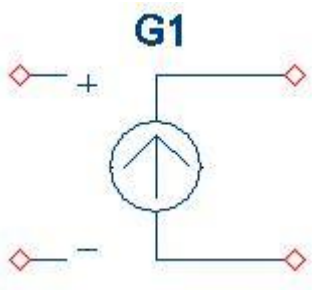


Рис. 5.8.1 ИТУН. УГО на схеме

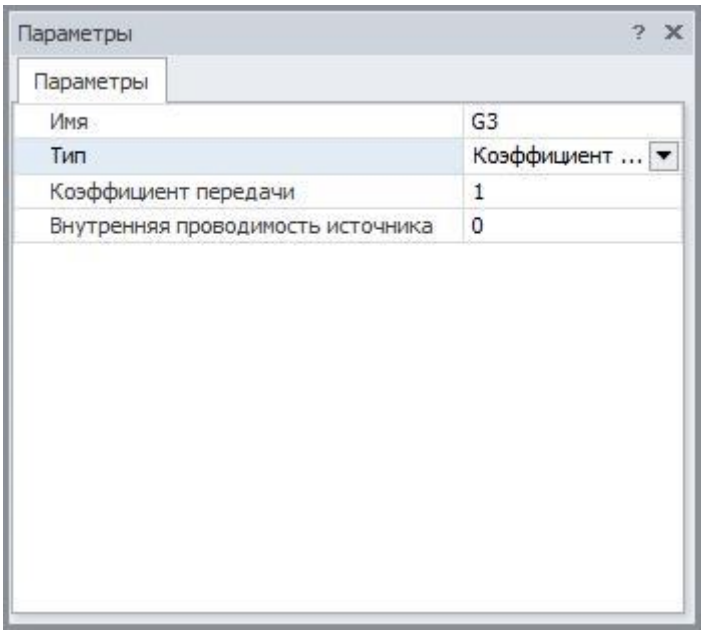


Рис. 5.8.2 ИТУН. Окно параметров

Таблица 5.8.1 Параметры модели ИТУН

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
GAIN	Коэффициент передачи	1	–
TABLE	Табличная зависимость	–	–
G	Параллельная проводимость	–	См

В источнике тока, управляемого напряжением, можно использовать два способа задания зависимости выходного тока от управляющего напряжения:

- С помощью коэффициента усиления: I=Gain*Vy. Здесь Vy – управляющее напряжение.
- Таблично. Таблица берётся от управляющего напряжения и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение тока управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение управляющего напряжения Vy, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

Управляемый источник тока с функцией Лапласа

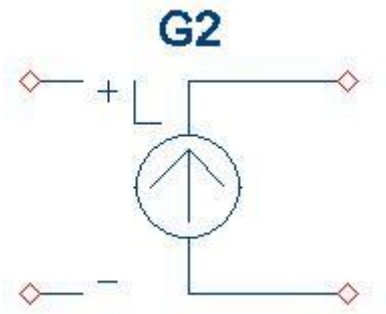
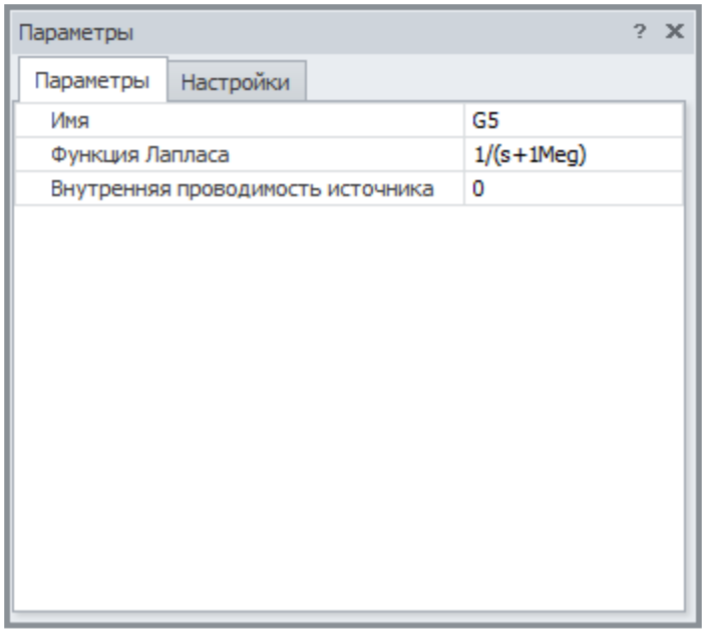


Рис. 5.8.3 ИТУН с функцией Лапласа. УГО на схеме



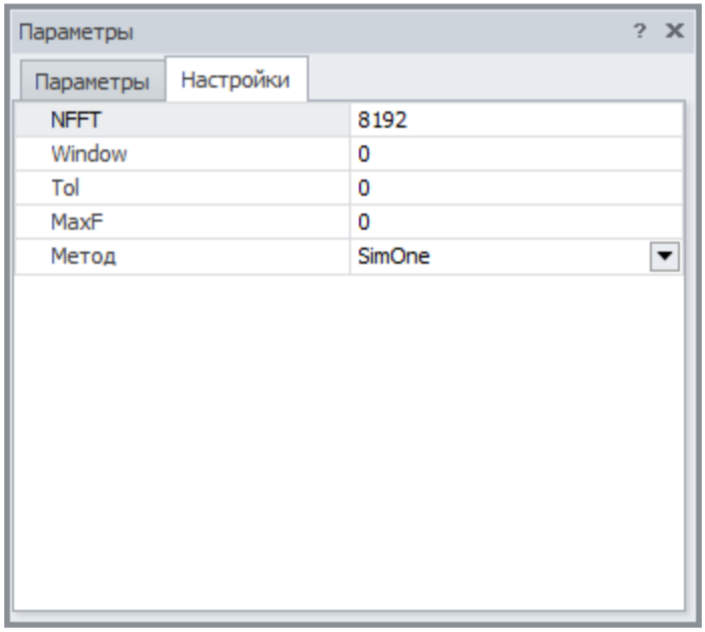


Рис. 5.8.4 ИТУН с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.8.2 Параметры модели ИТУН с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Laplace	Передаточная функция Лапласа	1/(s+1Meg)	–
G	Параллельная проводимость	–	См
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если Window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.	–	с
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод.	SimOne	–

	• IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходной тока источника считается с помощью взятия интеграла свертки управляющего напряжения и передаточной функции Лапласа.

Функциональный источник тока

Рис. 5.8.5 Функциональный источник тока. УГО на схеме

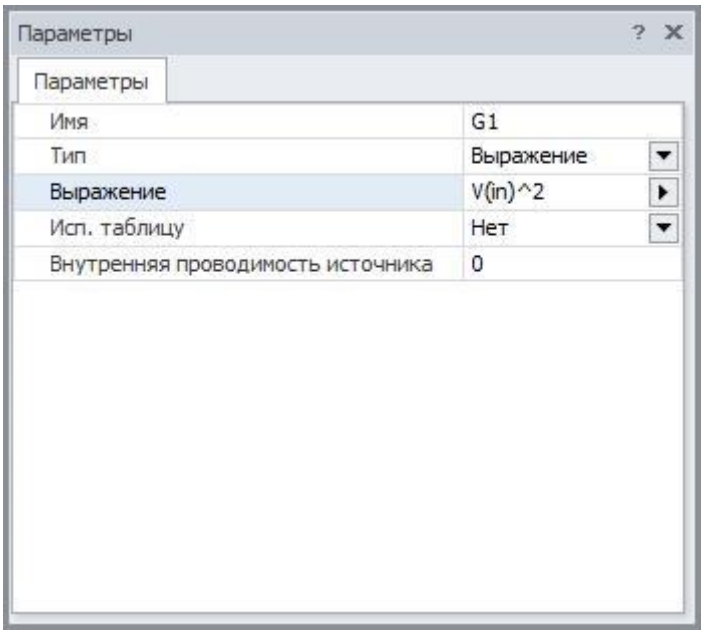


Рис. 5.8.6 Функциональный источник тока. Окно параметров

Таблица 5.8.3 Параметры функционального источника тока

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
EXPESSION	Выражение	1	–
POLY	Функция POLY формата SPICE	–	–
TABLE	Табличная зависимость от Выражения или значений функции POLY	–	–
G	Параллельная проводимость	–	См

В функциональном источнике тока можно использовать следующие способы задания зависимости для выходного напряжения:

- Создание Выражения. Подробно о выражениях см. главу 23 Выражения.
- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. §23.8 Математические функции.
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В

этом случае значение тока управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

Функциональный источник тока с функцией Лапласа

Рис. 5.8.7 Функциональный источник тока с функцией Лапласа. УГО на схеме

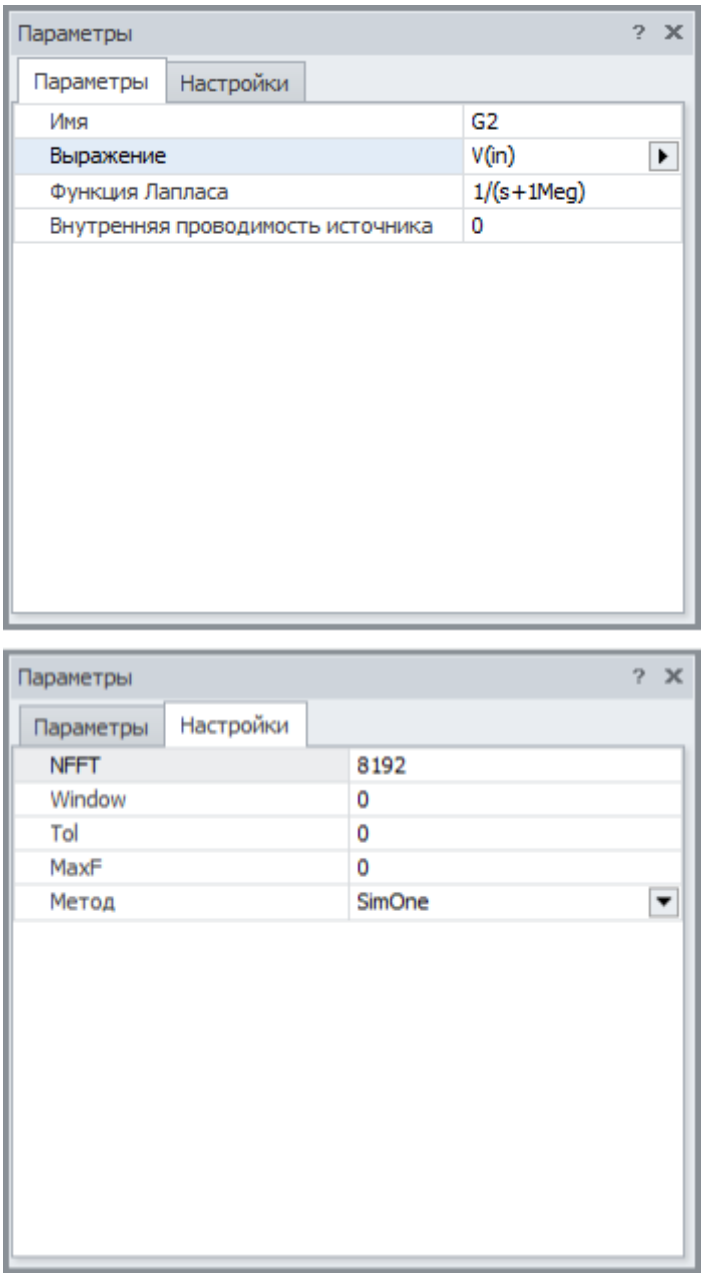


Рис. 5.8.8 Функциональный источник тока с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.8.4 Параметры функционального источника тока с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
EXPESSION	Выражение	1	–
LAPLACE	Передаточная функция Лапласа, применяемая к Выражению	–	–
G	Параллельная проводимость	–	См

NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки	–	c
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера	SimOne	–

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходной тока источника считается с помощью взятия интеграла свертки Выражения и передаточной функции Лапласа.

5.9 H. Источник напряжения, управляемый током

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

H<имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения> +<коэффициент передачи>

H <имя> <+узел> <–узел> POLY(<значения>)
+ <имя управляющего источника напряжения> <полиномиальные

коэффициенты> H <имя> <+узел> <–узел> VALUE = <*выражение*>

H <имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения> +table = <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

H<имя> <+узел> <–узел> TABLE(<*выражение*>) =
+ <*входное значение*>,<*выходное значение*> …

H<имя> <+узел> <–узел> <имя управляющего источника напряжения>
+ laplace = <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

H<имя> <+узел> <–узел> LAPLACE (<*выражение*>) =
+ <*передаточная функция Лапласа*>
+ [[method=<simone>] [window=<время>] [nfft=<число>] [mtol=<число>]]

H <*имя*> <*плюс*> <*минус*> <имя управляющего источника напряжения>
+ freq = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

H<*имя*> <*плюс*> <*минус*> FREQ (<*выражение*>) =
+ [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

<*выражение*> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t – текущее время.

- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Описание параметров method, window, nfft и mtol приведено в таблице 5.9.2

Примеры:

```
H1  2  0 V1 5
H2  3  0 poly(2) V1 V2 0 1e3 2e3
H3  3  0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(time)
H4  3  0 V1 table = -10 -1 0 0 10 0.01
H5  3  0 table(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01
H6  3  0 V1 laplace = s/(2*s^2+s*2+1)
H7  3  0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) method=IFT
mtol=1m
H8  3  0 V1 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

H9  3  0 freq(v(1)+v(1)*v(2)) = r_i 0,1,0,1,2,5,10,1.5,1.3
```

Схемотехнический редактор

Управляемый источник напряжения:

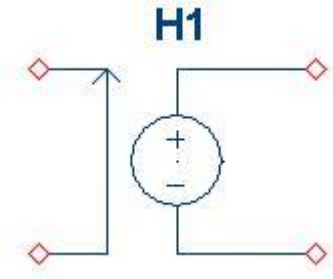


Рис. 5.9.1 ИНУТ. УГО на схеме

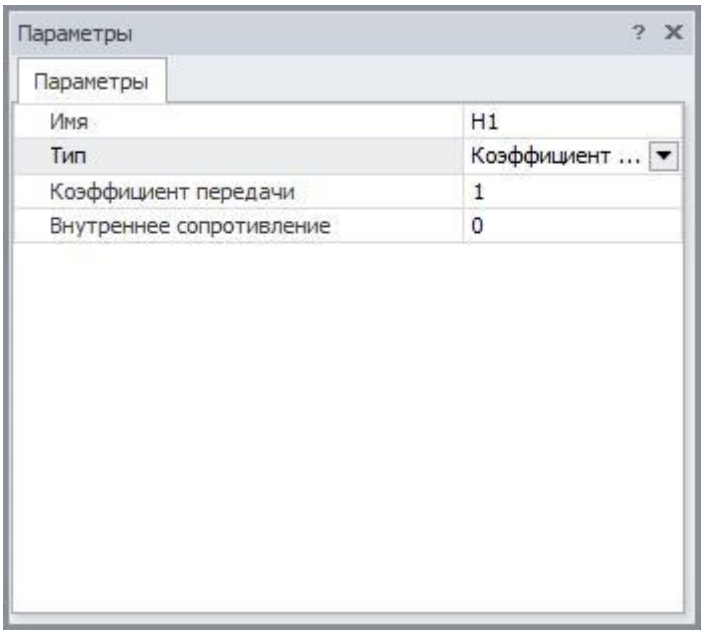


Рис. 5.9.2 ИНУТ. Окно параметров

Таблица 5.9.1 Параметры модели ИНУТ

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица из
GAIN	Коэффициент передачи	1	–
TABLE	Табличная зависимость	–	–
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом

В источнике напряжения, управляемым током, можно использовать два способа задания зависимости выходного напряжения от управляющего тока:

- С помощью коэффициента усиления: V=Gain*Iy. Здесь Iy – управляющий ток.
- Таблично. Таблица берётся от управляющего тока и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение напряжения управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение управляющего тока Iy, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Управляемый источник напряжения с функцией Лапласа

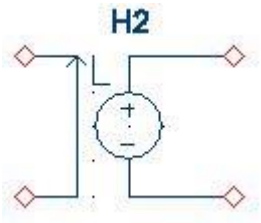


Рис. 5.9.3 ИНУТ с функцией Лапласа. УГО на схеме

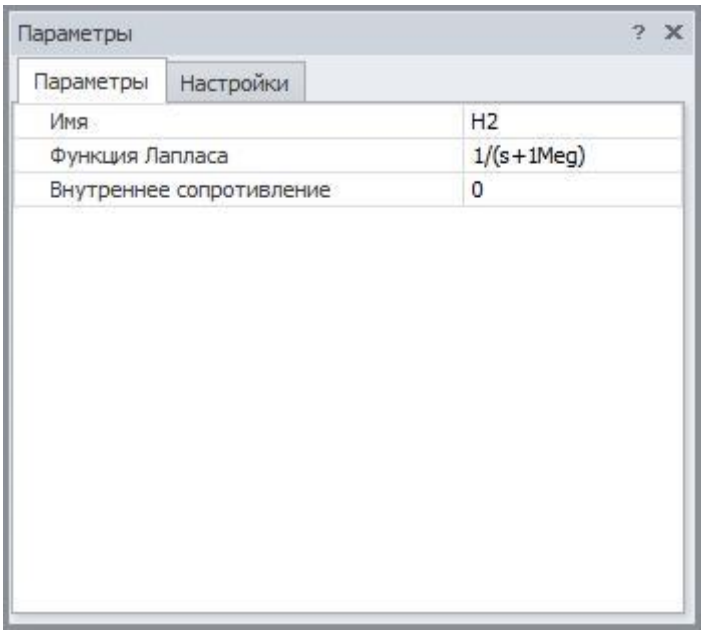


Рис. 5.9.4 ИНУТ с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.9.2 Параметры модели ИНУТ с функцией Лапласа

Обозначение	Параметр
Laplace	Передаточная функция Лапласа
R	Внутреннее сопротивление
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если Window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT - вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходное напряжение источника считается с помощью взятия интеграла свертки управляющего напряжения и передаточной функции Лапласа.

Функциональный источник напряжения:

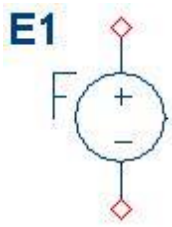


Рис. 5.9.5 Функциональный источник напряжения. УГО на схеме

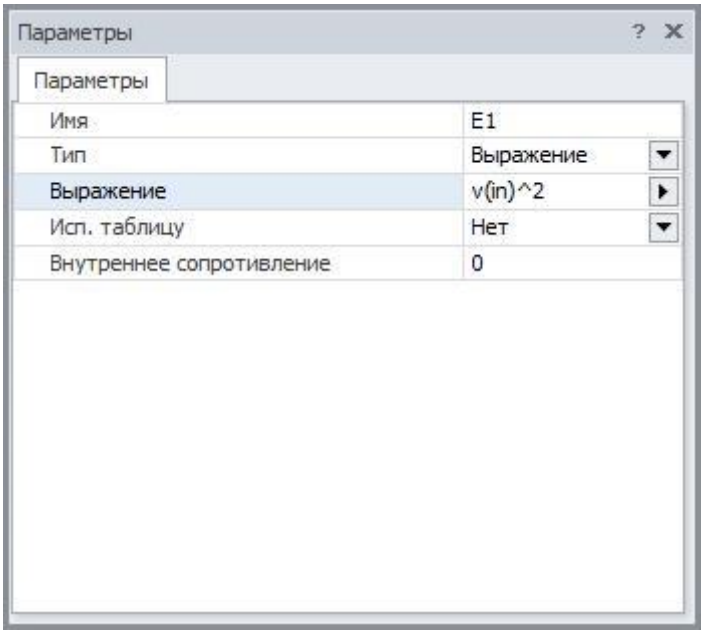


Рис. 5.9.6 Функциональный источник напряжения. Окно параметров

Таблица 5.9.3 Параметры модели функционального источника напряжения

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения

EXPESSION	Выражение	1	–
POLY	Функция POLY формата SPICE	–	–
TABLE	Табличная зависимость от Выражения или значений функции POLY	–	–
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом

В функциональном источнике напряжения можно использовать следующие способы задания зависимости для выходного напряжения:

- Создание выражения. Подробно о выражениях см. главу 23 Выражения.
- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. §23.8 Математические функции.
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (<аргумент>,<функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение напряжения управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа

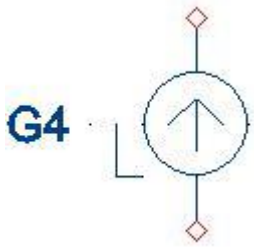


Рис. 5.9.7 Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа. УГО на схеме

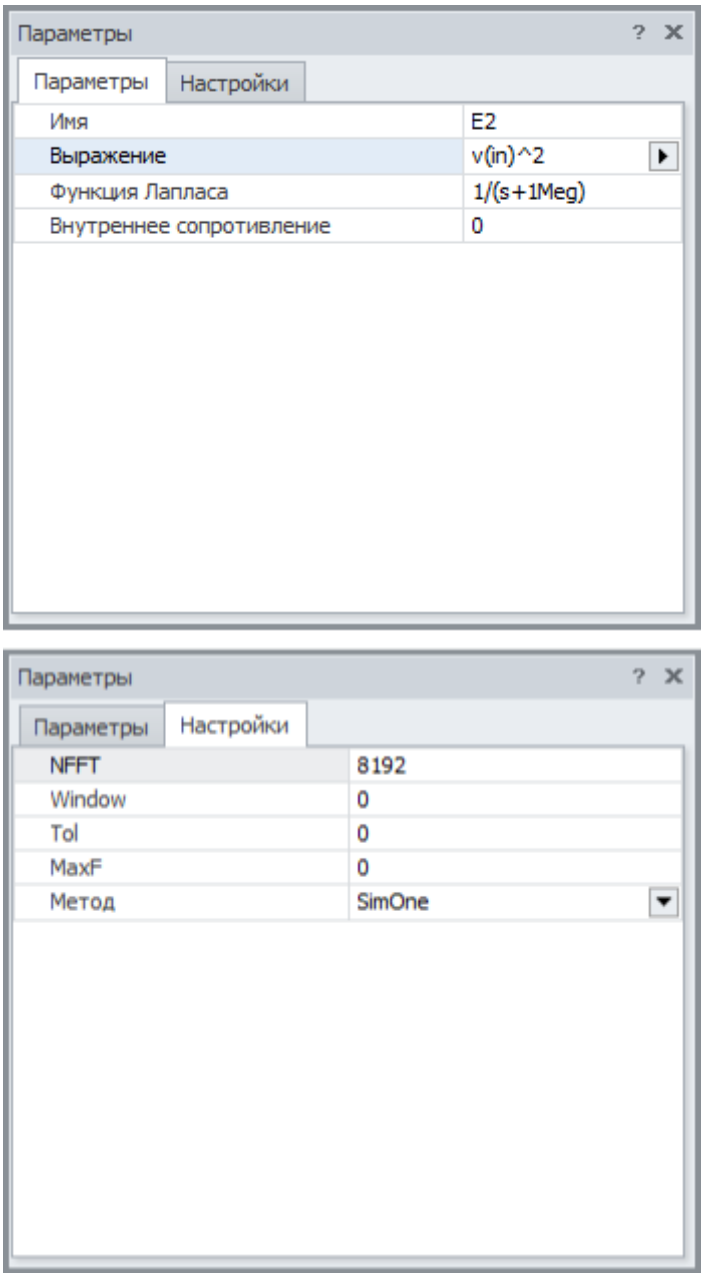


Рис. 5.9.8 Функциональный источник напряжения с функцией Лапласа. Окно параметров

Таблица 5.9.4 Параметры функционального источника тока с функцией Лапласа

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
EXPESSION	Выражение	1	–
LAPLACE	Передаточная функция Лапласа, применяемая к Выражению	–	–

R	Внутреннее сопротивление	0	Ом
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки	–	с
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
Метод	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne - оригинальный метод. • IFT- вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. •	SimOne	–

	Euler - вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_ri(), freq_db(). freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. §23.8 Математические функции

Выходное напряжение источника считается с помощью взятия интеграла свертки Выражения и передаточной функции Лапласа.

5.10 I. Независимый источник тока

SPICE-формат

Синтаксис:

I<имя> <+узел> <–узел> [[DC] <значение>]
+ [AC <модуль> [<фаза>]]
+ [STIMULUS=<имя сигнала>]
+ [Сигнал]
+ [Rpar=<value>]

Параметр [DC] определяет постоянную составляющую источника напряжения. Для режима AC задаются модуль и фаза (в градусах) источника гармонического сигнала. После ключевого слова STIMULUS указывается имя сигнала, созданного с помощью программы команды **.STIMULUS**. Параметр [Сигнал] описывает заданный сигнал, используемый во временном анализе схемы.

Примеры:

```
I1 1 0 5mA Rpar=50Ohm
I220AC190
Isin 4 0 DC 5 AC 1 SIN(5 1 1meg)
Ipulse 3 0 PULSE(-1m 1m 2ns 2ns 2ns 50ns 100ns)
```

Схемотехнический редактор

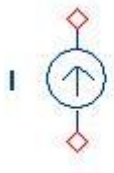


Рис. 5.10.1 Независимый источник тока. УГО на схеме

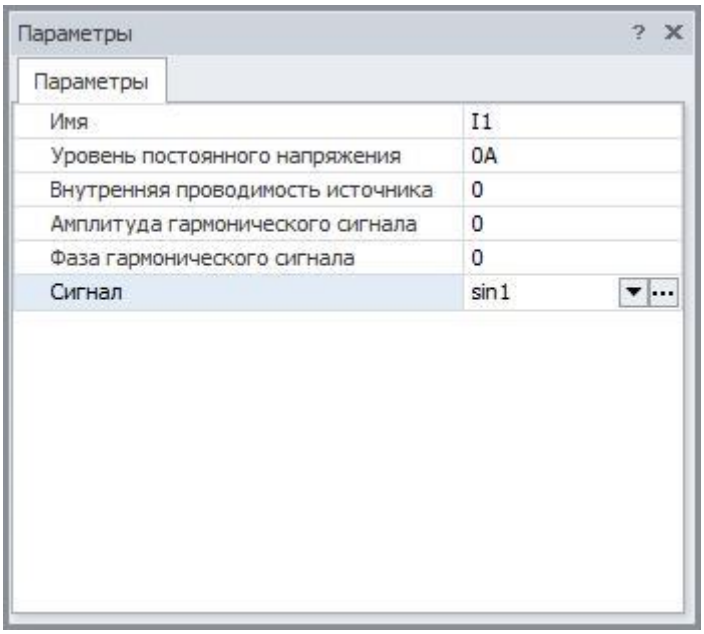


Рис. 5.10.2 Независимый источник тока. Окно параметров

Таблица 5.10.1 Параметры модели независимого источника тока

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
DC	Уровень постоянного напряжения	0	В
G	Внутренняя проводимость источника	0	1/Ом
ACmagnitude	Амплитуда гармонического сигнала	0	В
ACphase	Фаза гармонического сигнала	0	Град.
Сигнал	Функция от времени	–	–

Модель независимого источника тока, используемая в **SimOne** отличается от стандартной SPICE-модели добавлением внутренней проводимости источника G. Анализ схемы по постоянному току использует значения постоянного тока заданные в поле DC.

Частотный анализ схемы использует значения амплитуды и фазы гармонического сигнала из полей ACmagnitude и ACphase соответственно. При этом комплексное значение величины тока источника определяется следующим образом:

```
IAC =
ACmagnitude*sin(ACphase*pi/180)+i*ACmagnitude*cos(ACphase*pi/180
)
```

При анализе переходных процессов и анализе периодических режимов схемы в качестве тока источника используются функции от времени, задаваемые в поле <Сигнал>.<Сигнал> может иметь один из следующих типов:
DC<значение> – постоянный сигнал
EXP <параметры> – сигнал экспоненциальной
формы, PULSE <параметры> – импульсный сигнал;
SIN <параметры> – синусоидальный сигнал,
SFFM <параметры> – частотно-модулированный синусоидальный сигнал,
PWL <параметры> – кусочно-линейный сигнал,
NOISE<параметры> – шумовой сигнал
EXPRESSION – сигналы, заданные произвольным математическим выражением.

Сигналы описаны подробно в Главе 6 Сигналы.

5.11 J. Полевой транзистор

SPICE-формат

Синтаксис:

J<имя> <*drain*> <*gate*> <*source*> <*model name*> [*area*][*OFF*][*IC*=<*vds*>[,*vgs*]]

Area – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов. Значение по умолчанию =1.
Если присутствует ключевое слово [OFF], оно указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании [OFF] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы
С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на p-n-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

Задание модели

.MODEL <model name> NJF [модельные параметры]
.MODEL <model name> PJF [модельные параметры]

Примеры

```
J1 1 2 3 2N3684
J2 4 5 6 2N5020 2 OFF
J3 7 8 0 JMOD1 IC=1.0, 2.5
.MODEL 2N5020 PJF(AF=500.449309M BETA=149.406917M
CGD=3.633806P CGS=8.193691P FC=500M IS=10F KF=231.313289F
LAMBDA=37.5M M=500m PB=4.447909 RS=509.288793 VTO=-
3.180721)
.MODEL 2N3684 NJF(AF=500.524773M BETA=2.953635M
CGD=2.783703P CGS=3.164213P FC=500M IS=10F KF=4.997636E-019
LAMBDA=9.999999M M=500m PB=1.937899 RS=286.385332 VTO=-
2.342435)
.MODEL JMOD1 NJF(IS=1e-15)
```

Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом описываются моделью Шихмана–Ходжеса.

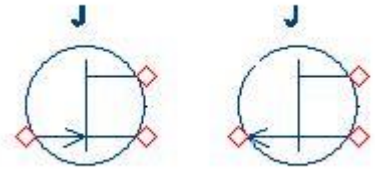


Рис. 5.11.1 Полевой транзистор. УГО на схеме

Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом описываются моделью Шихмана–Ходжеса.

Таблица 5.11.1 Параметры модели полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока	1	–
ALPHA	Коэффициент ионизации	1	В
BETA	Коэффициент пропорциональности (удельная передаточная проводимость)	1E–4	$А/В^2$
BETATCE	Температурный коэффициент BETA	0	%/°C
CGD	Ёмкость перехода затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость перехода затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф
FC	Коэффициент нелинейности ёмкостей переходов при прямом смещении	0,5	–
IS	Ток насыщения p-n-перехода затвор-канал	1E–14	А
ISR	Параметр тока рекомбинации p-n-перехода затвор-канал	0	А
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	–
LAMBDA	Параметр модуляции длины канала	0	1/В
M	Коэффициент лавинного умножения обедненного p-n-перехода затвор-канал	0,5	–
N	Коэффициент неидеальности p-n-перехода затвор-канал	1	–

NR	Коэффициент эмиссии для тока ISR	2	–
PB	Контактная разность потенциалов p-n-перехода затвора	1	В
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RS	Объёмное сопротивление области истока	0	Ом
T_ABS	Абсолютная температура		°C
T_MEASURED	Температура измерения		°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура		°C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа		°C
VK	Напряжение ионизации для перехода затвор-канал	0	В
VTO	Пороговое напряжение	–2	В
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	В/°C
XTI	Температурный коэффициент тока IS	3	

5.12 K. Магнитносвязанная индуктивность

SPICE-формат

K<имя> L<имя> L<имя> <коэффициент связи>

Пример:

```
L1 1 0 1mH
L2 1 2 2.2mH
L3 3 4 10uH

K1 L1 L2 L3 0.5
```

Схемотехнический редактор

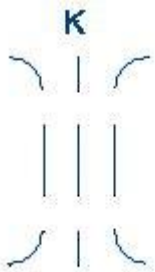


Рис. 5.12.1 Взаимная индуктивность. УГО на схеме.

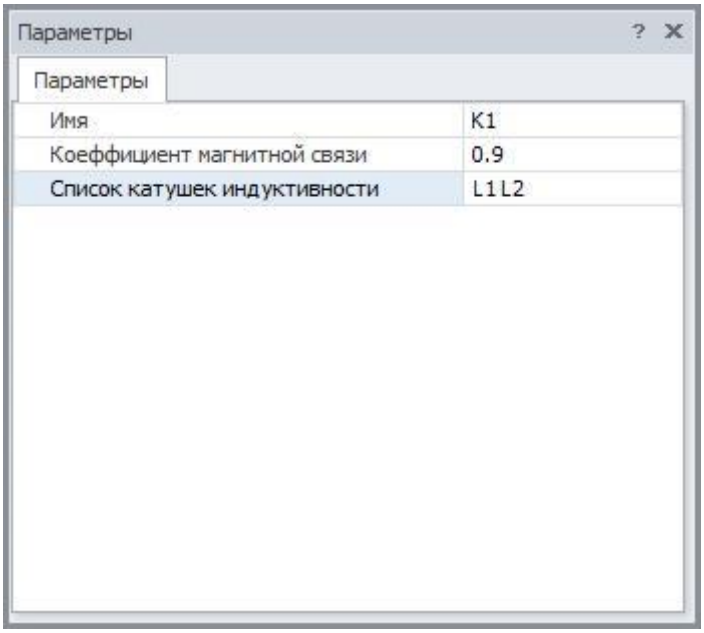


Рис. 5.12.2 Взаимная индуктивность. Окно параметров

В поле **Имя** указывается имя компонента, например, K1. В поле **Модель** указывается имя модели, используемой компонентом.

Таблица 5.12.1. Параметры модели взаимной индуктивности

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
K	Коэффициент магнитной связи	0	–
L_List	Список катушек индуктивности	–	–

Взаимная индуктивность M задаётся коэффициентом магнитной связи K и списком L_List, в котором через запятую указываются имена индуктивностей, состоящих в магнитной связи друг с другом.

$$Mij=K*sqrt(Li*Lj)$$

Знак взаимной индуктивности определяется порядком перечисления узлов в описании каждой индуктивности.

Порядок перечисления имён индуктивностей в списке не имеет значения.

5.13 L. Катушка индуктивности

SPICE-формат

L<имя><плюс> <минус> [имя модели]
<значение> +[IC=<начальное значение тока>]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-форматы

L<имя><плюс> <минус> [L=]<*выражение*>
L<имя><плюс> <минус> [L=]'<*выражение*>'
L<имя><плюс> <минус> [L=](<*выражение*>)
L<имя><плюс> <минус> [L=]{<*выражение*>}
L<имя><плюс> <минус> flux=<*выражение*>
L<имя><плюс> <минус> flux ='<*выражение*>'
L<имя><плюс> <минус> flux =(<*выражение*>)
L<имя><плюс> <минус> flux ={<*выражение*>}

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения индуктивности. Полярность используется как для задания начального тока в индуктивности, так и для построения графиков тока I(L<имя>) индуктивности и падения напряжения на ней V(L<имя>).
[IC=<начальное значение тока>] задаёт начальное значение тока в расчёте переходных процессов схемы.
[L=] – задание выражения для индуктивности.
flux = – задание выражения для потокосцепления катушки индуктивности.

<*выражение*> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f– частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Синтаксис описания модели

.MODEL <*имя модели*> IND ([*параметры модели*])

Примеры:

```
L1  1  0 1mH
L2  1  2 2.2n IC=1mA
L3  1  0 1u/(1+abs(I(L3)))
L4  2  3 flux=1u*ATAN(I(L4))
L5  4  5 flux=1u*ATAN(x)
L3  3  4 LMOD 10u
.MODEL LMOD IND (L=20m IL1=0.001)
```

Схемотехнический редактор

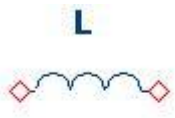


Рис. 5.13.1 Катушка индуктивности. УГО на схеме

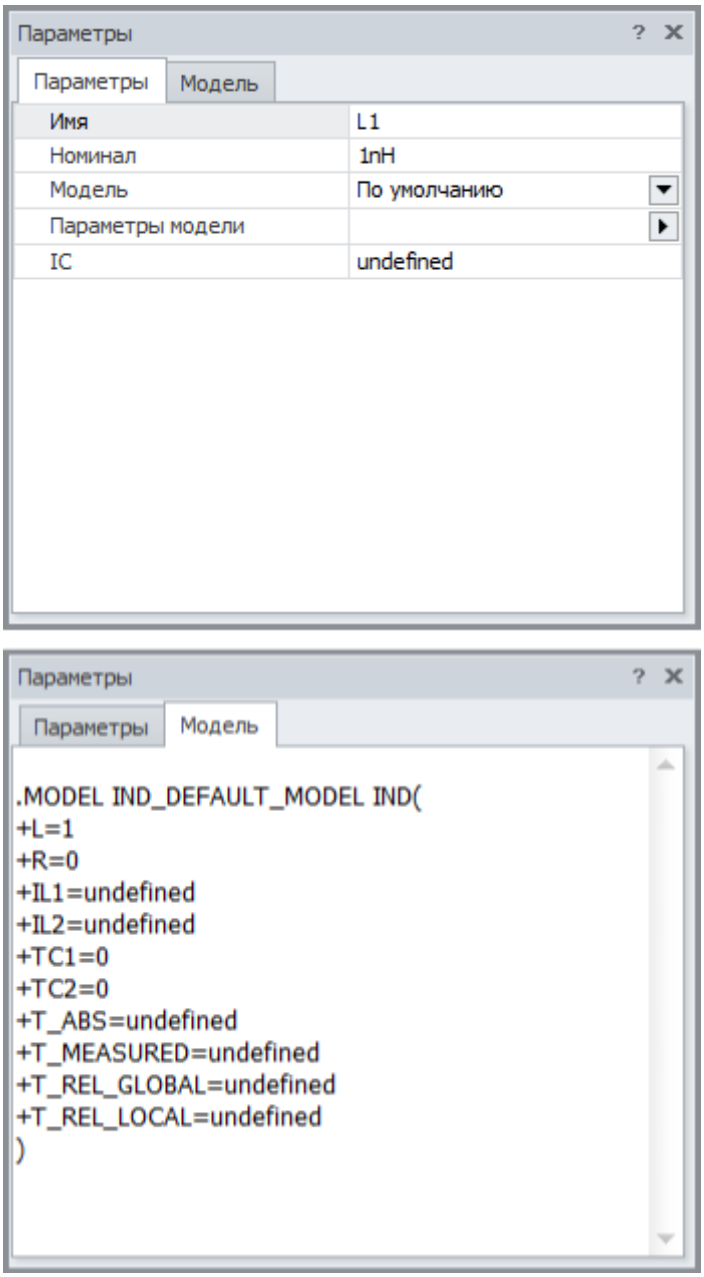


Рис. 5.13.2 Катушка индуктивности. Окно параметры

В поле **Имя** указывается имя компонента, например, L1. В поле **Модель** указывается имя модели, используемой компонентом.

Таблица 5.13.1 Параметры модели катушки индуктивности

Обозначение	Параметр
Номинал\Выражение	Номинал индуктивности или выражение для неё
FLUX	Выражение для потокосцепления индуктивности
R	Параметр внутреннего сопротивления

L	Масштабный множитель индуктивности
IL1	Линейный коэффициент тока
IL2	Квадратичный коэффициент тока
TC1	Линейный температурный коэффициент индуктивности
TC2	Квадратичный температурный коэффициент индуктивности
TOLERANCE	Допуск
T_ABS	Абсолютная температура
T_MEASURED	Температура измерений
T_REL_GLOBAL	Относительная температура
T_REL_LOCAL	Разность между температурой индуктивности и модели-прототипа

Модель катушки индуктивности, используемая в **SimOne,** отличается от стандартной SPICE-модели добавлением сопротивления R для учёта активных потерь в обмотке.

5.14 M. Полевой транзистор с изолированным затвором

SPICE-формат

Синтаксис:
M<имя> <сток> <затвор> <исток> <подложка> <имя модели>
+ [M=<значение>] [L=< значение >] [W=< значение >]
+ [AD=< значение >] [AS=< значение >] [PD=< значение >] [PS=< значение >]
+ [NRD=< значение >] [NRS=< значение >] [NRG=< значение >]
+ [NRB=< значение >]
+ [OFF][IC=<vds>[,vgs[,vbs]]]

[M] – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов. Значение по умолчанию 1.
[L] и [W] – длина и ширина канала соответственно. Значения по умолчанию равны значениям DEFL и DEFW соответственно, которые указываются в Настройках схемы. [AD] и [AS] – диффузионные площади стока и истока соответственно. Значения по умолчанию равны значениям DEFAD и DEFAS соответственно, которые указываются в Настройках схемы.
[PD] и [PS] – диффузионные площади стока и истока соответственно. Значения по умолчанию равны значениям DEFPD и DEFPS соответственно, которые указываются в Настройках схемы.
[NRD], [NRS], [NRG] и [NRB] – скалярные множители, с помощью которых вычисляются значения сопротивлений стока, истока, затвора и подложки соответственно, если они не заданы явно:

```
RD= NRD *RSH, RS= NRS *RSH,
RG= NRG *RSH, RS= NRB *RSH.
```

Значения по умолчанию равны значениям DEFNRD, DEFNRS, DEFNRG, DEFNRB, соответственно, которые указываются в Настройках схемы.

Area – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов. Значение по умолчанию 1.

Если присутствует ключевое слово [OFF], то оно указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании [OFF] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на p-n-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> NMOS (<параметры модели>)
.MODEL <имя модели> PMOS (<параметры модели>)

Примеры

```
M1 1 2 3 0 M1 L=25u W=12u
M24560M2M=2

.MODEL M1 NMOS (KP=1e-6 GAMMA=0.5)
.MODEL M2 PMOS (KP=1.2E-6 LAMBDA=1m)
```

Схемотехнический редактор

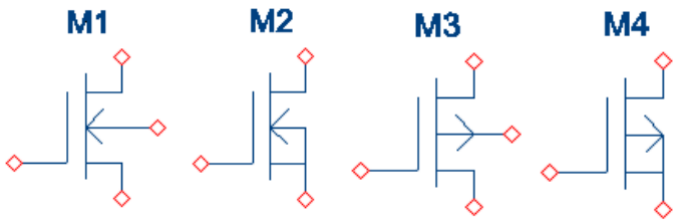


Рис. 5.14.1 а)–г) Полевой транзистор с изолированным затвором N-типа (а,б) и P-типа (в,г)

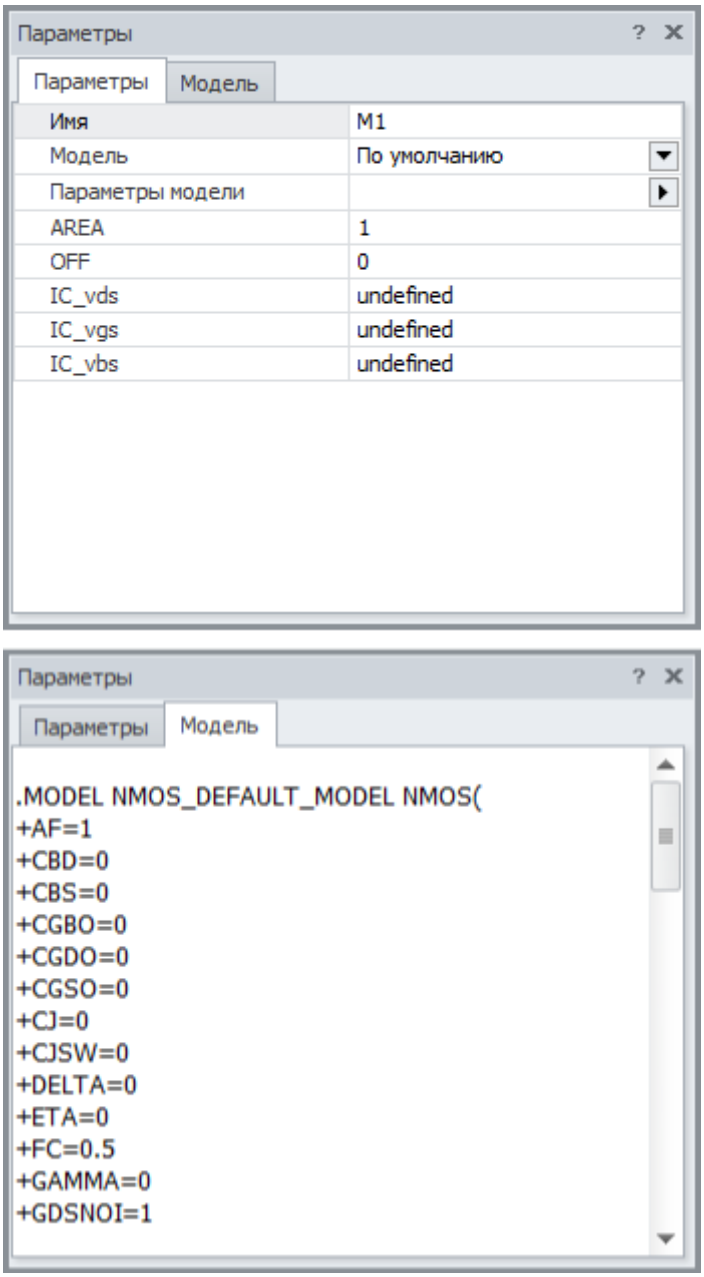


Рис. 5.14.2 Полевой транзистор с изолированным затвором. Окно параметров

Поддерживаемые модели

Параметр Level	Имя модели
1	Модель Шихмана–Ходжеса
2	MOS2 аналитическая модель Грув– Хоффмана
3	MOS3, полуэмпирическая модель

Таблица 5.14.1 Параметры модели МОП-транзистора

Обозначение	Параметр LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
LEVEL		Индекс уровня модели	1	–
L	1–3	Длина канала	DEFL	M
W	1–3	Ширина канала	DEFW	M
LD	1–3	Глубина области боковой диффузии	0	M
WD	1–3	Ширина области боковой диффузии	0	M
VTO	1–3	Пороговое напряжение при нулевом смещении	1	В
KP	1–3	Параметр удельной крутизны	2E–5	$А/В^2$
GAMMA	1–3	Коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение	0	$В^{1/2}$
PHI	1–3	Поверхностный потенциал сильной инверсии	0,6	В
LAMBDA	1,2	Параметр модуляции длины канала	0	1/В
RD	1–3	Объёмное сопротивление стока	0	Ом
RS	1–3	Объёмное сопротивление истока	0	Ом
RG	1–3	Объёмное сопротивление затвора	0	Ом
RB	1–3	Объёмное сопротивление подложки	0	Ом
RDS	1–3	Сопротивление утечки сток-исток	∞	Ом
RSH	1–3	Удельное сопротивление диффузионных областей истока и стока	0	$Ом/м^2$

IS	1–3	Ток насыщения p-n-перехода сток-подложка (исток-подложка)	1E–14	А
JS	1–3	Плотность тока насыщения перехода сток (исток)-подложка	0	$А/м^2$
JSSW	1–3	Удельная плотность тока насыщения (на длину периметра)	0	А/м
PB	1–3	Напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	0,8	В
PBSW	1–3	Напряжение инверсии боковой поверхности p-n-перехода	PB	В
N	1–3	Коэффициент неидеальности перехода подложка-сток (исток)	1	
CBD	1–3	Ёмкость донной части перехода сток-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CBS	1–3	Ёмкость донной части перехода исток-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CJ	1–3	Удельная ёмкость донной части p-n-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода)	0	$Ф/м^2$
CJSW	1–3	Удельная ёмкость боковой поверхности перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на длину периметра)	0	Ф/м
MJ	1–3	Коэффициент, учитывающий	0,5	

		плавность донной части перехода подложка-сток (исток)		
MJSW	1–3	Коэффициент, учитывающий плавность бокового перехода подложка-сток (исток)	0,33	
FC	1–3	Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещенного перехода подложки	0,5	
CGSO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-исток (за счёт боковой диффузии)	0	Ф/м
CGDO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-сток на длину канала (за счёт боковой диффузии)	0	Ф/м
CGBO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-подложка (за счёт выхода затвора за пределы канала)	0	Ф/м
TT	1–3	Время переноса заряда через p-n-переход	0	с
NSUB	2, 3	Уровень легирования подложки	Нет	$1/см^3$
NSS	2,3	Плотность медленных поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид	Нет	$1/см^2$
NFS	2,3	Плотность быстрых поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид	0	$1/см^2$

TOX	1–3	Толщина оксидной пленки	1e–7	м
TPG	2,3	Тип материала затвора (+1 – легирование затвора примесью того же типа, как и для подложки; –1 – примесью противоположного типа; 0 – металл)	1	
XJ	2,3	Глубина металлического перехода областей стока и истока	0	м
UO	2,3	Поверхностная подвижность носителей	600	$см^2$/В/с
UCRIT	2	Критическая напряженность поля, при которой подвижность носителей уменьшается в два раза	1E4	В/см
UEXP	2	Экспоненциальный коэффициент снижения подвижности носителей	0	
UTRA	2	Коэффициент снижения подвижности носителей	0	м/с
GDSNOI	1–3	Коэффициент дробового шума канала	1	
NLEV	1–3	Выбор шумового уравнения	2	
VMAX	2, 3	Максимальная скорость дрейфа носителей	0	м/с
NEFF	2	Эмпирический коэффициент коррекции концентрации примесей в канале	1	
XQC	2, 3	Доля заряда канала, ассоциированного со стоком	0	

DELTA	2, 3	Коэффициент влияния ширины канала на пороговое напряжение	0	
THETA	3	Коэффициент модуляции подвижности носителей под влиянием вертикального поля	0	1/В
ETA	3	Параметр влияния напряжения сток-исток на пороговое напряжение (статическая обратная связь)	0	
KAPPA	3	Фактор поля насыщения (Параметр модуляции длины канала напряжением сток-исток)	0,2	
KF	1–3	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	
AF	1–3	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	1	
T_MEASURED	1–3	Температура измерения	–	°C
T_ABS	1–3	Абсолютная температура	–	°C
T_REL_GLOBAL	1–3	Относительная температура	–	°C
T_REL_LOCAL	1–3	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа	–	°C

5.15 Q. Биполярный транзистор

SPICE-формат

Синтаксис:

Q<имя> <коллектор> <база> <эмиттер> [<подложка>]
+<имя модели> [*area*] [OFF] [IC=<*vbe*>[,*vce*]]

Area – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов. Значение по умолчанию 1.

Если присутствует ключевое слово [OFF], то оно указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании [OFF] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на p-n-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] см. главу 8 Расчёт рабочей точки схемы.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> NPN (<параметры модели>)
.MODEL <имя модели> PNP (<параметры модели>)

Пример :

```
Q1  1  2 3 Q1 1 OFF IC=0.65,0.35
Q2  1  2 3 4  Q2 3.0
.MODEL Q1  NPN (IS=1e-15 BF=45 TR=.5N)

.MODEL Q2  PNP (IS=5E-15 BF=245 VAR=50)
```

Схемотехнический редактор

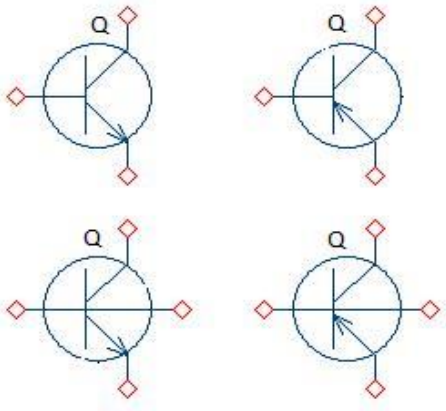


Рис. 5.15.1 Биполярный транзистор. УГО на схеме

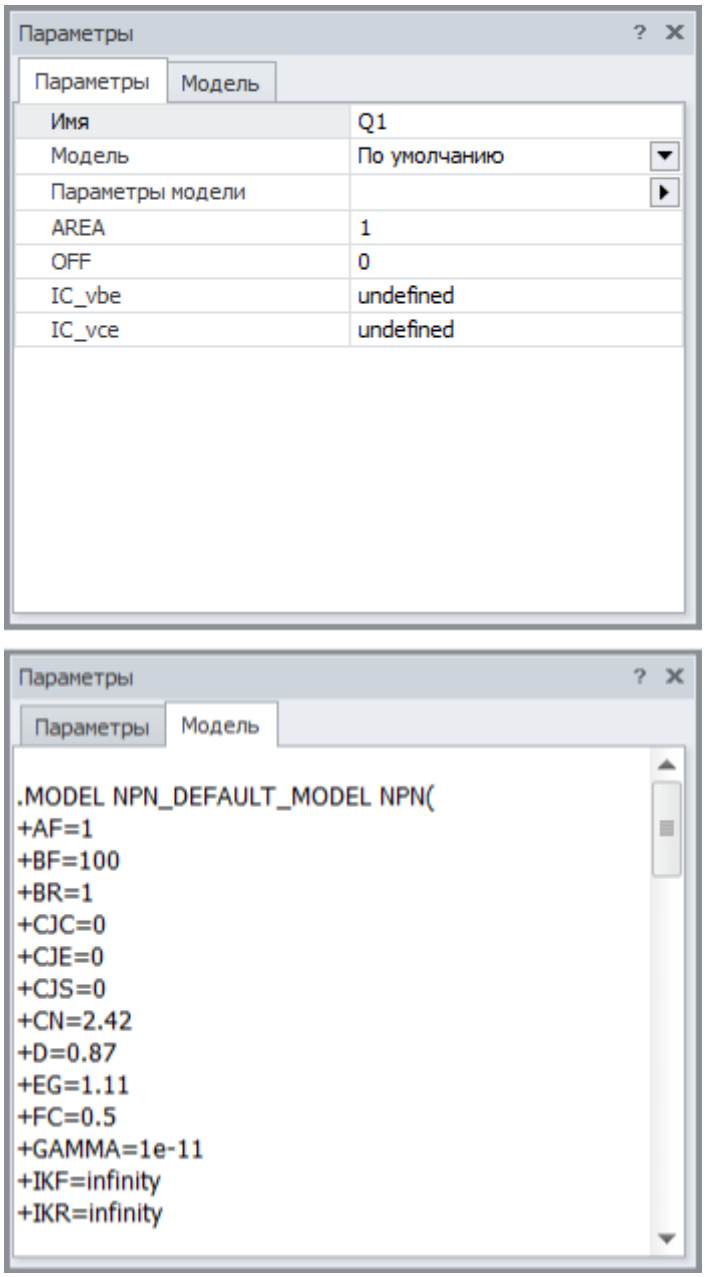


Рис. 5.15.2 Биполярный транзистор. Окно параметров

Таблица 5.15.1 Параметры модели биполярного транзистора

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	1	–
BF	Максимальный коэффициент усиления тока в нормальном	100	–

	режиме в схеме с ОЭ (без учёта токов утечки)		
BR	Максимальный коэффициент усиления тока в инверсном режиме в схеме с ОЭ	1	–
CJC	Ёмкость коллекторного перехода при нулевом смещении	0	Ф
CJE	Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	0	Ф
CJS (CCS)	Ёмкость перехода коллектор-подложка при нулевом смещении	0	Ф
EG	Ширина запрещенной зоны	1,11	эВ
FC	Коэффициент нелинейности барьерных ёмкостей прямосмещённых переходов	0,5	–
GAMMA	Коэффициент легирования эпитаксиальной области	10^{-11}	–
IKF	Ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в нормальном режиме		A
IKR	Ток начала спада зависимости BR от тока эмиттера в инверсном режиме		A
IS	Ток насыщения при температуре 27°C	10^{-16}	A
ISC	Ток насыщения утечки перехода база-коллектор	0	A
ISE	Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер	0	A
ISS	Ток насыщения p-n перехода подложки	0	A
ITF	Ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах	0	A
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	–
MJC	Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода	0,33	–

MJE	Коэффициент, учитывающий плавность эмиттерного перехода	0,33	–
MJS	Коэффициент, учитывающий плавность перехода коллектор-подложка	0	–
NC	Коэффициент неидеальности перехода база-коллектор	2	–
NE	Коэффициент неидеальности перехода база-эмиттер	1,5	–
NF	Коэффициент неидеальности для нормального режима	1	–
NK	Коэффициент перегиба при больших токах	0,5	–
NR	Коэффициент неидеальности для инверсного режима	1	–
NS	Коэффициент неидеальности для перехода подложки		–
PTF	Дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{гр} = 1/(2pi*TF)$	0	град.
CJE	Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	0	пФ
QCO	Множитель, определяющий заряд в эпитаксиальной области	0	Кл
RB	Объёмное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер	0	Ом
RBM	Минимальное сопротивление базы при больших токах	RB	Ом
RC	Объёмное сопротивление коллектора	0	Ом
RCO	Сопротивление эпитаксиальной области	0	Ом
RE	Объёмное сопротивление эмиттера	0	Ом
TF	Время переноса заряда через базу в нормальном режиме	0	с

TR	Время переноса заряда через базу в инверсном режиме	0	с
TRB1	Линейный температурный коэффициент RB	0	C^{-1}
TRB2	Квадратичный температурный коэффициент RB	0	C^{-2}
TRC1	Линейный температурный коэффициент RC	0	C^{-1}
TRC2	Квадратичный температурный коэффициент RC	0	C^{-2}
TRE1	Линейный температурный коэффициент RE	0	C^{-1}
TRE2	Квадратичный температурный коэффициент RE	0	C^{-2}
TRM1	Линейный температурный коэффициент RBM	0	C^{-1}
TRM2	Квадратичный температурный коэффициент RBM	0	C^{-2}
T_ABS	Абсолютная температура	–	°C
T_MEASURED	Температура измерений	–	°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	–	°C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа		°C
VAF	Напряжение Эрли в нормальном режиме		В
VAR	Напряжение Эрли в инверсном режиме		В
VJC	Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор	0,75	В
VJE	Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер	0,75	В
VJS	Контактная разность потенциалов перехода коллектор-подложка	0,75	В
VO	Напряжение, определяющее перегиб графика тока в эпитаксиальной области	10	В

VTF	Напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения база-коллектор		B
XCJC	Коэффициент расщепления барьерной ёмкости база-коллектор CJC	1	–
XCJC2	Коэффициент расщепления барьерной ёмкости база-коллектор CJC	1	–
XTB	Температурный коэффициент BF и BR	0	–
XTF	Коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения база-коллектор	0	–
XTI	Температурный коэффициент тока IS	3	–

В качестве схемы замещения биполярного транзистора в **SimOne** используется зарядовая модель Гуммель–Пуна.

5.16 R. Резистор

SPICE-формат

Синтаксис:

R<имя><плюс> <минус> [имя модели] <значение> [TC=<TC1>[,<TC2>]]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-форматы

R<*name*> <*plus*> <*minus*> [R=]<*expression*>

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения резистора. Полярность используется только для построения графиков тока I(R<имя>) резистора и падения напряжения на нём V(R<имя>).
[TC=<*tc*1>[,<*tc*2>]] – температурные коэффициенты сопротивления.
[R=] – задание выражения для сопротивления.

<*выражение*> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевые слова time или t– текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> RES ([параметры модели])

Примеры:

```
R1  1  0 1K
R2  1  2 2k2  TC=5e-3
R4  1  2 {  2+10*v(1)*v(1)}

R3  3  4 RMOD  10K
```

```
.MODEL RMOD RES (R=100 TC1=0.01)
```

Схемотехнический редактор

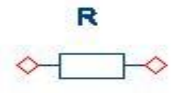


Рис. 5.16.1 Резистор. УГО на схеме

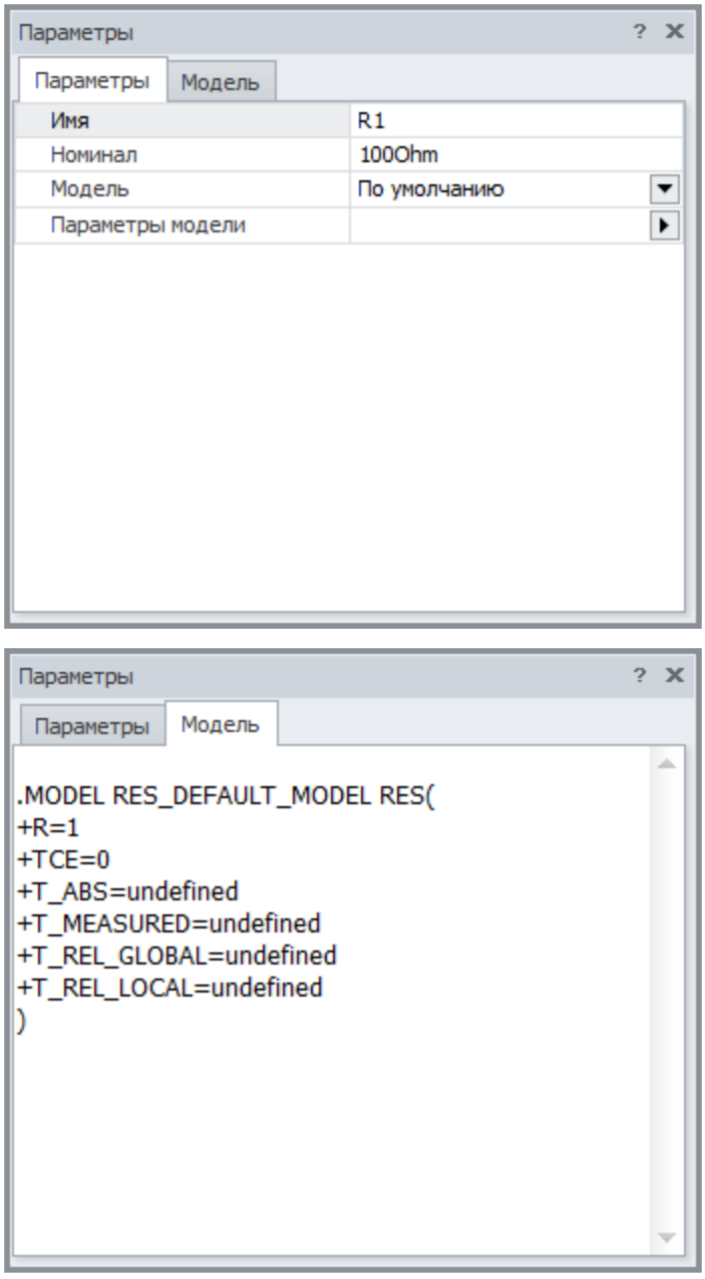


Рис. 5.16.2 Резистор. Окно параметров

В поле **Имя** указывается имя компонента, например, R1. В поле **Модель** указывается имя модели, используемой компонентом.

Таблица 5.16.1 Параметры модели резистора

Обозначение	Параметр	
Номинал\Выражение	Номинал резистора или выражение для сопротивления	
R	Масштабный множитель сопротивления	
TC1	Линейный температурный коэффициент сопротивления	
TC2	Квадратичный температурный коэффициент сопротивления	
TCE	Экспоненциальный температурный коэффициент сопротивления	
TOLERANCE	Допуск	
T_ABS	Абсолютная температура	
T_MEASURED	Температура измерений	
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	
T_REL_LOCAL	Разность между температурой резистора и модели-прототипа	

Значение масштабного множителя сопротивления может быть положительным, отрицательным или нулевым.
Минимальное абсолютное значение сопротивления резистора ограничено константой Rmin.

5.17 S. Ключ, управляемый напряжением

SPICE-формат

Синтаксис:

S<имя> <+узел> <–узел> <+управляющий узел> <–управляющий узел> +<имя модели>

<+узел> и <–узел> – номера узлов, к которым подсоединен ключ: <+управляющий узел>, <–управляющий узел> – номера узлов, разность потенциалов которых управляет ключом.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> VSWITCH (<параметры модели>)

Пример:

```
S1 1 2 3 4 MOD_SW1
S2 1 0 3 0 MOD_SW2

.MODEL MOD_SW1 VSWITCH (RON=1 ROFF=1e6 VON=1 VOFF=3.5)
.MODEL MOD_SW2 VSWITCH (RON=1 ROFF=1K VT=3 VH=1)
```

Схемотехнический редактор

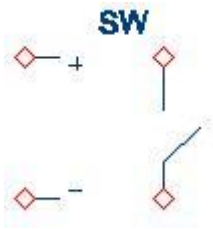


Рис. 5.17.1 Ключ, управляемый напряжением. УГО на схеме

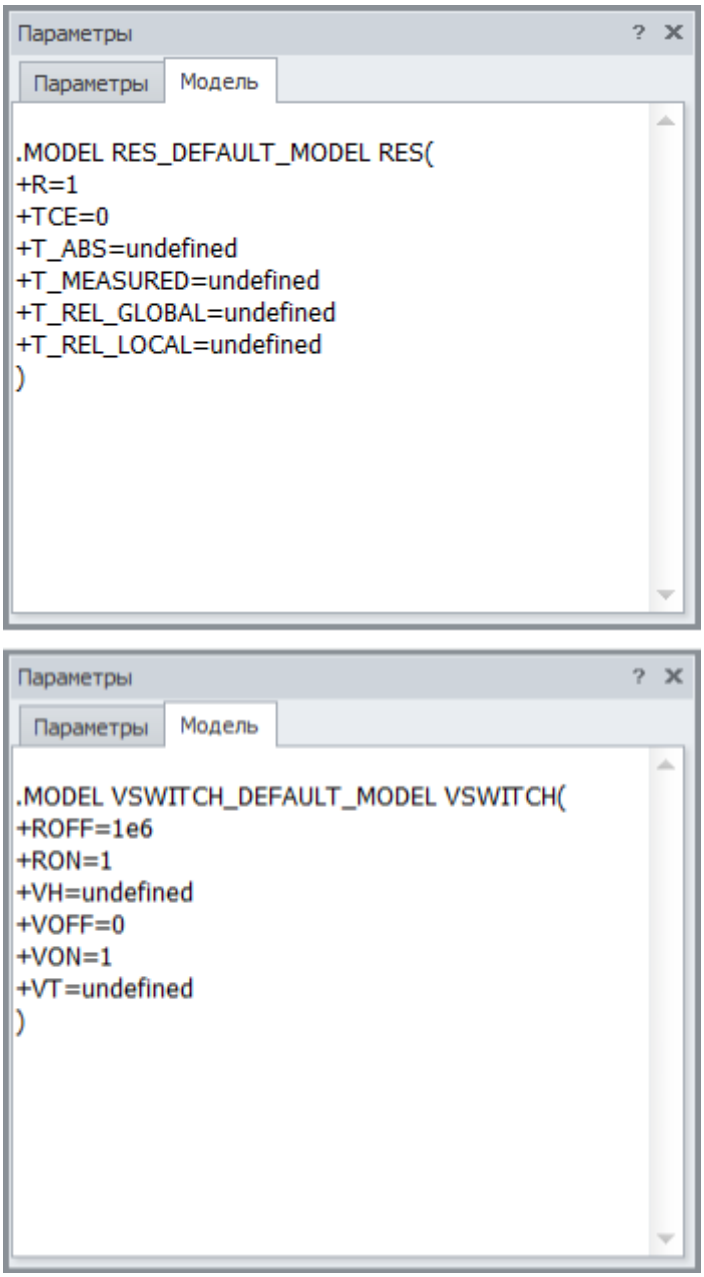


Рис. 5.17.2 Ключ, управляемый напряжением. Окно параметров

Таблица 5.17.1 Параметры модели ключа, управляемого напряжением

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
VON	Напряжение замыкания ключа	1	В
VOFF	Напряжение размыкания ключа	0	В
RON	Сопротивление замкнутого ключа	1	Ом

ROFF	Сопротивление разомкнутого ключа	1e6	Ом
VT	Пороговое напряжение	–	В
VH	Величина гистерезиса	–	В

Значения сопротивлений RON и ROFF должны быть больше нуля и меньше чем 1/Gmin, где Gmin – минимальная проводимость цепи (см. §7.4 Настройки симуляции)

Модель предусматривает два режима работы ключа:

- режим плавного переключения
- гистерезисный режим

Режим плавного переключения

В этом режиме должны быть заданы напряжение замыкания ключа VON и напряжение размыкания ключа VOFF и не определены параметры VT и VH.

Если VON > VOFF, то ключ замкнут при управляющем напряжении Vy > VON и разомкнут при Vy < VOFF. На интервале VOFF < Vy < VON сопротивление ключа плавно уменьшается от значения ROFF до RON. Если VON<VOFF, то ключ замкнут при Vy < VON и разомкнут при Vy > VOFF. На интервале VON < Vy < VOFF сопротивление ключа плавно увеличивается от значения RON до ROFF. Vy – разность потенциалов узлов управления.

Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговое напряжение VT и величина гистерезиса VH. Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от ROFF до RON при превышении управляющим напряжением значения VT+VH и увеличивается резким скачком от ROT до ROFF при уменьшении управляющего напряжения ниже значения VT–VH. В таком режиме работы ключа могут возникнуть проблемы со сходимостью численных методов. Также не рекомендуется делать слишком малое различие в переключаемых напряжениях VT и VH из-за вызываемого этим слишком малого шага расчёта.

5.18 T. Длинная линия без искажений

SPICE-формат

Синтаксис:
T<имя> <+узел порта A> <–узел порта A>
+<+узел порта B> <–узел порта B> [*model name*]
[Z0=<значение> [TD=<значение>] | [F=<значение>
[NL=<значение>]]] +[IC= <напряжение порта A> <ток порта A>
<напряжение порта B> +<ток порта B>]

[IC] устанавливает начальные значения для токов и напряжений на концах линии.
<напряжение порта A> напряжение на узлах <+узел порта A> и <–узел порта A>.
<ток порта A> ток через узлы <+узел порта A> и <–узел порта A>.
Аналогично – для порта B.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> TRN ([параметры модели])

Пример:

```
T1 1 2 3 4 Z0=50 TD=3.5ns
T2 1 2 3 4 Z0=150 F=125Meg NL=0.5
T32345TLMOD
.MODEL TIMOD TRN(Z0=50 TD=10ns)
```

Схемотехнический редактор

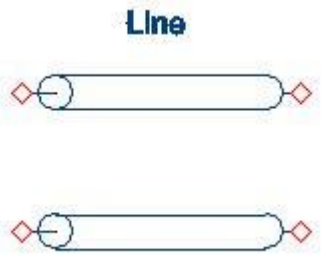


Рис. 5.18.1 Длинная линия без искажений. УГО на схеме

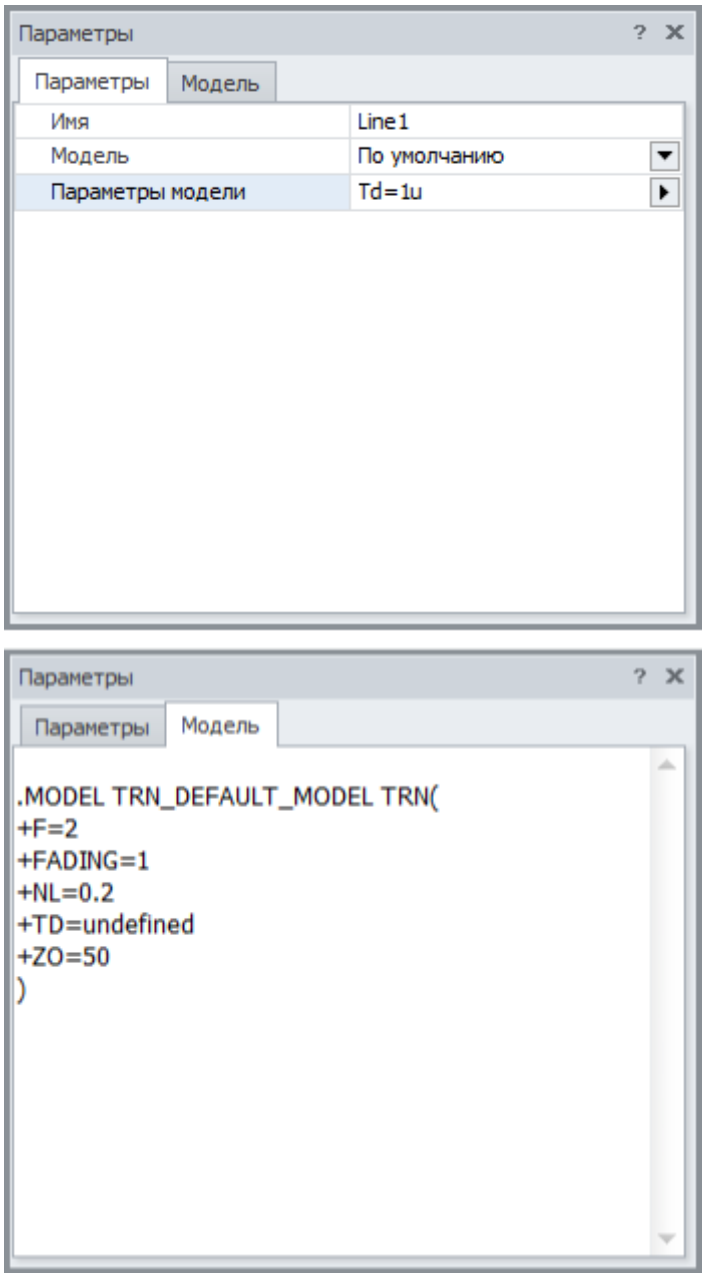


Рис. 5.18.2 Длинная линия без искажений. Окно параметров

В поле **Имя** указывается имя компонента, например, Line. В поле **Модель** указывается имя модели, используемой компонентом.

Таблица 5.18.1 Параметры модели длинной линии

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
Z0	Волновое сопротивление	1	Ом

TD	Время задержки сигнала		с
F	Частота для расчёта NL	0	Гц
NL	Электрическая длина на частоте F	0.25	–
FADING	Коэффициент затухания в линии	1	–
IC	Начальные значения напряжений и токов		

5.19 V. Независимый источник напряжения

SPICE-формат

Синтаксис:
V<имя> <+узел> <–узел> [[DC] <значение>] [AC <модуль> [<фаза>]]
+ [STIMULUS=<имя сигнала>]
+ [Сигнал]
+[Rser=<значение>]

<+узел> <–узел> – узлы включения источника напряжения. Ток источника течет от <+узел> к <–узел>.
[DC] – определяет постоянную составляющую источника напряжения.
Для режима AC задаются модуль и фаза (в градусах) источника гармонического сигнала.
После ключевого слова STIMULUS указывается имя сигнала, созданного с помощью программы команды **.STIMULUS**.

Спецификация сигнала описывает заданный сигнал, используемый во временном анализе схемы.
[Rser=] определяет внутреннее сопротивление источника.

Пример:

```
V110DC0AC10SIN011K100NS1E60
V2 2 0 DC 1 AC 1 0 Pulse 0 2 0 990n 10n 0 1u
```

Схемотехнический редактор

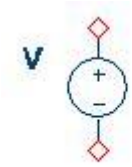


Рис. 5.19.1 Независимый источник напряжения. УГО на схеме

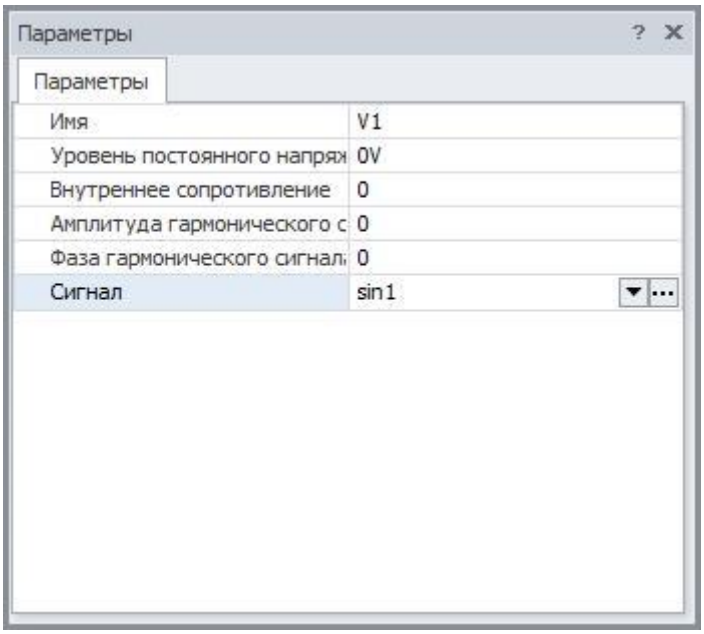


Рис. 5.19.2 Независимый источник напряжения. Окно параметров

Таблица 5.19.1 Параметры модели независимого источника напряжения

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
DC	Уровень постоянного напряжения	0	В
R	Внутреннее сопротивление источника	0	Ом
ACmagnitude	Амплитуда гармонического сигнала	0	В
ACphase	Фаза гармонического сигнала	0	Град.
Сигнал	Функция от времени	–	–

Анализ схемы по постоянному току использует значения постоянного напряжения заданные в поле DC.
Частотный анализ схемы использует значения амплитуды и фазы гармонического сигнала из полей ACmagnitude и ACphase соответственно. При этом комплексное значение величины напряжения источника определяется следующим образом:

```
EAC =
ACmagnitude*sin(ACphase*pi/180)+i*ACmagnitude*cos(ACphase*pi/180
)
```

При анализе переходных процессов и анализе периодических режимов схемы в качестве ЭДС источника используются функции от времени, задаваемые в поле <Сигнал>. Возможные типы сигналов:

- DC <значение> – постоянный сигнал
- EXP <параметры> – сигнал экспоненциальной формы,
- PULSE <параметры> – импульсный сигнал;
- SIN <параметры> – синусоидальный сигнал,
- SFFM <параметры> – частотно-модулированный синусоидальный сигнал,
- PWL <параметры> – кусочно-линейный сигнал
- NOISE <параметры> – шумовой сигнал
- EXPRESSION – сигналы, заданные произвольным математическим выражением.

Более подробно см. Главу 6 Сигналы.

5.20 W. Ключ, управляемый током

SPICE-формат

Синтаксис:

W<имя> <+узел> <–узел> <имя источника напряжения> <имя модели>

<+узел> и <–узел> – номера узлов, к которым подсоединен ключ:

<имя источника напряжения> – имя источника напряжения, ток через который управляет ключом.

Синтаксис описания модели

.MODEL <имя модели> ISWITCH (<параметры модели>)

Пример :

```
V1  1  0 0
V2  2  0 1
W1  3  4 V1 MOD_W1

W2  5  0 V2 MOD_W2
.MODEL MOD_W1 VSWITCH (RON=1 ROFF=1e6 ION=1 IOFF=3.5)
.MODEL MOD_W2 VSWITCH (RON=1 ROFF=1K IT=3 IH=1)
```

Схемотехнический редактор

Рис. 5.20.1 Ключ, управляемый током. УГО на схеме

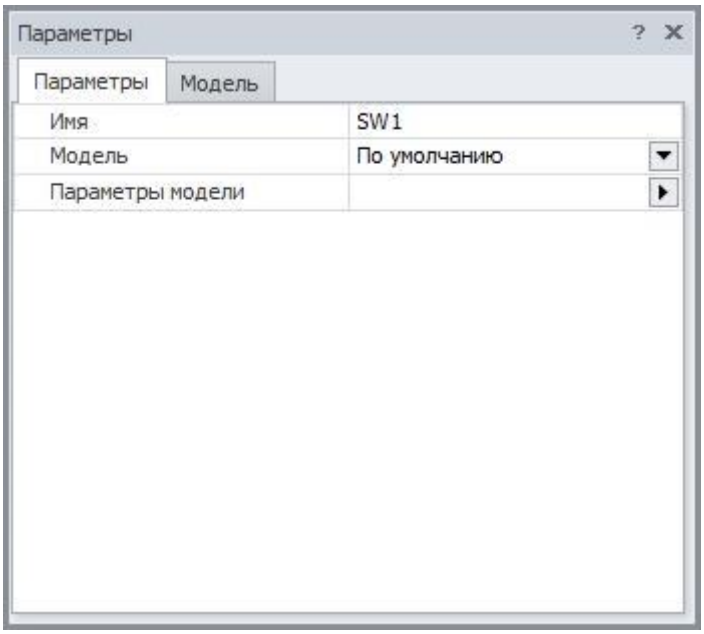


Рис. 5.20.2 Ключ, управляемый током. Окно параметров

Таблица 5.20.1 Параметры модели ключа, управляемого током

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
ION	Ток замыкания ключа	1e–3	A
IOFF	Ток размыкания ключа	0	A
RON	Сопротивление замкнутого ключа	1	Ом
ROFF	Сопротивление разомкнутого ключа	1e6	Ом
IT	Пороговый ток	–	A
IH	Величина гистерезиса	–	A

Значения сопротивлений RON и ROFF должны быть больше нуля и меньше чем 1/Gmin, Gmin – минимальная проводимость цепи (см. §7.4 Настройки симуляции)

В качестве управляющих токов Iy могут использоваться токи индуктивностей, источников напряжения.
Модель предусматривает два режима работы ключа:

- режим плавного переключения
- гистерезисный режим

Режим плавного переключения

В этом режиме должны быть заданы ток замыкания ключа ION и ток размыкания ключа IOFF, а параметры IT и IH должны быть не определены.
Если ION > IOFF, то ключ замкнут при управляющем токе Iy > ION и разомкнут при Iy < IOFF. На интервале IOFF < Iy < ION сопротивление ключа плавно уменьшается от значения ROFF до RON.
Если ION < IOFF, то ключ замкнут при Iy < ION и разомкнут при Iy > IOFF. На интервале ION < Iy < IOFF сопротивление ключа плавно растёт от значения RON до ROFF.

Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговый ток IT и величина гистерезиса IH . Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от ROFF до RON при превышении управляющим током значения IT+IH и увеличивается резким скачком от ROT до ROFF при уменьшении управляющего тока ниже значения IT–IH.
Отметим, что в таком режиме работы ключа могут возникнуть проблемы со сходимостью численных методов. Также не рекомендуется делать слишком малое различие в величинах переключаемых токов IT и IH из-за вызываемого этим слишком малого шага расчёта.

5.21 X. Подсхема

SPICE-формат

Синтаксис:
X<имя> узел1 узел 2 узел3... <имя подсхемы>
+[PARAMS: <имя параметра> = <значение>]
+ [TEXT: <имя текстового параметра> = <текстовая строка>]

LTSPICE-формат

X<имя> узел1 узел 2 узел3... <имя подсхемы> [<*параметр*>=<выражение>]

<имя> – имя элемента, описываемого подсхемой <имя подсхемы>
узел1 узел 2 узел3... – список узлов включения элемента подсхемы
[PARAMS: <имя параметра> = <значение>] (SPICE),
[<*параметр*>=<выражение>] (LTSPICE) – определяют передаваемые в подсхему параметры и их значения
[TEXT: <*name*> = <*text value*>] – определяет передаваемый в подсхему текст

Синтаксис описания модели

.SUBCKT <имя подсхемы> [узел1 узел 2 узел3...]
+[PARAMS: <имя параметра> = <значение>]
+ [TEXT: <имя текстового параметра> = <текстовая строка>]
...
.ENDS

Примеры:

SPICE-формат

```
X1 in out divider params: top=9K bot=1K            // вызов
подсхемы
.subckt divider A B params: top=1K bot=1K       // описание
подсхемы
R1 A B {top}
R2 B 0 {bot}

.ends
```

LTSPICE-формат

```
X1 in out divider top=9K bot=1K             // вызов подсхемы
.subckt divider A B                        // описание

подсхемы
```

```
R1 A B {top}
R2 B 0 {bot}
.ends divider
```

Схемотехнический редактор

Подробное описание действий с подсхемами в **SimOne** см. в §§ 3.5 Подсхемы, 3.6 Создание графической подсхемы, 3.7 Создание текстовой подсхемы, 3.8 Добавление подсхем на схему, 3.9 Редактирование подсхемы.

5.22 Независимый источник постоянного напряжения – батарея.

SPICE-формат

Синтаксис:
V<имя> <+узел> <–узел> <величина постоянного напряжения> +[Rser=<значение>]

[Rser=] определяет внутреннее сопротивление источника.

Пример:

```
v1105
v22010v
```

Схемотехнический редактор

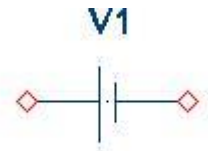


Рис. 5.22.1 Батарея. УГО на схеме

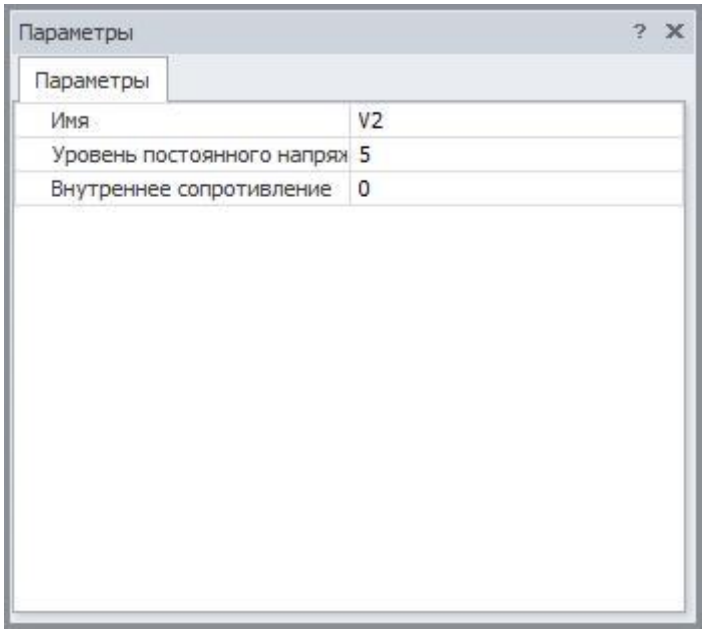


Рис. 5.22.2 Батарея. Окно параметров

Таблица 5.22.1 Параметры модели независимого источника постоянного напряжения

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
DC	Уровень постоянного напряжения	5	В
R	Внутреннее сопротивление	0	Ом

5.23 Двухобмоточный трансформатор

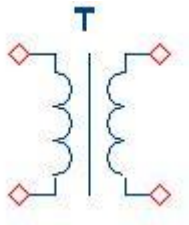


Рис. 5.23.1 Трансформатор. УГО на схеме

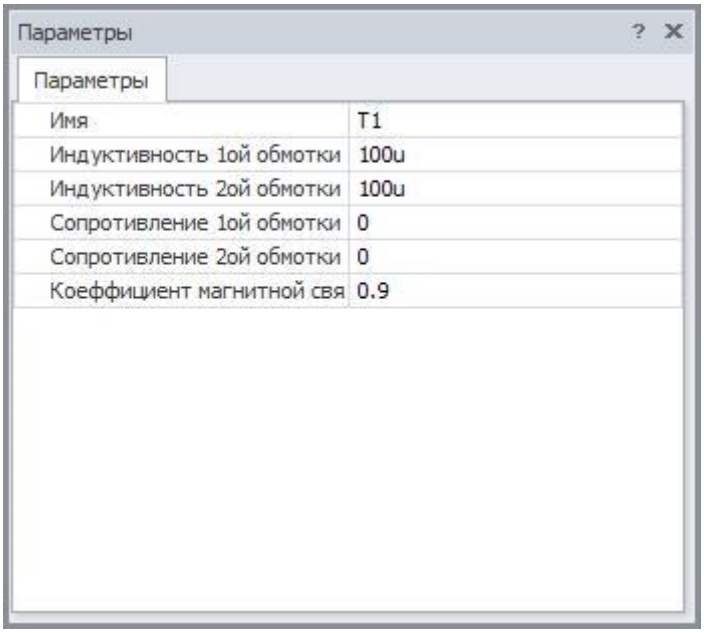


Рис. 5.23.2 Двухобмоточный трансформатор. Окно параметров

Трансформатор является элементом взаимной индуктивности для случая двух обмоток. Параметры модели заданы в таблице 5.23.1.

Таблица 5.23.1 Параметры модели трансформатора

Обозначение	**Параметр**	**Значение по умолчанию**	**Единица измерения**
L1	Индуктивность первой обмотки	1	Гн
L2	Индуктивность второй обмотки	1	Гн
R1	Сопротивление первой обмотки	0	Ом
R2	Сопротивление второй обмотки	0	Ом

K	Коэффициент магнитной связи	1	–

5.24 Операционный усилитель

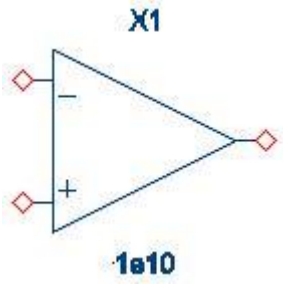


Рис. 5.24.1 Операционный усилитель. УГО на схеме

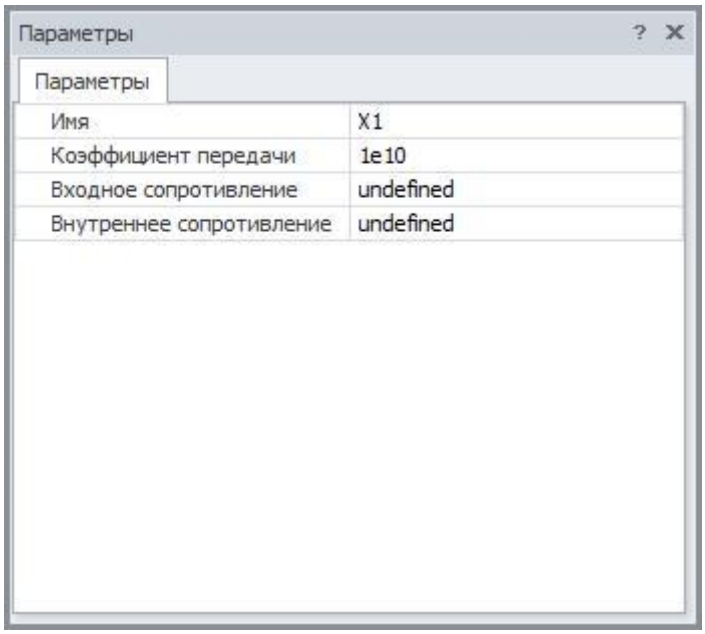


Рис. 5.24.2 Операционный усилитель. Окно параметров

Операционный усилитель моделируется с помощью источника напряжения, управляемого напряжением, с входным и внутренним сопротивлениями (рис. 5.24.3).

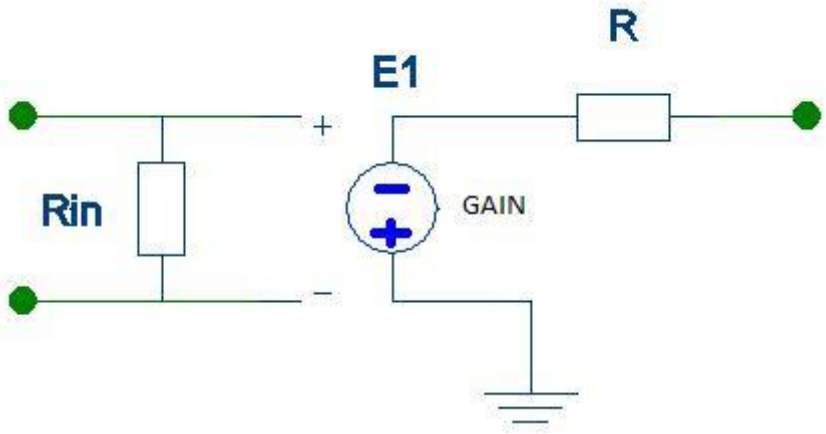


Рис. 5.24.3 Операционный усилитель. Схема замещения

Параметры модели операционного усилителя заданы в таблице 5.24.1.

Таблица 5.24.1 Параметры модели операционного усилителя

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
GAIN	Выражение для коэффициента усиления	1e10	–
Rin	Входное сопротивление	–	Ом
R	Внутреннее сопротивление	–	Ом

Выражение для коэффициента усиления может содержать:

- Потенциалы узлов, например: V(1).
- Падения напряжений, например:V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например: I(L1),I(V1).
- Ключевое слово **temp** – температура.
- Ключевые слова **hertz** или **f** – частота.
- Ключевые слова pi – число #=3.14159265358979323846 и e – число *e*=2,71828182845904523536
- Математические функции

Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

5.25 Многополюсники

HSPICE\SimOne-форматы

Синтаксис:

S<имя> <+узел1> <–узел1> <+узел2> <–узел2> ... <+узелN> <–узелN> [Mname=] <имя модели>
S<имя> <+узел1> <+узел2> ... <+узелN> [<общий узел>] [Mname=] <имя модели>

<+узел> и <–узел> – номера узлов, к которым подсоединен ключ:
<имя модели> – имя модели, свяранной с элементом;
<общий узел> - общий узел для всех отрицательных узлов многополюсника.
Если <общий узел> не указан, то он считается землей - 0.

Синтаксис описания модели

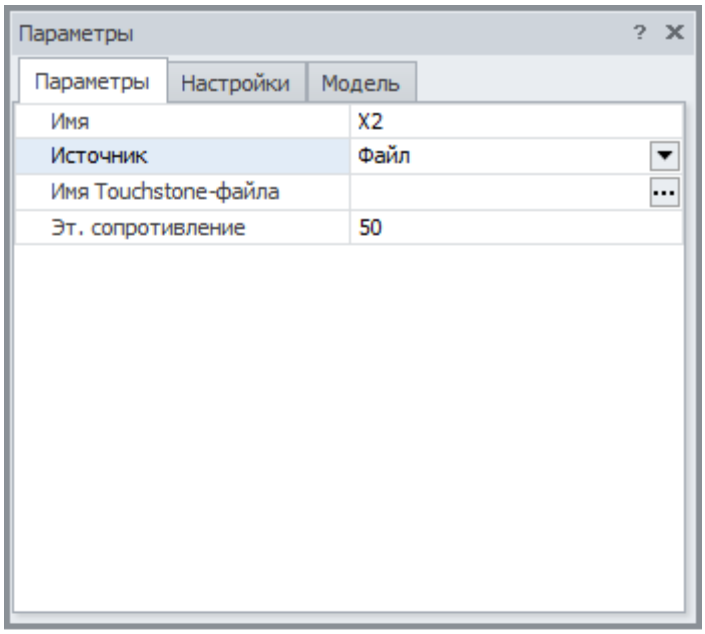
.MODEL <имя модели> S (<параметры модели>)

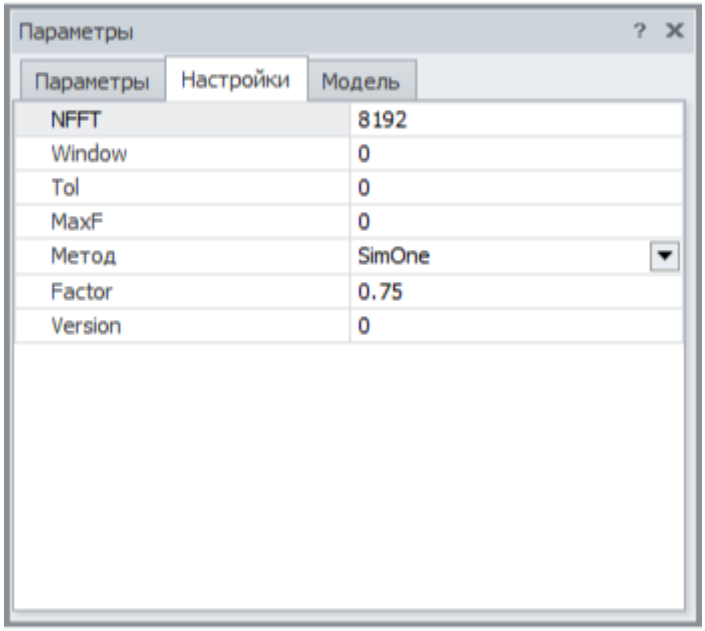
Пример :

```
S1 1 0 2 0 Smodel1
S2 1 2 0  Smodel2

.MODEL Smodel1 S (TSTONEFILE=AD8354.s2p)
.MODEL Smodel2 S (N=2 type=s s12=exp(-alfa)

s21=exp(-alfa) )
```

Схемотехнический редактор

Рис. 5.20.1 Ключ, управляемый током. УГО на схеме


Параметры
Параметры
Настройки
Модель
Имя
X2
Источник
Файл
Имя Touchstone-файла
Эт. сопротивление
50


Параметры
Параметры
Настройки
Модель
NFFT
8192
Window
0
Tol
0
MaxF
0
Метод
SimOne
Factor
0.75
Version
0

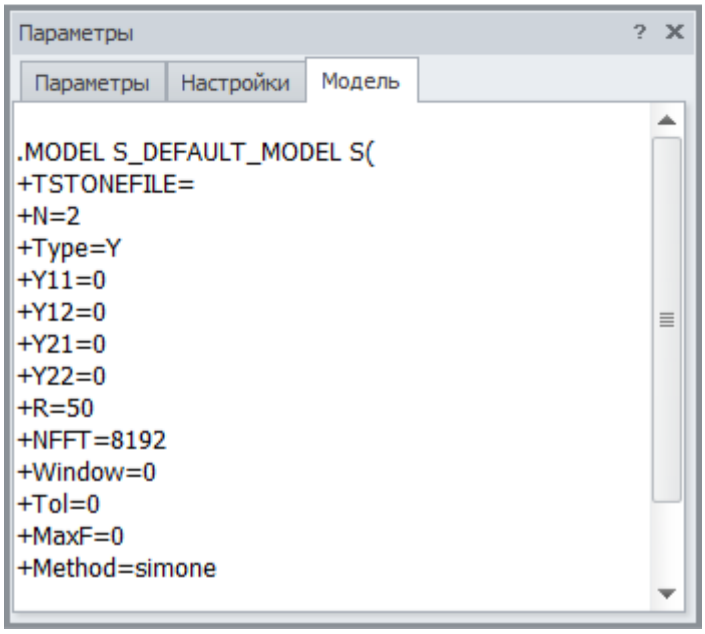

Параметры
Параметры
Настройки
Модель
.MODEL S_DEFAULT_MODEL S(
+TSTONEFILE=
+N=2
+Type=Y
+Y11=0
+Y12=0
+Y21=0
+Y22=0
+R=50
+NFFT=8192
+Window=0
+Tol=0
+MaxF=0
+Method=simone

Рис. 5.20.2 Ключ, управляемый током. Окно параметров

Таблица 5.20.1 Параметры модели ключа, управляемого током

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
N	Количество портов многополюсника		–
TSTONEFILE	Имя файла Touchstone-формата с описанием параметров многополюсника		–
TYPE	тип задаваемых параметров многопюсника. Возможны следующие типы: • s-параметры, • z-параметры, • y-параметры.	Y	–
Список значений параметров многополюсника	Значения параметров многополюсника могут быть заданны следующими способами: • в виде выражения от Лапласовой переменной s • в виде набора точек частотной		–

	характеристики с использованием функций freq_ri, freq_ma,freq_dbb т.п.		
Эталонное сопротивление	Значение сопротивления при котором измеряются s-параметры.	50	Ом
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	–
Window	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если Window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.	0	–
Tol	Минимальное абсолютное значение функции в интеграле свертки	0	–
MaxF	Максимальная частота для взятия обратного преобразования Фурье.	0	Гц

	Если MaxF не задана или 0, то используется значение из поля Window.		
Method	Метод взятия обратного преобразования Лапласа и вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: • SimOne – оригинальный метод. • IFT– вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ. • Euler – вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера	SimOne	–

6 Сигналы

6.1 Общие сведения

Сигналы – это функции временного аргумента, с помощью которых подаются входные воздействия на схему.
Сигналы используются в схеме двумя компонентами - независимым источником напряжения и независимым источником тока. Сигналы могут быть созданы следующими способами:

- С помощью диалогового окна управления сигналами в графическом редакторе **SimOne**.
- Командой .STIMULUS в SPICE-блоках графического редактора **SimOne**.
- Командой .STIMULUS в нетлисте схемы в тестовом редакторе SPICE-формата **SimOne**.

Диалоговое окно управления сигналами (рис. 6.1.1) позволяет создавать новые сигналы, редактировать параметры существующих сигналов, удалять их. Оно может быть вызвано двумя командами:

- Меню **Добавить # Сигналы…**
- Панель инструментов: иконка .

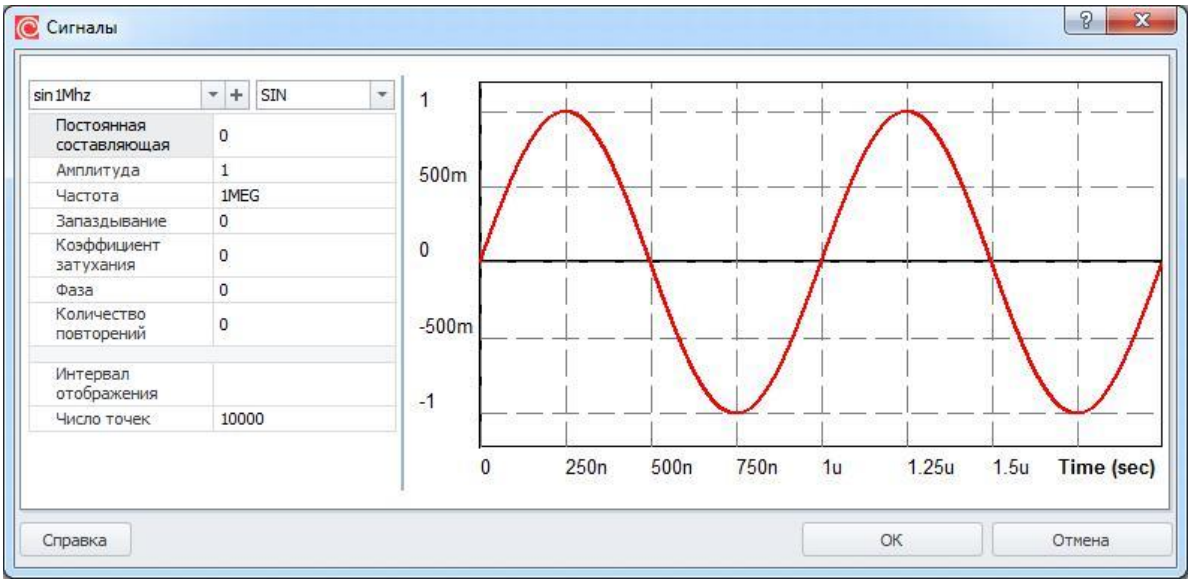


Рис. 6.1.1 Окно "Сигналы"

Таблица 6.1.1 Параметры окна управления сигналами

Наименование	Описание	Значение п умолчанию
Параметры		

Имя	Имя сигнала	сигнал 1
тип	Тип сигнала. Доступны следующие типы сигналов: • EXP – экспоненциальный сигнал. • PULSE – импульсный сигнал. • PWL – кусочно-линейный сигнал. • SIN – синусоидальный сигнал. • SFFM – частотно-модулированный сигнал. • NOISE – шумовой сигнал. • GAUSSIAN – сигнал Гаусса. • AMS – амплитудно-модулированный сигнал. • WAV – сигнал в аудиоформате. • EXPRESSION – сигнал произвольной формы.	SIN
Интервал отображения	Интервал отображения сигнала в окне предпросмотра	
Создать сигнал	Кнопка создания нового сигнала	
Удаление сигнала из списка 	Удаление сигнала из списка доступных удаляет сам сигнал из документа	

SimOne позволяет использовать в текущей схеме сигналы, созданные в других схемах. Для этого необходимо в окне Настроек программы указать путь до схемы, сигналы которой пользователь собирается использовать (рис. 6.1.2)

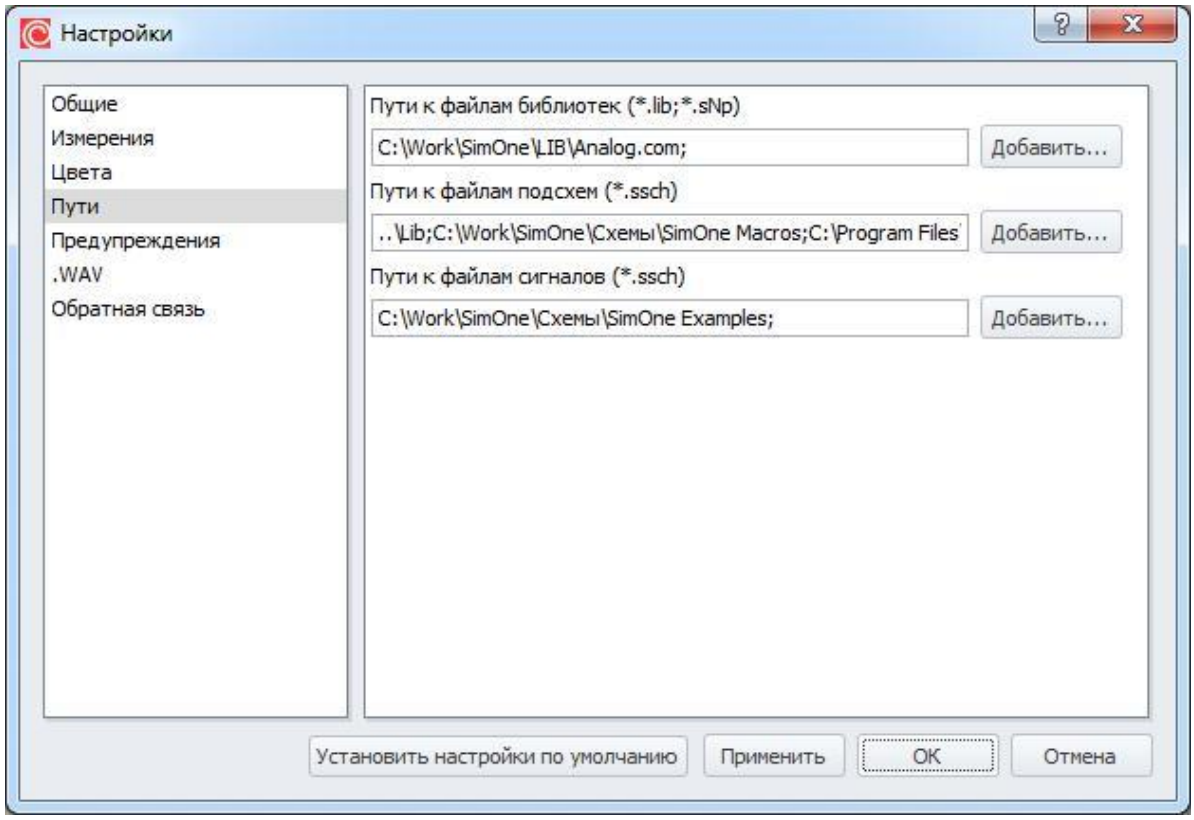


Рис. 6.1.2 Окно "Настройки" вкладка "Пути"

В окне "Сигналы" список подключенных библиотек сигналов находится в верхней части панели выбора сигнала (рис. 6.1.3)

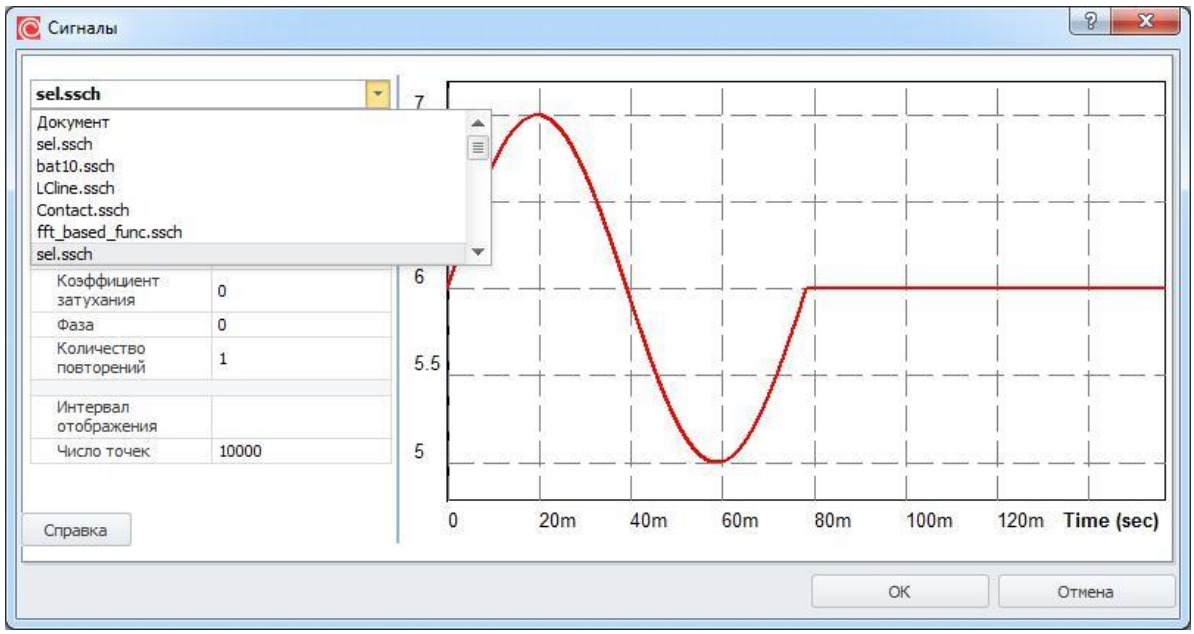


Рис. 6.131 Окно "Сигналы" с выбором библиотек сигналов

Синтаксис команды .STIMULUS:

Создание нового сигнала:
.STIMULUS <имя сигнала> <тип сигнала> <синтаксис сигнала>

<имя сигнала> – имя создаваемого сигнала,
<тип сигнала> – тип сигнала из соответствующего списка в таблице 6.1.1.
<синтаксис сигнала> – синтаксис задания сигнала данного типа. Указан для каждого типа в параграфах 6.2–6.10

Подключение сигнала на независимый источник напряжения\тока:
V<имя источника> <узл+> <узл-> STIMULUS=<имя сигнала>
I<имя источника> <узл+> <узл-> STIMULUS=<имя сигнала>

<имя источника> – имя источника, <узл+> <узл–> – узлы включения.

Примеч

Сигналы, создаваемые в SPICE-блоках на графической схеме доступны только для тех источников напряжения и тока, которые заданы в этом же SPICE-блоке.

6.2 Экспоненциальный сигнал (EXP)

Задаётся списком параметров EXP(Y1 Y2 TD1 TC1 TD2 TC2).

График сигнала приведён на рис. 6.2.1, параметры объясняются в таблице 6.2.1.

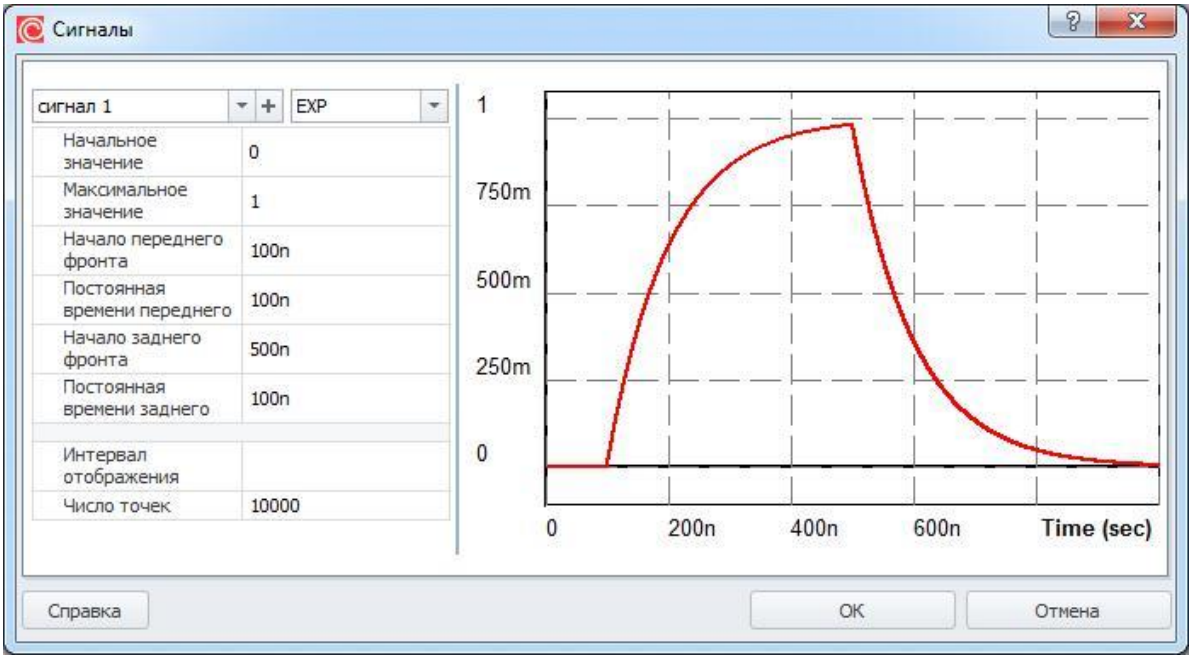


Рис. 6.2.1 Экспоненциальный сигнал

Таблица 6.2.1 Параметры экспоненциального сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
Y1	Начальное значение	ВилиА	
Y2	Максимальное значение	ВилиА	
TD1	Начало переднего фронта	С	0
TC1	Постоянная времени переднего фронта	С	TSTEP
TD2	Начало заднего фронта	С	TD1+ TSTEP
TC2	Постоянная времени заднего фронта	С	TSTEP

TSTEP – шаг по времени вывода на печать результатов расчётов переходных процессов.
Значения сигнала рассчитываются согласно таблице 6.2.2:

Таблица 6.2.2 Расчёт значений экспоненциального сигнала

Интервал	Значение

0 <= t <= TD1	Y1
TD1 < t <= TD2	Y1+(Y2–Y1)*(1–exp(–t+TD1)/TC1)
TD2 <t <= TSTOP **	Y1+(Y2–Y1)*(1–exp(–t+TD1)/ TC1)–(1–exp(–t+TD2)/TC2)

6.3 Импульсный сигнал (PULSE)

Задаётся списком параметров PULSE (Y1 Y2 TD TR TF PW PER).
График сигнала приведён на рис. 6.3.1, параметры объясняются в таблице 6.3.1.

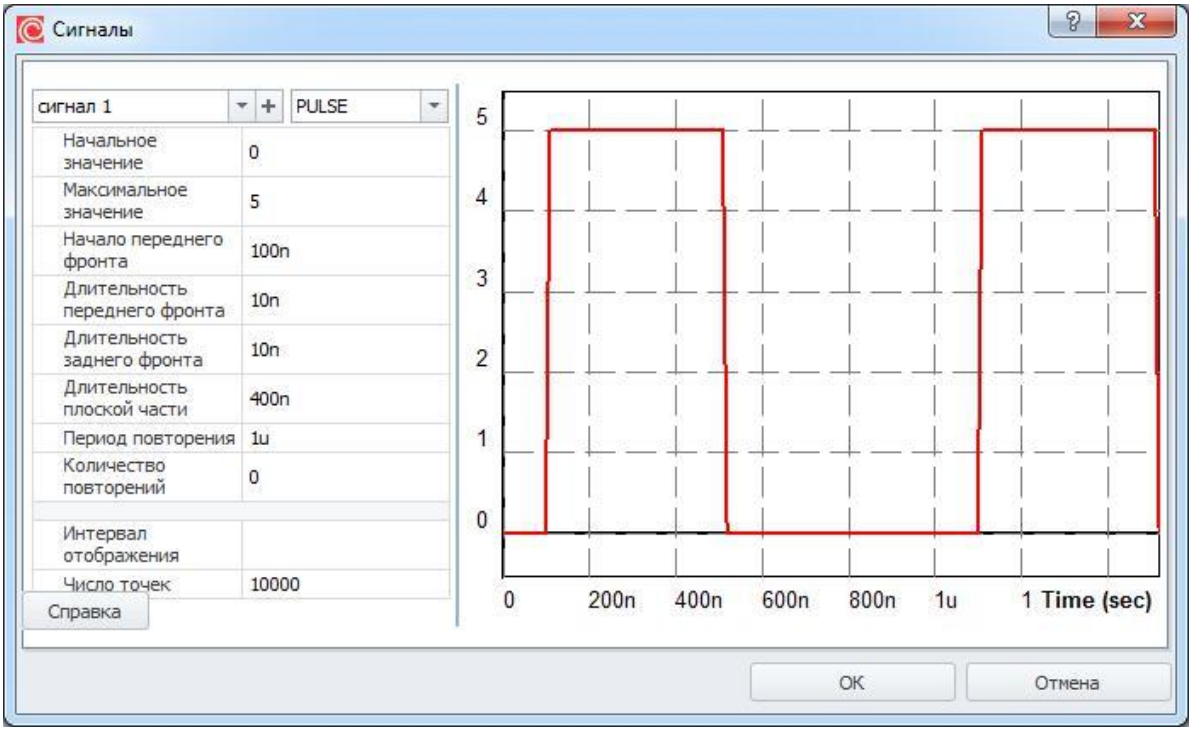


Рис. 6.3.1 Импульсный сигнал

Таблица 6.3.1 Параметры импульсного сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
Y1	Начальное значение	ВилиА	
Y2	Максимальное значение	ВилиА	
TD	Начало переднего фронта	C	0
TR	Длительность переднего фронта	C	TSTEP
TF	Длительность заднего фронта	C	TSTEP
PW	Длительность плоской части импульса	C	TSTOP
PER	Период повторения	C	TSTOP

TSTEP – шаг вывода на печать.
TSTOP – конечное время анализа переходного процесса

Значения сигнала рассчитываются согласно таблице 6.3.2:

Таблица 6.3.2 Расчёт значений импульсного сигнала

Интервал	Значение
0 <= t <= TD	Y1
TD < t <= TD+TR	Y1+((Y2–Y1)/TR)*(t–TD)
TD+TR < t <= TD+TR+PW	Y2
TD+TR+PW < t <= TD+TR+PW+TF	Y2+((Y1–Y2)/TF)*(t–TD–TR–PW)
TD+TR+PW+TF < t <=PER	Y1

6.4 Синусоидальный сигнал (SIN)

Задаётся списком параметров SIN(*y0 ya f da # NC*).

Графики сигнала приведены на рис. 6.4.1 при $df = 0$, на рис. 6.4.2 – при $df > 0$;

параметры сигнала объясняются в таблице 6.4.1.

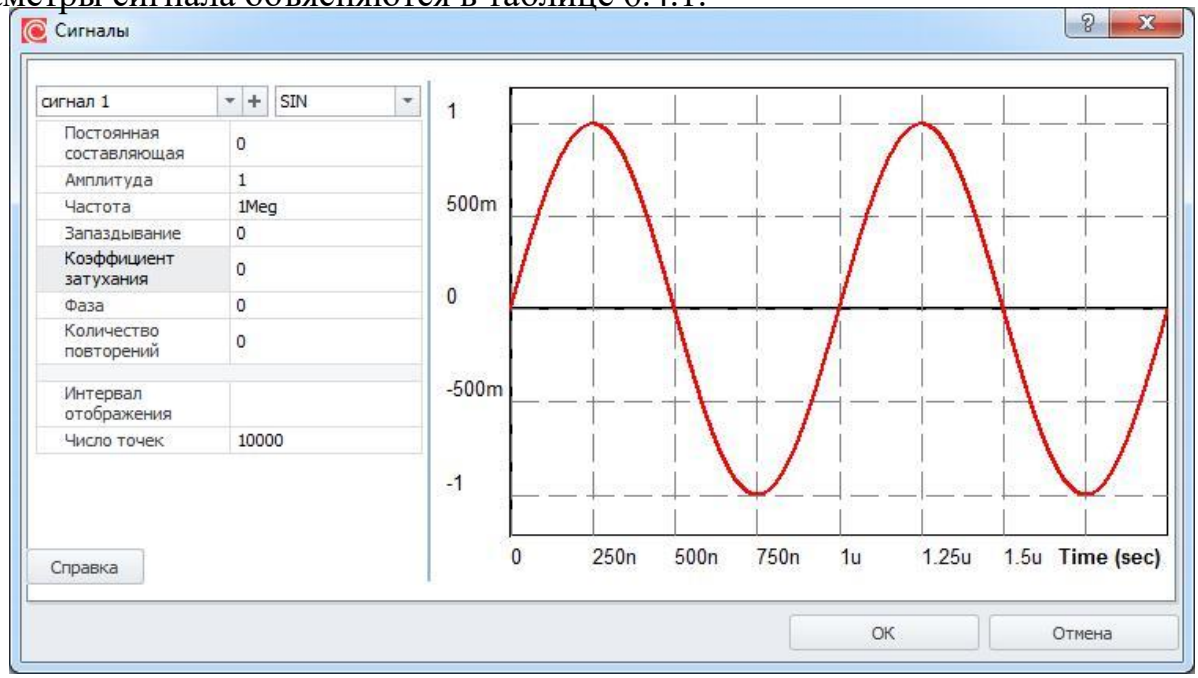


Рис. 6.4.1 Незатухающий синусоидальный сигнал

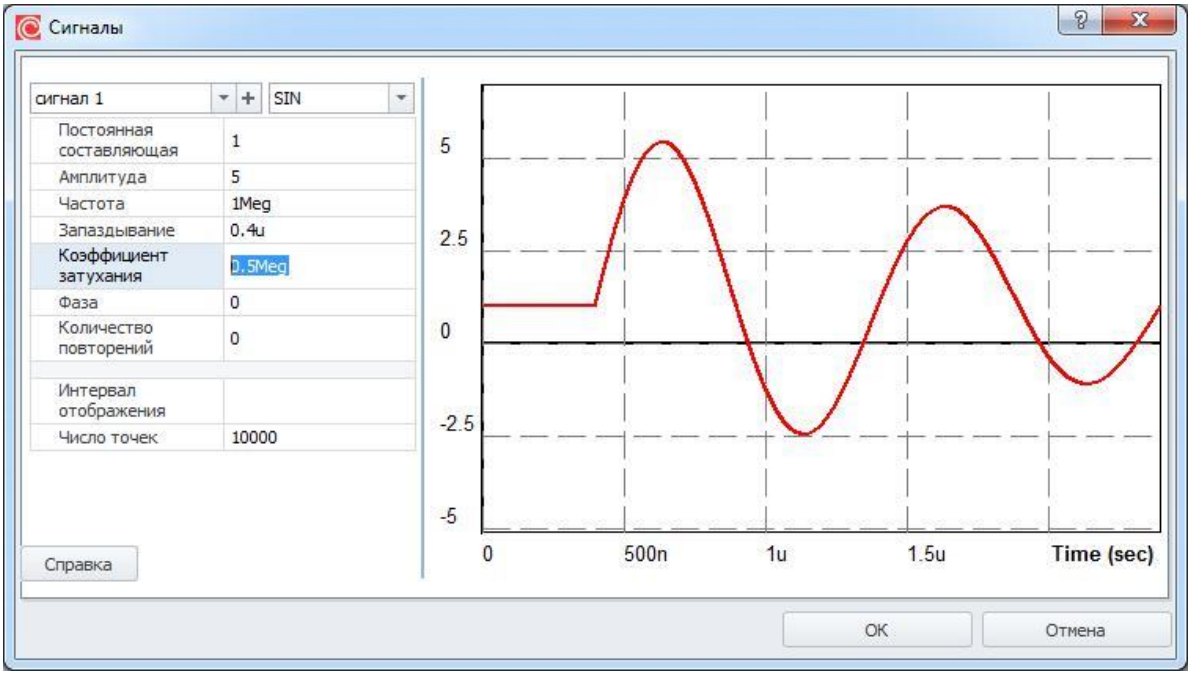


Рис. 6.4.1 Ззатухающий синусоидальный сигнал

Таблица 6.4.1 Параметры синусоидального сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
YOFF	Постоянная составляющая	ВилиА	
YAMPL	Амплитуда	ВилиА	
FREQ	Частота	Гц	1/TSTOP
TD	Задержка	с	0
DF	Коэффициент затухания	1/с	0
PHASE	Фаза	град.	0
NC	Количество периодов	-	INF

Значения сигнала рассчитываются следующим образом (таблица 6.4.2):

Таблица 6.4.2 Расчёт значений синусоидального сигнала

Интервал	Значение
0 <= t <= TD	YOFF
TD < t <= TSTOP	YOFF + YAMPL *exp(–(t–TD)* DF)*sin(2*PI * FREQ*(t–TD)+ PHASE/360)

6.5 Частотно-модулированный синусоидальный сигнал (SFFM)

Задаётся списком параметров SFFM (*y0 ya fc m fm*).

График сигнала приведён на рис. 6.5.1, параметры объясняются в таблице 6.5.1.

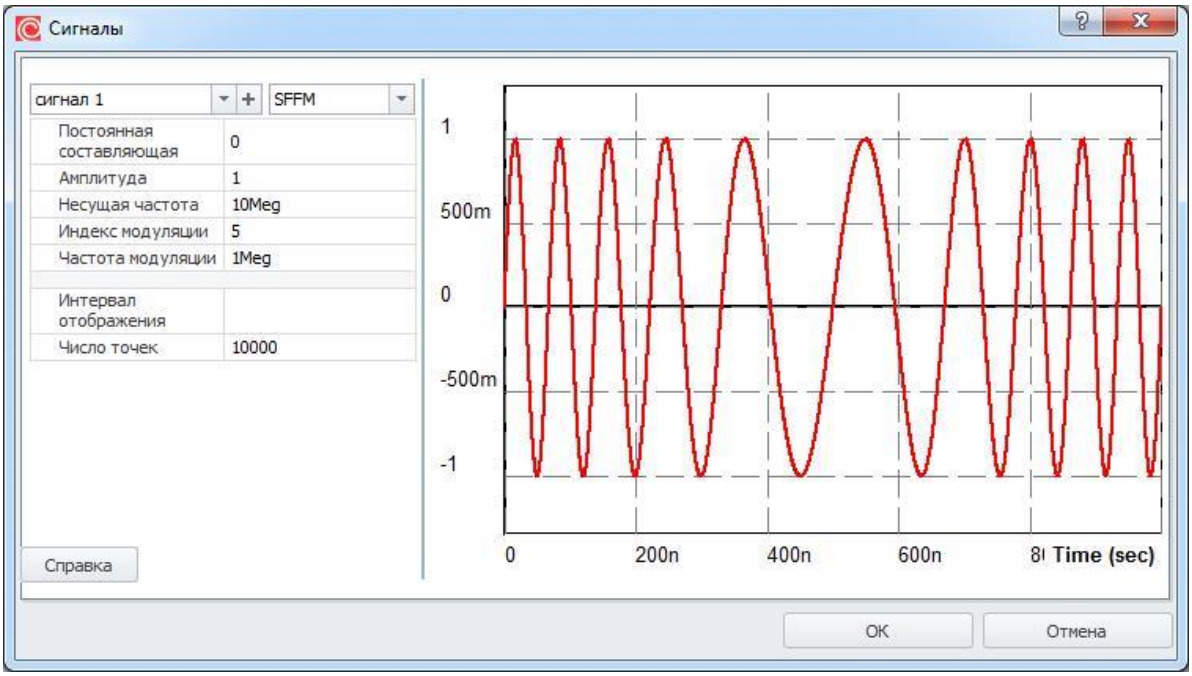


Рис. 6.5.1 Частотно-модулированный синусоидальный сигнал

Таблица 6.5.1 Параметры частотно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
YOFF	Постоянная составляющая	ВилиА	
YAMPL	Амплитуда	ВилиА	
FC	Частота несущей	Гц	1/TSTOP
MOD	Индекс частотной модуляции		0
FM	Частота модуляции	Гц	1/TSTOP

Значения сигнала рассчитываются согласно таблице 6.5.2:

Таблица 6.5.2 Расчёт значений частотно-модулированного сигнала

Интервал	Значение
0 <= t <= TSTOP	YOFF+YAMPL*sin(2*PI*FC*t+MOD*sin(2*PI*FM*t))

6.6 Кусочно-линейный сигнал (PWL)

PWL представляет собой кусочно-линейную функцию $y(t)$. Соседние точки соединяются прямыми линиями.

Задаётся списком параметров:

PWL[TIME_SCALE_FACTOR=<*значение*>]
[VALUE_SCALE_FACTOR=<*значение*>]
+ (*точки_отсчёта*)*
В секции (*точки_отсчёта*) помещаются следующие
данные: (<t_n, y_n>) – координаты точек;
FILE <*имя_файла*> – чтение координат точек из файла;
REPEAT FOR <*n*> (*точки_отсчёта*)* ENDREPEAT – повторение n раз; REPEAT
FOREVER (*точки_отсчёта*)* ENDREPEAT – бесконечное повторение.

Примеры задания pwl-сигналов:

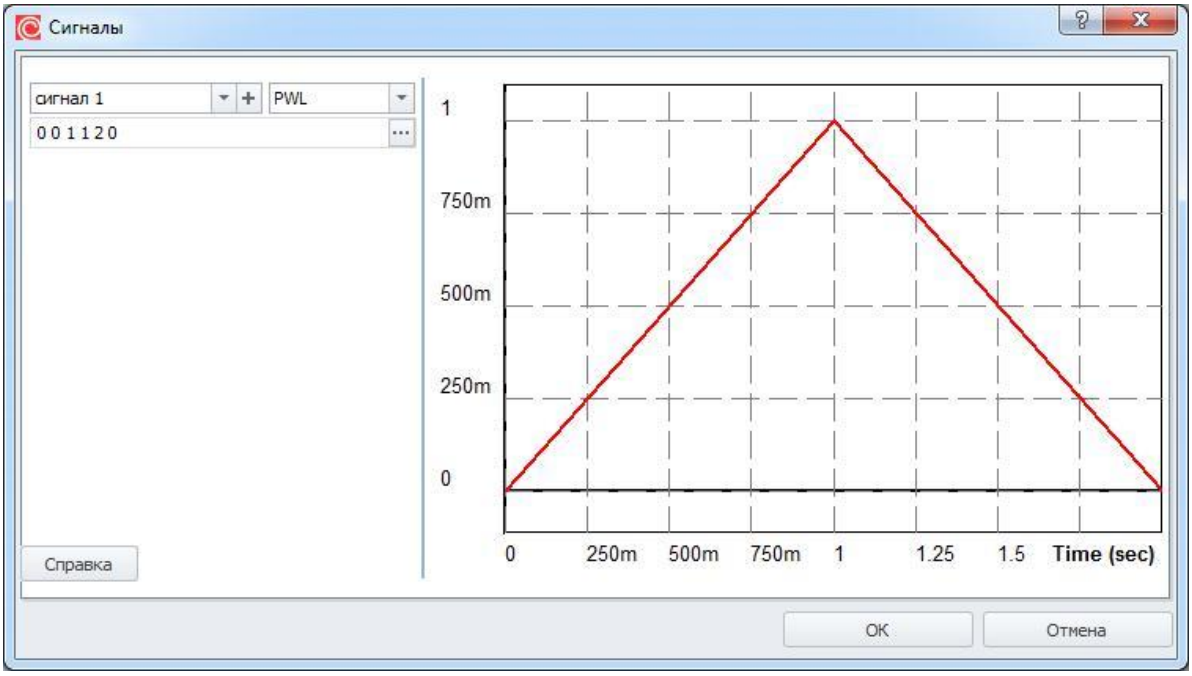


Рис. 6.6.1 Кусочно-линейный сигнал. Точечное представление

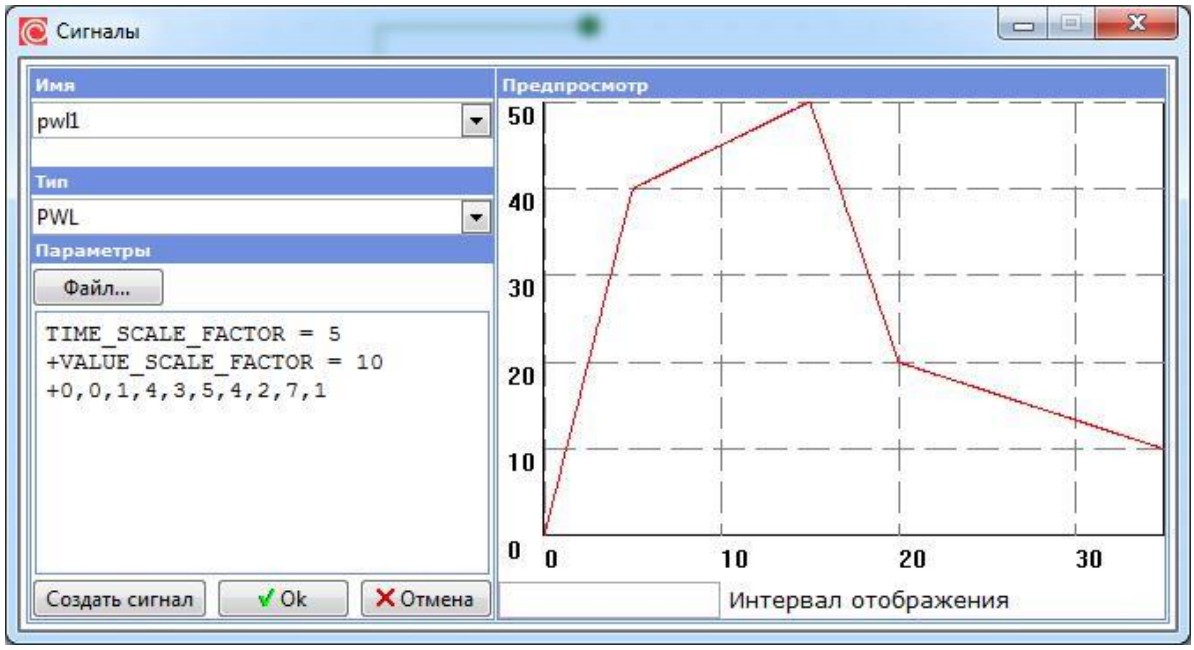


Рис.

6.6.2 Кусочно-линейный сигнал. Точечное представление с масштабом.

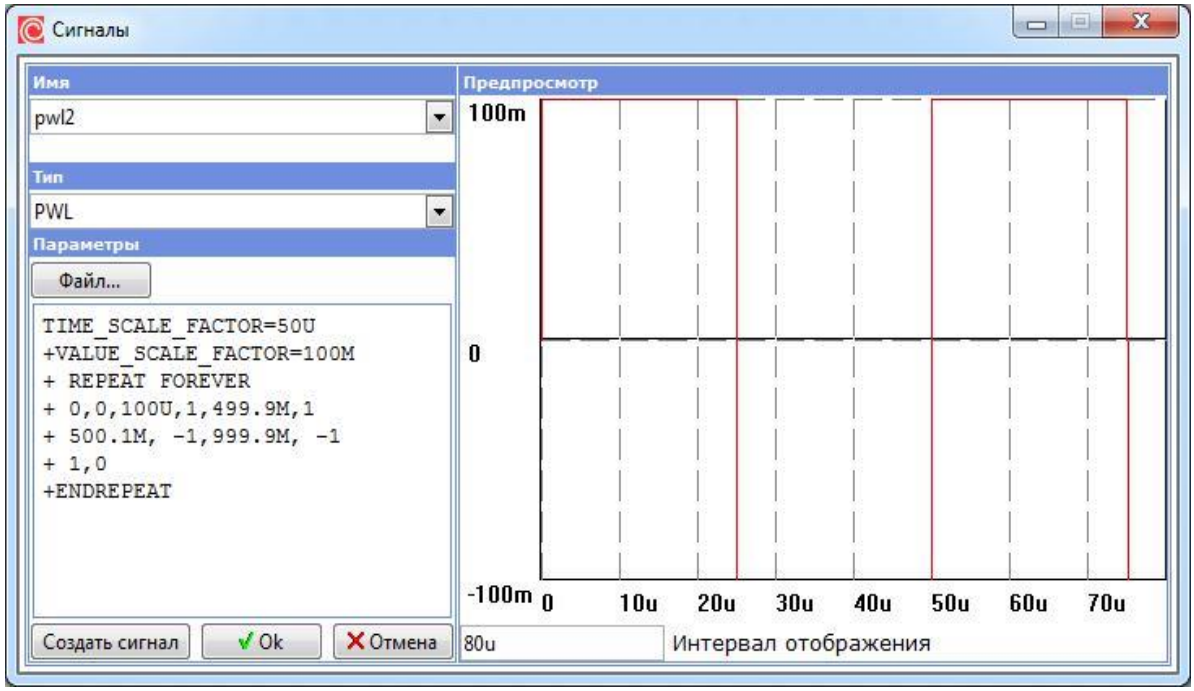


Рис. 6.6.3 Кусочно-линейный сигнал. Цикловое представление.

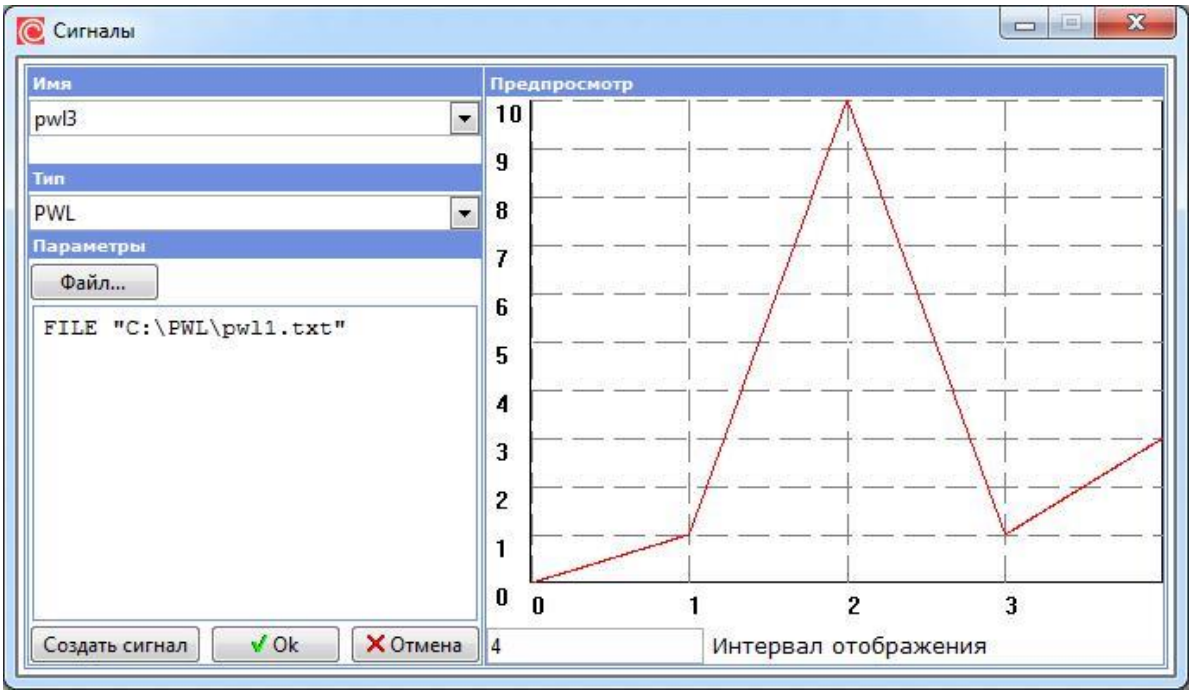


Рис. 6.6.3 Кусочно-линейный сигнал. Задание с помощью файла.

С помощью кнопки Файл... вызывается интерфейс добавления файла, содержащего точки сигнала в тестовом формате.

6.7 Шумовой сигнал (NOISE)

График сигнала приведён на рис. 6.7.1, параметры объясняются в таблице 6.7.1.

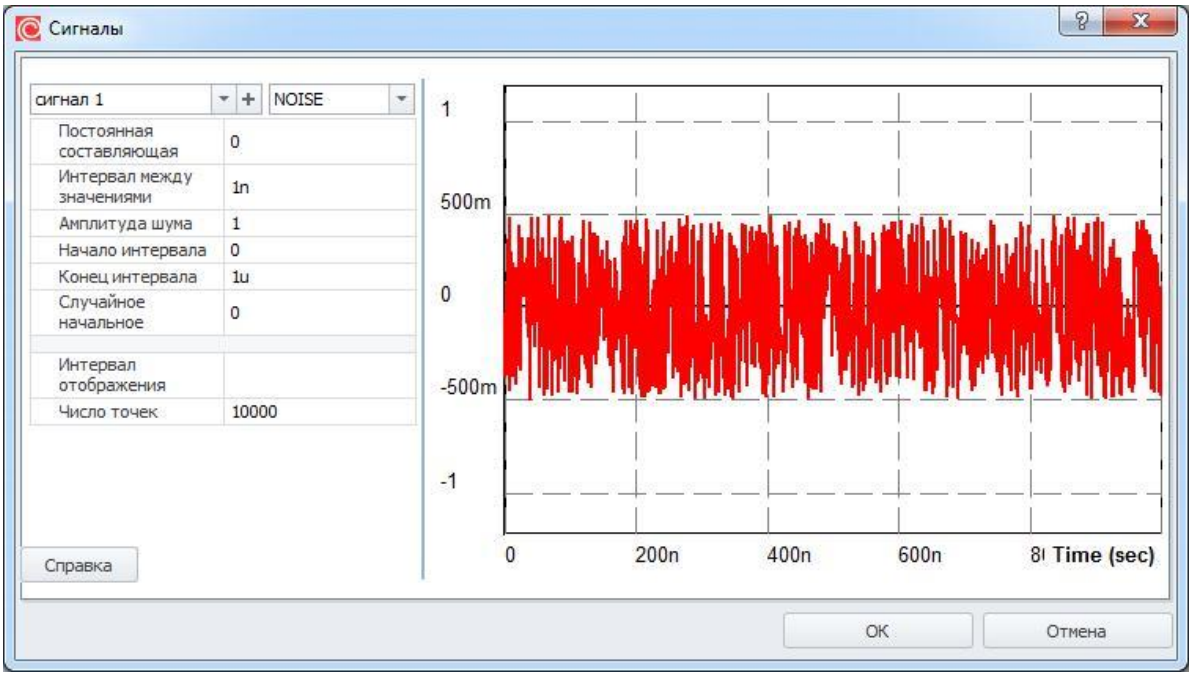


Рис. 6.7.1 Шумовой сигнал

Таблица 6.7.1 Параметры шумового сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
YOFF	Постоянная составляющая, на которую накладывается шум	ВилиА	0
STEP	Интервал между случайными значениями	ВилиА	0
YAMP	Амплитуда шумового сигнала	ВилиА	0
TD	Стартовое время случайной последовательности	с	0
TF	Конечное время случайной последовательности	с	0
SEED	Значение «зерна» для генератора случайных чисел	–	0

Шумовой сигнал задаётся от значения YOFF в момент TD и далее его значения появляются последовательно через временной интервал STEP, находясь при этом в промежутке между YAMP/2 и –YAMP/2 относительно базового уровня YOFF.

Описанный процесс генерации случайных значений продолжается до момента времени TF, далее сигнал принимает постоянное значение YOFF.

Следует отметить, что первое случайное значение генерируется в момент времени t = TD+STEP, последнее – в момент t = TF–STEP.

Если параметр генератора случайных чисел SEED не равен 0, то случайная последовательность одна и та же при каждом новом запуске. В противном случае последовательности отличаются между собой при каждом новом запуске.

6.8 Амплитудно-модулированый сигнал (AM)

Задаётся списком параметров AM (YAMPL, YOFF, FM, FC, TD).

График сигнала приведён на рис. 6.8.1, параметры объясняются в таблице 6.8.1.

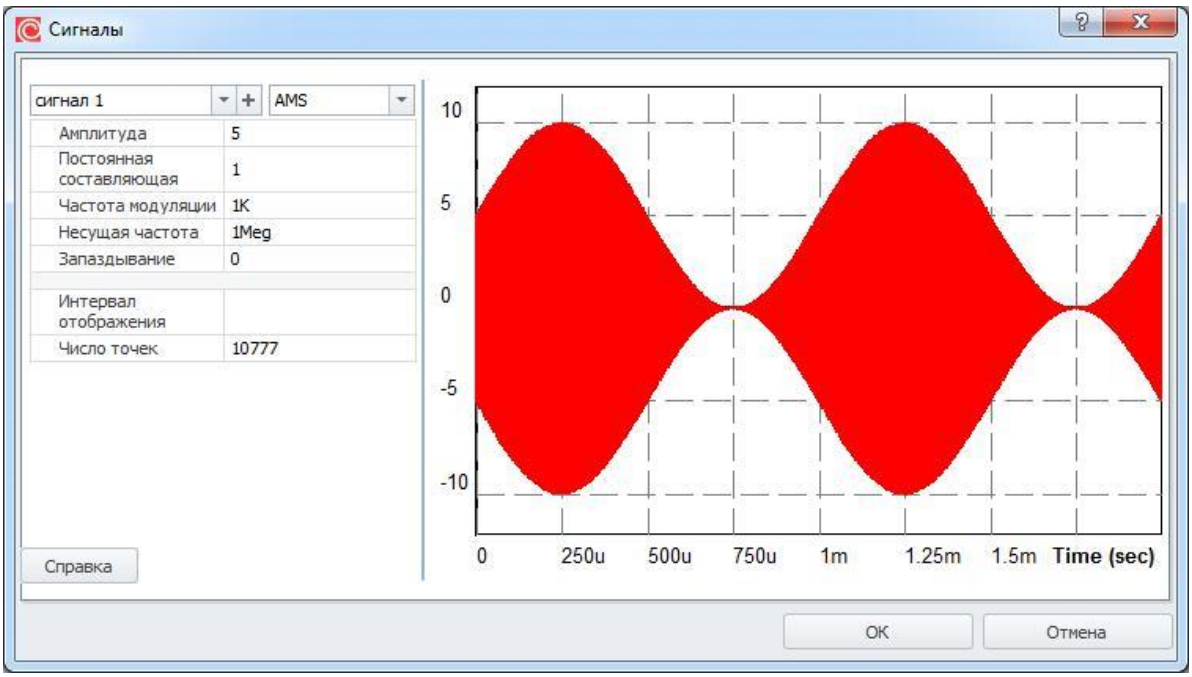


Рис. 6.8.1 Амплитудно-модулированный синусоидальный сигнал

Таблица 6.8.1 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
YAMPL	Амплитуда	ВилиА	
YOFF	Постоянная составляющая	ВилиА	
FM	Частота модуляции	Гц	1/TSTOP
FC	Несущая частота	Гц	1/TSTOP
TD	время задержки	с	

Значения сигнала рассчитываются согласно таблице 6.8.2:

Таблица 6.8.2 Расчёт значений частотно-модулированного сигнала

Интервал	Значение
0 <= t <= TSTOP	YAMPL*(YOFF+sin(2*PI*FM*t)) * sin(2*PI*FC*t))

6.9 Сигнал в аудиоформате (WAV)

Задаётся командой wavefile=<filename> [chan=<номер канала>].
<filename> – полный путь к файлу хранения аудио данных с расширением .wav ;
<номер канала> – номер канала записи аудио данных в этом файле, по умолчанию 0.

График сигнала приведён на рис. 6.9.1, параметры объясняются в таблице 6.9.1.

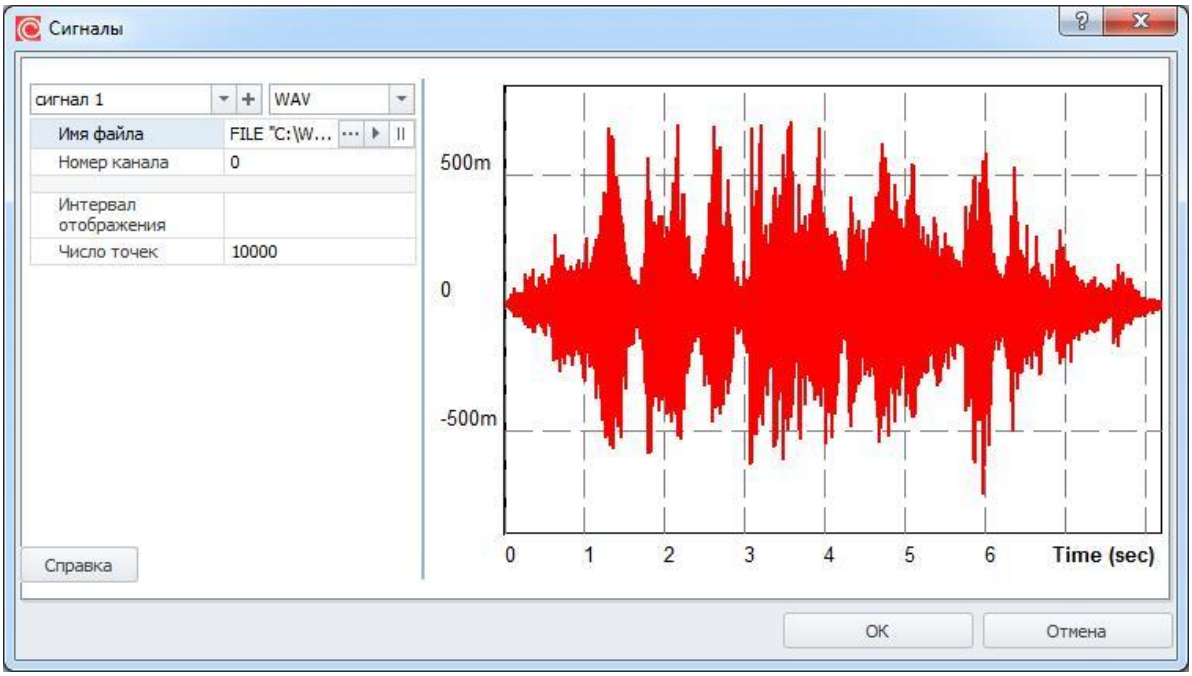


Рис. 6.9.1 Сигнал в аудиоформате.

Таблица 6.9.1 Параметры аудио сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение умолчанию
Имя файла	Полный путь к файлу хранения аудио данных с расширением .wav.	ВилиА	
Номер канала	Номер канала записи аудио данных в файле.	ВилиА	
Воспроизвести	Вывести звуковой канал на динамики компьютера		
Остановить	Остановить воспроизведение		

6.10 Сигналы произвольной формы (EXPRESSION)

Задаются произвольным математическим выражением с использованием математических функций и операций относительно переменной *time*. Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

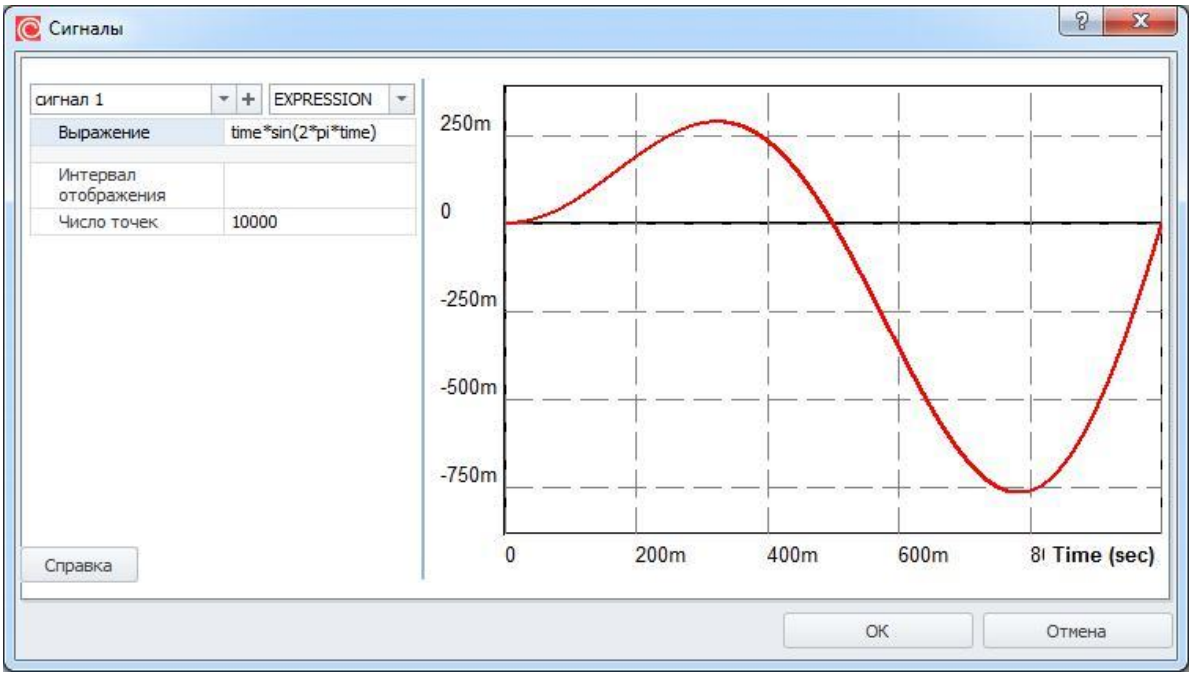


Рис. 6.10.1 Сигнал произвольной формы

6.11 Одиночный импульс

Задается только в схемотехническом редакторе.
График сигнала приведён на рис. 6.11.1, параметры объясняются в таблице 6.11.1.

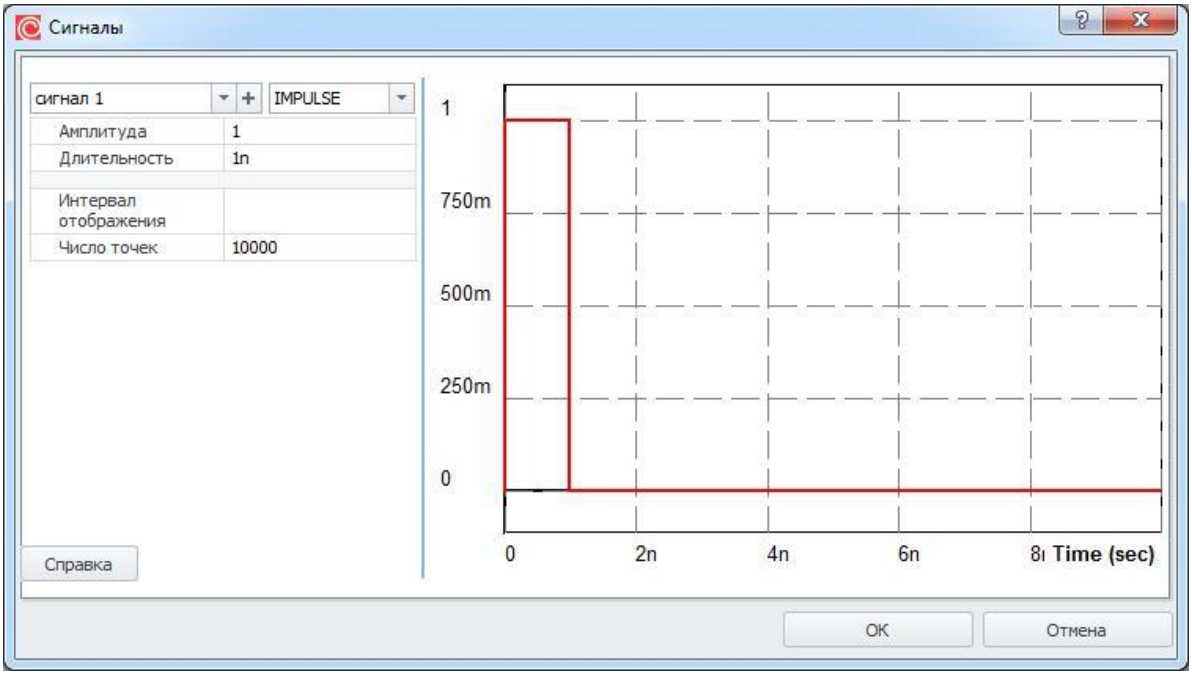


Рис. 6.11.1 Сигнал одиночный импульс

Таблица 6.11.1 Параметры сигнала одиночный импульс

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
AMPL	Амплитуда импульса	ВилиА	1
PW	ширина импульса	с	1n

6.12 Ступенька

Задается только в схемотехническом редакторе.
График сигнала приведён на рис. 6.12.1, параметры объясняются в таблице 6.12.1.

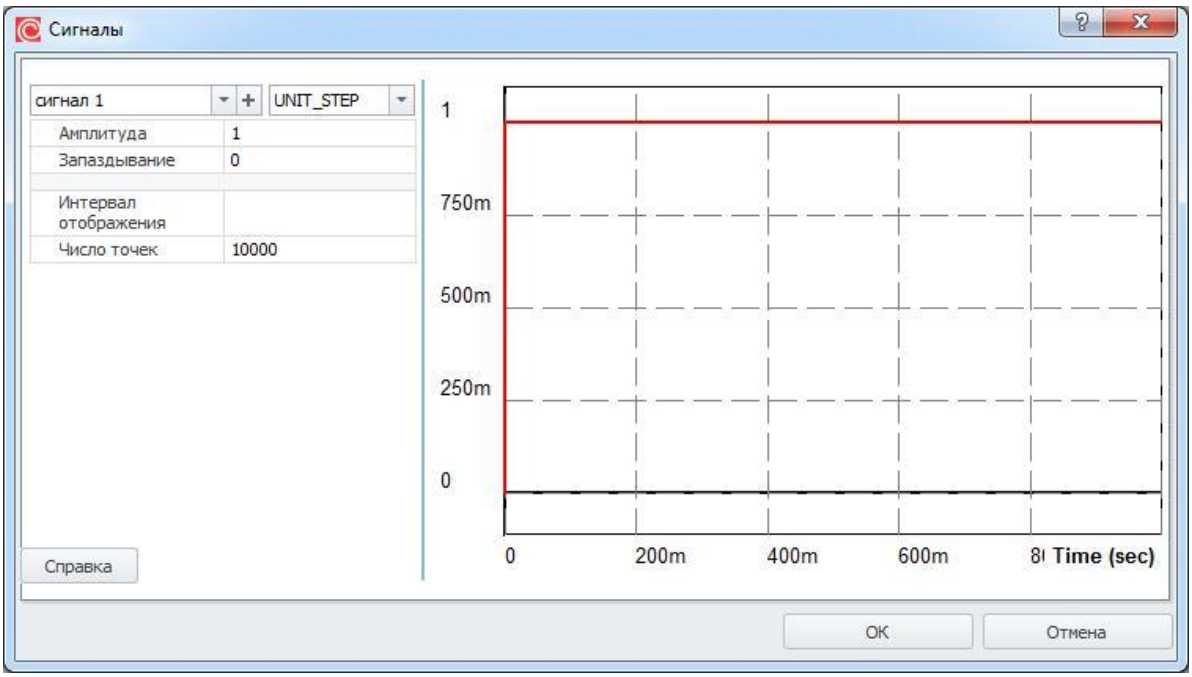


Рис. 6.12.1 Сигнал ступенька

Таблица 6.12.1 Параметры сигнала ступенька

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
AMPL	Амплитуда ступеньки	ВилиА	1
TD	время начала фронта ступеньки	с	0

6.13 Меандр

Задается только в схемотехническом редакторе.
График сигнала приведён на рис. 6.13.1, параметры объясняются в таблице 6.13.1.

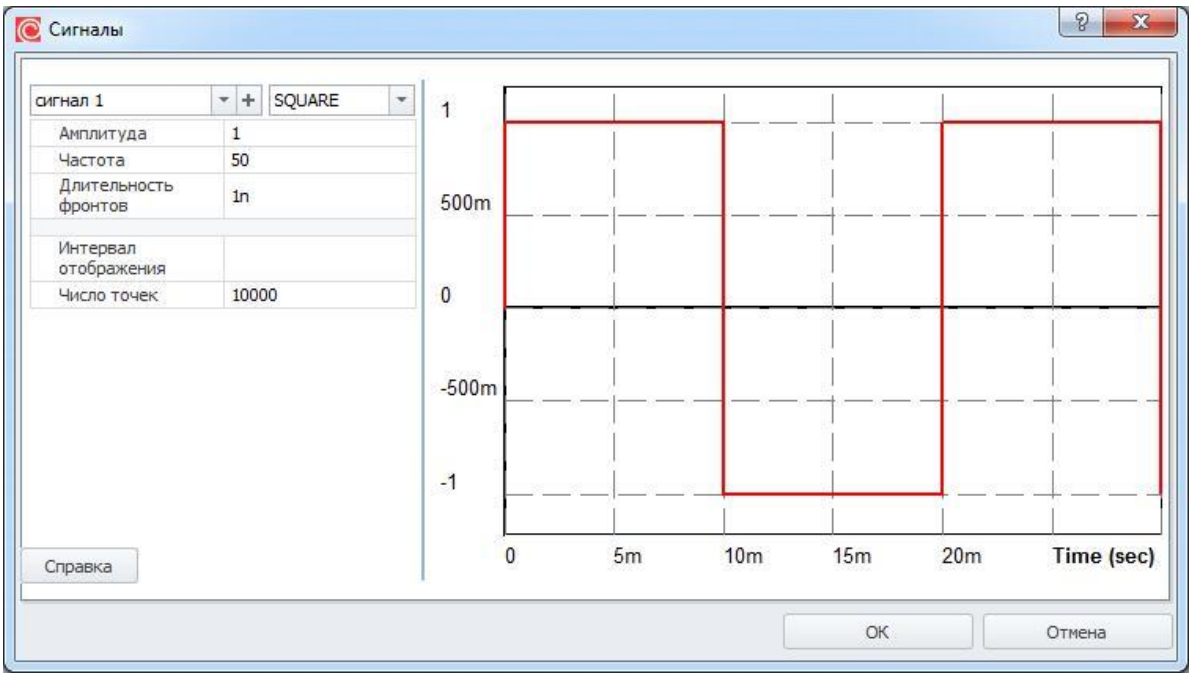


Рис. 6.13.1 Сигнал меандр

Таблица 6.13.1 Параметры сигнала меандр

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
AMPL	Амплитуда меандра	ВилиА	1
FREQ	Частота меандра	Гц	50
Rise\fall time	длительность фронтов меандра	с	1n

6.14 Треугольный сигнал

Задается только в схемотехническом редакторе.
График сигнала приведён на рис. 6.14.1, параметры объясняются в таблице 6.14.1.

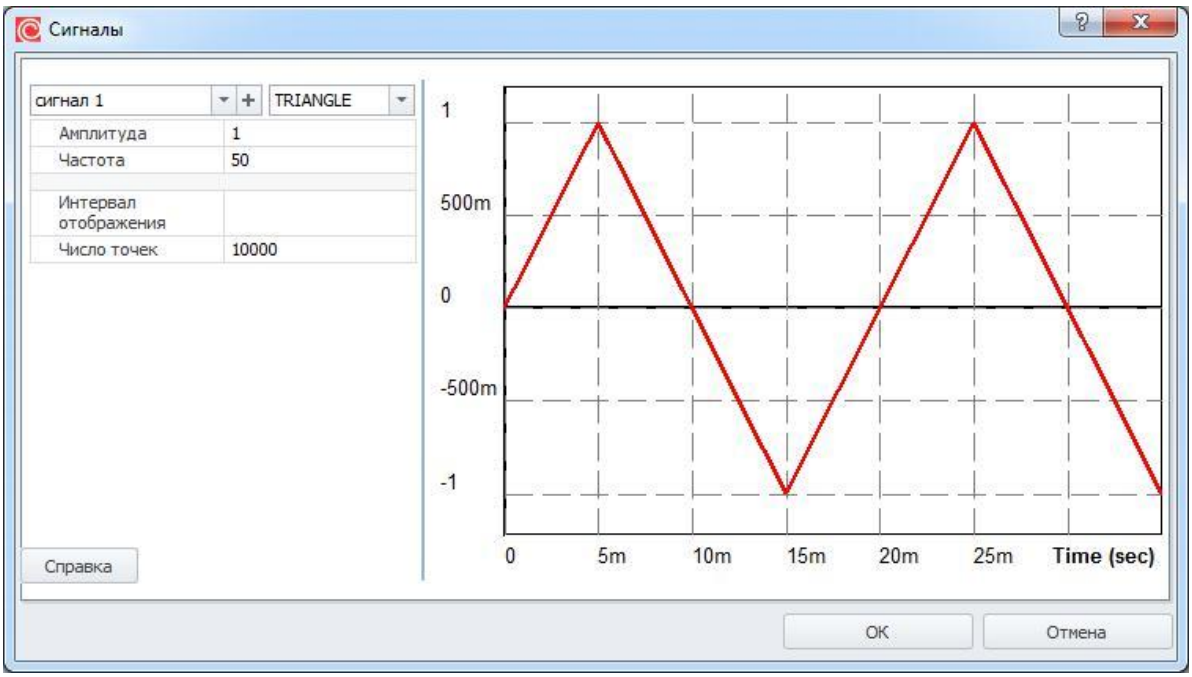


Рис. 6.14.1 Треугольный сигнал

Таблица 6.14.1 Параметры сигнала меандр

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
AMPL	Амплитуда треугольного сигнала	ВилиА	1
FREQ	Частота треугольного сигнала	Гц.	50

6.15 Линейно частотно модулированный сигнал

Задаётся списком параметров SLFM (*y0 ya fc fc m fm*).

График сигнала приведён на рис. 6.15.1, параметры объясняются в таблице 6.5.1.

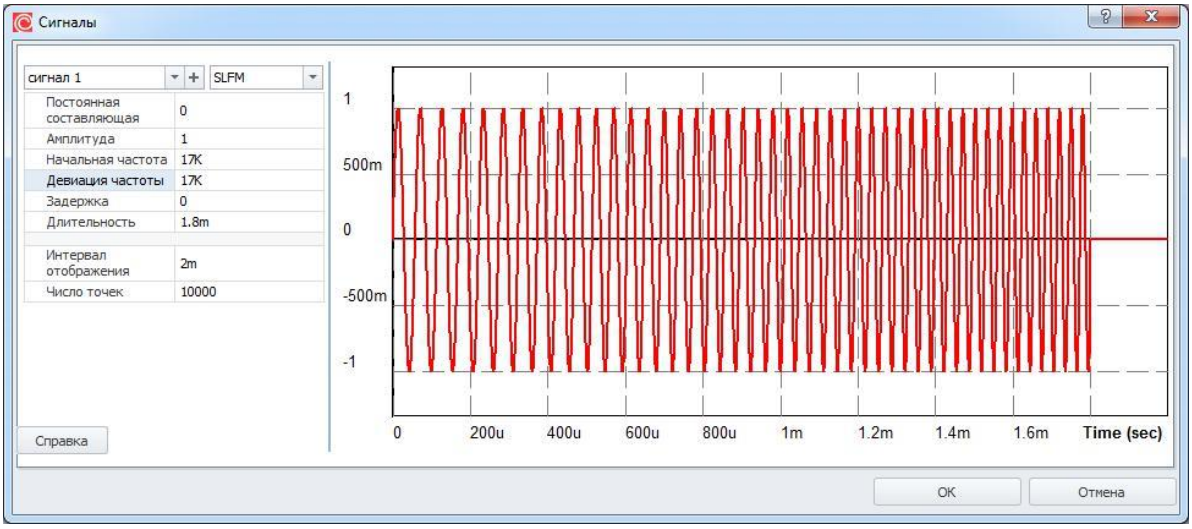


Рис. 6.15.1 Частотно-модулированный синусоидальный сигнал

Таблица 6.15.1 Параметры частотно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
YOFF	Постоянная составляющая	ВилиА	
YAMPL	Амплитуда	ВилиА	
FC	Начальная частота	Гц	17K
FD	Девиация частоты	Гц	5K
Td	Задержка	с.	0
Dur	Длительность сигнала	с.	1.8m

7 Моделирование

7.1 Общие сведения

В программе **SimOne** представлены различные виды анализа электронных схем. Условно их можно разделить на несколько типов:

- Анализ схемы по постоянному току. Сюда относятся расчёт рабочей точки схемы (**.OP**), построение статических характеристик схемы при изменении параметров компонентов, температуры (**DC sweep**), расчёт чувствительности по постоянному току (**.SENS**)
- Анализ схемы в режиме малого сигнала. Включает в себя расчёт переменных схемы на указанной частоте воздействия, построение частотных характеристик схемы (**AC sweep**), исследование устойчивости схемы.
- Режим малого сигнала – такой режим работы схемы, в котором её поведение достаточно точно описывается линеаризованной в окрестности рабочей точки моделью.
- Анализ временных процессов схемы. Включает в себя построение временных диаграмм работы схемы; переходных процессов (**.Tran**) и установившихся периодических режимов (**PSS Analysis**).
- Комплексный анализ схемы. Сюда относится Оптимизация схемы – автоматическая настройка требуемых характеристик схемы с помощью варьирования параметров моделей (номиналов резисторов, ёмкостей и т.п.), Анализ чувствительности характеристик схемы к изменению параметров моделей, Анализ предельных режимов работы схемы.

Все указанные виды анализа схемы, кроме комплексных анализов, могут проводиться многократно при варьировании тех или иных параметров моделей, компонентов – параметрический анализ схемы, (**.param**), температуры – температурный анализ схемы (**.Temp**), при учете разброса входных параметров – анализ Монте-Карло/наихудшего случая (**.mc**).

Полученные семейства характеристик могут быть оценены с помощью специальных интегральных оценок (**Измерения**), доступных как в процессе задания на моделирования, так и в блоке постпроцессной обработки.

7.2 Симуляции. Управление симуляциями

Для проведения и управления моделированием в **SimOne** используются специальные объекты – симуляции. Симуляции включают в себя:

- задание на моделирование (границы временных, частотных диапазонов, переменные, которые выводятся на график и проч.);
- настройки, при которых проводится моделирование;
- численные данные, полученные в результате моделирования (графики, таблицы);
- данные постпроцессной обработки – измерения, проведённые по результатам моделирования.

Пользователь может создавать, удалять, переименовывать симуляции, запускать их или отображать их результаты, использовать их для дальнейшей постпроцессной обработки.

Все симуляции текущего проекта отображаются на панели документа в разделе **Моделирование** (рис. 7.2.1).

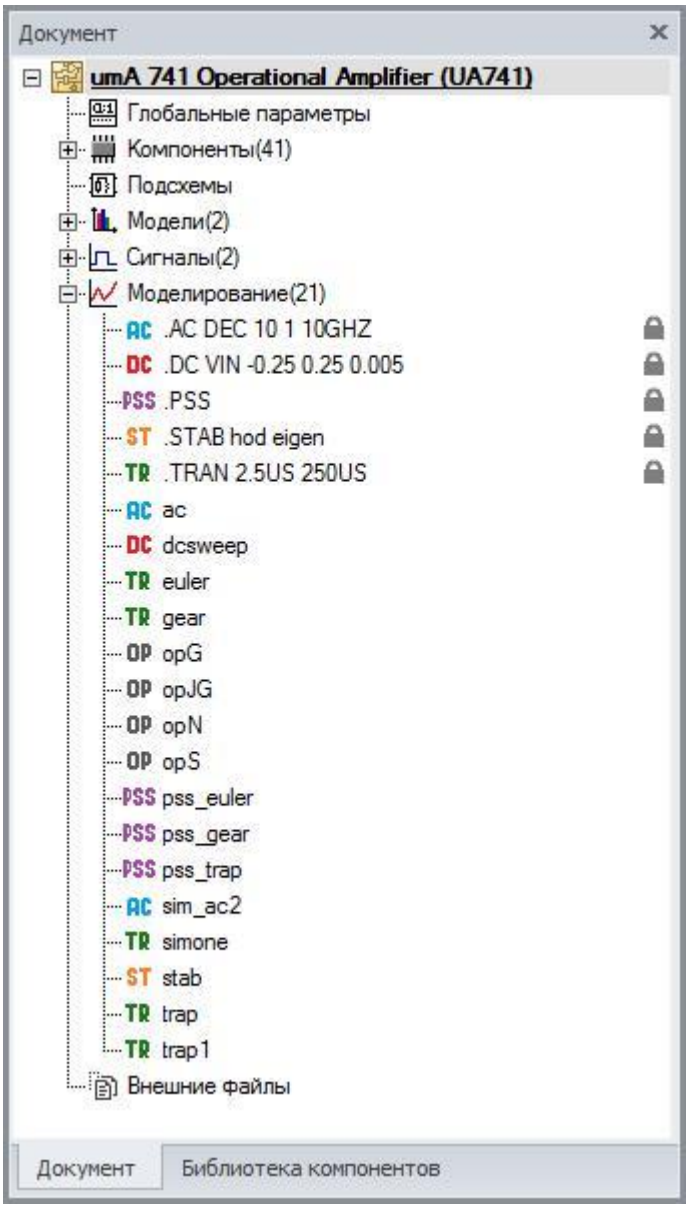


Рис. 7.2.1 Представление симуляций на панели документа

Двойное нажатие ЛКМ на имени симуляции открывает окно задания параметров данной симуляции. Контекстное меню, вызываемое по нажатию ПКП, позволяет открыть вкладку отображения результатов симуляции (графиков, таблиц). вызвать диалоговое окно удаления симуляции. Для отображения результатов симуляции программа открывает соответствующую вкладку с именем симуляции, результаты которой будут отображаться. Это всегда происходит при запуске симуляции.

7.3 Окно параметров моделирования

Создание любого вида анализа схемы осуществляется с помощью пункта **Моделирование** главного меню программы. После выбранного в меню вида анализа схемы появляется диалоговое окно параметров моделирования (рис. 7.3.1). Окно содержит в себе несколько вкладок:

- вкладка типа выбранного анализа схемы;
- вкладка **Параметрический анализ** – используется для многократного запуска текущего анализа схемы при варьировании в указанных диапазонах выбранных параметров схемы;
- вкладка **Анализ Монте-Карло** – используется для многократного запуска текущего анализа схемы при случайном изменении выбранных параметров схемы;
- вкладка **Измерения** позволяет задать интересующие оценки графиков исследуемых величин;
- вкладка **Фурье** используется для задания выражений, к которым будет применено прямое или обратное преобразование Фурье после проведения расчета и параметров преобразования;
- вкладка **Настройки** позволяет задать необходимые настройки для проведения численных расчётов.

Вкладки **Параметрический анализ**, **Анализ Монте-Карло, Измерения** и **Настройки** одинаковы для всех типов анализа схемы, тогда как первая вкладка уникальна для каждого из типов. Вкладка **Фурье** доступна при проведении временных и частотных анализов схемы.

Описание вкладок **Параметрический анализ** и **Анализ Монте-Карло** приведено в главе 16 Многовариантные типы анализа схем, вкладки **Измерения** – в главе 21 Измерения, вкладки **Фурье** – в §20.13 Преобразование Фурье.

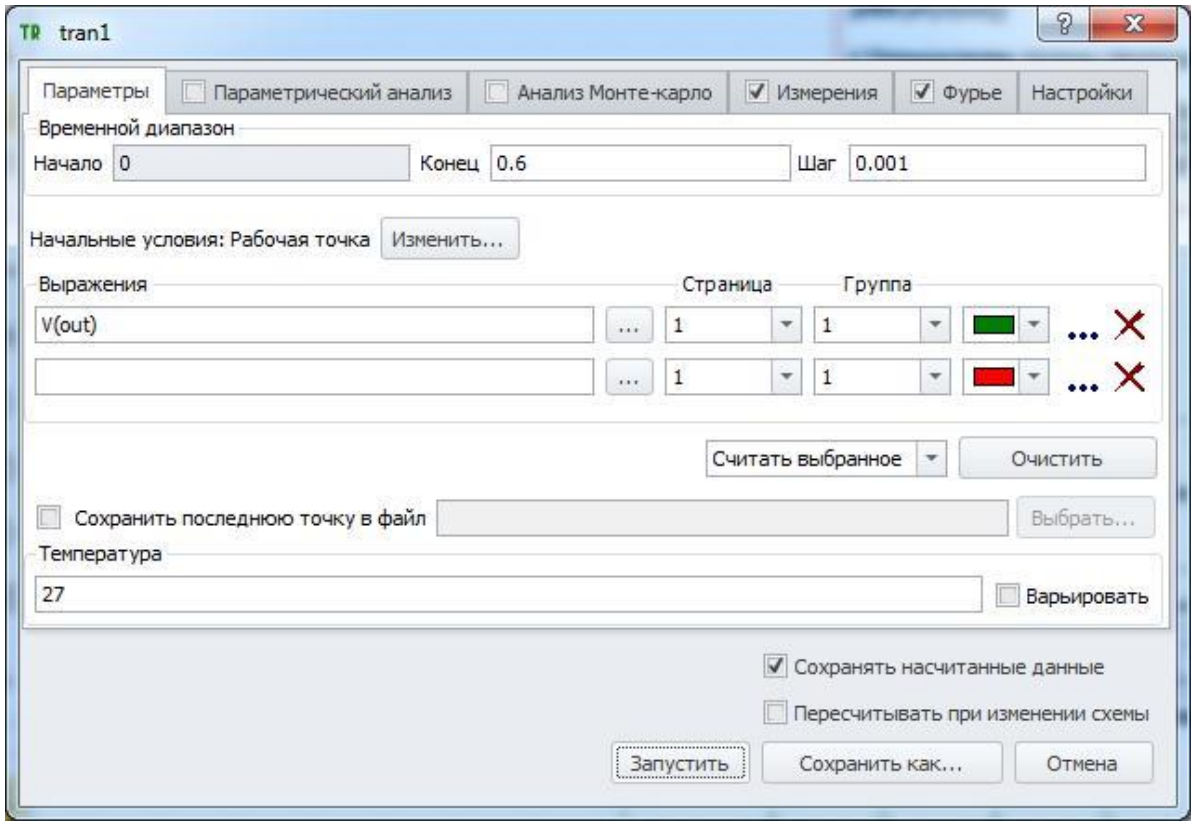
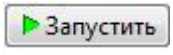


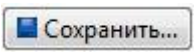
Рис. 7.3.1 Окно параметров моделирования

В полях **Переменные** и **Выражения** указываются выражения, которые будут считаться при выполнении моделирования. Они могут включать в себя потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и др., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.

Некоторые типы моделирования, такие как **Расчет переходных процессов**, **Частотный анализ**, **Расчет статических характеристик**, **Расчет периодических режимов** содержат опцию выбора сохранять расчетные данные или нет. Файлы с расчетными данными для таких видов анализа схемы могут иметь очень большой размер, и по этой причине хранить их на диске компьютера имеет смысл если только результаты моделирования должны быть востребованы снова без повторного запуска процесса их получения.

Кнопка 

позволяет запустить процесс моделирования и сохранить симуляцию с именем, установленным по умолчанию.

Кнопка 

позволяет сохранить симуляцию на диск компьютера и использовать её в дальнейшем для многократных запусков. При этом имя симуляции будет отображаться в соответствующей группе симуляций в окне проекта.

Кнопка

отменяет создание или запуск текущей симуляции.

7.4 Настройки моделирования

Настройки симуляции можно разделить следующие категории:

- настройки, изменение которых меняет саму моделируемую схему, например Gmin и др;
- настройки вычислительных алгоритмов, например RelTol, ITL1 и др;
- настройки программных алгоритмов;
- настройки журналирования.

Настройки симуляции, изменение которых изменяет саму моделируемую схему, находятся отдельно от остальных и устанавливаются с помощью окна **Настройки схемы** (рис. 7.4.1), вызываемого командой главного меню **Моделирование#Настройки схемы…**

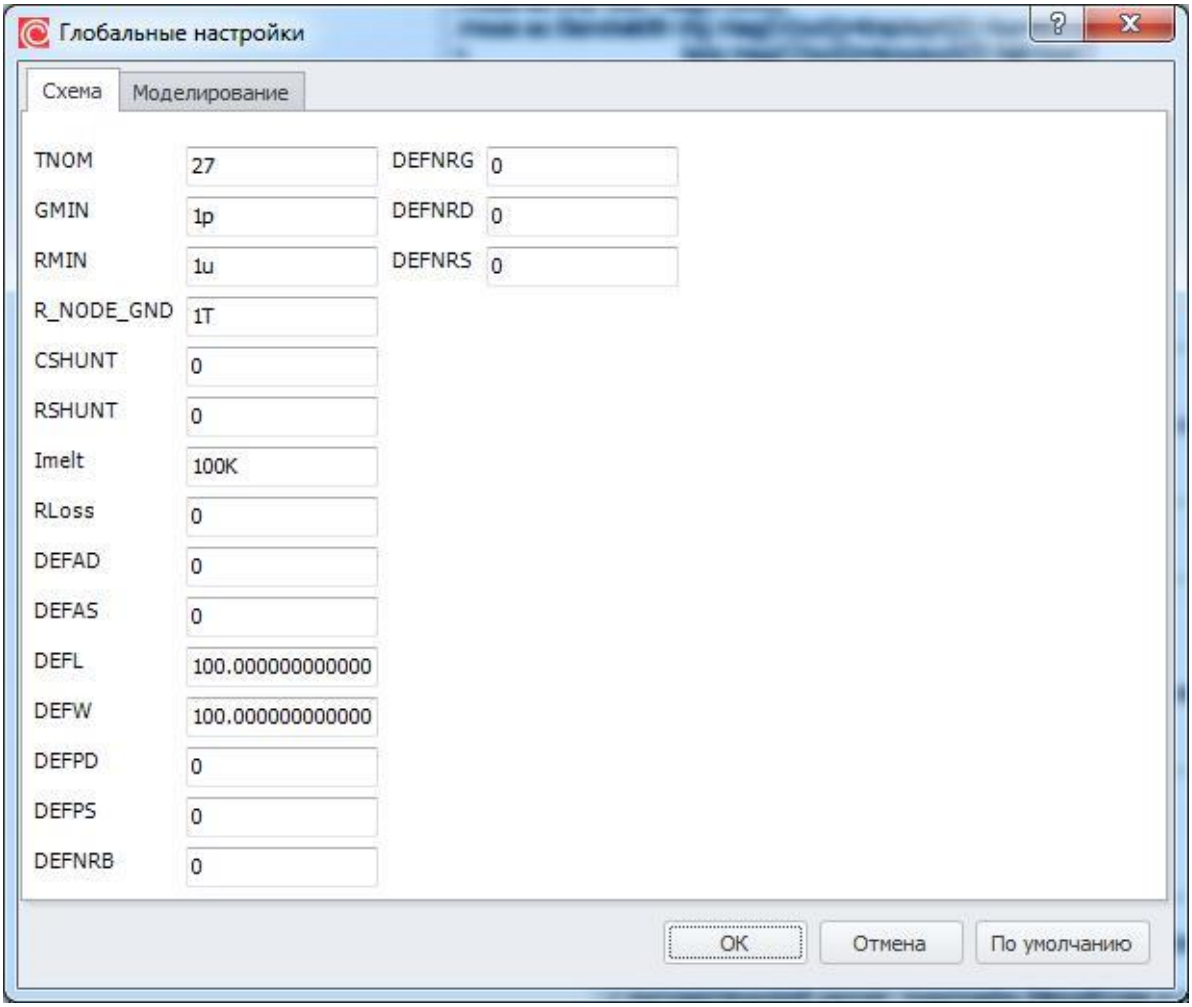


Рис. 7.4.1 Настройки схемы

Описание настроек схемы приведено в таблице 7.4.1:

Таблица 7.4.1 Настройки схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие настройки		
TNOM	Номинальная температура (температура, для которой указаны модельные параметры и производятся все виды анализа)	27 °C
GMIN	Минимальная проводимость ветви цепи	1e–12 См
RMIN	Минимальное значение резисторов схемы	1e–6 Ом
R_NODE_GND	Величина резистора, подключаемого между узлом и землей при отсутствии пути из узла на землю по постоянному току	1e12 Ом
CSHUNT	Если не 0, то определяет величину подключаемой ёмкости из каждого узла схемы на землю. Улучшает сходимость алгоритмов временного анализа схемы	0
RSHUNT	Если не 0, то определяет величину подключаемого сопротивления из каждого узла схемы на землю. Улучшает сходимость алгоритмов при расчёте рабочей точки и временного анализа схемы	0
Imelt	Величина тока p-n-перехода полупроводниковых компонентов, при превышении которой характеристики перехода представляются линейными	1e+050 А
Rloss	Устанавливает значение внутреннего сопротивления источников напряжения и индуктивностей, если оно не задано в самой модели.	0
DEFAD	Площадь диффузионной области стока МОП-транзистора	0 $м^2$
DEFAS	Площадь диффузионной области истока МОП-транзистора	0 $м^2$
DEFL	Длина канала МОП-транзистора	1e–4 м

DEFW	Ширина канала МОП-транзистора	1e–4 м
DEFPD	Периметр диффузионной области стока МОП-транзистора	0 м
DEFPS	Периметр диффузионной области истока МОП-транзистора	0 м
DEFNRB	Удельное относительное сопротивление подложки	0 Ом
DEFNRG	Удельное относительное сопротивление затвора	0 Ом
DEFNRD	Удельное относительное сопротивление стока	0 Ом
DEFNRS	Удельное относительное сопротивление истока	0 Ом

Вкладка «Настройки» содержит большое количество настроек для управления численными расчётами моделирования. Для удобства использования эти настройки сгруппированы по типам анализа схемы (рис. 7.4.1). Некоторые настройки являются общими для разных типов анализа и вынесены в отдельную группу.
Кнопка **По умолчанию** позволяет установить настройки расчётов в значения по умолчанию.

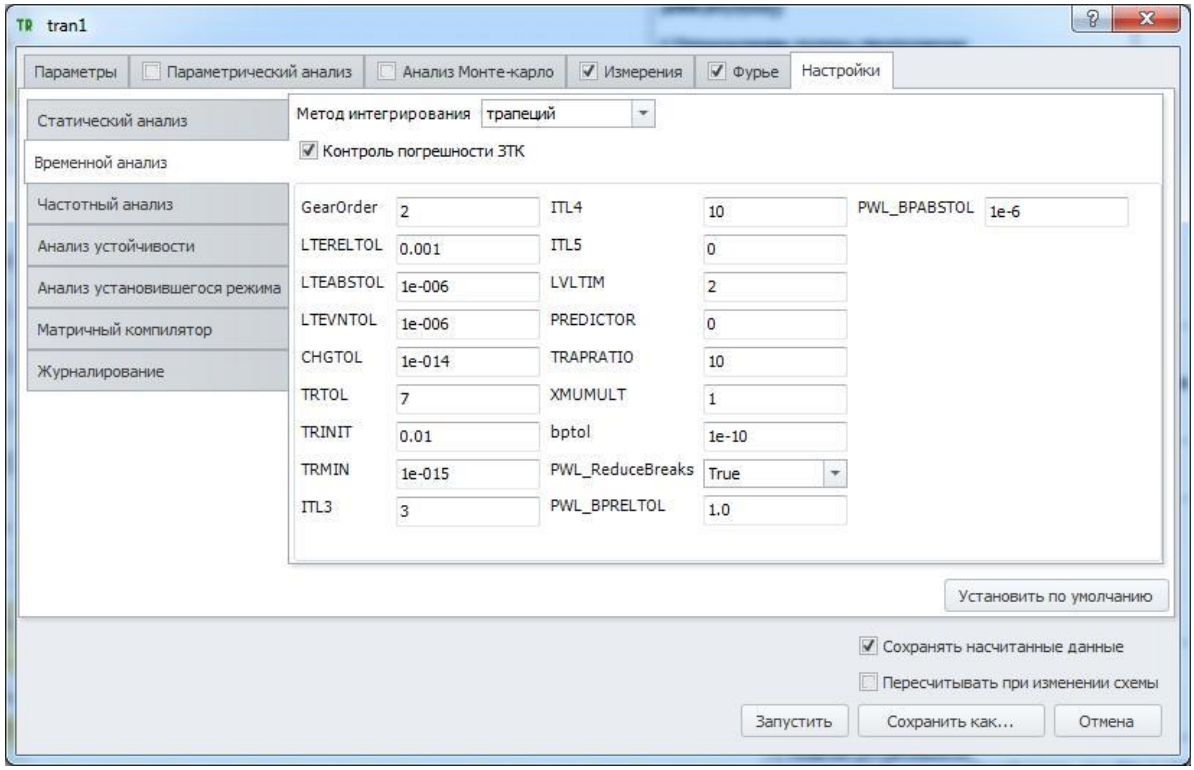


Рис. 7.4.2 Вкладка Настройки окна "Симуляции"

Таблица 7.4.2 Настройки симуляции

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Настройки статического анализа		
Методы расчёта рабочей точки	Выбор методов расчёта рабочей точки и очерёдности их запуска. Если текущий метод расчёта не смог сойтись к рабочей точке, то запускается следующий.	Standart Newton-Raphson Source stepping Gmin stepping Junction Gmin stepping
Контроль погрешности ЗТК	В процессе нахождения рабочей точки схемы **SimOne** позволяет контролировать выполнение закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это необходимо для защиты от ложной сходимости итерационных методов.	Вкл.
RELTOL	Допустимая относительная погрешность расчёта напряжений и токов в итерационном процессе решения нелинейной системы.	1e–3
ABSTOL	Допустимая абсолютная погрешность расчёта токов в итерационном процессе решения нелинейной системы.	1e–12 A
VNTOL	Допустимая абсолютная погрешность расчёта напряжений в итерационном процессе решения нелинейной системы.	1e–6 В
ITL1	Максимальное количество итераций при расчёте рабочей точки.	100
ITL2	Максимальное количество итераций при расчёте очередной точки передаточных функций на постоянном токе.	50

ITL6 (SRCSTEPS)	Определяет минимально число шагов увеличения напряжений и токов в методе расчёта рабочей точки Source stepping.	5
GMINSTEPS	Определяет минимально число шагов уменьшения проводимости Gmin в методах расчёта рабочей точки – Gmin stepping, Junction Gmin stepping	10
GminStart	Начальное значение проводимости Gmin для старта методов Gmin stepping, Junction Gmin stepping	0.1 См
GminMax	Максимальное значение проводимости Gmin для методов Gmin stepping, Junction Gmin stepping.	1e6 См
GminDC	Минимальная проводимость ветви цепи в режиме постоянного тока	1e–12 См
sollim	Максимальный шаг при использовании демпфирования в итерациях Ньютона	10
MAX_DC_STEPS	Максимальное число итераций при расчёте рабочей точки	10000
DCSensDev	Величина относительного отклонения варьируемой переменной в расчёте чувствительностей по постоянному току	1e–2
Настройки временного анализа		
Метод интегрирования	Метод интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих поведение схемы во времени	Метод трапеций
Контроль погрешности ЗТК	В процессе нахождения текущей точки временного процесса **SimOne** позволяет контролировать выполнение закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это позволяет вести более точный расчёт.	Вкл.
Порядок метода Гира (MAXORD)	Максимальный порядок метода Гира интегрирования дифференциальных уравнений.	2

LTERELTOL	Допустимая относительная величина локальной погрешности расчёта на шаге интегрирования.	1e–3
LTEABSTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта токов на шаге интегрирования.	1e–6 A
LTEVNTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта напряжений на шаге интегрирования.	1e–6 В
CHGTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта зарядов и потокосцеплений на шаге интегрирования	1e–14 Кл, Н
TRTOL	Коэффициент, понижающий переоценку локальной погрешности по формулам конечной разности	7
TRINIT	Коэффициент для выбора начального шага интегрирования: hinit = TRINIT * hmax	0.1
TRMIN	TRMIN – коэффициент для вычисления минимального шага интегрирования: hmin = TRMIN*hinit	1e–15
ITL3	Минимальное число итераций на шаге интегрирования при выборе LVLTIM =1	3
ITL4	Максимальное число итераций на шаге интегрирования	10
ITL5	Максимальное число итераций временного анализа . 0 – выкл.	0
LVLTIM	Тип алгоритма выбора шага интегрирования. Доступны следующие алгоритмы: • итерационный: LVTIM=1; • по оценке локальной погрешности на шаге интегрирования: LVTIM=2	2
PREDICTOR	Если не 0, то включается алгоритм интегрирования предиктор-корректор	0

TRAPRATIO	Коэффициент для определения числовых осцилляций в методе трапеций	10
XMUMULT	Множитель для коэффициента метода трапеций	1
BPTOL	Минимальное относительное расстояние между двумя соседними точками перегибов сигналов	1e-10
PWL_Method	Выбор метода обработки кусочно-линейных сигналов: • стандартный метод PWL_Method = SPICE • оригинальный метод, контролирующий наклон функции PWL_ReduceBreaks = SIMONE	SIMONE
PWL_BPRELTOL	Допустимая относительная величина изменения наклона кусочно-линейной функции.	1
PWL_BPABSTOL	Допустимая абсолютная величина изменения наклона кусочно-линейной функции.	1e-6
Настройки частотного анализа		
FREQ_MIN	Минимальная частота при построении частотных характеристик схемы, если выбран логарифмический способ её изменения	0.1 Гц
Настройки анализа устойчивости		
LocusTOL1	Относительная погрешность нахождения корня полинома годографа Михайлова	1e–6
LocusTOL2	Определяет близость полученного полинома к постоянной функции; служит для обнаружения окончания поиска корней полинома годографа Михайлова	1e–6

LocusITL	Максимальное количество итераций для нахождения корня полинома годографа Михайлова	200
ChekToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней полинома годографа Михайлова.	false
Locus PL Points	Количество точек годографа Михайлова при повороте на 180 градусов.	100
Locus PL To End	Количество точек годографа Михайлова после последнего пересечения ординаты.	300
Locus PL Min	Минимальное значение частоты при построении годографа Михайлова в ручном режиме, если выбран логарифмический способ её изменения.	0.001
EigenFreqTOL1	Относительная погрешность нахождения корня характеристического полинома.	1e–6
EigenFreqTOL2	Определяет близость полученного полинома к постоянной функции; служит для обнаружения окончания поиска корней характеристического полинома.	1e–6
EigenFreqITL	Максимальное количество итераций для нахождения корня характеристического полинома	500
EFCheckToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней характеристического полинома	false
EigenFreqRITOL	Величина отношения мнимой и вещественной частей собственной частоты схемы, при которой мнимая часть считается равной нулю	1e–12
EigenFreqABS	Минимальное по модулю значение собственной частоты схемы	1e–6
FMAX	Максимальное по модулю значение собственной частоты схемы	1e20

Настройки анализа периодических режимов		
Число периодов стабилизации	Количество периодов, через которое определяется совпадение с начальными значениями токов и напряжений схемы	1
Максимальное число итераций	Определяет максимальное число итераций пристрелочного метода Ньютона	5
Относительная погрешность	Определяет точность совпадения токов и напряжений со своими начальными значениями	1e–3
GMRESMaxSubspaceSize	Максимальная размерность вектора подпространства Крылова в алгоритме GMRES	6
GMRESNumberOfRestarts	Количество перезапусков алгоритма GMRES	100
GMRES Tolerance	Точность решения системы линейных алгебраических уравнений методом GMRES	1e–8
PSS_ABSTOL	Максимальное значение погрешности определения токов и напряжений	1e–6
Матричный компилятор		
Использовать помощник симуляции	Помощник симуляции – оригинальная программная технология **SimOne**, позволяющая существенно ускорить процесс моделирования при запуске многовариантных видов анализа схемы.	Выкл.
Matrix Solver	Выбор алгоритма разложения матрицы. Доступны следующие алгоритмы: • Classic – оригинальный вариант алгоритма Sparse 1.3. • Block – оригинальный вариант алгоритма KLU. • BBDF – оригинальный вариант алгоритма BBDF. •	Auto

	BBDFLU – оригинальный вариант алгоритма BBDF с LU-разложением. • Auto. Производит автоматический выбор алгоритма из списка, исходя из размерности схемы и типа запускаемого анализа.	
Matrix Compiler	Выбор технологии проведения матричных операций. Доступны следующие технологии: • Code Matrix Processor – оригинальная программная технология **SimOne** – Кодовый Матричный Процессор. • Objective code – оригинальный вариант технологии SPICE3f5. • No code. Разложение матрицы проводится каждый раз заново на каждой итерации расчёта.	Code Matrix Processor
Pivot Strategy	Выбор стратегии выделения ведущего элемента при LU-разложении матрицы. Доступны следующие виды: • Submatrix – выбор ведущего элемента из всей подматрицы системы. • Column – выбор ведущего элемента из столбца подматрицы. • Preorder – используется алгоритм предварительной перестановки строк и столбцов.	Submatrix
PIVREL	Минимальная относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента	1e–3
PIVTOL	Минимальная абсолютная величина элемента строки матрицы,	1e–13

	необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента	
PIVRELRatioDC	В статических расчётах схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: PIVREL_by_Code = PIVREL/ PIVRELRatioDC	1000
PIVRELRatio	Для временных расчётов схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: PIVREL_by_Code = PIVREL/ PIVRELRatio	1e6
PIVRELRatioStab	В анализе устойчивости схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: PIVREL_by_Code = PIVREL/ PIVRELRatioStab	100
MAX_CACHES	Определяет максимальный размер буфера хранения данных при использовании матричной технологии «Кодовый матричный процессор»	10
MAX_CACHES_DC	Определяет максимальный размер буфера хранения данных при использовании матричной технологии «Кодовый матричный процессор» в статических расчётах схемы.	10
MaxBlocksNumber	Максимальное количество блоков в матрице при использовании блочных	10

	методов её разложения: KLU, BBDF, BBDFLU	
Журналирование		
PrintLogDC	Вывод отладочной информации в окно сообщений для статических анализов схемы	false
PrintLogAC	Вывод отладочной информации в окно сообщений для частотного анализа схемы	false
PrintLogTransient	Вывод отладочной информации в окно сообщений для анализа переходных процессов схемы	false
PrintLogPSS	Вывод отладочной информации в окно сообщений для расчёта периодических режимов схемы	false
PrintLogStability	Вывод отладочной информации в окно сообщений при анализе устойчивости схемы	false

8 Расчёт рабочей точки схемы

8.1 Общие сведения

Расчёт рабочей точки схемы рассчитывает схему по постоянному току и обычно предшествует всем остальным видам анализа схемы. В режиме постоянного тока каждая ёмкость рассматривается как разорванная электрическая цепь, а каждая индуктивность считается замкнутой накоротко.

По умолчанию, расчёт рабочей точки представляет собой интерактивный процесс, в котором пользователь модифицирует схему, а программа автоматически производит пересчёт текущей рабочей точки, отображая необходимые результаты на схему и в таблицу. Такой вариант работы может быть отключён, если снять флажок **Пересчитывать при изменении схемы**.

Результаты расчёта рабочей точки отображаются в таблицу, а когда схема задана в схемотехническом редакторе, – ещё и на схему.

8.2 Интерфейс расчёта рабочей точки

SPICE-формат

.OP

Окно задания параметров расчёта

На рис. 8.2.1 приведено окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопкой Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

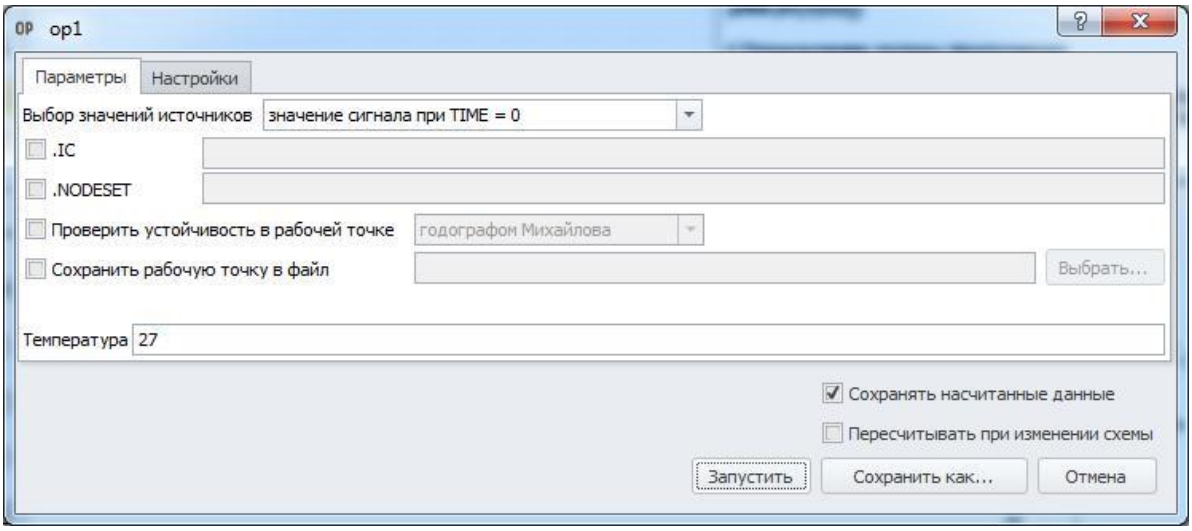


Рис. 8.2.1 Окно задания параметров расчёта рабочей точки схемы

Таблица 8.2.1 Параметры симуляции расчёта рабочей точки

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее – в §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее – в §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.

Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Сохранить рабочую точку в файл	Позволяет сохранить рассчитанную рабочую точку в файл для последующего использования в других видах анализа схем	Выкл.
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт	27 °C
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы.	Вкл.

После запуска расчёта рабочей точки программа создаёт вкладку с именем симуляции, на которую выводится таблица с результатами расчёта. В этой таблице пользователь может выбрать:

- отображать потенциалы узлов (только внешние узлы схемы);
- отображать потенциалы всех узлов схемы (в том числе внутри подсхем);
- отображать токи ветвей (только внешние ветви схемы);
- отображать токи всех ветвей схемы (в том числе внутри подсхем);

Отображение результатов расчёта на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы и выражения от них. Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду

Симуляция#Вывод текущих значений. (См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений.)

8.3 Методы расчёта рабочей точки

В **SimOne** предлагаются четыре основных метода нахождения рабочей точки:

1. **Standart Newton-Raphson.** Используется обычный метод Ньютона–Рафсона решения системы нелинейных алгебраических уравнений.
2. **Source stepping.** Метод пошагового увеличения питающих токов и напряжений схемы. На каждом этапе задания токов и напряжений схема рассчитывается методом Ньютона–Рафсона, где в качестве первого приближения используется вектор переменных, полученный на предыдущем этапе.
3. **Gmin stepping.** В этом методе из каждого узла схемы на землю подключается проводимость **Gmin**. Далее, используя пошаговое уменьшение значения этой проводимости, аналогично предыдущему методу определяется рабочая точка схемы.
4. **Junction Gmin stepping.** Метод, аналогичный предыдущему и отличающийся тем, что проводимость **Gmin**, подключается параллельно p-n-переходу каждого полупроводникового компонента схемы.

8.4 Задание начальных условий .IC

Команда **.IC** служит для задания начальных значений потенциалов узлов, падений напряжений, токов индуктивностей схемы. При использовании SPICE-формата задания схемы синтаксис команды следующий:

```
.IC V(<узел1>[,<узел2>] = <значение> .IC

I(<имя индуктивности>) = <значение>
```

Пример:

```
.IC V(VOUT)=2.0 V(1,2)=5.0 I(L1)=1u.
```

Задать начальные условия можно из окна задания параметров симуляции (рис. 8.2.1) выбрав пункт **.IC**. В этом случае в появившемся диалоговом окне (рис. 8.4.1) по таким же синтаксическим правилам указываются требуемые переменные, при этом сама команда **.IC** опускается.

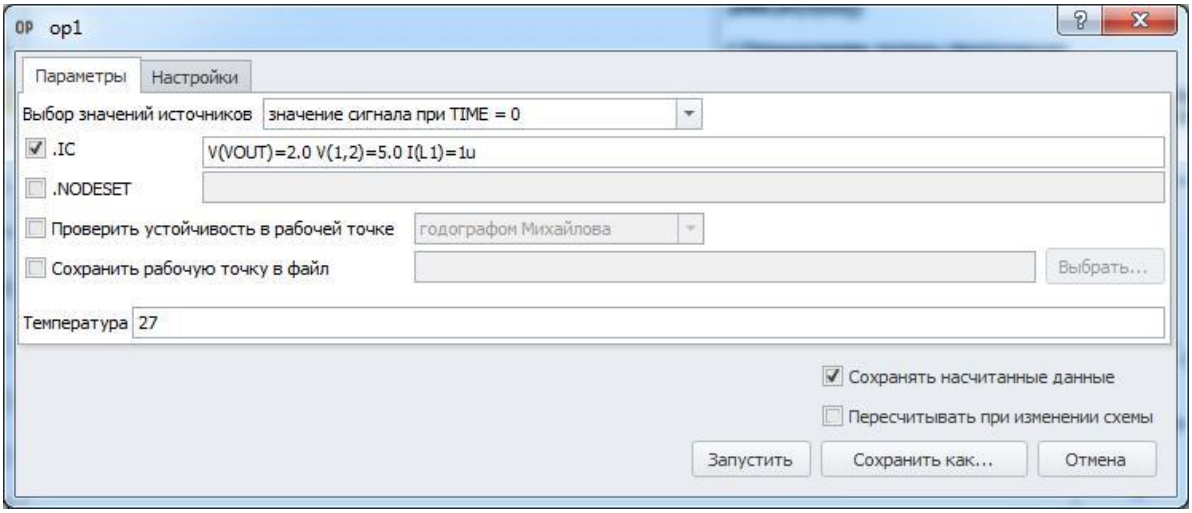


Рис. 8.4.1 Окно задания начальных условий команды .IC

При выполнении команды **.IC** при расчёте рабочей точки схемы программа добавляет между указанными потенциалами источник напряжения величиной, равной <значению>, и внутренним сопротивлением 0.0002 Ом. Для всех остальных видов анализа, следующих после расчёта рабочей точки, дополнительные источники напряжения и тока отсутствуют. Отметим, что возможность задания начальных условий присутствует в моделях самих компонентов, таких как ёмкость, индуктивность, диод, транзисторы. Начальные условия на этих компонентах учитываются при расчёте рабочей точки, только если задана команда **.IC**.

8.5 Задание начального приближения .NODESET

Команда **.NODESET** служит для задания начальных значений потенциалов узлов, падений напряжений, токов индуктивностей схемы. В отличие от команды **.IC**, эти значения являются первыми приближениями для расчёта рабочей точки схемы и могут изменить своё значение при завершении расчёта. При использовании SPICE-формата задания схемы синтаксис команды следующий:

```
.NODESET V(<узел1>[,<узел2>] = <значение> .NODESET

I(<имя индуктивности>) = <значение>
```

Пример:

```
.NODESET V(VOUT)=2.0 V(1,2)=5.0 I(L1)=1u.
```

Задать начальные условия можно и из окна задания параметров симуляции (рис. 8.2.1) выбрав пункт **.NODESET**. В этом случае в появившемся диалоговом окне (рис. 8.5.1) по таким же синтаксическим правилам указываются требуемые переменные, при этом сама команда **.NODESET** опускается.

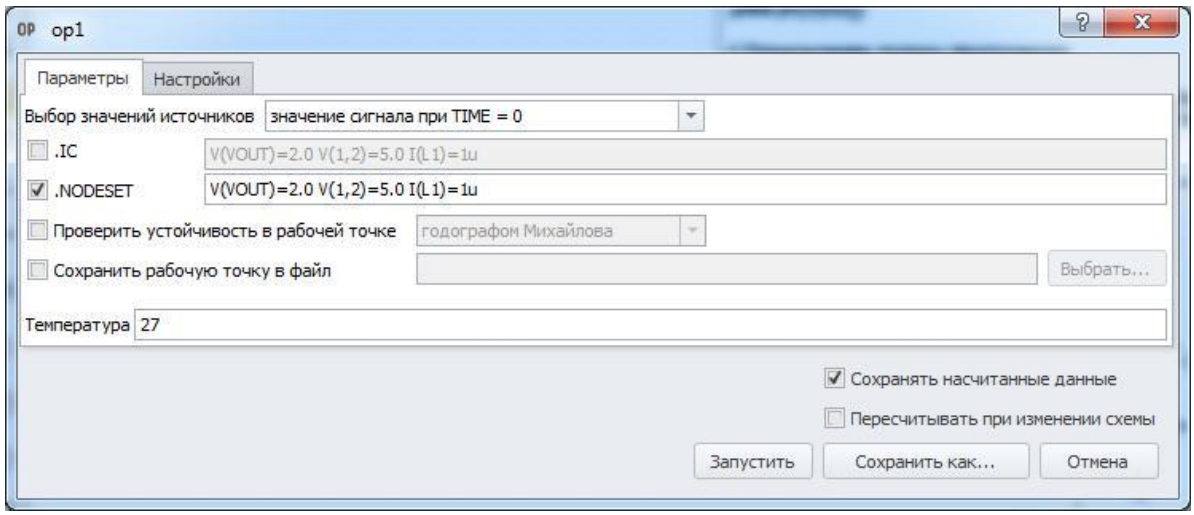


Рис. 8.5.1 Окно задания начальных условий команды .NODESET

Основной метод расчёта рабочей точки – итерационный метод Ньютона, который гарантирует сходимость к решению только при удачном выборе начального приближения.

Команда **.NODESET** предназначена для помощи в выборе такого удачного начального приближения. Её использование может помочь в тех случаях, когда найти рабочую точку с помощью обычных методов не получается. Если в задании симуляции расчёта рабочей точки указывается команда **.IC**, команда **.NODESET** не используется. Команда **.NODESET** может использоваться как при расчёте рабочей

точки, так и при нахождении первой точки передаточной функции по постоянному току (**DC Sweep**).

8.6 Пример расчёта рабочей точки схемы

Рассмотрим пример расчёта рабочей точки для схемы из примеров **SimOne**:

Файл#Открыть примеры… Examples\SPICE Benchmark\ECL Inverter (ECL)

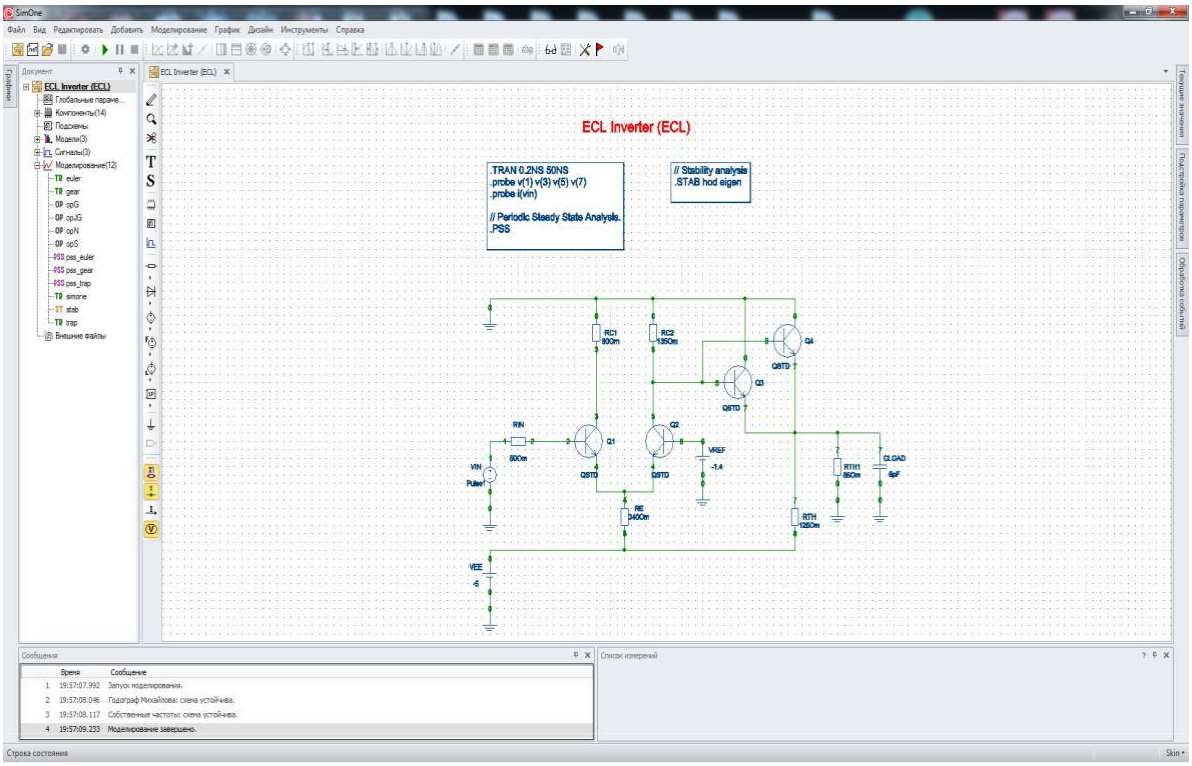


Рис. 8.6.1 Схема ECL Inverter (ECL)

Выбираем меню **Симуляция#Рабочая точка…** и нажимаем кнопку Запустить окна задания параметров симуляции.

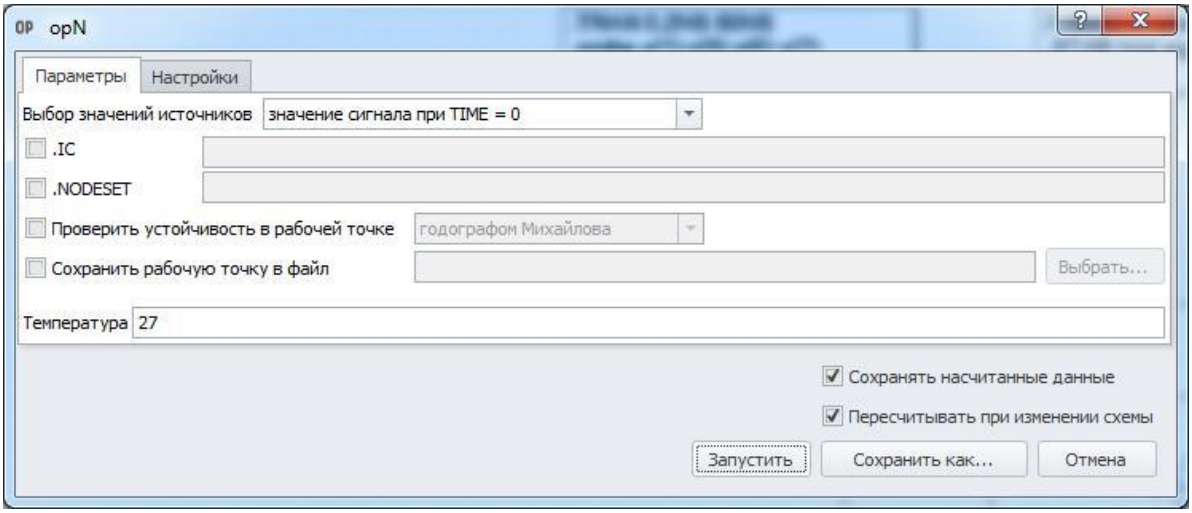


Рис. 8.6.2 Окно параметров симуляции

Программа произведёт расчёт текущей рабочей точки и выведет результат в таблицу (рис. 8.6.3) и на схему.

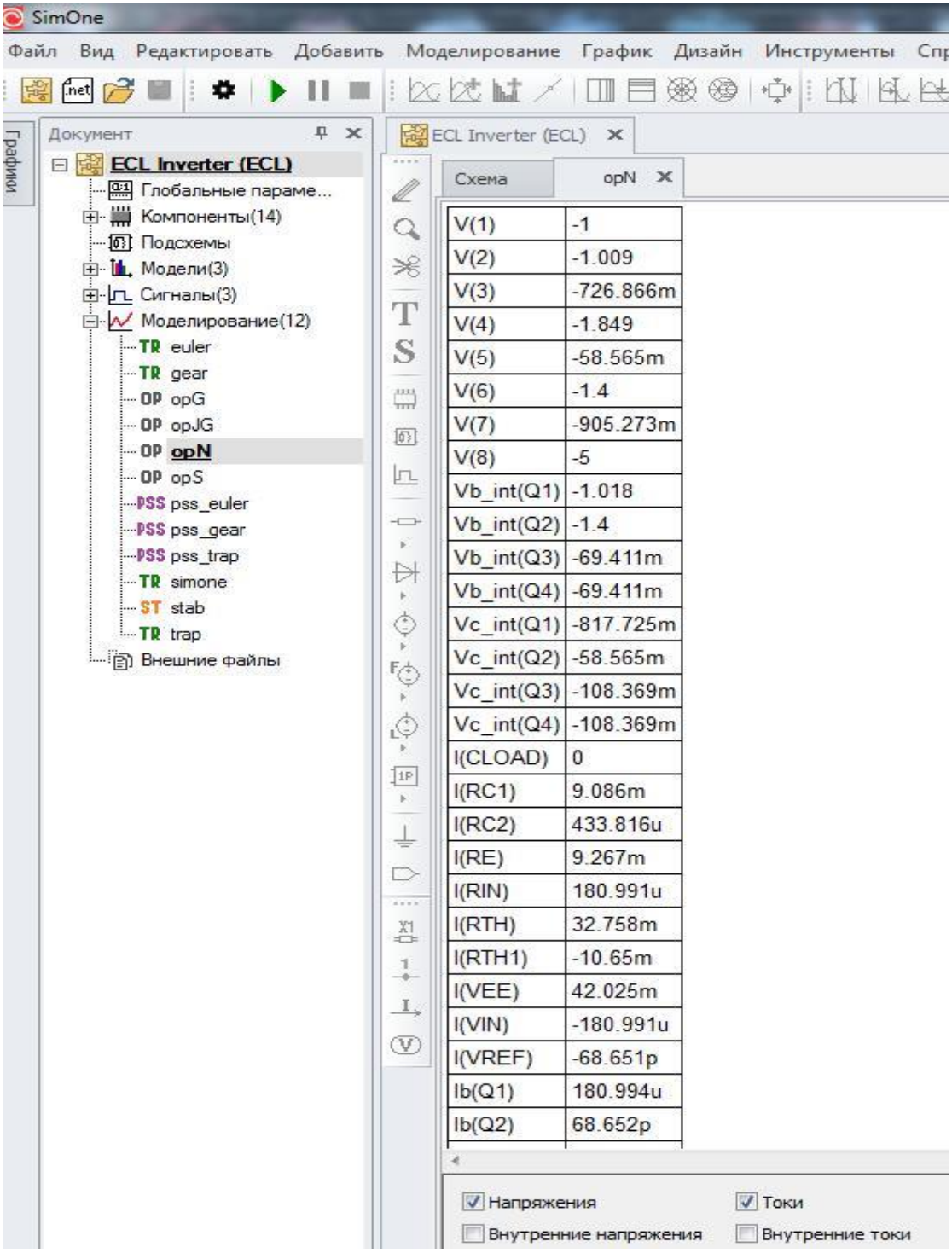


Рис. 8.6.3 Таблица результатов расчёта рабочей точки схемы

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой панели инструментов **View** (рис. 8.6.4), токов – кнопкой на той же панели (рис. 8.6.5).

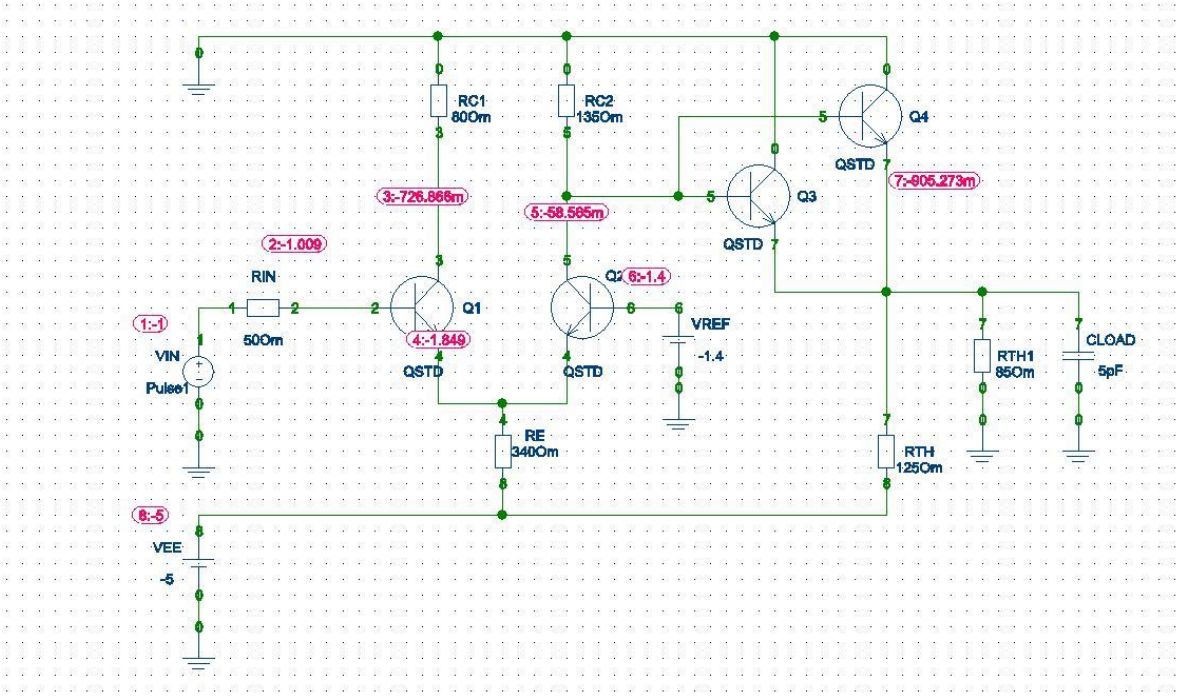


Рис. 8.6.4 Отображение потенциалов узлов на схеме

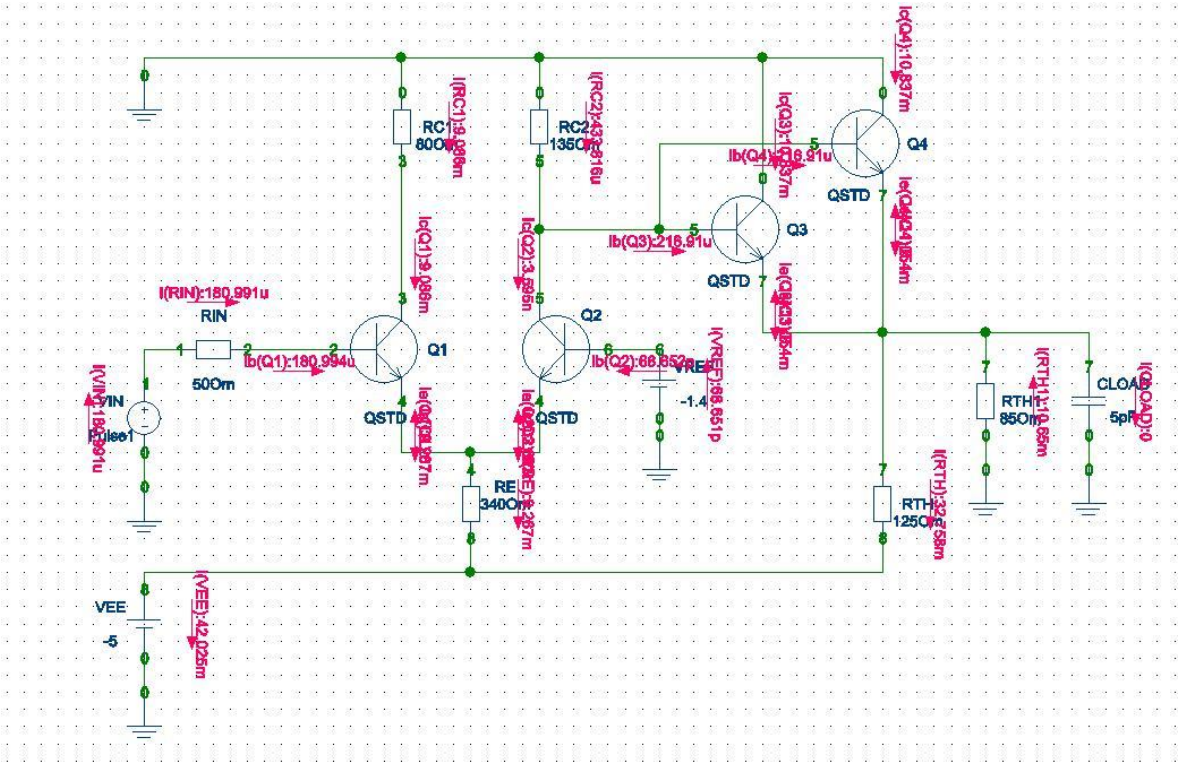


Рис. 8.6.5 Отображение токов компонентов на схеме

Любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический перерасчёт текущей рабочей точки.

9 Анализ чувствительности схемы по постоянному току

9.1 Общие сведения

Анализ чувствительности схемы по постоянному току позволяет оценить влияние любого компонента схемы, параметра модели, температуры на интересующие статические характеристики схемы, позволяя выделить те параметры, влияние которых максимально. Для оценки этого влияния используются функции чувствительностей – абсолютные и нормированные. Абсолютная чувствительность является производной выходной статической характеристики схемы по проверяемому параметру:

Абс. Чувств. = df(Xstat)/dPar

Нормированная чувствительность определяется следующим образом:

Норм. Чувств. = df(Xstat)/dPar * Par/100%,

где Par – номинальное значение варьируемого параметра,

f(Xstat) – значение выражения при номинальных значениях всех варьируемых параметров.

В **SimOne** производная заменяется конечной разностью – используется небольшое приращение варьируемого параметра и считается приращение выходной характеристики. Оценка чувствительности считается как отношение соответствующих приращений. Небольшое приращение варьируемого параметра dPar задается в **SimOne** следующим образом:

dPar = DCSensDev* Par, если Par!=0 и

dPar = DCSensDev, если Par=0.

Опция DCSensDev находится в разделе **Настройки** статического анализа вкладки **Настройки Симуляции** и по умолчанию равна 1e–2.

Для расчета чувствительностей измерений в **SimOne**:

- указываются компоненты схемы и их параметры, чувствительность к изменениям которых будет рассчитываться.
- Указываются интересующие переменные схемы и выражения, для которых будут рассчитаны чувствительности.

После запуска расчета чувствительностей программа сначала запустит расчёт рабочей точки схемы при номинальных значениях параметров, а затем последовательно будет запускать расчёт рабочей точки схемы при отклонении каждого из них от своего номинального значения на заданное значение. После

проведенного расчёта программа выведет численные значения чувствительностей и гистограммы их относительных значений.

9.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току

SPICE-формат

.SENS <выражение1> <выражение2> …

<выражение> – выражение, для которого будет рассчитана чувствительность

Примеры:

```
.SENS v(out)
.SENS {v(out)*I(Rout)} Vbe(Q1)
```

Окно задания параметров расчёта

На рис. 9.2.1 приведено окно задания параметров анализа чувствительности схемы по постоянному току. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера под любым выбранным именем (кнопка Сохранить...).

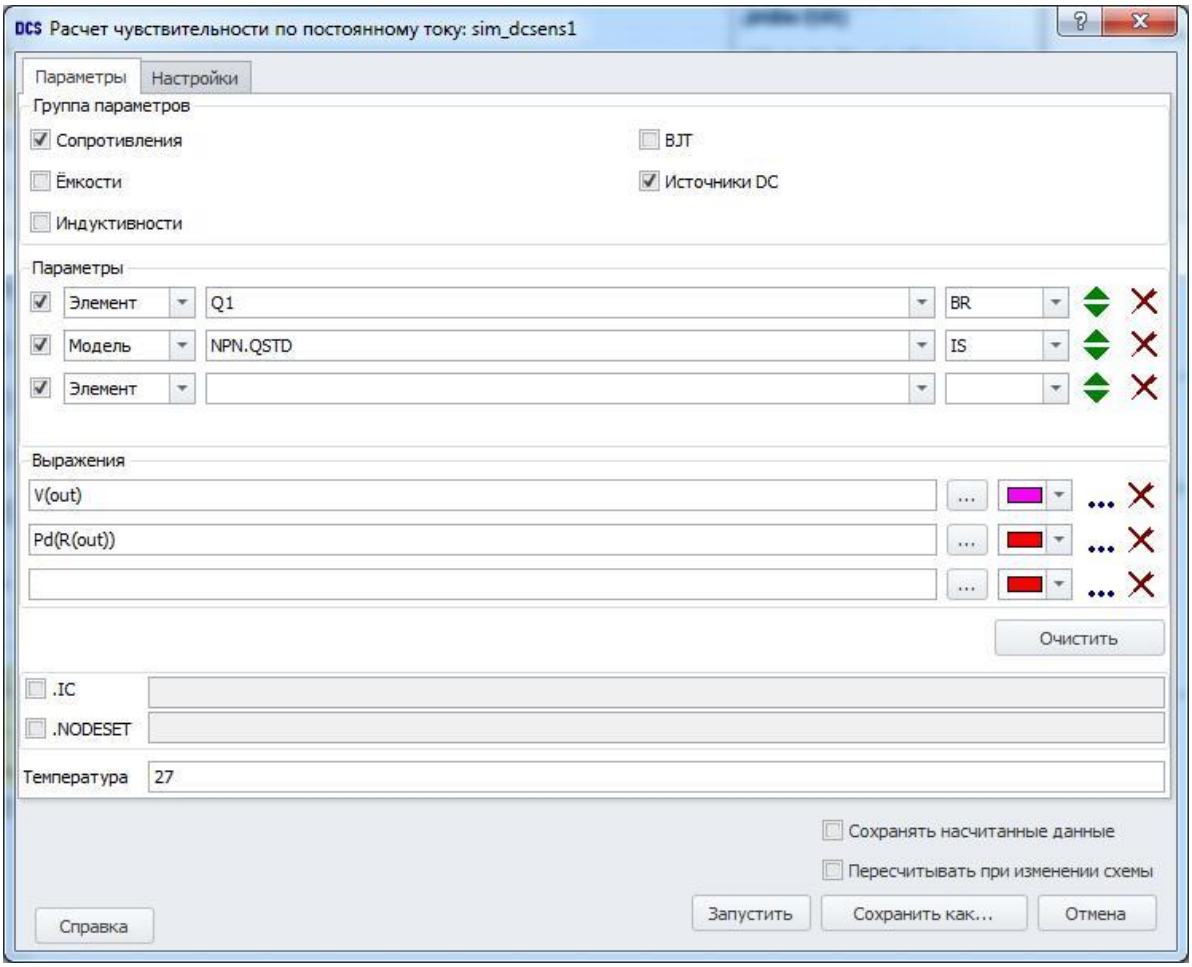


Рис. 9.2.1 Задание параметров анализа чувствительности схемы по постоянному току

Таблица 9.2.1 Параметры симуляции анализа чувствительности схемы по постоянному току

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Тип	Выбор параметра, по которому рассчитывается: • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
	Удалить выражение	
Сохранять насчитанные данные	Опция сохранения расчетных данным моделирования на диск компьютера	Выкл.
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия	Выкл.

	в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.3 Окно параметров симуляции.	
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт	27 °C
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

После окончания расчёта чувствительности схемы по постоянному току результаты выводятся на вкладку **Симуляции**. На схему при этом выводятся значения токов, напряжений и параметров компонентов, соответствующие проверяемой рабочей точки:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы на момент окончания анализа устойчивости доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы и выражения от них.

Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду **Симуляция#Вывод текущих значений**. См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений.

9.3 Пример выполнения расчёта чувствительности схемы по постоянному току

Рассмотрим пример чувствительности по постоянному току для схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\SPICE Benchmark\ECL Inverter (ECL)**

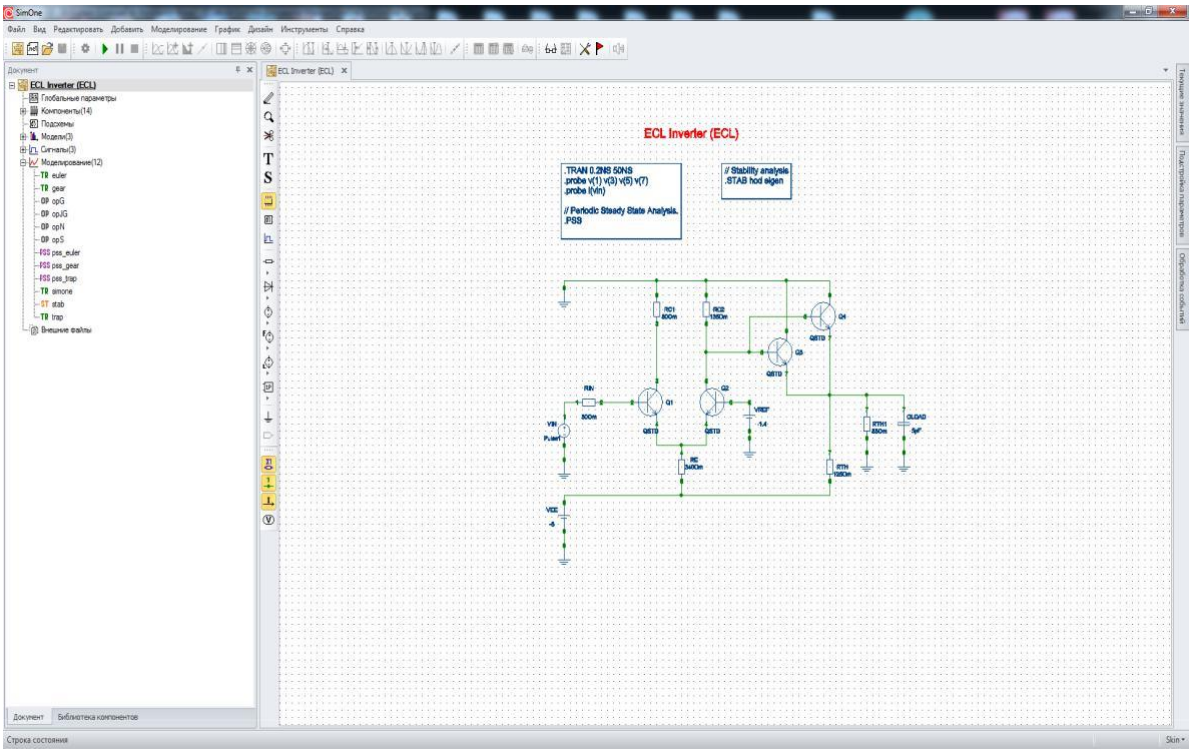


Рис. 9.3.1 Схема ECL Inverter (ECL)

Выбираем меню **Симуляция#Расчёт чувствительности по постоянному току…** В открывшемся окне задаём параметры схемы и выражения, чувствительности которых будут рассчитаны.

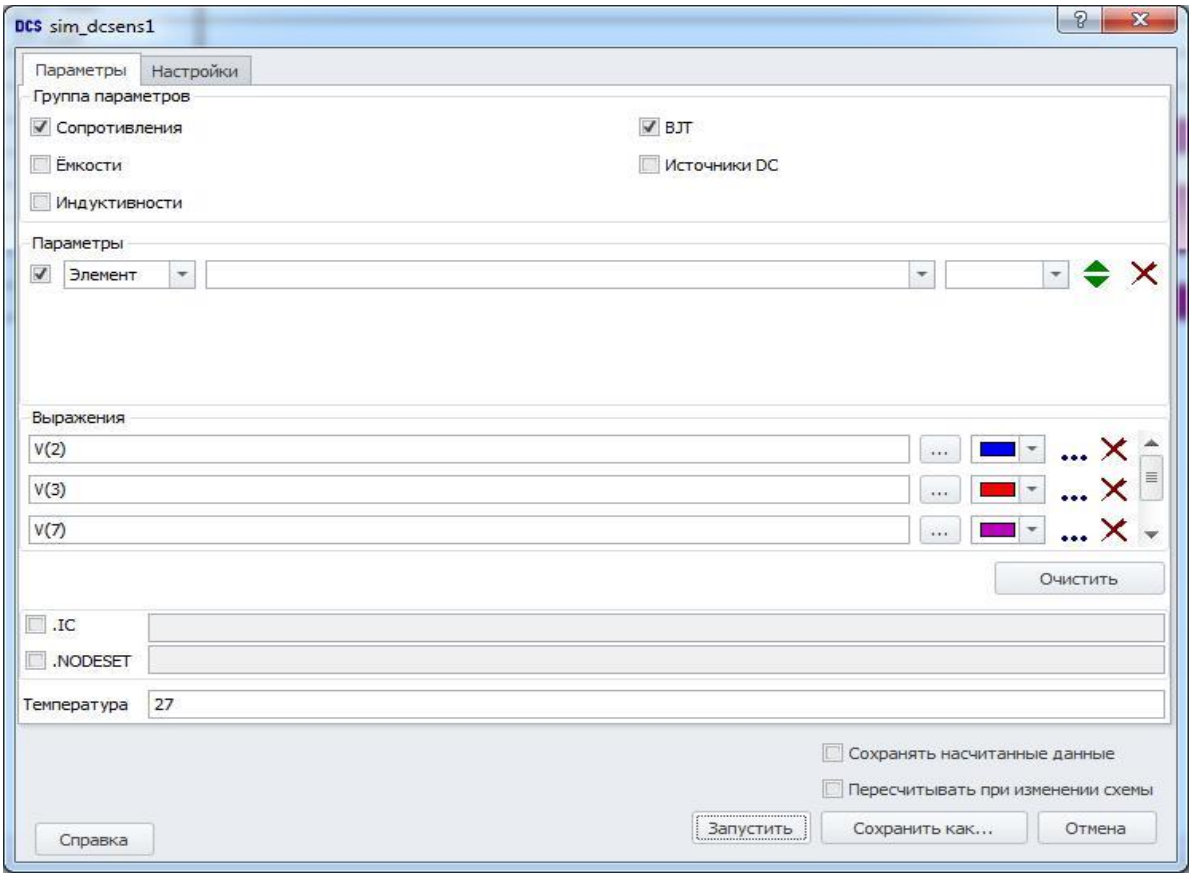


Рис. 9.3.2 Окно параметров симуляции

После нажатия кнопки

программа произведёт расчёт чувствительностей и выведет результат в таблицу (рис. 9.3.3).

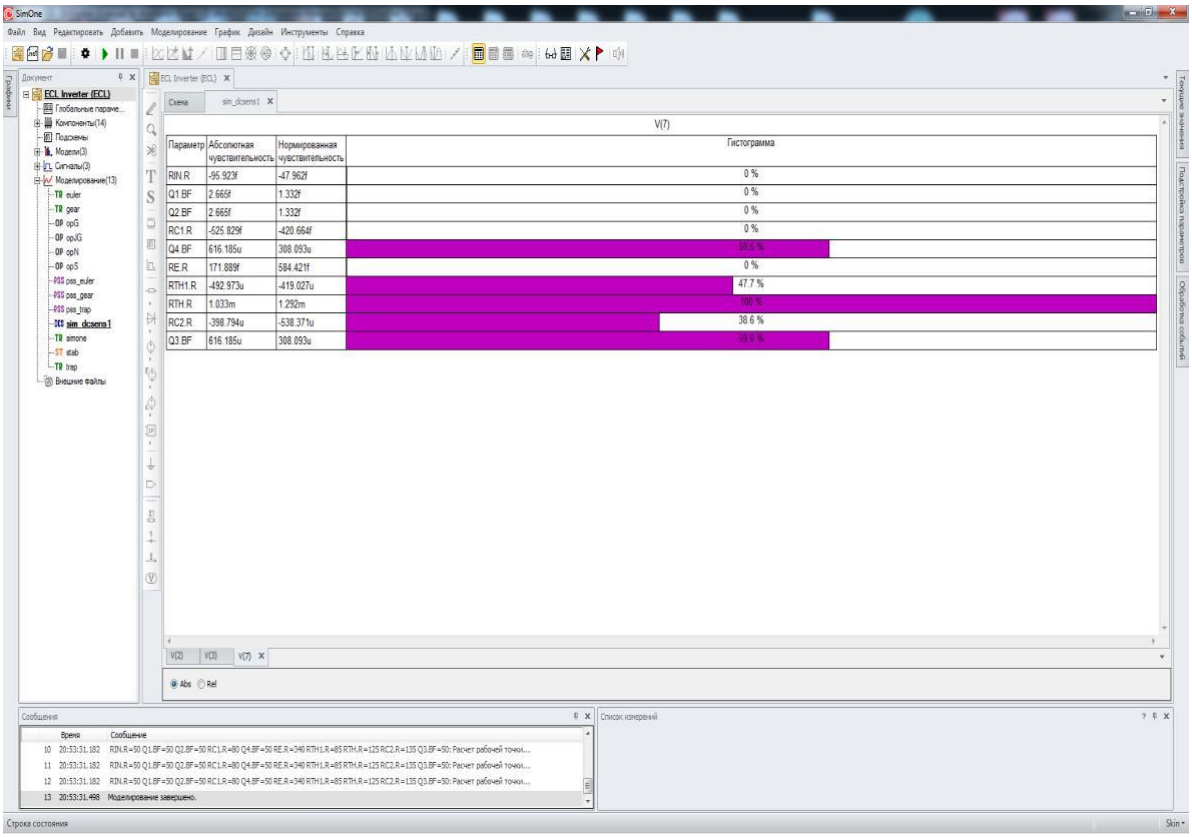


Рис. 9.3.2 Таблица результатов расчёта чувствительностей по постоянному току

Результаты расчета чувствительностей сгруппированы, по заданным выражениям и переменным и представлены на соответствующих вкладках.
В таблице представлены значения абсолютных и нормированных чувствительностей. Сравнительные гистограммы отображаются для указанного типа чувствительности. Изменить режим отображения гистограмм можно с помощью кнопки соответствующей кнопки переключения.

Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический перерасчёт чувствительностей характеристик схемы.

10 Анализ передаточных функций по постоянному току

10.1 Общие сведения

Расчёт передаточных функций по постоянному току делается при варьировании одного или нескольких параметров цепи. Это могут быть параметры отдельного компонента схемы, модели, сигнала или глобальные параметры, заданные с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**. Ещё одним входным параметром расчёта может являться температура функционирования схемы. Выходными величинами расчёта являются любые пользовательские Выражения (см. главу 23 Выражения).

В режиме постоянного тока каждая ёмкость рассматривается как разорванная электрическая цепь, а каждая индуктивность считается замкнутой накоротко.

Расчёт передаточных функций осуществляется следующим образом:

1. Сначала рассчитывается рабочая точка схемы для первого значения варьируемого параметра, либо температуры. Расчёт полностью аналогичен обычному расчёту рабочей точки схемы и использует, если необходимо, все указанные в Настройках алгоритмы нахождения рабочей точки.
2. Делается приращение значений варьируемого источника/температуры на величину установленного пользователем шага.
3. Для нового значения параметра/температуры производится расчёт рабочей точки методом Ньютона–Рафсона. В качестве приближения к новой рабочей точке выбирается значение, полученное на предыдущем шаге расчёта.
4. Если расчёт новой рабочей точки методом Ньютона–Рафсона не удался, то уменьшается шаг расчёта.
5. Если новая величина шага оказывается слишком малой, то расчёт передаточных функций останавливается. Выдаётся сообщение «**Ошибка расчёта статики**»
6. Если величина шага расчёта приемлемая, весь расчёт повторяется с п.2 до конца интервалов варьирования всех входных параметров.

Если включён многовариантный анализ схемы, программа многократно производит расчёт по указанному выше алгоритму для всех величин варьируемых параметров, указанных на вкладке **Многовариантный анализ**.

10.2 Задание параметров моделирования

SimOne и SPICE-формат

Линейное изменение независимой переменной:

.DC [LIN] <имя независимой переменной>
+ <начальное значение > < конечное значение > <приращение>

Логарифмическое изменение независимой переменной:

.DC <DEC|OCT> <имя независимой переменной>
+ <начальное значение > < конечное значение > <количество точек>

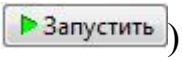
<имя независимой переменной> – имя независимой переменой может быть:

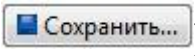
- Именем независимого источника напряжения или тока
- Именем параметра компонента: обращение к параметру компонента – через точку.
- Именем параметра модели: обращение к параметру модели – через скобки с указанием типа модели впереди.
- Именем глобального параметра: перед именем параметра указывается ключевое слово **param**.
- Температурой: указывается ключевое слово **temp**.

Примеры:

```
.DC LIN V1 -5 5 0.1 I1 0 10 1
.DC C1.C 10p 100p 10  RES Rmod(R) 50 150 30
.DC DEC D1.IS 1f 1p 10
.DC OCT  V1 -200 200 10
```

Окно задания параметров расчёта

На рис. 10.2.1 приведено окно задания параметров симуляции расчёта передаточных функций схемы по постоянному току. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка 

) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка 

).

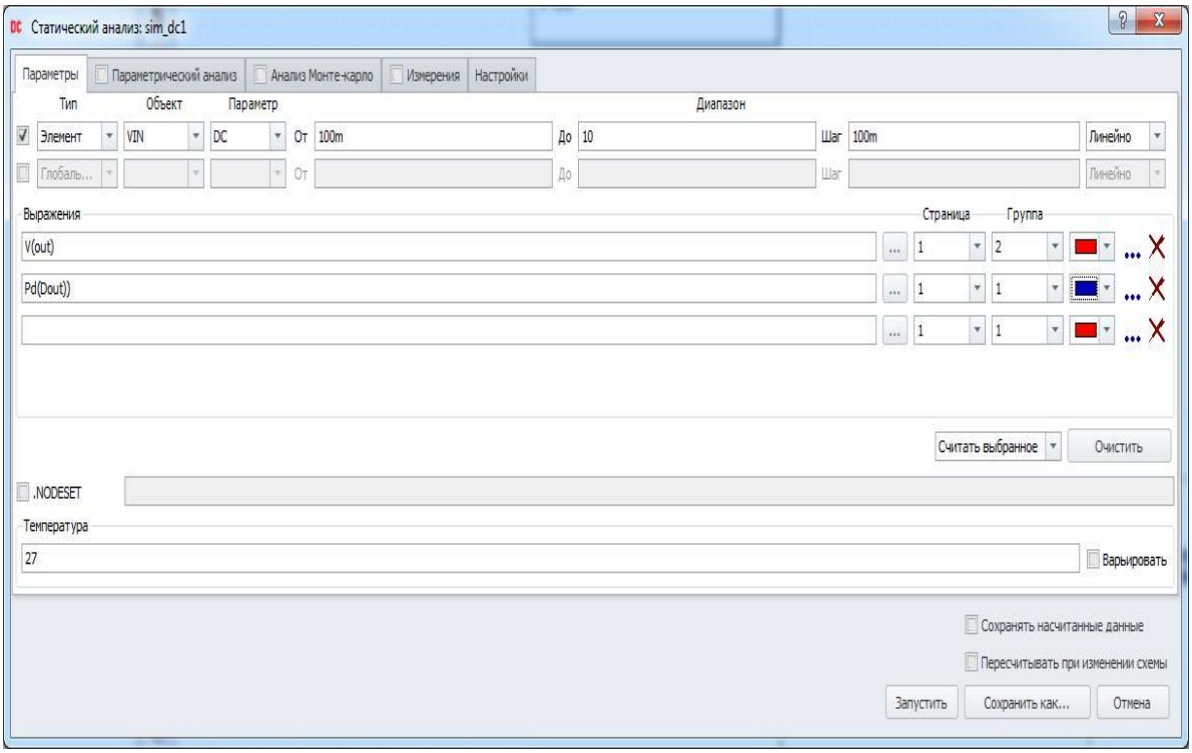
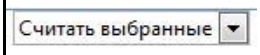


Рис. 10.2.1 Задание параметров расчёта передаточных функций схемы по постоянному току

Таблица 10.2.1 Параметры симуляции расчёта передаточных функций схемы по постоянному току

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Варьируемые переменные		
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	

От	Начальная граница интервала варьирования выбранного параметра	
До	Конечная граница интервала варьирования выбранного параметра	
С шагом	Определяет: • величину максимального шага приращения варьируемого параметра для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения варьируемого параметра; • точные значения варьируемого параметра, при которых будет сделан расчёт, если указан способ его изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
Окно	Окно, в которое будет выведен график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	красный
	Удалить график	
Сохранять насчитанные данные	Опция сохранения расчетных данным моделирования на диск компьютера	Выкл.
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными. Программа позволяет: • сохранять выбранные переменные и выражения; • сохранять все переменные из вектора переменных состояния	Считать выбранные

Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. См. подробнее §8.5 Задание начального приближения .NODESET.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Параметрический анализ**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Анализ Монте-Карло**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	
С шагом	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

После установки требуемых интервалов изменения входных параметров, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта программа произведёт расчёт передаточных функций и построит графики функций варьируемого параметра. Если выбрано несколько варьируемых параметров, то выражения будут отображаться как функции от (последовательно):

1. Первого варьируемого параметра, если он указан;
2. Температуры, если выбрано варьирование температуры;
3. Второго варьируемого параметра, если он указан.

Программа также позволяет отобразить последнюю рассчитанную рабочую точку в схемотехническом редакторе.

Отображение результатов расчёта на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы доступен в окне **Вид#Текущие значения.** В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них.

Вывести информацию о текущем состоянии схемы также можно командой **Симуляция#Вывод текущих значений**. См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений.

10.3 Пример расчёта передаточных функций схемы по постоянному току

Рассмотрим пример расчёта передаточных функций схемы по постоянному току для схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\SPICE Benchmark\RCA3040 Wideband Amplifier (RCA3040).ssch** (рис. 10.3.1)

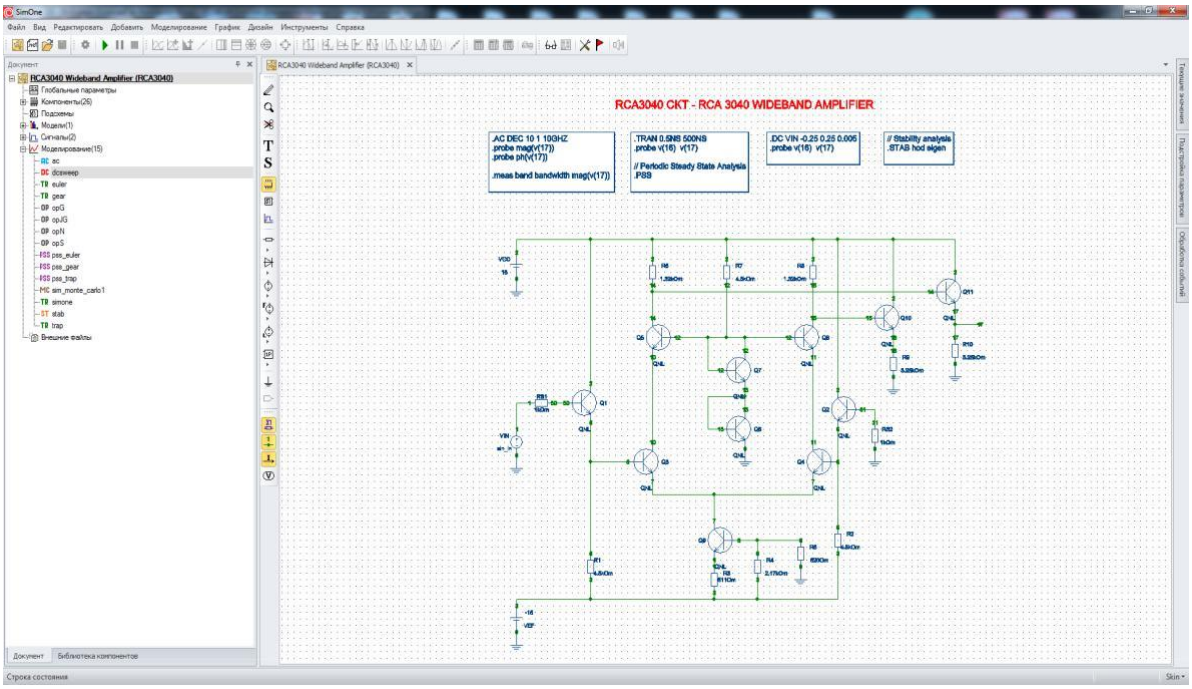
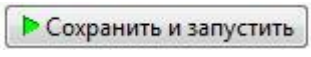


Рис. 10.3.1 Широкополосный усилитель

Выберем в окне проекта симуляцию **dcsweep**. В качестве варьируемого параметра задан номинал источника VIN, интервал изменения [–0.25 В; 0.25 В], шаг 0.005 В. В качестве выходных переменных укажем потенциалы узлов 16 и 17. Нажимаем кнопку  окна задания параметров симуляции (рис. 10.3.2).

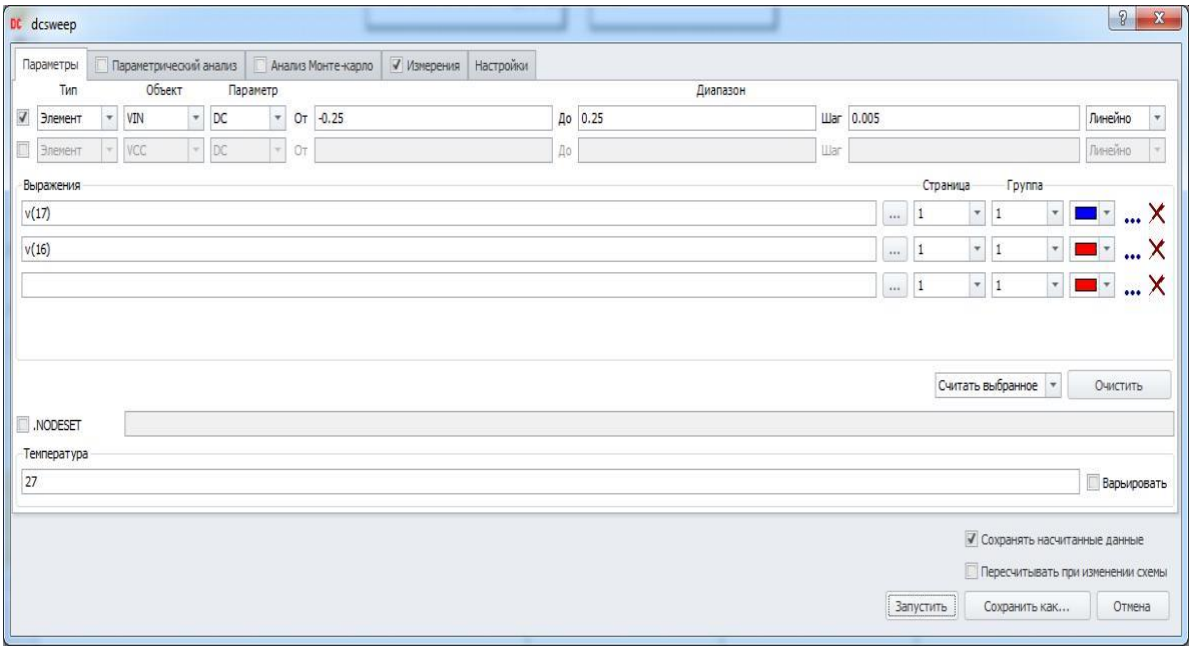


Рис. 10.3.2 Окно параметров симуляции

Программа произведет расчёт передаточных характеристик схемы и выведет графики выходных переменных в соответствующее окно (рис. 10.3.3).

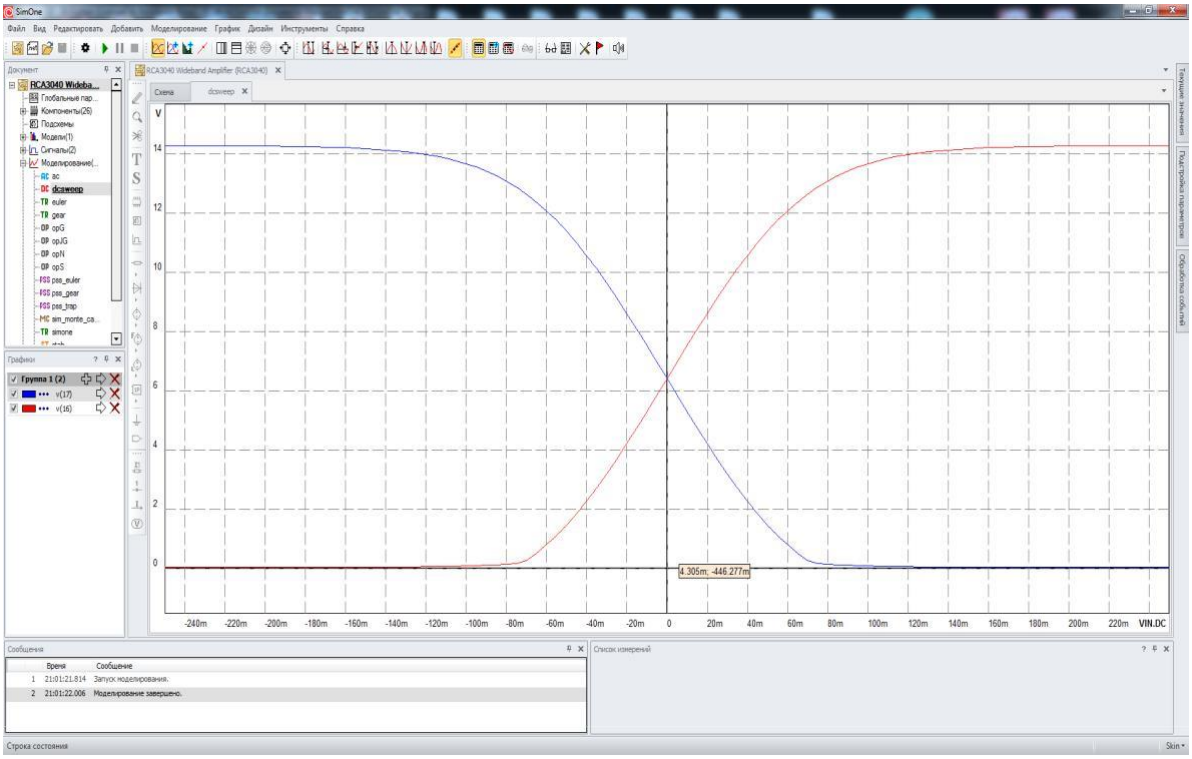


Рис. 10.3.3 Графики выходных переменных

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой панели инструментов **View** (рис. 10.3.4), токов – кнопкой на той же панели (рис. 10.3.5).

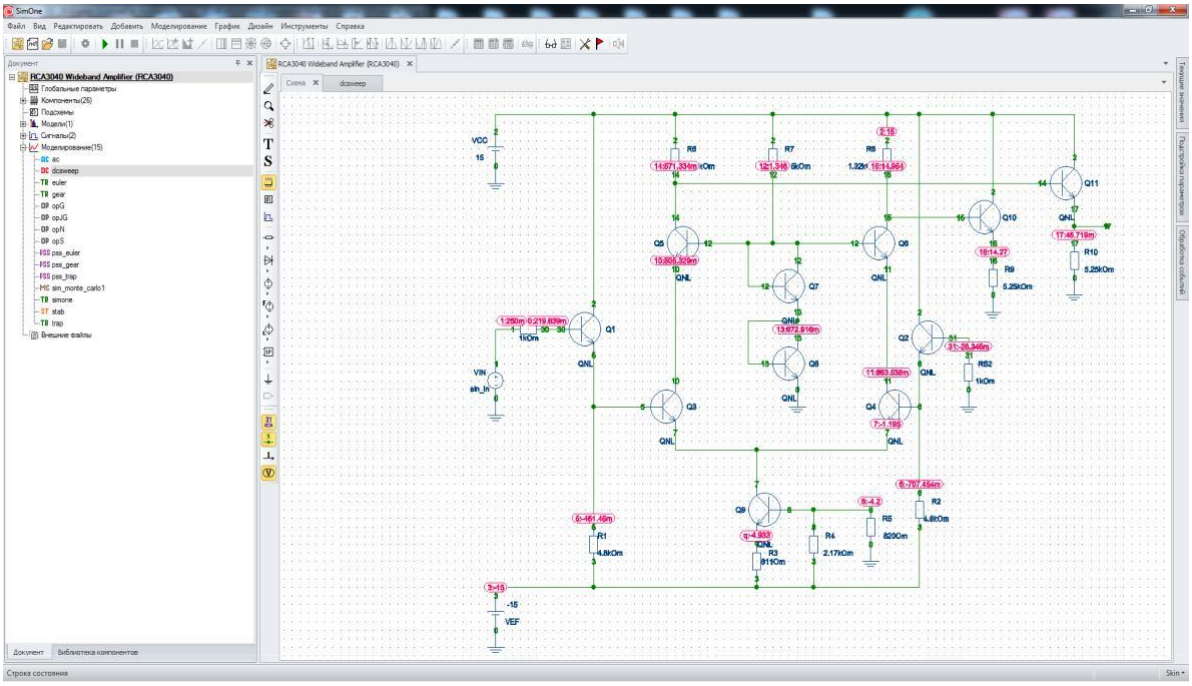


Рис. 10.3.4 Отображение потенциалов узлов на схеме

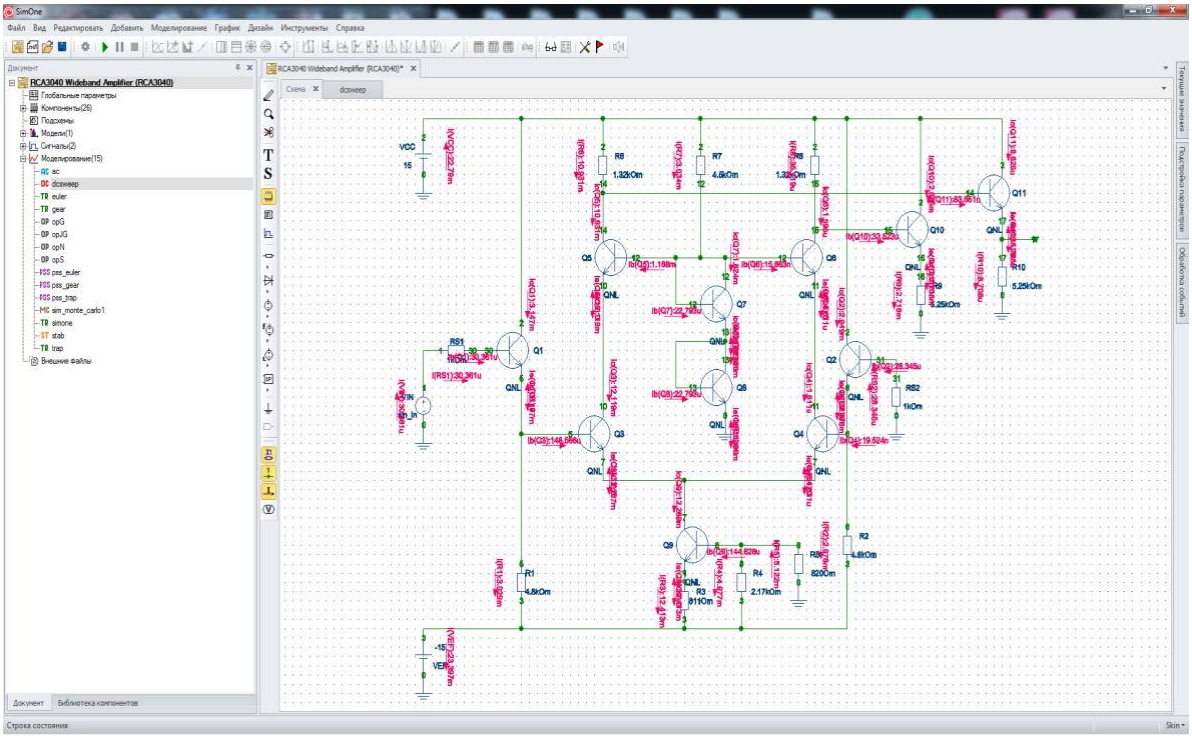


Рис. 10.3.5 Отображение токов компонентов на схеме

11 Анализ гармонического режима схемы

11.1 Общие сведения

Анализ гармонического режима схемы включает в себя расчёт малосигнальных параметров моделей компонентов, значений токов, напряжений, мощностей схемы. Он производится для линеаризованной в окрестности рабочей точки схемы при воздействии гармонических источников тока и напряжения одинаковой частоты.

По умолчанию, анализ гармонического режима представляет собой интерактивный процесс, в котором пользователь модифицирует схему, а программа автоматически производит пересчёт текущих значений, отображая необходимые результаты. Такой вариант работы может быть отключён, если снять флажок «**Пересчитывать при изменении схемы**».

Когда схема разрабатывается в схемотехническом редакторе, результаты выводятся в таблицу и на схему, а если схема задана в виде SPICE-нетлиста – только в таблицу.

Расчёт малосигнальных параметров схемы происходит следующим образом:

1. Программа рассчитывает рабочую точку схемы.
2. Все компоненты схемы, модели которых содержат нелинейности, заменяются соответствующими линеаризованными моделями.
3. Полученная линейная модель схемы рассчитывается в частотной области с помощью преобразования Фурье на указанной пользователем частоте.
4. Результаты расчёта в выбранном пользователем виде (амплитуда-фаза, вещественная-мнимая часть) выводятся на схему и в таблицу.

11.2 Интерфейс расчёта гармонического режима схемы

Окно задания параметров расчёта

На рис. 11.2.1 приведено окно задания параметров симуляции расчёта малосигнальных параметров схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

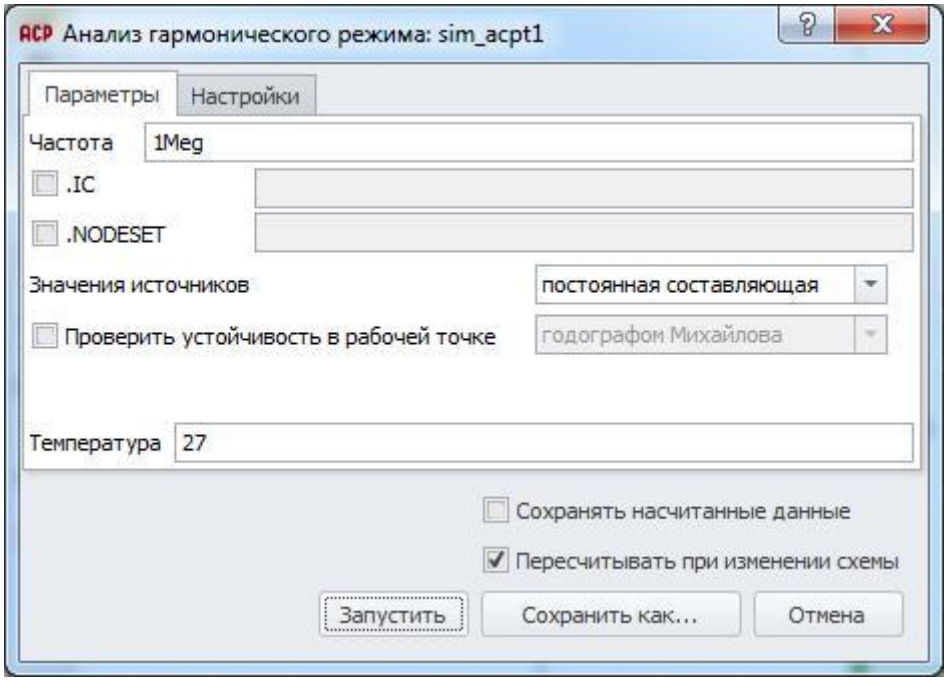


Рис. 11.2.1 Задание параметов расчёта гармонического режима схемы

Таблица 11.2.1 Параметры симуляции расчёта гармонического режима схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Частота	Значение частоты, для которой рассчитываются параметры	1МГц
Рабочая точка		
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее – §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.

.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Температура	Температура, при которой делается расчёт	27 °C
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы.	Вкл.
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.

В качестве входных воздействий расчёта выступают те источники токов и напряжений схемы, для которых определены параметры ACmagnitude и ACphase.

Отображение результатов расчёта на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

При отображении результатов расчёта в таблице пользователь может выбрать варианты отображения:

- отображать потенциалы узлов (только внешние узлы схемы);
- отображать токи ветвей (только внешние ветви схемы);
- отображать потенциалы всех узлов схемы (в том числе – внутри подсхем);
- отображать токи всех ветвей схемы (в том числе – внутри подсхем);

Также выбираются варианты формата вывода рассчитанных комплексных значений

- Амплитуда-Фаза
- Вещественная-мнимая части

Просмотр состояния схемы доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них. Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду **Симуляция#Вывод текущих значений**. См. подробнее главу 22 Дополнительные возможности, §22.3 Вывод текущих значений.

11.3 Пример расчёта гармонического режима схемы

Рассмотрим пример расчёта гармонического режима схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example2\bat10.ssch**. Схема представляет собой полосовой фильтр Баттерворта 10-го порядка.

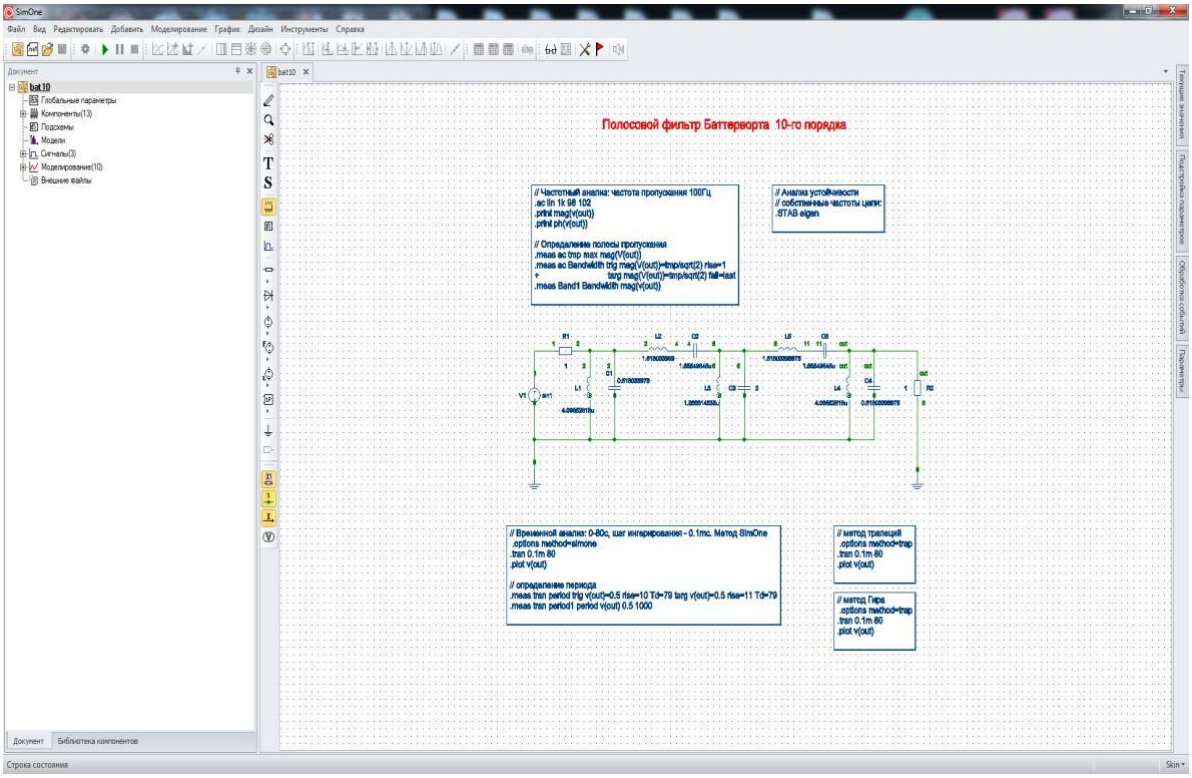


Рис. 11.3.1 Схема полосового фильтра Баттерворта bat10.ssch

Выбираем меню **Симуляция#Анализ гармонического режима…** и нажимаем кнопку окна задания параметров симуляции.

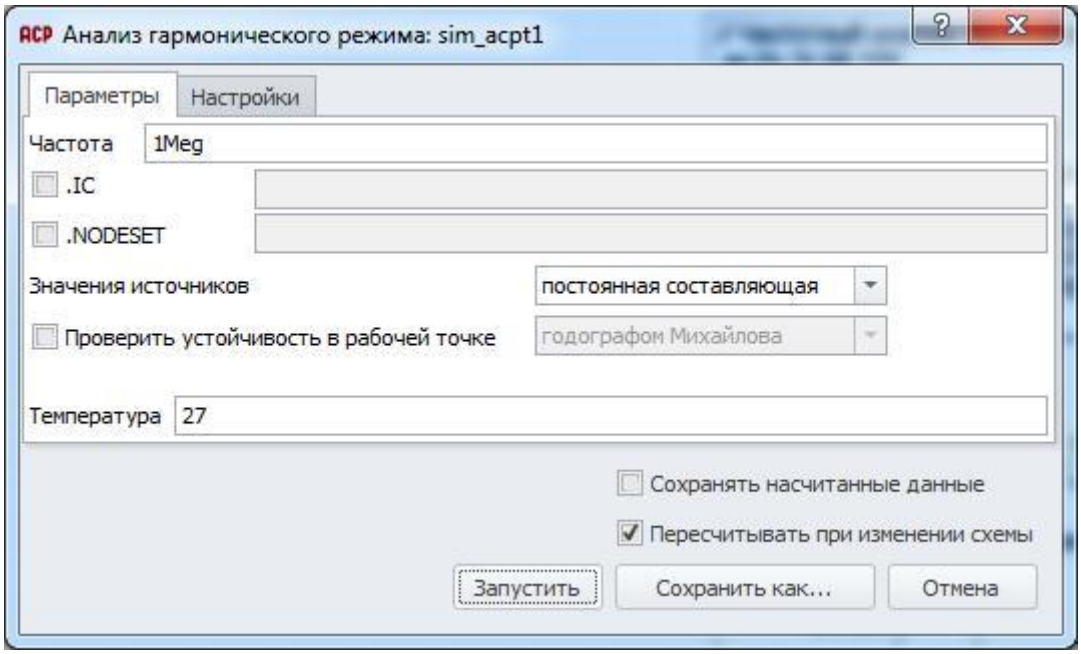


Рис. 11.3.2 Окно параметров симуляции

Программа произведёт расчёт текущих малосигнальных параметров схемы и выведет результат в таблицу (рис. 11.3.3) и на схему.

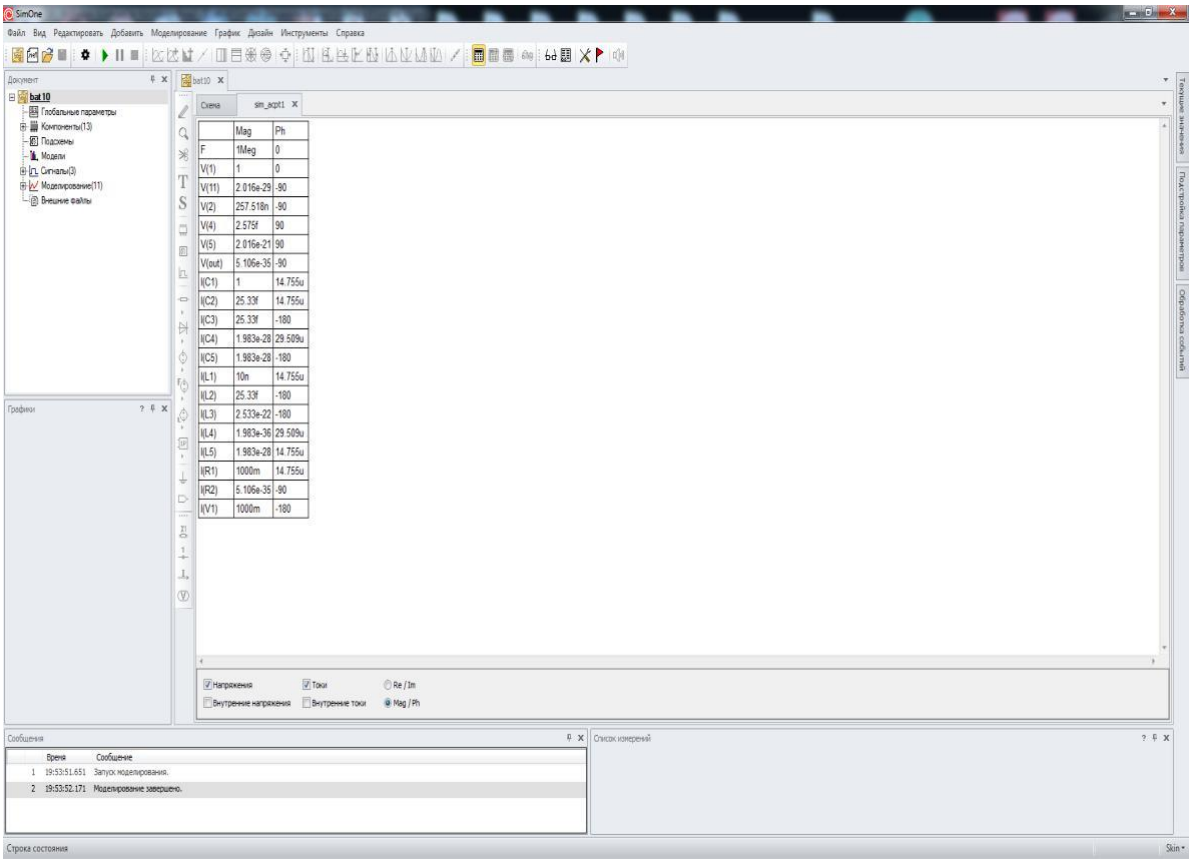


Рис. 11.3.3 Таблица результатов расчёта малосигнальных параметров

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой панели инструментов **View** (рис. 11.3.4), токов – кнопкой на той же панели (рис. 11.3.5).

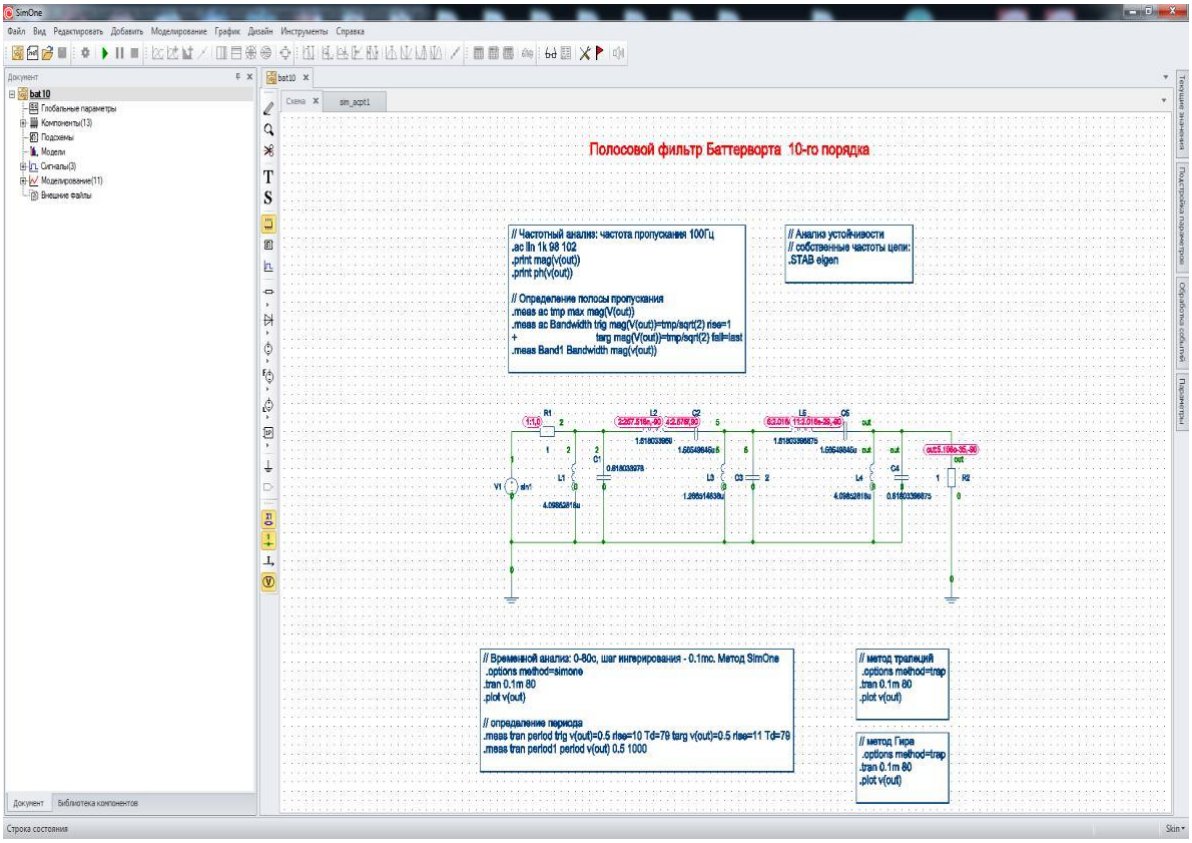


Рис. 11.3.4 Отображение потенциалов узлов на схеме

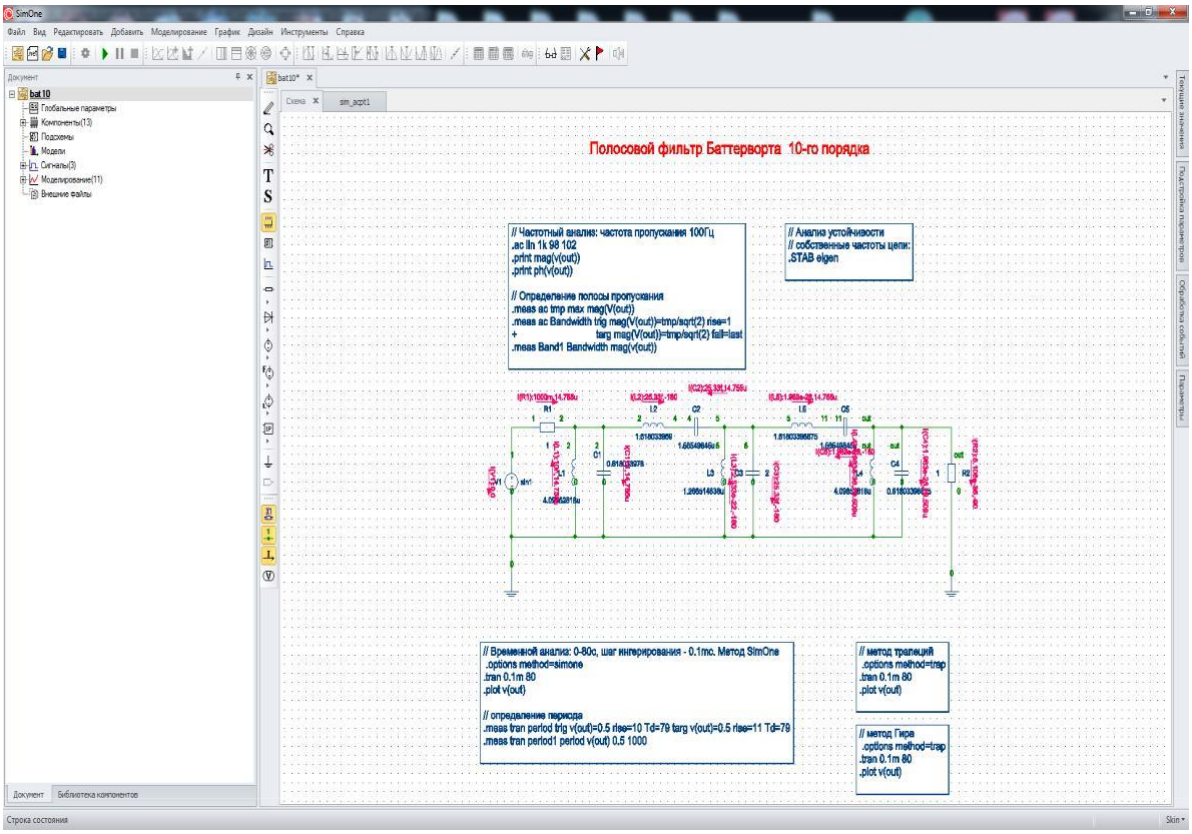


Рис. 11.3.5 Отображение токов компонентов на схеме

Любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический перерасчёт малосигнальных параметров.

12 Частотный анализ

12.1 Общие сведения

Частотный анализ позволяет исследовать частотные свойства схемы с помощью следующих характеристик:

- амплитудно-частотной характеристики (АЧХ),
- логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ),
- фазо-частотной характеристики (ФЧХ),
- логарифмической фазо-частотной характеристики (ЛФЧХ),
- амплитудно-фазовой характеристики (АФХ).

Первые четыре характеристики схемы представляются графической зависимостью от частоты на заданном интервале. Амплитудно-фазовая характеристика представляет собой годограф комплексной функции на комплексной плоскости, построенный при изменении частоты в заданном пользователем диапазоне. Все частотные характеристики строятся для линеаризованной в окрестности рабочей точки схемы при воздействии гармонических источников тока и напряжения одинаковой частоты.

Получение частотных характеристик схемы происходит следующим образом:

1. Программа рассчитывает рабочую точку схемы.
2. Все компоненты схемы, модели которых содержат нелинейности, заменяются соответствующими линеаризованными моделями.
3. Для указанных пользователем частот выполняются пп. 4, 5, 6.
4. Рассчитываются значения параметров моделей частотно-зависимых компонентов: конденсаторов и индуктивностей.
5. Для компонентов схемы, в моделях которых заполнено поле FREQ, модельные параметры рассчитываются по заданному в нём Выражению, например, частотно-зависимое сопротивление, ёмкость, индуктивность, передаточная функция функциональных источников.
6. Полученная линейная модель схемы рассчитывается в частотной области с помощью преобразования Фурье на текущей частоте.
7. Результаты расчёта выводятся в виде графика соответствующей кривой в графическом окне симуляции.

12.2 Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы

SPICE-формат

.AC < тип измерения> <количество точек>
+<начальная частота> <конечная частота>

<тип измерения> может быть:

- LIN – линейный,
- DEC – декадами
- OCT – октавами.

Примеры:

```
.AC DEC 100 10K 10Meg
.AC OCT 100 10K 10Meg
.AC LIN 100 100K 200K
```

Окно задания параметров расчёта

На рис. 12.2.1 приведено окно задания параметров симуляции расчёта частотных характеристик схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

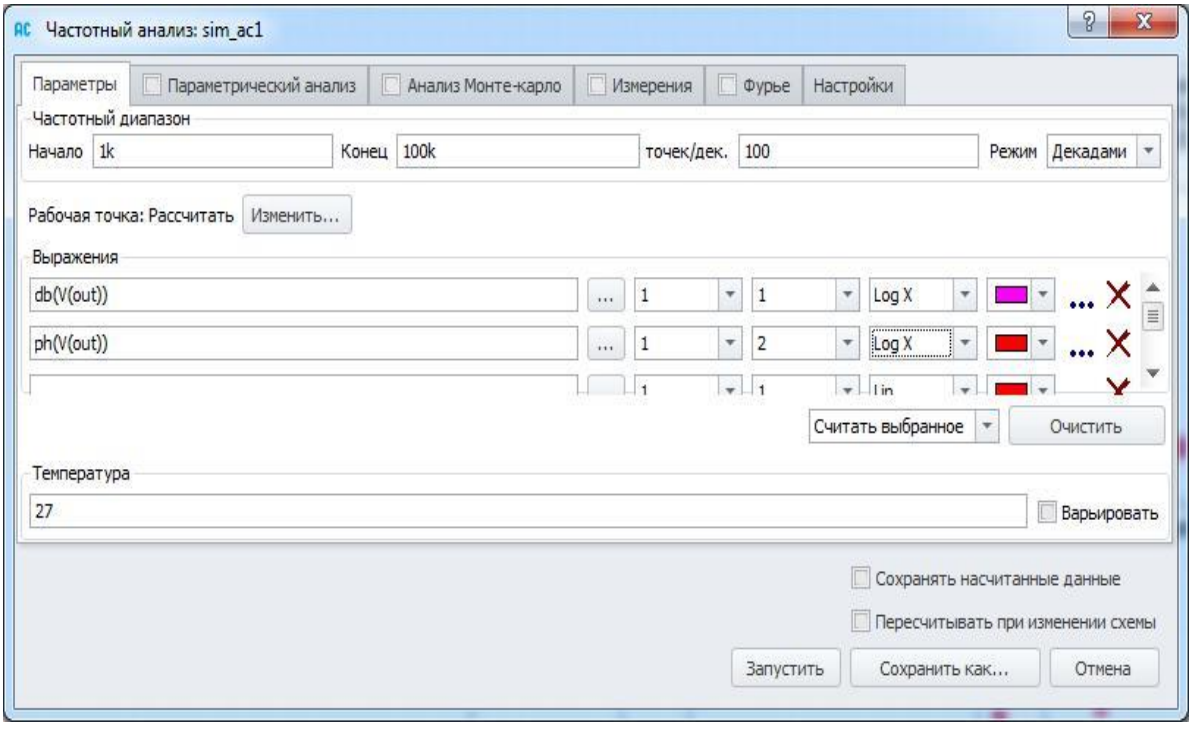
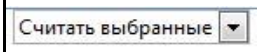


Рис. 12.2.1 Задание параметров расчёта частотных характеристик схемы

Таблица 12.2.1 Параметры симуляции расчёта частотных характеристик схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Частотный диапазон		
От	Начальная частота варьирования	1МГц
До	Конечная частота варьирования	100МГц
С шагом	Определяет: • величину шага приращения частоты для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения частоты; • точные значения частоты, при которых будет производиться расчёт, если указан способ её изменения – списком	10 точек на декаду
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	декадами
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
Окно	Окно, в которое будет выводиться график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Режим	Режим шкалы оси абсцисс – логарифмический (Log X) или линейный (Linear).	Log X
Цвет	Цвет графика	красный

	Удалить график	
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными. Программа позволяет: • сохранять выбранные переменные и выражения; • сохранять все переменные из вектора переменных состояния	Считать выбранные
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	
Рабочая точка		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах **.IC, .NODESET**.	Вкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будет загружена рабочая точка, предварительно рассчитанная в расчёте рабочей точки и сохранённая в соответствующий файл.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		

Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Параметрический анализ**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Анализ Монте-Карло**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	
С шагом	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет делаться расчёт, если указан способ её изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Дополнительно		

Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

В качестве входных воздействий расчёта выступают те источники токов и напряжений схемы, для которых определены параметры ACmagnitude и ACphase.

После установки интервала варьирования частоты, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта, программа произведет расчёт частотных характеристик и построит соответствующие графики. Значения токов, напряжений и параметров компонентов для последней частоты расчёта будут доступны для отображения на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы для последней частоты расчёта доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них.

Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду **Симуляция#Вывод текущих значений**. (См. подробнее главу 22 Дополнительные возможности, §22.3 Вывод текущих значений)

12.3 Пример расчёта частотных характеристик схемы

Рассмотрим пример расчёта частотных характеристик схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example2\bat10.ssch**. Схема представляет собой полосовой фильтр Баттерворта 10-го порядка.

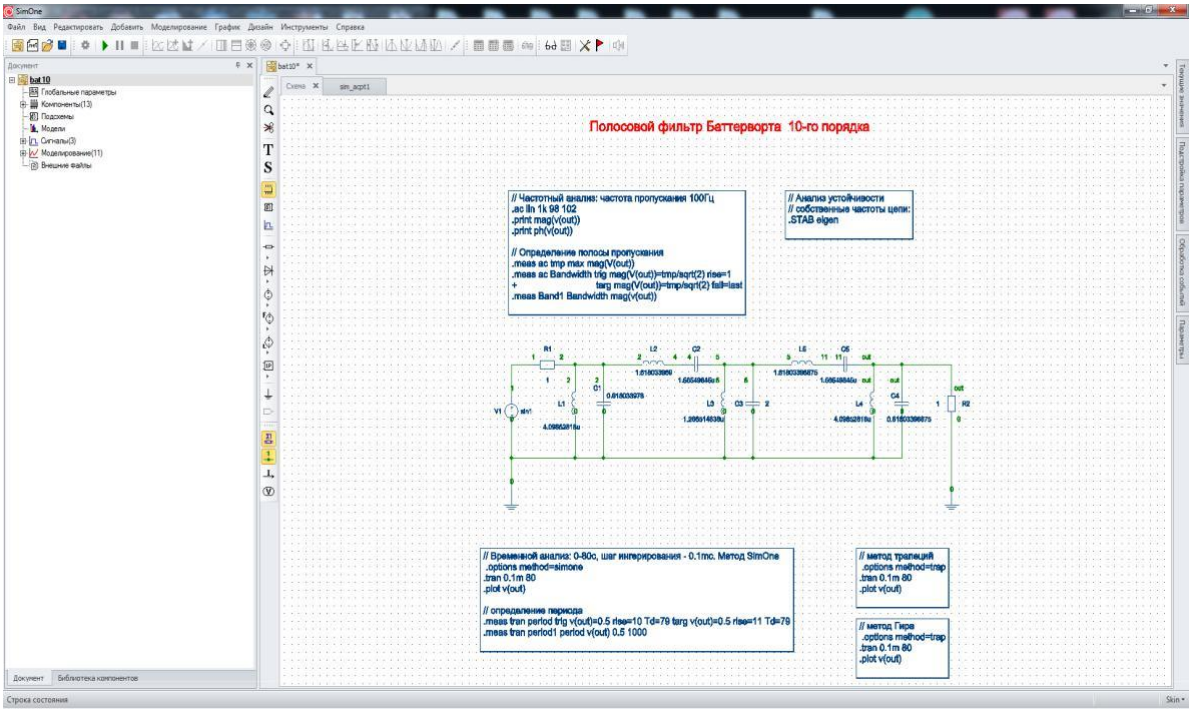


Рис. 12.3.1 Схема полосового фильтра Баттерфорта bat10.ssch

Выберите в окне проекта симуляцию **ac1** и нажмите кнопку Запустить окна задания параметров симуляции.

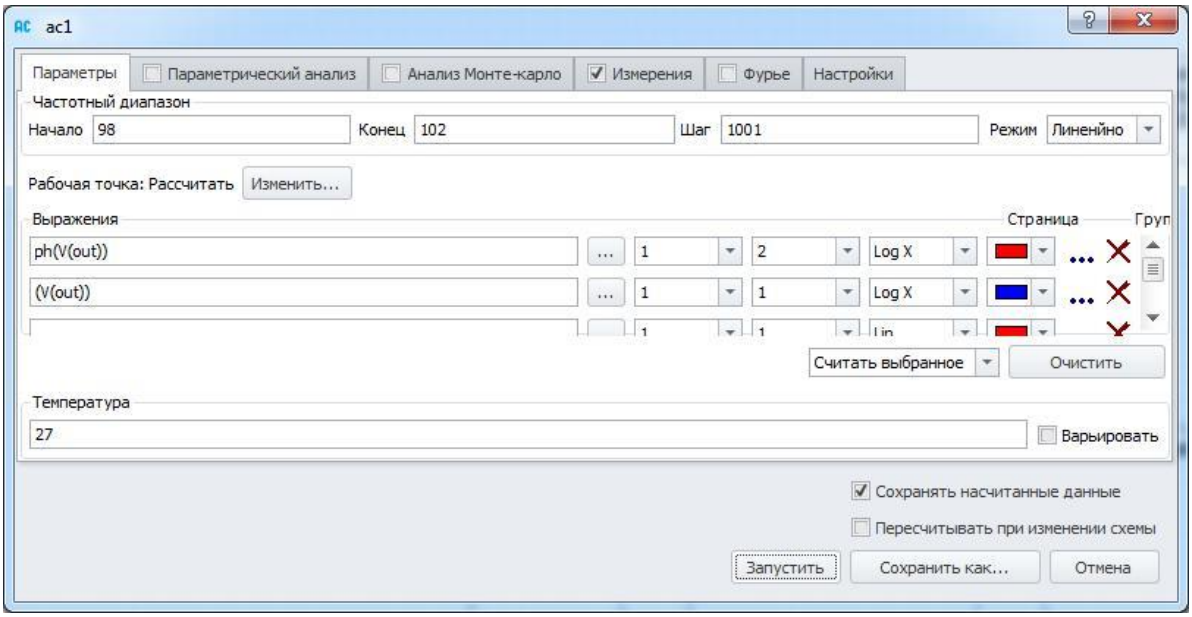


Рис. 12.3.2 Окно параметров симуляции

Программа произведёт расчёт частотных характеристик схемы – 100 расчётных точек на диапазоне от 98 Гц до 102 Гц. На графиках (рис. 12.3.3) представлены модуль (верхний график) и фаза выходного напряжения V(out). Результаты расчёта последней точки при частоте 102 Гц отображаются на схеме в виде комплексных значений токов и потенциалов и доступны для просмотра в окне текущих значений.

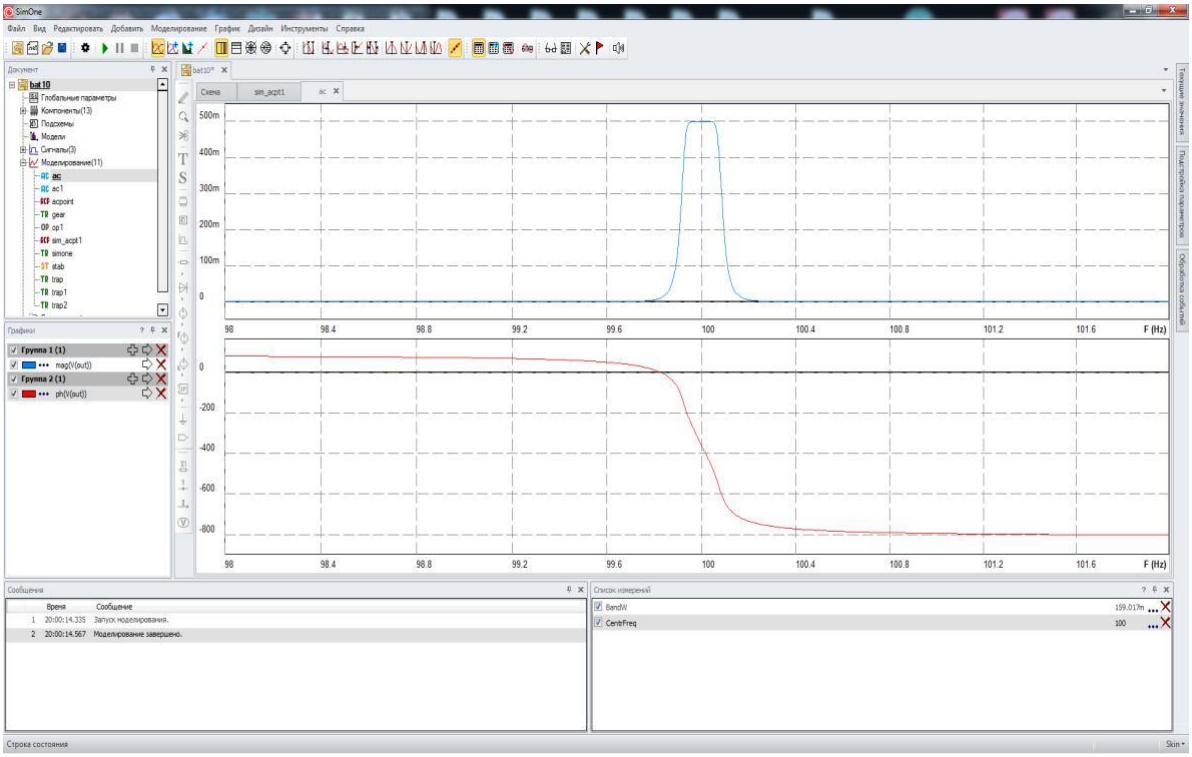


Рис. 12.3.3 Графики модуля и фазы напряжения в расчёте частотных характеристик

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой

панели инструментов **View**, токов – кнопкой на той же панели.

Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический перерасчёт указанных частотных характеристик схемы.

13 Анализ переходных процессов

13.1 Общие сведения

Анализ переходных процессов позволяет исследовать поведение схемы во временной области при подаче на неё воздействий с помощью источников сигналов. В качестве выходных переменных схемы могут быть использованы, например, потенциалы узлов, падения напряжений на элементах, токи через них, потребляемая мощность и т.п. и любые выражения от них (см. главу 23 Выражения).

Результаты анализа представляются в виде временных диаграмм, которые отображают процессы в моделируемой схеме аналогично тому, как в реальной схеме это делают с помощью осциллографа. В общем случае моделируемая схема описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, а для получения временных диаграмм используются численные методы интегрирования.

Получение временных диаграмм переходного процесса схемы происходит следующим образом:

1. Задаются или рассчитываются начальные условия для вектора переменных состояния.
2. Выбирается шаг расчёта, не превосходящий указанного шага вывода временных диаграмм, и задаётся приращение по времени. Время ограничивается заданным интервалом расчёта.
3. С помощью выбранного алгоритма (методы трапеций, Гира и т.д) исходные нелинейные дифференциальные уравнения цепи приводятся к разностному виду.
4. Решается система нелинейных алгебраических уравнений для нового значения времени.
5. Если решение для вектора состояний не получено, уменьшается шаг расчёта и вычисляется новое значение времени, меньшее текущего. Если шаг приращения по времени становится слишком малым, то процесс построения временных диаграмм заканчивается с сообщением об ошибке расчёта. Решение продолжается с п. 3.
6. Проверяется допустимое отклонение полученного решения от решения на предыдущем шаге по выбранному алгоритму (LTE, число итераций).
7. Если отклонение выходит за допустимые пределы, уменьшается шаг расчёта и вычисляется новое значение времени, меньшее текущего. Если шаг приращения по времени становится слишком малым, то процесс построения временных диаграмм заканчивается с сообщением об ошибке расчёта. Решение продолжается с п. 3.
8. Если отклонение находится в допустимых пределах, решение принимается и ставится точка на диаграмму.

9. Решение продолжается с п. 2.

13.2 Интерфейс расчёта переходных процессов схемы

SPICE-формат

.TRAN <шаг расчёта> <конечное время> [UIC]

<шаг расчёта> – максимальный шаг интегрирования дифференциальных уравнений Если указан флаг UIC, то не производится расчёт рабочей точки схемы для определения начальной точки расчёта.

Примеры:

```
.TRAN 1ns 1us
.TRAN 1ns 1us UIC
```

Окно задания параметров расчёта

На рис. 13.2.1 и 13.2.2 приведено окно задания параметров симуляции расчёта переходного процесса схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

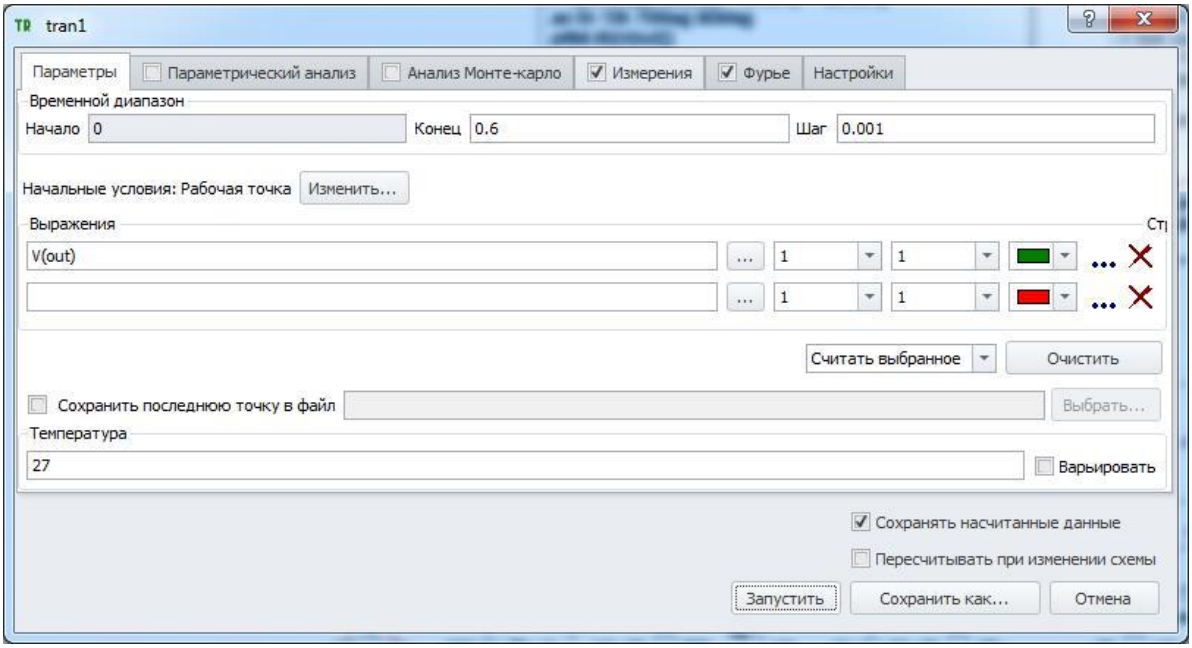


Рис. 13.2.1 Окно задания параметров расчёта переходных процессов схемы

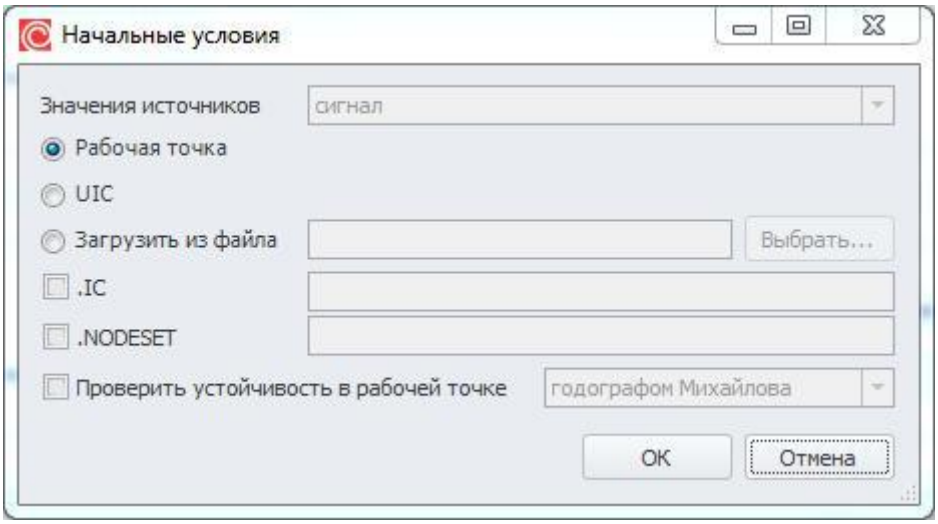
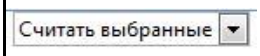


Рис. 13.2.2 Начальные условия в окне задания параметров расчёта переходных процессов схемы

Таблица 13.2.1 Параметры симуляции расчёта переходных процессов схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Временной диапазон		
Начало	Начальная частота варьирования	0c
Конец	Конечная частота варьирования	1uc
Шагом	Определяет максимальную величину шага численно интегрирования дифференциальных уравнений схемы	
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и др., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
Окно	Окно, в которое будет выведен график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	красный
	Удалить график	
Сохранять насчитанные данные	Опция сохранения расчетных данным моделирования на диск компьютера	Выкл.

	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными. Программа позволяет: • сохранять выбранные переменные и выражения; • сохранять все переменные из вектора переменных состояния	Считать выбранные
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений.	
Начальные условия		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах **.IC, .NODESET.**	Вкл.
UIC	Рабочая точка не рассчитывается, в качестве начальных условий используются токи и напряжения компонентов, потенциалы узлов схемы заданные с помощью команды **.IC**.	Выкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будут загружены начальные условия.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		

Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Парамерический анализ**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Анализ Монте-Карло**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	
С шагом	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Дополнительно		
Сохранить последнюю	Позволяет сохранить вектор переменных состояния в текстовый	Выкл.

рассчитанную точку в файл	файл для использования их в качестве начальных условий в последующих расчётах.	
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

После установки требуемого временного интервала, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта программа численно проинтегрирует дифференциальные уравнения схемы и построит временные диаграммы заданных выражений. Значения токов, напряжений и параметров компонентов для последней временной точки расчёта будут доступны для отображения на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы на момент окончания расчёта переходных процессов доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них. Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также командой **Симуляция#Вывод текущих значений**. (См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений).

13.3 Пример расчёта переходного процесса схемы

Рассмотрим пример расчёта переходного процесса схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example1\sel.ssch**. Схема представляет собой преселектор дециметровых волн.

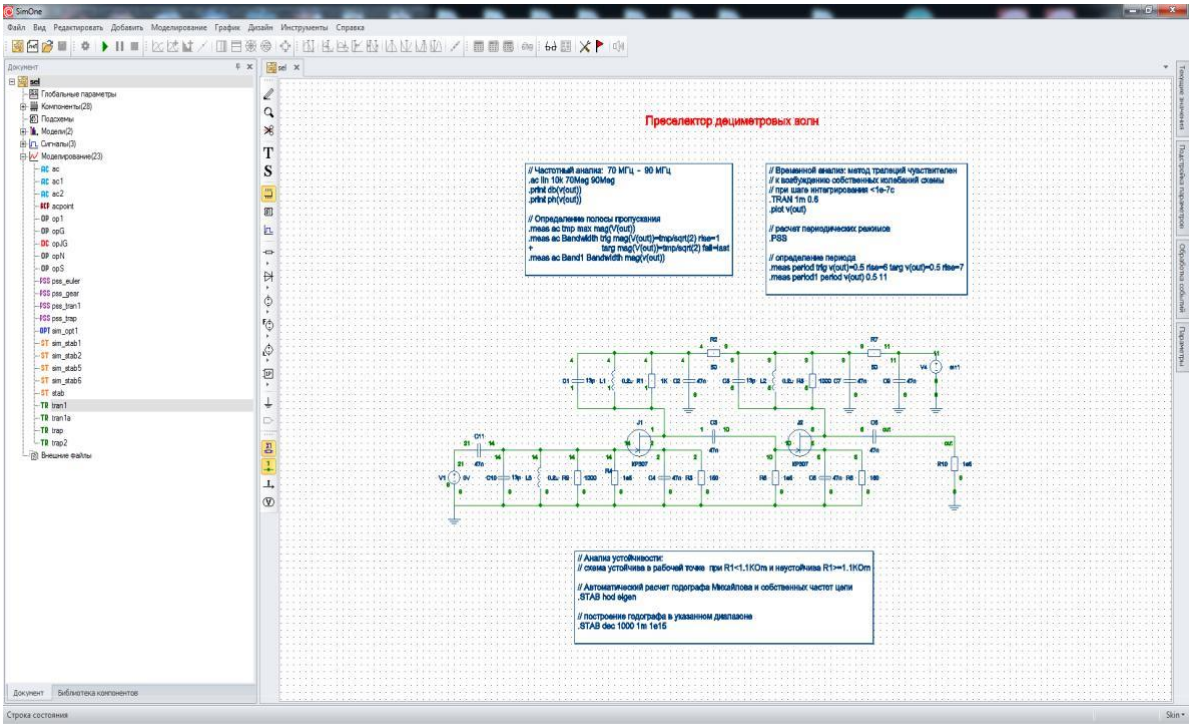
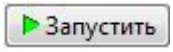


Рис. 13.3.1 Схема Преселектора дециметровых волн sel.ssch

Выберите в окне проекта симуляцию **tran1** и нажмите кнопку 

окна задания параметров симуляции.

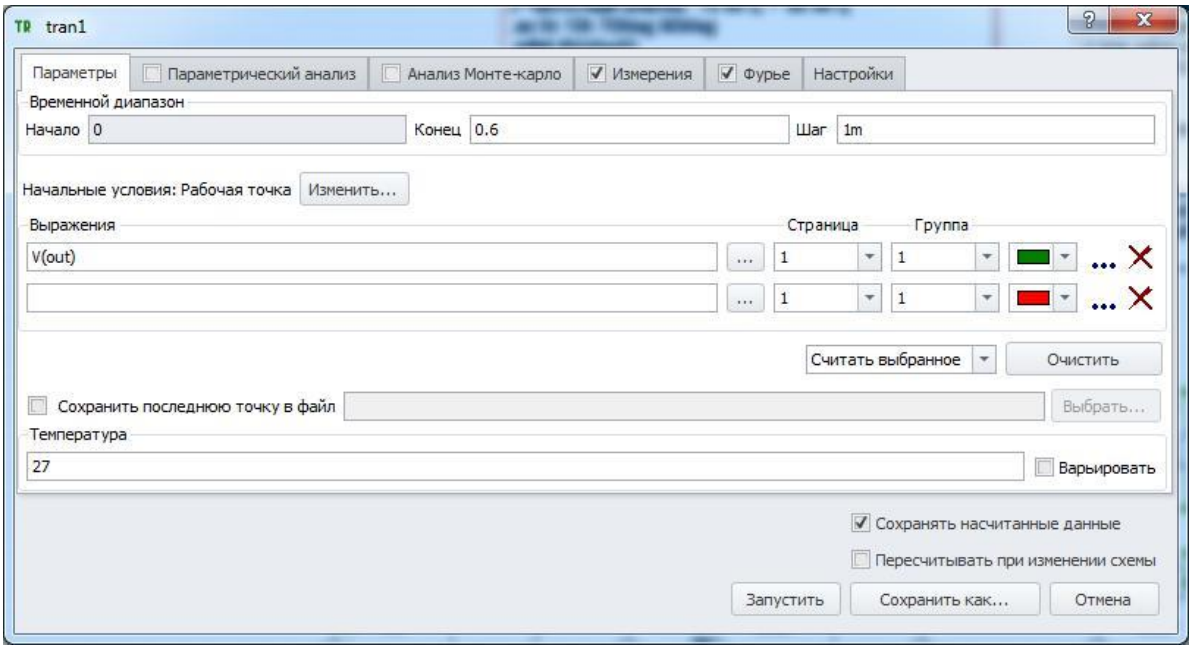


Рис. 13.3.2 Окно параметров симуляции

Программа произведёт расчёт переходного процесса схемы на временном интервале от 0 до 0.6 с с шагом 1 mc. В качестве выходных переменных схемы на графике (рис. 13.3.3) представлено выходное напряжение V(out). Результаты расчёта последней точки при t=0.6 с отображаются на схеме и доступны для просмотра в окне текущих значений.

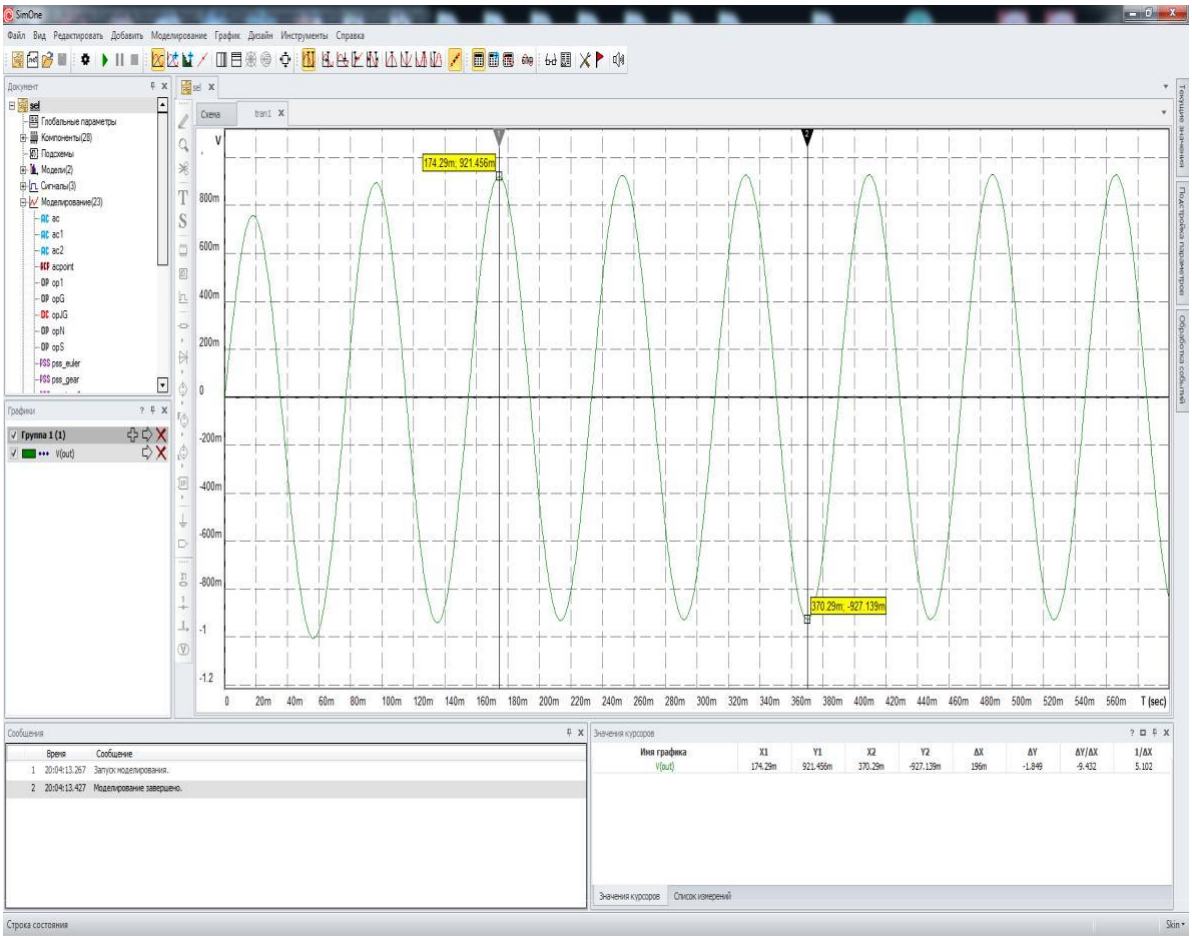


Рис. 13.3.3 График выходного напряжения схемы

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой панели инструментов **View**, токов – кнопкой на той же панели. Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический пересчёт переходного процесса и перерисовку выходных графиков схемы.

14 Анализ периодических режимов

14.1 Общие сведения

Анализ периодических процессов позволяет исследовать поведение схемы в установившемся периодическом режиме. Установившийся периодический режим возникает в схеме в двух случаях:

- Для периодического входного сигнала с затуханием всех переходных составляющих. Период процесса определяется периодом входного сигнала источников.
- Автоколебания. Период определяется свойствами самой схемы и не зависит от периодичности входного воздействия.

В первом случае программа сама определяет период искомого периодического процесса, а во втором – период должен быть задан пользователем.

Нахождение периодического режима ведётся в **SimOne** с помощью Пристрелочного метода Ньютона решения граничной задачи дифференциальных уравнений. С помощью итераций Ньютона решается следующая система уравнений

```
X(Tper) – X(0) =0,
```

относительно вектора начальных условий X(0).

Решением данного уравнение осуществляется подбор таких начальных условий исходных дифференциальных уравнений схемы, при которых переходная составляющая решения равно нулю, и решение имеет только периодическую составляющую.

В качестве выходных переменных схемы могут быть использованы, например, потенциалы узлов, падения напряжений на элементах, токи через них, потребляемая мощность и т.п. и любые математические выражения от них (см. главу 23 Выражения).

Результаты анализа представляются в виде временных диаграмм полученного периодического процесса на указанном интервале времени. Пользователь может посмотреть, как строилось решение по итерациям, выбрав опцию **Отображать графики итераций**.

Нахождение переходного процесса схемы происходит следующим образом:

1. Вручную или автоматически определяется период искомого периодического процесса (автоматически – программа анализирует периоды входных воздействий и выбирает наименьший из них; вручную – задаётся пользователем в окне).

2. Рассчитывается интервал периодичности = Период*Число периодов стабилизации.
3. Задаются или рассчитываются начальные условия для вектора переменных состояния.
4. Выбранным численным методом с указанными настройками точности и максимальным шагом интегрирования решается система дифференциальных уравнений цепи до конца интервала.
5. Рассчитывается разность векторов состояния в начальной точке и в конце интервала. Вычисляется поправка.
6. Если поправка незначительна и укладывается в допустимое отклонение, либо число итераций превышает заданное максимальное число, то процесс определения периодического режима останавливается, и для полученных начальных условий строятся временные диаграммы заданных выражений в указанном временном интервале.
7. Начальные условия корректируются с учётом полученной поправки, решение продолжается с п. 4

Замечание: анализ периодических режимов не поддерживается для схем, содержащих компоненты, задаваемые в частотной области – функциональных Лапласовых источников и длинных линий.

14.2 Интерфейс расчёта периодических режимов схемы

SimOne формат

.pss [<количество точек на период>] [<период>] [<количество периодов>] +[<количество итераций>] [<погрешность>]

< количество точек на период> – определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса (по умолчанию равно 20);
< период > – период процесса (если не указан, то определяется автоматически);
< количество периодов > – число периодов стабилизации (по умолчанию равно 1);
< количество итераций > – макс. число итераций (по умолчанию равно 5);
< погрешность > – погрешность определения периодического режима (по умолчанию равна 1m).

.sn [TRES=] <максимальный шаг интегрирования> [PERIOD=] <период> [NUMPEROUT= <количество периодов>]

TRES – определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса;
PERIOD – период процесса указывается обязательно;
NUMPEROUT – определяет число периодов отображения (по умолчанию равно 10);

.sn [TONE=] <частота> [NHARMS=] <количество точек на период> [NUMPEROUT= <количество периодов>]

TONE – частота периодического режима;
NHARMS – определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса;
NUMPEROUT – определяет число периодов отображения (по умолчанию равно 10);

Примеры:

```
.pss
.pss 1u 5
.sn 1n 1u
.sn TONE=1Meg NHARMS=1e3
```

Окно задания параметров расчёта

На рис. 14.2.1 и 14.2.2 показано окно задания параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

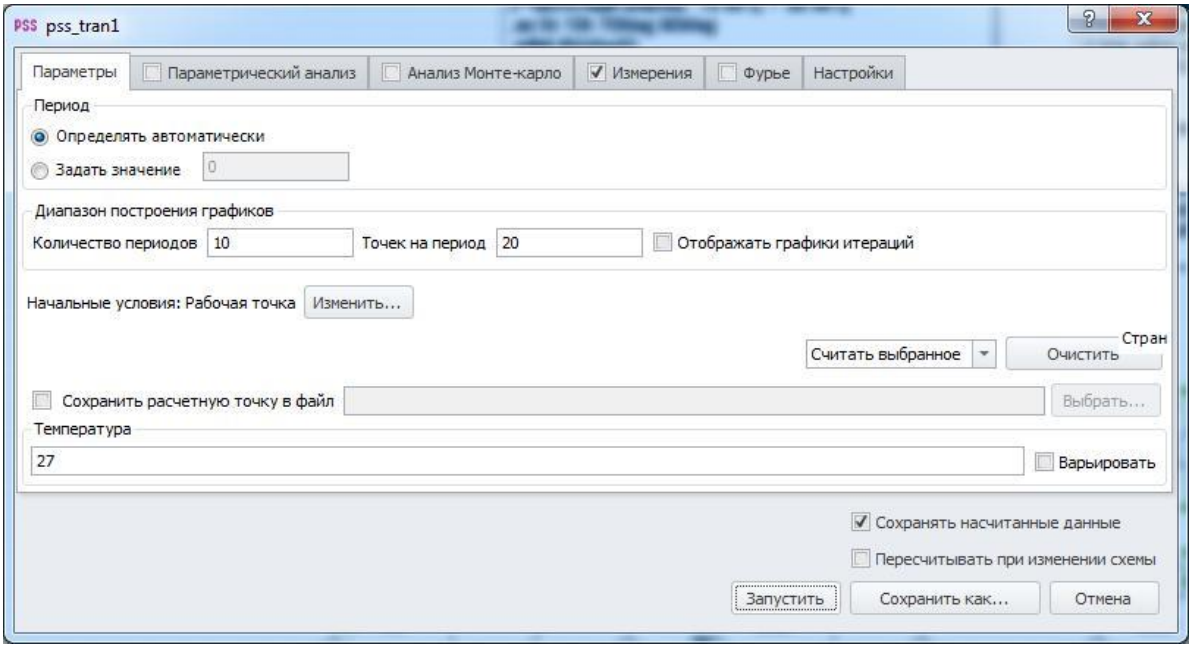


Рис. 14.2.1 Задание параметров расчёта периодических режимов схемы

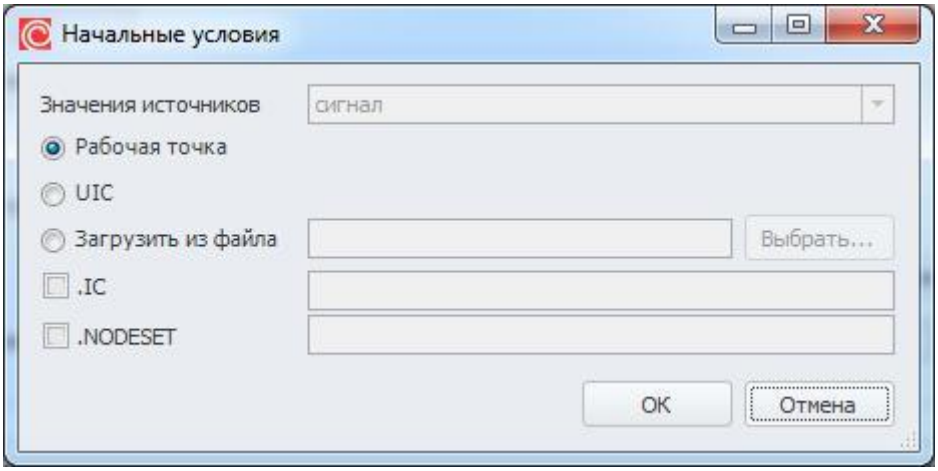
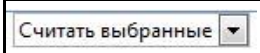


Рис. 14.2.2 Начальные условия в окне задания параметров расчёта периодических режимов схемы

Таблица 14.2.1 Параметры симуляции расчёта периодических процессов схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Период		

Определять автоматически	Программа анализирует периоды входных воздействий и наименьший из них выбирает в качестве периода искомого периодического режима.	Вкл.
Задать значение	Период искомого процесса указывается пользователем	Выкл.
Отображать графики итераций	Отображение промежуточных результатов нахождения периодического режима по итерациям	Выкл.
Диапазон построения графиков		
Количество периодов	Определяет конечное время для построения графиков	10
Точек на период	Определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса	20
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
Окно	Окно, в которое будет выведен график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	красный
	Удалить график	
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными. Программа позволяет: • сохранять выбранные переменные и выражения; • сохранять все переменные из вектора переменных состояния	Считать выбранные
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений.	

Начальные условия		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах **.IC, .NODESET**.	Вкл.
UIC	Рабочая точка не вычисляется, в качестве начальных условий используются токи и напряжения компонентов, потенциалы узлов схемы, заданные с помощью команды **.IC**.	Выкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будут загружены начальные условия.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим многовариантного (параметрического) анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Многовариантный анализ**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Анализ Монте-Карло**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Температура		

Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе **Варьировать температуру** предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	
С шагом	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Дополнительно		
Сохранить расчётную точку в файл	Позволяет сохранить рассчитанный вектор начальных условий в текстовый файл.	Выкл.
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

После запуска расчёта периодических режимов программа ищет вектор начальных условий, при котором периодический режим устанавливается сразу. Результатом расчёта будут временные диаграммы периодического процесса.

Если за указанное число итераций с заданной точностью периодический режим не будет найден, то программа выдаст сообщение **Ошибка расчёта периодического режима** или **Достигнуто максимально число итераций** и нарисует временные диаграммы, построенные из последнего рассчитанного вектора начальных условий. Значения токов, напряжений и параметров компонентов для последней временной точки расчёта будут доступны для отображения на схеме:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы на момент окончания расчёта переходных процессов доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них. Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду **Симуляция#Вывод текущих значений**. См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений.

14.3 Пример расчёта периодического режима схемы

Рассмотрим пример расчёта периодического режима схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example1\sel.ssch**. Схема представляет собой преселектор дециметровых волн.

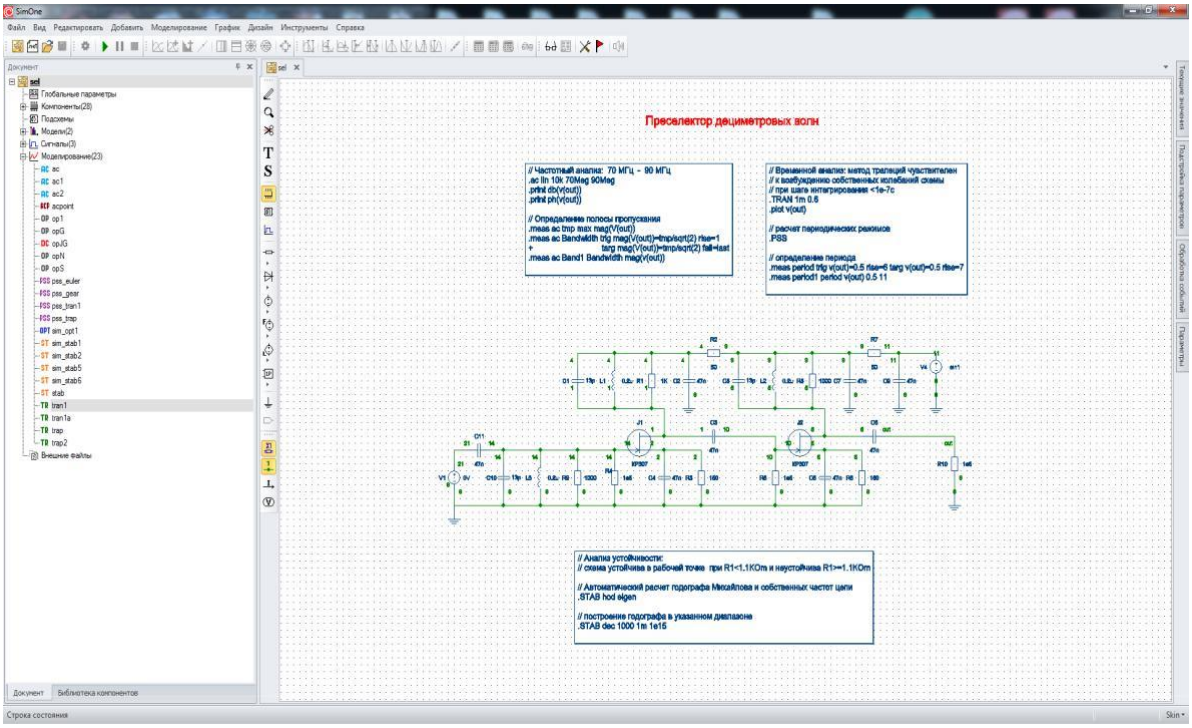
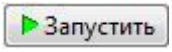


Рис. 14.3.1 Схема Преселектора дециметровых волн sel.ssch

Выберите в окне проекта симуляцию **pss_trap** и нажмите кнопку 

окна задания параметров симуляции.

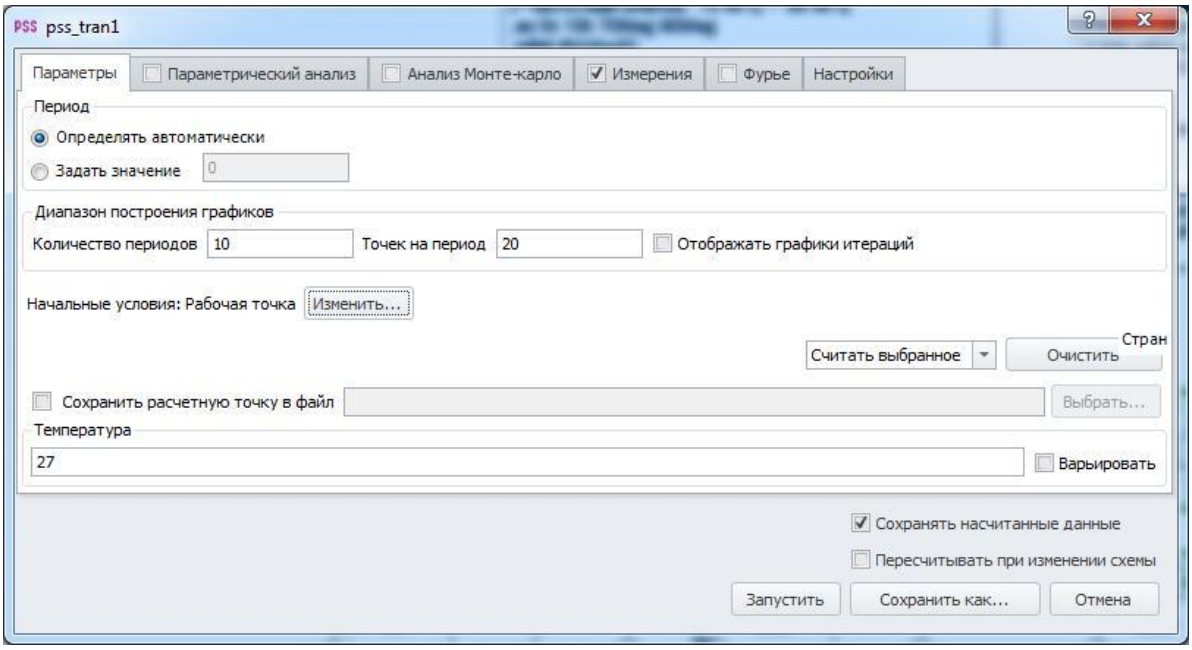


Рис. 14.3.2 Окно параметров симуляции

Программа сначала определит предполагаемый период установившегося режима схемы, затем итерационно определит подходящие начальные условия, при которых сразу возникает периодический установившийся режим схемы. После этого программа построит выходные графики схемы на временном интервале от 0 до 0.6 с
с шагом 1 mc. В качестве выходных переменных схемы на графике (рис. 14.3.3) представлено выходное напряжение V(out). Результаты расчёта последней точки при t=0.6 с отображаются на схеме и доступны для просмотра в окне текущих значений.

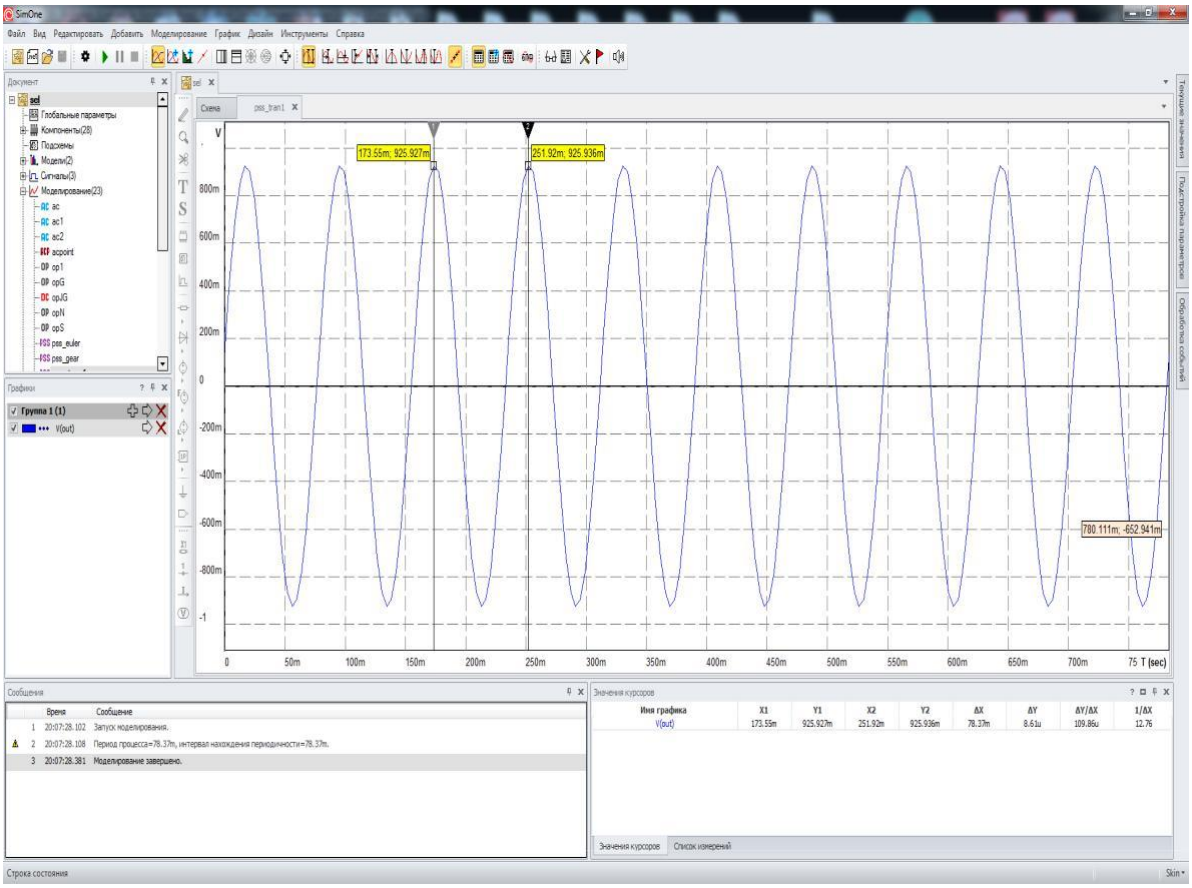


Рис. 14.3.3 График выходного напряжения схемы

Отображение потенциалов узлов на схеме включается кнопкой панели инструментов **View**, токов – кнопкой на той же панели. Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующий автоматический пересчёт периодического режима и перерисовку выходных графиков схемы.

15 Анализ устойчивости схемы

15.1 Общие сведения

Анализ устойчивости схемы позволяет определять, устойчива схема в текущей рабочей точке или нет, находить запас устойчивости при изменении температуры или параметров моделей компонентов.

Анализ устойчивости производится по первой теореме Ляпунова. Согласно первой теореме Ляпунова об устойчивости, исходная нелинейная система устойчива в малом в окрестности текущей точки равновесия, если устойчива соответствующая ей линеаризованная в этой точке система. Если линеаризованная система не является устойчивой в окрестности текущей точки равновесия, то исходная нелинейная система тоже будет неустойчивой.

Применительно к исследуемой электрической схеме это означает, что если её линеаризованная в рабочей точке схема неустойчива, то и исходная схема будет неустойчива, т.е. при подаче воздействий на источники сигналов схема будет генерировать свой режим работы – осциллировать.

Для проверки устойчивости линеаризованной схемы в **SimOne** предлагаются два критерия:

- критерий собственных частот схемы,
- критерий Михайлова.

Критерий собственных частот схемы

Чтобы линейная система была устойчива в окрестности точки равновесия, необходимо и достаточно, чтобы все собственные частоты системы имели бы отрицательные вещественные части. Если хотя бы одна собственная частота имеет положительную вещественную часть, линейная система неустойчива в исходной точке равновесия.

При выборе данного критерия **SimOne** производит расчёт собственных частот линеаризованной в рабочей точке схемы.

Расчёт производится либо до последней найденной собственной частоты схемы, либо до обнаружения первой частоты с положительной вещественной частью.

Результатом расчёта является вывод таблицы собственных частот и сообщение о результате проверки устойчивости в окно состояния.

Критерий Михайлова

Годограф Михайлова – кривая, представляющая собой геометрическое место концов переменного вектора, определяемого значениями характеристического полинома системы при замене независимой переменной на I*w:

$$D(I*w)=det(I*w*B+A),$$

где B и A – матрицы линейной системы, в нашем случае – матрицы линеаризованной в рабочей точке исходной схемы.

Чтобы линейная система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы вектор D(I*w) при изменении частоты от нуля до бесконечности повернулся, нигде не обращаясь в 0, вокруг начала координат против часовой стрелки на угол N*PI/2, где N – количество собственных частот системы.

Применительно к линейным системам с постоянными коэффициентами, в частности, к линеаризованным в рабочей точке нелинейным схемам для устойчивости требуется, чтобы фаза функции Михайлова непрерывно возрастала.

Таким образом, чтобы линеаризованная в окрестности рабочей точки схема была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы годограф Михайлова при изменении частоты от нуля до бесконечности, начинаясь на вещественной полуоси, обходил строго против часовой стрелки последовательно N квадрантов координатной плоскости, где N – число собственных частот схемы. [5]

Проверка устойчивости схемы с помощью годографа Михайлова осуществляется в **SimOne** в автоматическом и ручном режимах. В автоматическом режиме программа сама строит годограф Михайлова и определяет по нему, устойчива схема или нет. Результатом такой проверки является вывод кривой на комплексную плоскость и сообщения в **Окно сообщений**. В ручном режиме пользователь сам указывает частотный диапазон построения годографа и сам по виду кривой определяет, устойчива ли схема.

Замечание: анализ устойчивости не поддерживается для схем, содержащих компоненты, задаваемые в частотной области – функциональных Лапласовых источников и длинных линий.

15.2 Интерфейс анализа устойчивости схемы

SimOne формат

Расчёт устойчивости в автоматическом режиме:
.STAB <HOD> [<LOG|LIN>] [<EIGEN>]

<HOD> – определять устойчивость с помощью годографа Михайлова.
<LOG|LIN> – способ отображения годографа. По умолчанию годограф отображается в логарифмической шкале. <EIGEN> – расчёт собственных частот схемы.

Построение годографа в указанном интервале:
.STAB <LIN|DEC|OCT> <шаг>
+<начальная частота> <конечная частота>

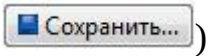
<LIN|DEC|OCT> – способ изменения частоты: линейно, октавами, декадами.
<шаг> – шаг/ число точек на интервал для построения годографа.
<начальная частота> <конечная частота> – начальная и конечная частоты расчёта.

Примеры:

```
.STAB  HOD EIGEN
.STAB  HOD  LOG
.STAB dec 1000 1m 1e15
```

Окно задания параметров анализа устойчивости схемы

На рис. 15.2.1 и 15.2.2 показано окно задания параметров анализа устойчивости схемы (в том числе таких, как годограф Михайлова, рабочая точка, температурный анализ). Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка

) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка 

).

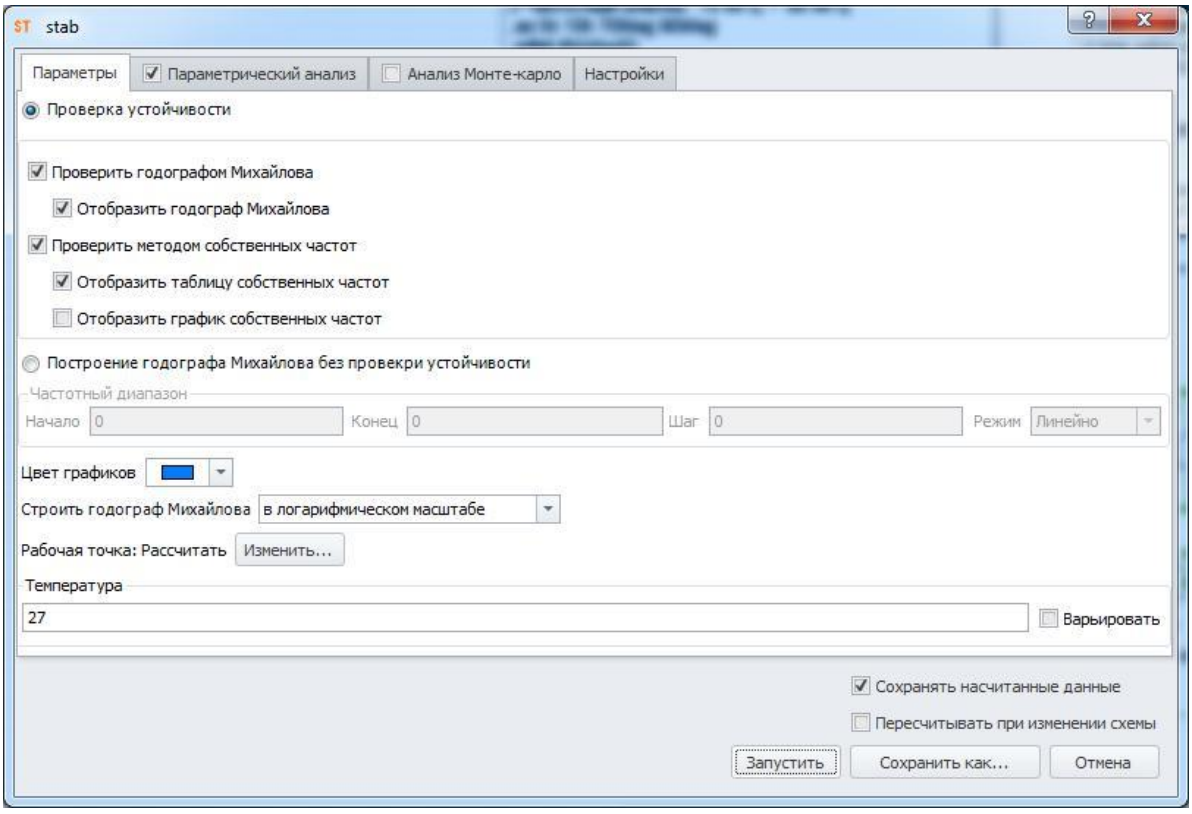


Рис. 15.2.1 Окно задания параметров анализа устойчивости схемы

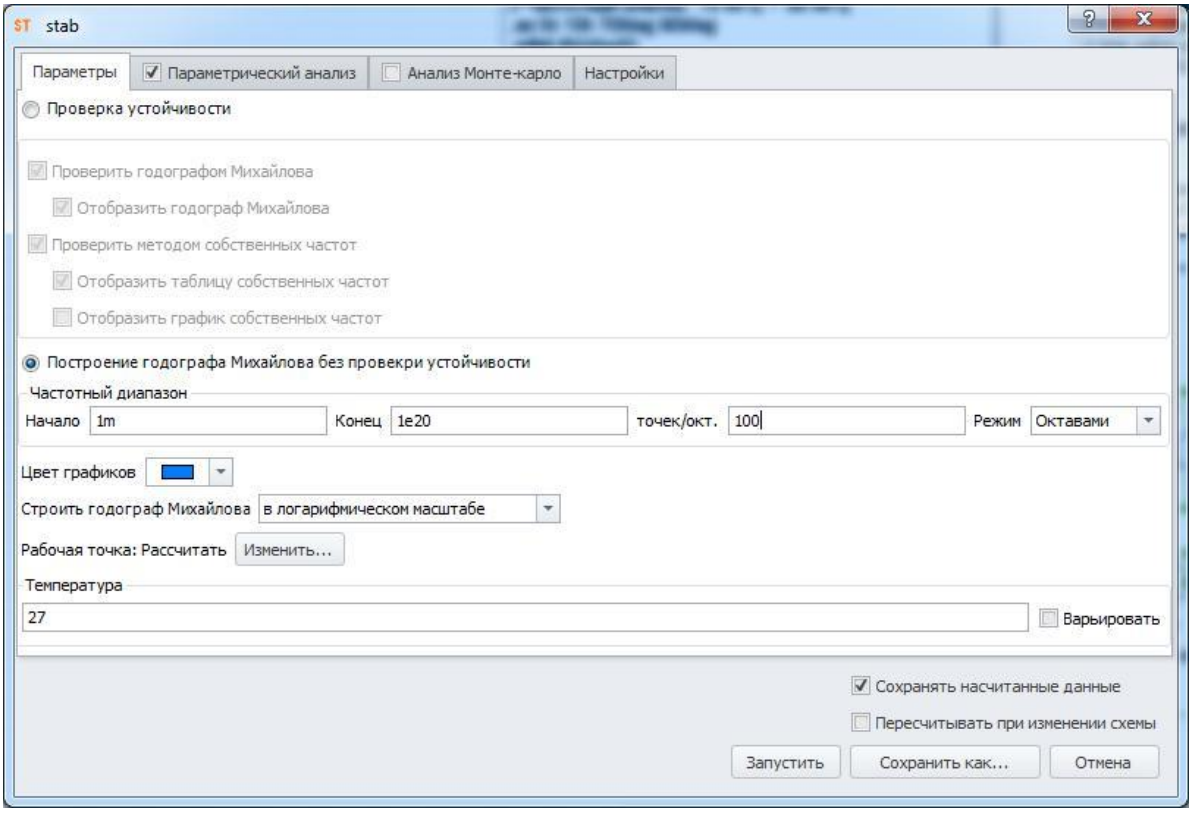


Рис. 15.2.2 Задание параметров анализа устойчивости схемы

Таблица 15.2.1 Параметры симуляции анализа устойчивости схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Автоматическая проверка устойчивости		
Критерий Михайлова	Произвести анализ устойчивости по критерию Михайлова	Вкл.
Отобразить годограф Михайлова	Отображает в указанном масштабе кривую Михайлова на комплексной плоскости	Вкл.
Собственные частоты	Произвести анализ устойчивости расчётом собственных частот схемы	Вкл.
Отобразить таблицу собственных частот	Отображать рассчитанные собственные частоты схемы в таблице	Выкл.
Отобразить график собственных частот	Отображать расположение рассчитанных собственных частот схемы на комплексной плоскости	Выкл.
Построение годографа Михайлова		
Частотный диапазон		
От	Начальная частота варьирования	1m Hz
До	Конечная частота варьирования	1e12 Hz
С шагом	Определяет: • величину шага приращения частоты для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения частоты; • точные значения частоты, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком	100 точек на декаду
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	декадами
Строить годограф Михайлова		

В логарифмическом масштабе	Кривая Михайлова строится на комплексной плоскости в логарифмическом масштабе	Вкл.
В линейном масштабе	Кривая Михайлова строится на комплексной плоскости в линейном масштабе	Выкл.
Цвет графиков	выбор цвета годографа	
Рабочая точка		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах **.IC**, **.NODESET**	Вкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будет загружена рабочая точка, предварительно рассчитанная в Расчёте Рабочей Точки и сохраненная в соответствующий файл.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE **.IC** и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.3 Окно параметров симуляции.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE **.NODESET** и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующем диалоговом окне. Подробнее см. §7.4 Настройки симуляции.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Параметрический анализ**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке **Анализ Монте-Карло**. Подробнее см. главу 16 Многовариантные типы анализа схем.	Выкл.

Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе **Варьировать температуру** предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	
С шагом	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.

После окончания анализа устойчивости схемы результаты выводятся на вкладку **Симуляции**. На схему при этом выводятся значения токов, напряжений и параметров компонентов соответствующие проверяемой рабочей точки:

- отображать потенциалы узлов – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать потенциалы узлов**;
- отображать токи ветвей – кнопка панели инструментов **View** или **Меню#Вид#отображать токи**.

Просмотр состояния схемы на момент окончания анализа устойчивости доступен в окне **Вид#Текущие значения**. В нём можно смотреть паспорт любого компонента, переменные схемы, а также выражения от них.
Вывести информацию о текущем состоянии схемы можно также, используя команду **Симуляция#Вывод текущих значений**. (См. подробнее §22.3 Вывод текущих значений)

15.3 Пример выполнения анализа устойчивости схемы

Рассмотрим пример выполнения анализа устойчивости схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example1\sel.ssch**. Схема представляет собой преселектор дециметровых волн.

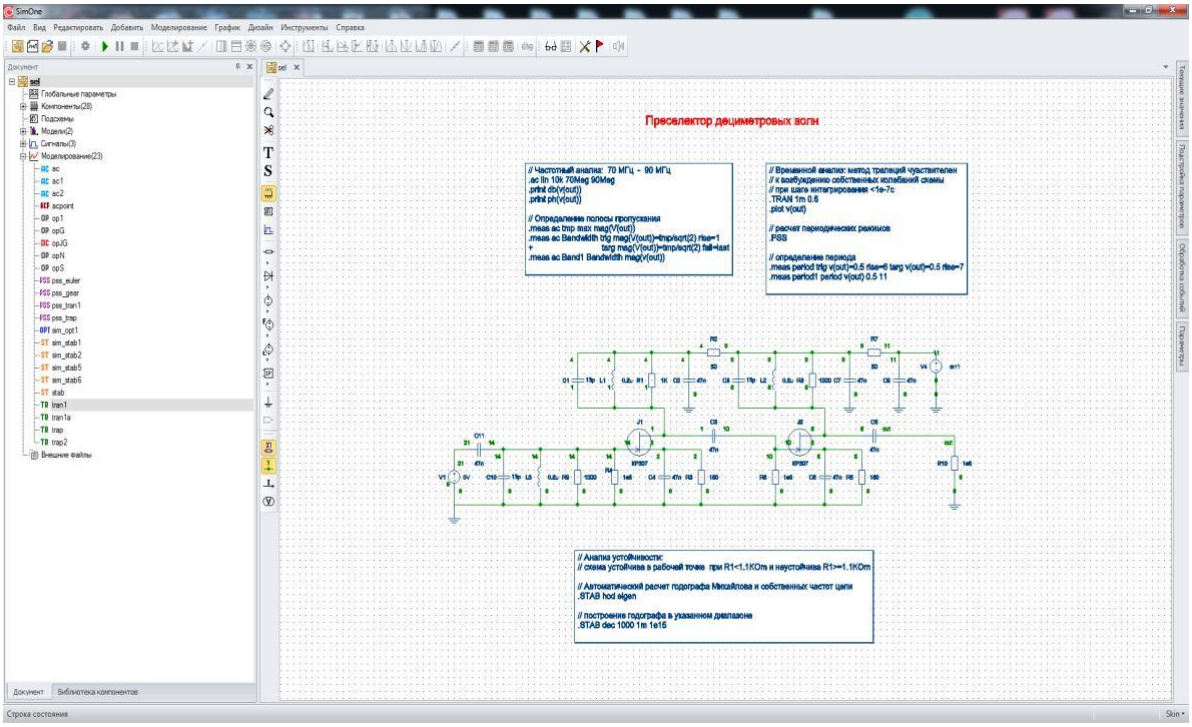
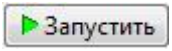


Рис. 15.3.1 Схема Преселектора дециметровых волн sel.ssch

Выберите в окне проекта симуляцию **stab** и нажмите кнопку 

окна задания параметров симуляции.

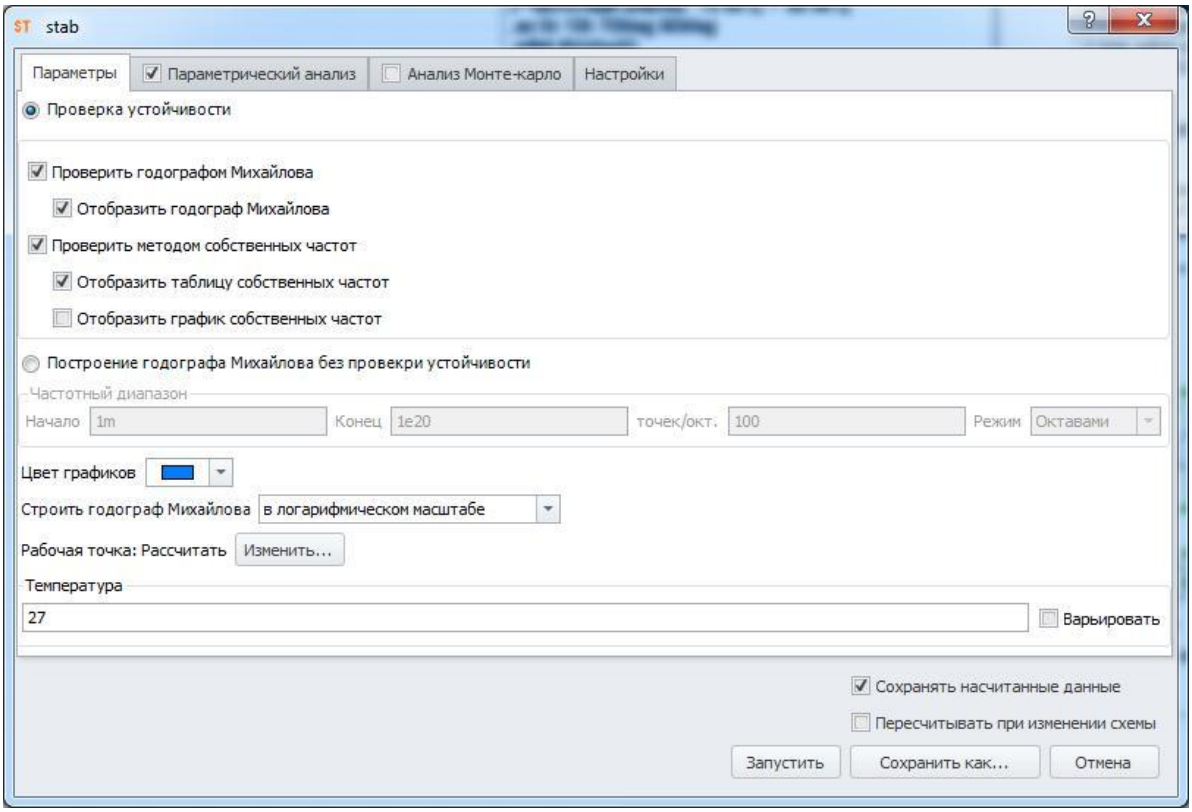


Рис. 15.3.2 Окно параметров симуляции

Программа произведёт следующие действия:

- расчитает рабочую точку схемы,
- проверит устойчивость методом годографа Михайлова
- нарисует годограф в полярной системе координат (рис. 15.3.3)
- рассчитает собственные частоты схемы и отобразит их в таблице (рис. 15.3.4)

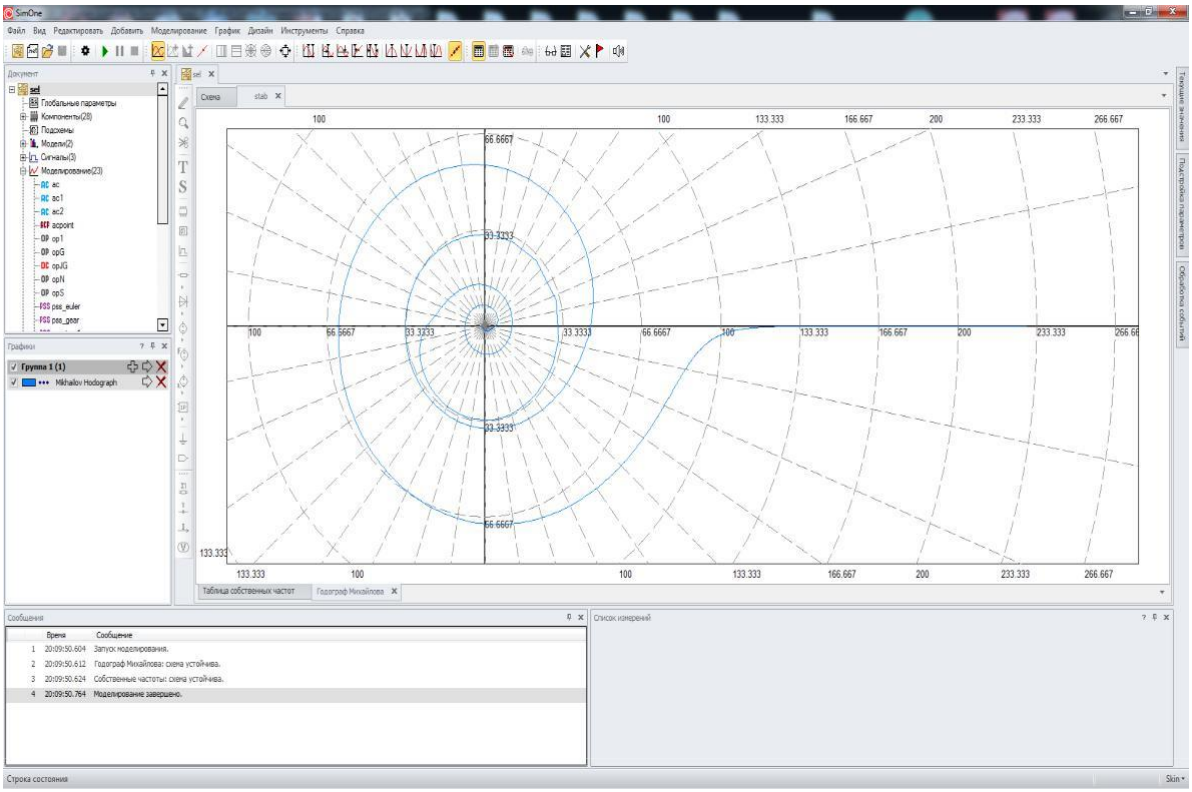


Рис. 15.3.3 Годограф Михайлова схемы

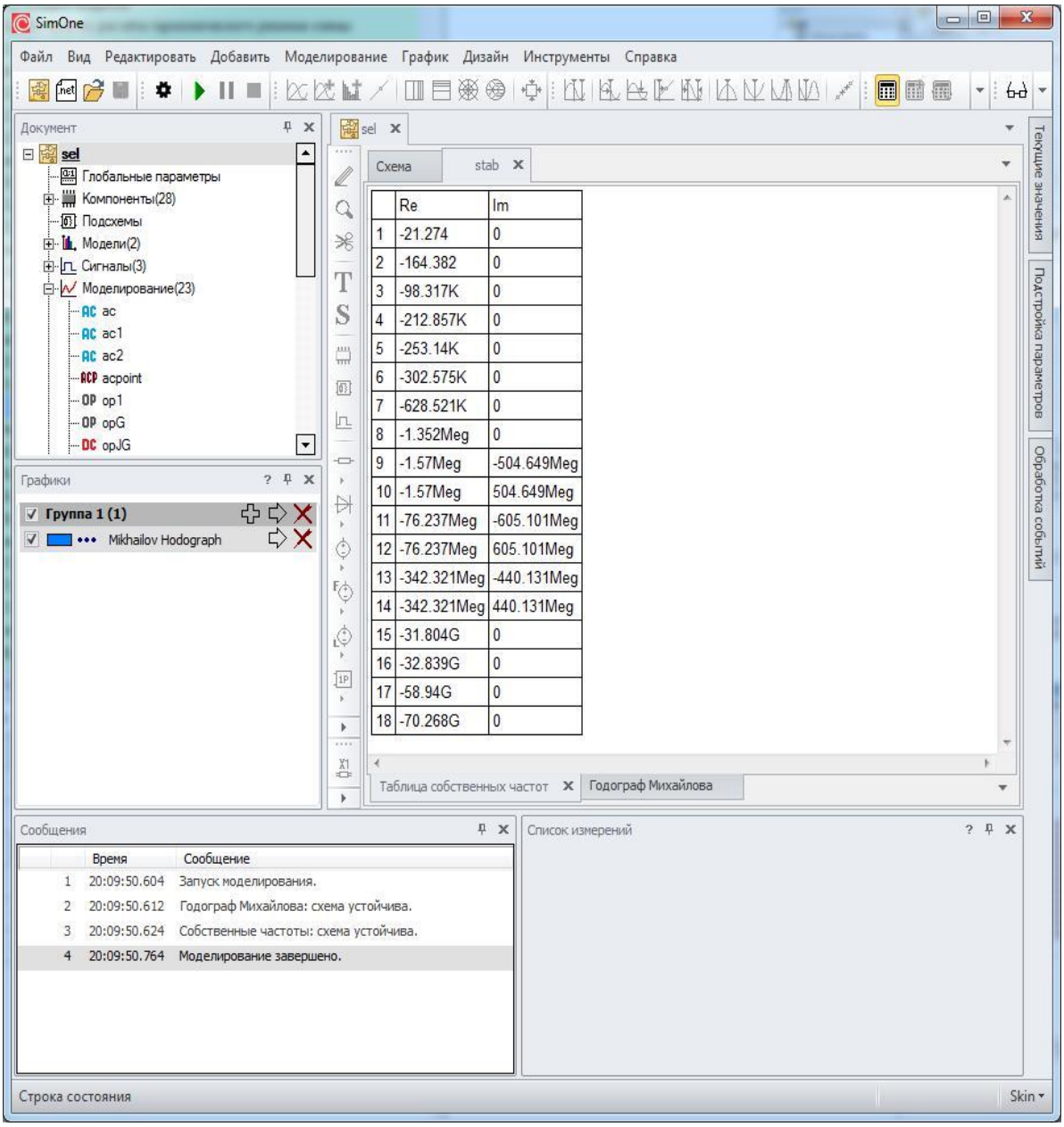


Рис. 15.3.4 Таблица собственных частот схемы

Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) вызовет последующую автоматическую проверку устойчивости схемы выбранными методами, перерисовку годографа Михайлова и обновление данных в таблице собственных частот.

16 Многовариантные типы анализа схем

16.1 Общие сведения

Многие виды анализа схемы могут быть запущены многократно при изменении различных параметров схемы (параметрический анализ, анализ Монте-Карло, анализ худшего случая), температуры (температурный анализ). Для каждого значения варьируемых параметров проводится выбранный анализ схемы с построением семейств графических характеристик или таблиц.

К таким видам анализа относятся:

- анализ передаточных функций по постоянному току,
- частотный анализ,
- анализ переходных процессов,
- анализ периодических процессов,
- анализ устойчивости схемы

Все типы многовариантных анализов схемы могут быть запущены совместно.

16.2 Температурный расчёт схемы

Задать варьирование температуры схемы при проведении основных видов анализа можно следующими способами:

- Командой SPICE **.TEMP** в SPICE-нетлисте схемы, если схема задана в виде SPICE-нетлиста;
- Командой SPICE **.TEMP** в компоненте SPICE-текст, добавленном на схему в схемотехническом редакторе (см. §3.17 SPICE-блоки);
- Выбором опции **Варьировать температуру** на основной вкладке окна задания симуляции (рис.15.2.1).

SPICE-формат

.TEMP <список значений температур>
Значения задаются в градусах Цельсия.

Примеры:

```
.TEMP 27

.TEMP –20 0 10 20  27 60
```

Настройки варьирования температуры

Запуск расчётов при варьировании рабочей температуры схемы можно осуществить с помощью установки флага **Варьировать температуру** на основной вкладке окна задания симуляции, указав при этом диапазон изменения температуры, способ изменения, количество значений.

Тип варьирования температуры может быть следующий:

- линейно с указанным шагом,
- декадами с определённым количеством точек на декаду,
- октавами с определённым количеством точек на декаду,
- списком – указываются точные значения температуры, при которых делаются расчёты.

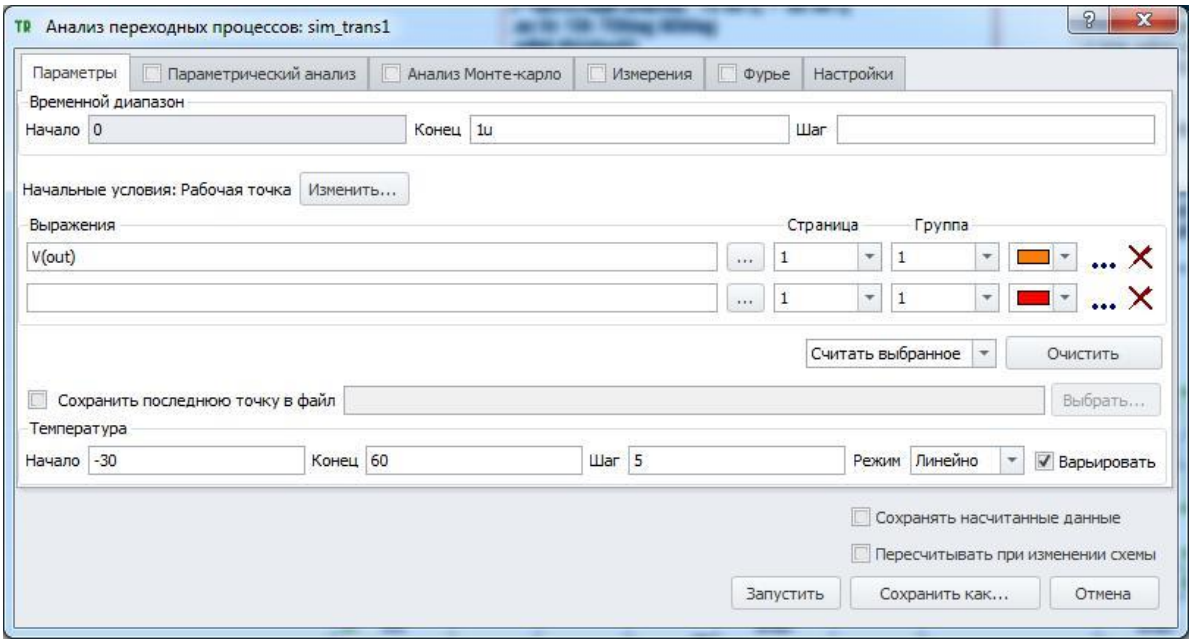


Рис. 16.2.1 Задание температурного анализа схемы

Запуск каждого расчёта схемы для текущего значения температуры производится в отдельном потоке, таким образом, в температурном анализе схемы используются технологии параллельных вычислений и поддержка многоядерных систем. Максимальное количество параллельных потоков настраивается с помощью опции «**Максимальное количество потоков симуляции**» в настройках программы: **Инструменты#Настройки#Общие**.

16.3 Параметрический анализ схемы

Основные типы анализа схемы могут быть запущены многократно при изменении различных параметров схемы. Этими параметрами могут быть:

- параметр отдельного элемента схемы,
- параметр модели компонентов,
- параметр сигнала источников,
- глобальный параметр. Параметр, который может входить в выражения, используемые для задания параметров элементов схемы, моделей, сигналов. Определяется с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров: **Редактировать#Глобальные параметры**.

Задать варьируемые параметры можно следующими способами:

- командой SPICE **.STEP** в SPICE-нетлисте схемы, если схема задана в виде SPICE-нетлиста;
- командой SPICE **.STEP** в компоненте SPICE-текст, добавленном на схему в схемотехническом редакторе (см. §3.17 SPICE-блоки);
- на вкладке **Параметрический анализ** окна задания симуляции (рис.16.3.1).

SPICE-формат

.STEP LIN <имя варьируемого параметра>
+ <начальное значение> <конечное значение> <шаг приращения>
.STEP [DEC |OCT] <имя варьируемого параметра>
+ <начальное значение> <конечное значение> <количество точек>
.STEP <имя варьируемого параметра> LIST <список значений>

Примеры:

```
.STEP Vin 0 1 0 1
.STEP LIN R1 100 30010
.STEP DEC NPN Qmod(IS) 1e-18 1e-15 10
.STEP TEMP LIST -20 0 10 20 27 60
.STEP DEC PARAM GAIN 1K 1Meg 10
```

Настройки вкладки «Параметрический анализ»

Пример задания варьируемых параметров приведён на рис. 16.3.1, описание настроек вкладки **Параметрический анализ** приведено в таблице 16.3.1:

Таблица 16.3.1 Параметры настроек папки Параметрический анализ

Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
От	Начальная граница интервала варьирования выбранного параметра	
До	Конечная граница интервала варьирования выбранного параметра	
С шагом	Определяет: • величину максимального шага приращения варьируемого параметра для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения варьируемого параметра; • точные значения варьируемого параметра, при которых будет сделан расчёт, если указан способ его изменения – списком	
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	Линейно
Синхронное варьирование	Включает синхронное варьирование параметров	Выкл.
Очистить список	Производит очистку заполненного списка варьируемых параметров	

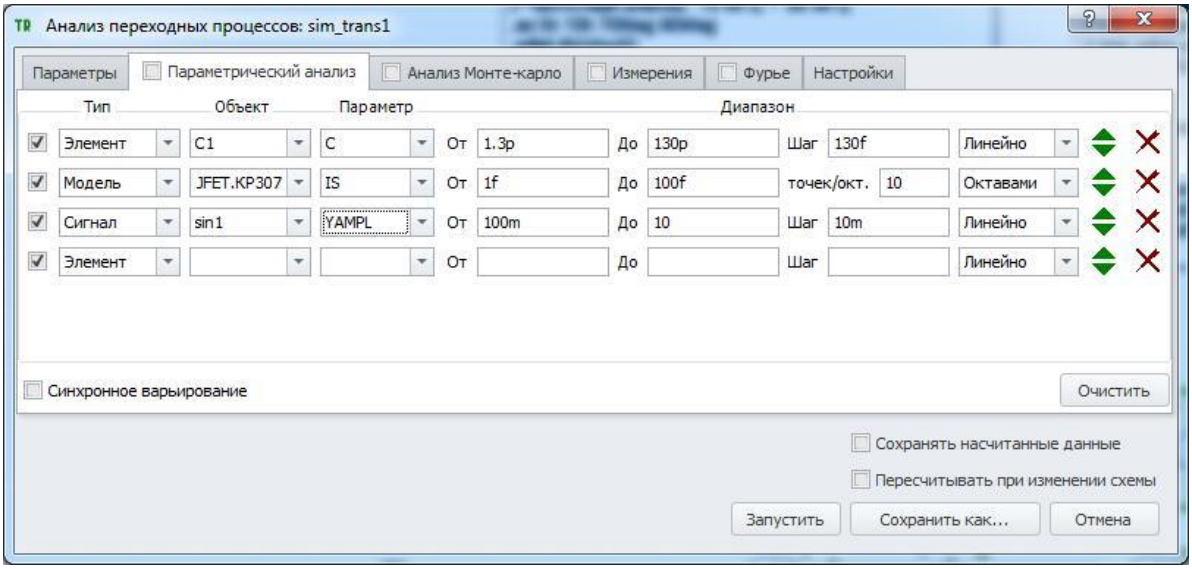


Рис. 16.3.1 Пример задания параметрического анализа схемы

Варьирование нескольких заданных параметров может осуществляться как последовательно, так и синхронно, этот способ варьирования устанавливается опцией **Синхронное варьирование**. При последовательном запуске общее число запусков параметрического расчёта определяется как произведение числа запусков по каждому варьируемому параметру. При синхронном запуске число стартов расчёта равно минимальному числу запусков по каждому варьируемому параметру.

Для старта параметрического анализа схемы следует выбрать опцию **Проводить параметрический анализ** на основной вкладке окна задания симуляции. Запуск каждого расчёта схемы для текущего значения варьируемого параметра производится в отдельном потоке, таким образом, в параметрическом анализе схемы используются технологии параллельных вычислений и поддержка многоядерных систем. Максимальное количество параллельных потоков настраивается с помощью опции **Максимальное количество потоков симуляции** в настройках программы: **Инструменты#Настройки#Общие**.

16.4 Анализ Монте-Карло и наихудшего случая

Анализ Монте-Карло позволяет производить анализ схемы с учётом разброса параметров её компонентов. Этими параметрами могут быть:

- параметр отдельного элемента схемы,
- параметр модели компонентов,
- параметр сигнала источников,
- глобальный параметр. Параметр, который может входить в выражения, используемые для задания параметров элементов схемы, моделей, сигналов. Определяется с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров: **Редактировать#Глобальные параметры**.

Для каждого из перечисленных параметров схемы могут быть заданы диапазон разброса и закон распределения.

Анализ Монте-Карло производится, если для всех параметров выбран вероятностный закон распределения. Он многократно повторяет анализ схемы при изменении её параметров по указанному закону. Анализ наихудшего случая производится, если для всех параметров выбран граничный закон распределения – Wcase или AWCase. В этом случае на каждом запуске расчёта варьируемый параметр будет принимать только граничные значения.
Если для одних параметров выбраны вероятностные, а для других - граничные законы распределения, то производится "смешанный" тип статистического анализа.

Задать варьируемые параметры можно следующими способами:

- командой SPICE **.MC** в SPICE-нетлисте схемы, если схема задана в виде SPICE-нетлиста;
- командой SPICE **.MC** в компоненте SPICE-текст, добавленном на схему в схемотехническом редакторе (см. §3.17 SPICE-блоки);
- на вкладке **Анализ Монте-Карло** окна задания симуляции (рис.16.4.1).

Результатами расчётов при всех типах анализа являются полученные семейства графиков схемы, а также гистограммы распределения исследуемых характеристик.

Для проведения статистических расчётов схем в **SimOne**

- указываются компоненты схемы, которые будут изменяться, диапазон варьирования их параметров и закон распределения плотности вероятности;
-

с помощью механизма Измерений (см. главу 21 Измерения) выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска статистического расчёта программа заданное количество раз будет изменять значения выбранных варьируемых параметров согласно указанным законам, после чего запускать соответствующий анализ схемы, получая значения требуемых характеристик. После проведённого расчёта программа построит гистограммы распределения этих характеристик.

SPICE-формат

.MC <количество запусков> <тип анализа схемы> <выражение1> <выражение2>...<имя измерения1> <имя измерения2> ...

<количество запусков> – количество запусков расчетов схемы заданных <типом анализа схемы>;
<тип анализа схемы> – тип анализа схемы, который будет запускаться при варьировании параметров схемы;
<выражение1><выражение2> ... – выражения, для которых будут построены графики;
<имя измерения1> <имя измерения2> ... – имена измерений, созданных с помощью команды **.MEAS[URE]**, для которых будут построены гистограммы распределений

Примеры:

```
.MC 100 tran V(out) I(Rн) Vmax
Imax .MC 10 ac db(V(Rн)) Band1 .MC
100 dc I(Rн) Imax
```

Настройки вкладки «Анализ Монте-Карло»

Пример задания варьируемых параметров приведён на рис. 16.4.1, описание настроек вкладки **Анализ Монте-Карло** приведено в таблице 16.4.1:

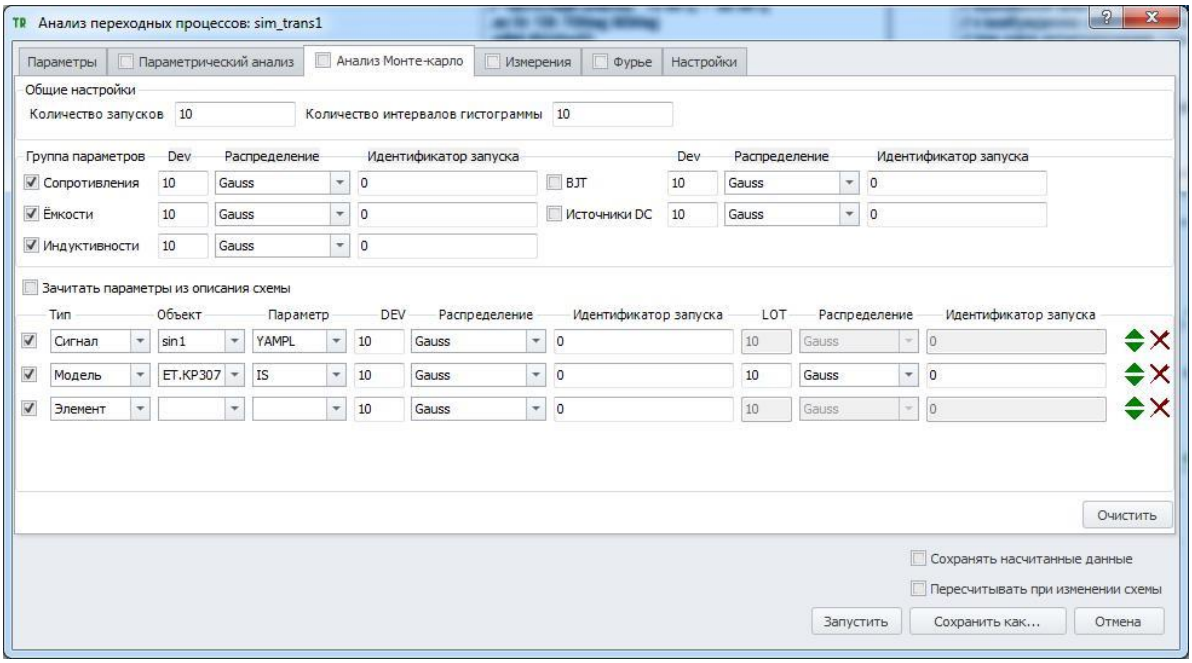


Рис. 16.4.1 Пример задания статистического анализа схемы

Таблица 16.4.1 Параметры окна задания статистического анализа

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие параметры		
Количество запусков	Количество запусков указанных расчётов схемы при изменении параметров.	10
Количество интервалов гистограмм	Определяет число, на которое будут разбиты гистограммы. Если указан 0, то количество интервалов будет задано формулой 1+Log2(Количество запусков)	10
Групповое варьирование		
Тип группы	Для группового варьирования доступны следующие группы компонентов: • Сопротивления резисторов. • Емкости конденсаторов • Индуктивности	Выкл.

Зачитать параметры из схемы	При включённом флаге происходит чтение значений всех варьируемых параметров, заданных с помощью полей LOT и DEV в описании их моделей.	Выкл.
	Варьирование индивидуальных параметров	
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM**, **.DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
DEV	Значение девиации параметра компонента в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCase.	10%
Распределение	Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы: • Uniform – равномерное распределение в относительных значениях. • AUniform – равномерное распределение в абсолютных значениях. • Gauss – нормальное распределение в относительных значениях. • AGauss – нормальное распределение в абсолютных значениях. • WCase – худший случай. Значения считаются относительными и берутся только на границах интервала допуска. •	Gauss

	AWCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска.	
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
LOT	Значение девиации модельного параметра в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCase.	10%
Распределение	Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы: • Uniform – равномерное распределение в относительных значениях. • AUniform – равномерное распределение в абсолютных значениях. • Gauss – нормальное распределение в относительных значениях. • AGauss – нормальное распределение в абсолютных значениях. • WCase – худший случай. Значения считаются относительными и берутся только на границах интервала допуска. • AWCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска.	Gauss
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0

После запуска статистического расчёта программа создаёт вкладку с именем симуляции, на которую выводятся графики симуляций, используемых для получения значения измерений, а также их гистограммы. В отдельном окне выводится следующая статистическая информация:

- наибольшее значение измерения,

- наименьшее значение измерения,
- среднее значение измерения,
- медиана измерения,
- среднее квадратичное отклонение измерения,
- дисперсия измерения,
- среднее отклонение измерения.

Как и с обычной симуляцией, статистический расчёт можно остановить, приостановить или же продолжить соответствующими кнопками панели **Симуляции**.

17 Анализ чувствительности

17.1 Общие сведения

Анализ чувствительности измерений предназначен для определения тех компонентов схемы, параметры которых оказывают наибольшее влияние на ее выходные характеристики.

Анализ чувствительности обычно предшествует оптимизации схемы, позволяя существенно ограничить круг варьируемых параметров схемы и тем самым повысить скорость и эффективность оптимизации. Также анализ чувствительности позволяет выделить компоненты схемы, разброс параметров которых может оказать существенное влияние на ее характеристики. Таким образом, его результаты используются в анализе Монте-Карло/наихудшего случая схемы.

В качестве инструмента оценки влияния параметров схемы на ее характеристики используются функции чувствительностей – абсолютные и нормированные. Абсолютная чувствительность является производной выходной характеристики схемы (Измерения) по проверяемому параметру:

Абс. Чувств. = dMeas/dPar,

Нормированные чувствительность определяется следующим образом:

Норм. Чувств. = dMeas/dPar * Par/100%,

где **Par** – номинальное значение варьируемого параметра, **Meas** – значение Измерения при номинальных значениях всех варьируемых параметров.

В SimOne производная заменяется конечной разностью – используется небольшое приращение варьируемого параметра и вычисляется приращение выходной характеристики. Оценка чувствительности считается как отношение соответствующих приращений.

Небольшое приращение варьируемого параметра **dPar** задается в **SimOne** следующим образом:

dPar = V*Par,если Par<>0
dPar = V, если Par=0.

где **V** – Относительное отклонение – задается в настройках анализа схемы и по умолчанию равно 1e–6.

Для расчета чувствительностей измерений в SimOne:

- указываются компоненты схемы и их параметры, чувствительность к изменениям которых будет рассчитываться.
- С помощью механизма **Измерений** (см. главу 21 Измерения) выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска расчета чувствительностей программа сначала запустит соответствующие виды анализа схемы при номинальных значениях параметров, а затем последовательно будет запускать расчеты при отклонении каждого из них от своего номинального значения на заданное значение. После проведенного расчета программа выведет численные значения чувствительностей и гистограммы их относительных значений.

17.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы

На рис. 17.2.1 приведено окно задания параметров анализа чувствительности схемы. Описание панелей и полей окна приведено в таблице 17.2.1. Пользователь может запустить симуляцию (кнопкой Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

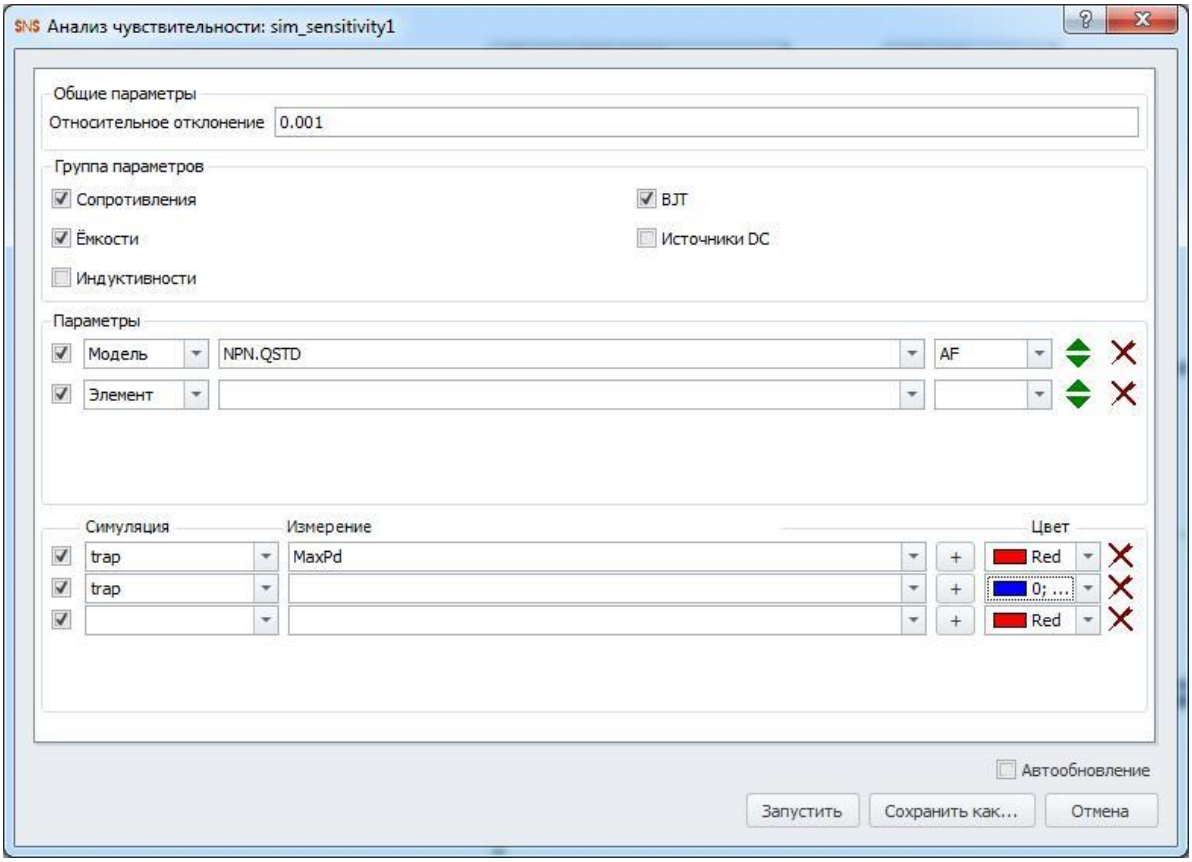


Рис. 17.2.1 Пример задания анализа чувствительности схемы

Таблица. 17.2.1 Параметры симуляции анализа чувствительности схемы по постоянному току

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие		
Относительное отклонение	Величина относительного отклонения варьируемого параметра.	1e–2
Параметры		
Тип	Выбор параметра, по которому рассчитывается:	Элемент

	• Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Варьируется модельный параметр для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Варьируется сигнальный параметр для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд .param, .define, либо в окне задания глобальных параметров.	
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
Измерения		
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	
+	Возможность добавить новое измерение, по которому будет производиться оптимизации	
	Удалить измерение	
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать Симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск Симуляции происходит при передаче фокуса вкладке Симуляции.	Выкл.

Так же, как и с обычной симуляцией, процесс оптимизации можно остановить, приостановить или продолжить соответствующими кнопками на панели **Симуляция**.

17.3 Пример выполнения расчета чувствительности схемы

Рассмотрим пример расчета рабочей точки для схемы из примеров **SimOne**:

Файл#Открыть примеры… Examples\SPICE Benchmark\ECL Inverter (ECL) (рис. 17.3.1)

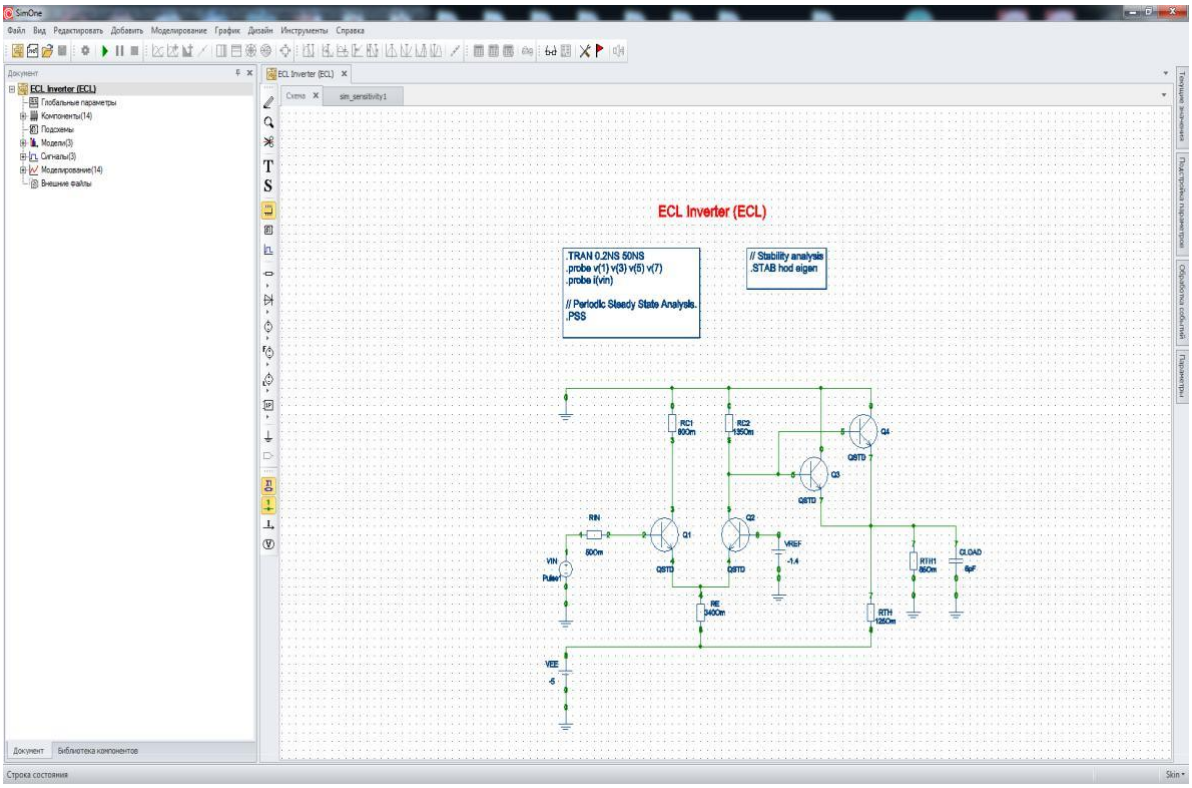


Рис. 17.3.1 Схема ECL Inverter (ECL)

Выбираем меню **Симуляция#Расчет чувствительности по току…** В открывшемся окне (рис. 17.3.2) задаём параметры схемы и измерения, чувствительности которых будут рассчитаны.

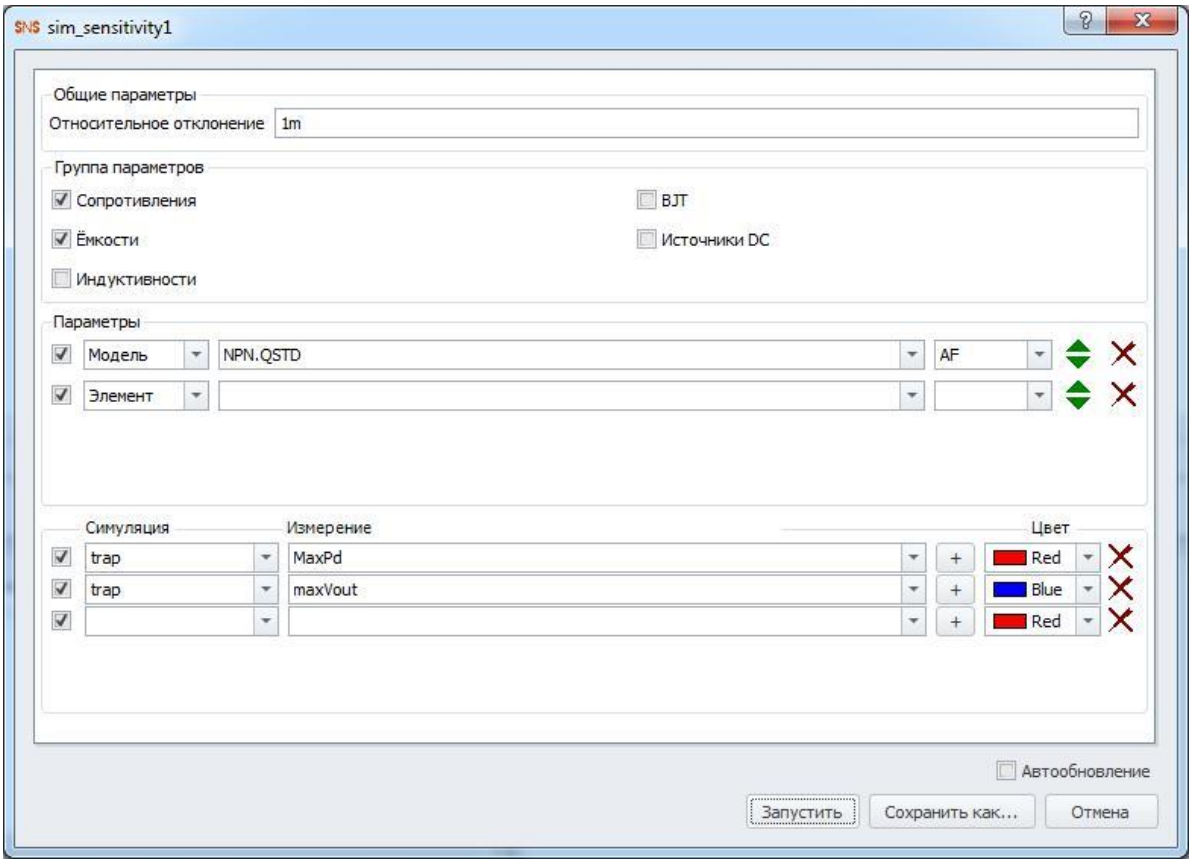


Рис. 17.3.2 Окно параметров симуляции

После нажатия кнопки

программа произведет расчет чувствительностей и выведет результат в таблицу (рис. 17.3.3).

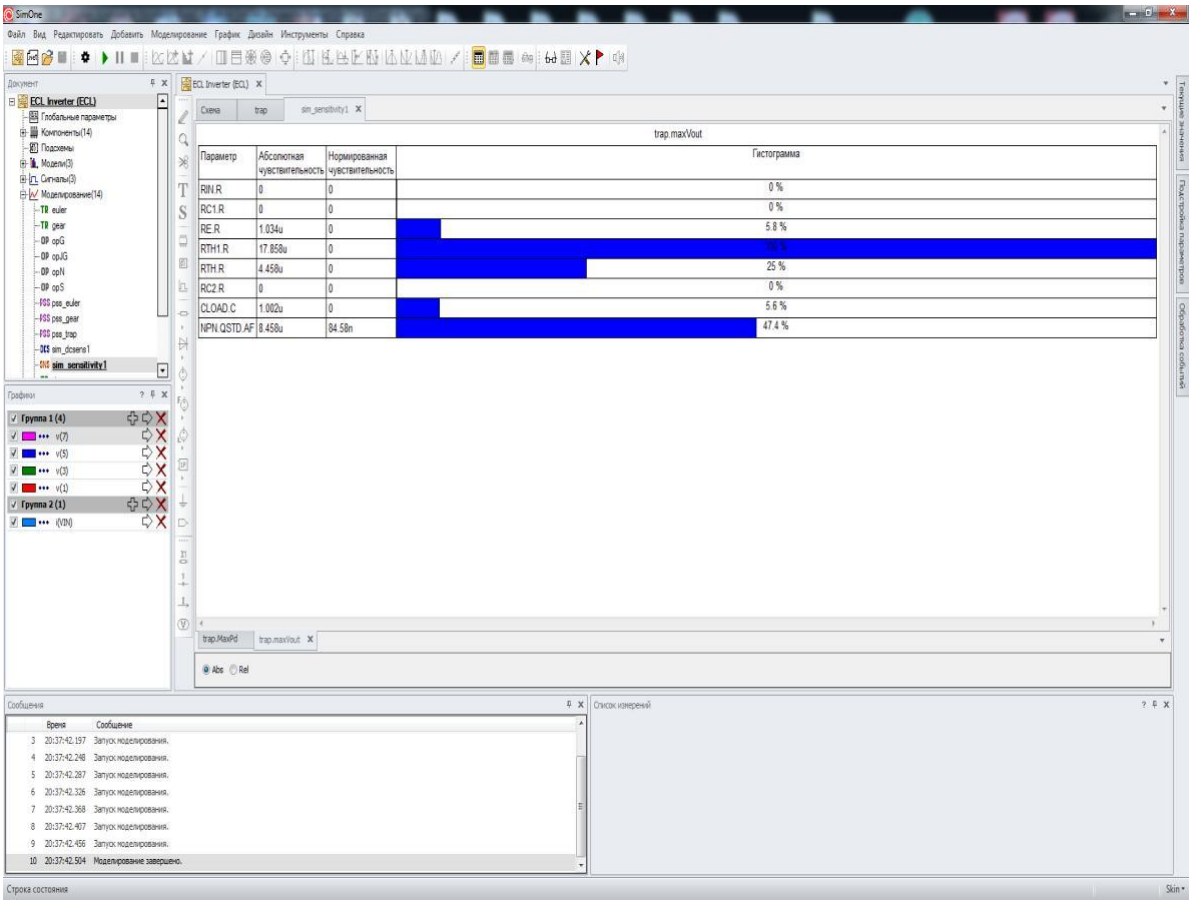


Рис. 17.3.3 Результат расчёта чувствительностей измерений схемы

Результаты расчета чувствительностей сгруппированы по заданным измерениям и представлены на соответствующих вкладках.

В таблице представлены значения абсолютных и нормированных чувствительностей. Сравнительные гистограммы отображаются для указанного типа чувствительности. Изменить режим отображения гистограмм можно с помощью кнопки соответствующей кнопки переключения.

Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) будет вызывать последующий автоматический перерасчет чувствительностей характеристик схемы.

18 Оптимизация

18.1 Общие сведения

SimOne даёт возможность оптимизировать схемы. Параметрическая оптимизация необходима для проведения настройки характеристик схем на заданные значения с помощью изменения параметров её компонентов. Также оптимизация используется для нахождения таких значений параметров компонентов, при которых характеристики схемы достигают максимальных или минимальных значений, например, максимальный коэффициент усиления на заданной частоте, минимальное значение полосы пропускания фильтра и т.п.

Для проведения оптимизации схем в **SimOne**:

1. Указываются компоненты схемы, которые можно изменять и пределы варьирования их параметров.
2. В режиме **Подгонка измерений**: с помощью механизма Измерений (см. главу 21 Измерения) выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо улучшать или контролировать.
3. В режиме **Подгонка кривой** указываются текстовый файл, содержащий точки графика, и выражение, значения которого будут подгоняться к значениям указанного графика.
4. Выбирается алгоритм проведения оптимизации.

После запуска процесса оптимизации программа, согласно выбранному алгоритму, будет упорядоченным образом менять указанные параметры компонентов схемы, чтобы максимально удовлетворить выбранным критериям оптимизации схемы: привести к максимуму или к минимуму заданные характеристики, либо ограничить их в указанном диапазоне, в зависимости от того, что будет выбрано пользователем.

18.2 Интерфейс оптимизации схемы

На рис. 18.2.1–18.2.3 показано окно задания параметров оптимизации схемы. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

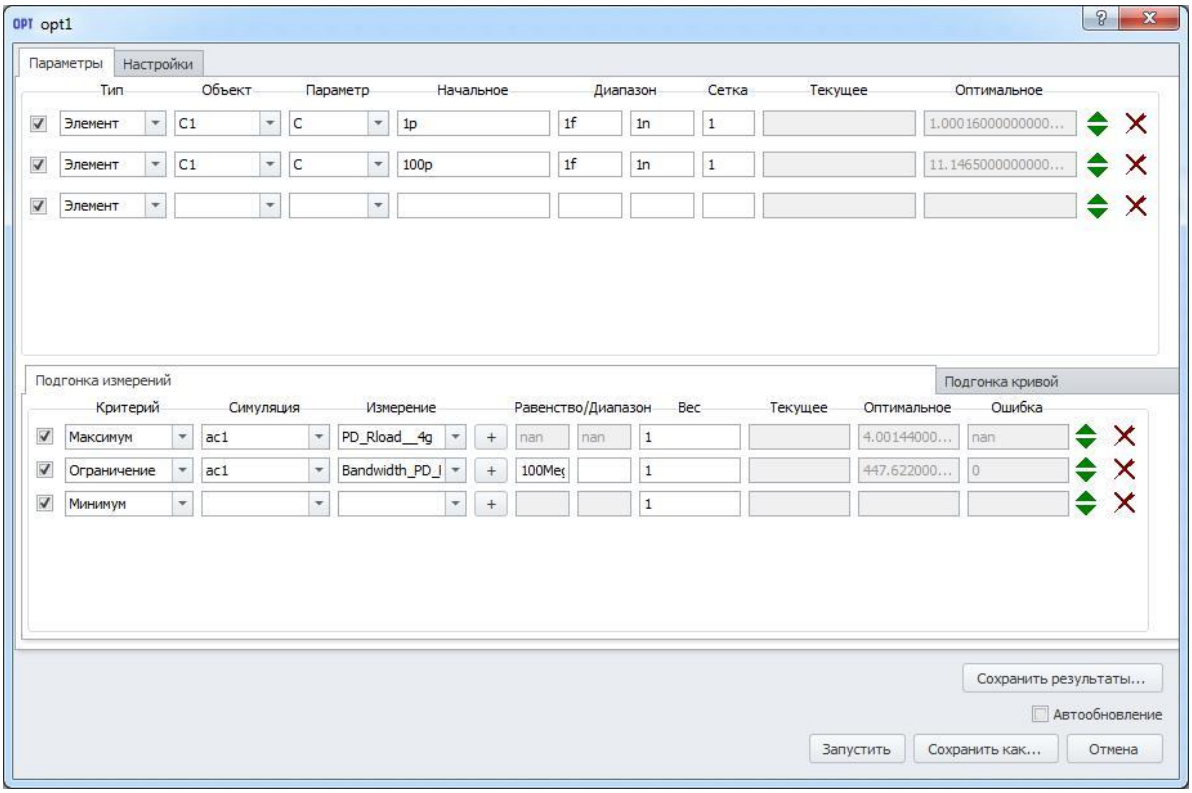


Рис. 18.2.1 Пример задания оптимизации схемы. Подгонка измерений

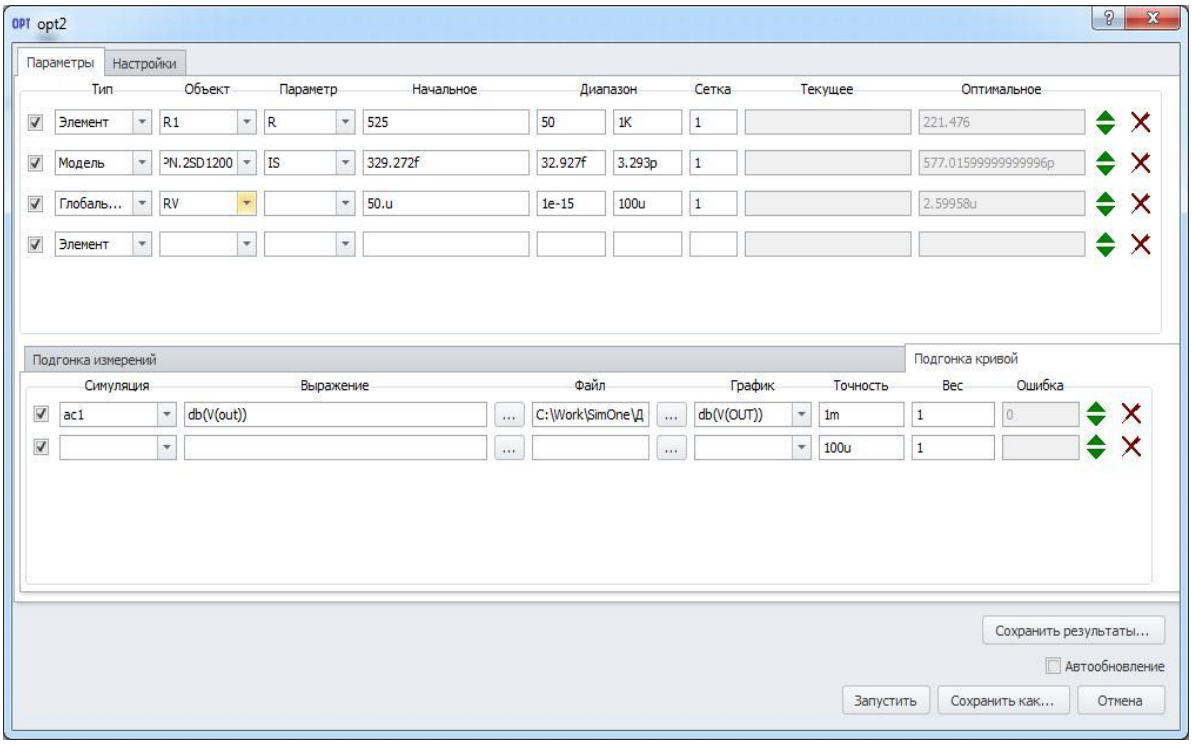


Рис. 18.2.2 Пример задания оптимизации схемы. Подгонка кривой

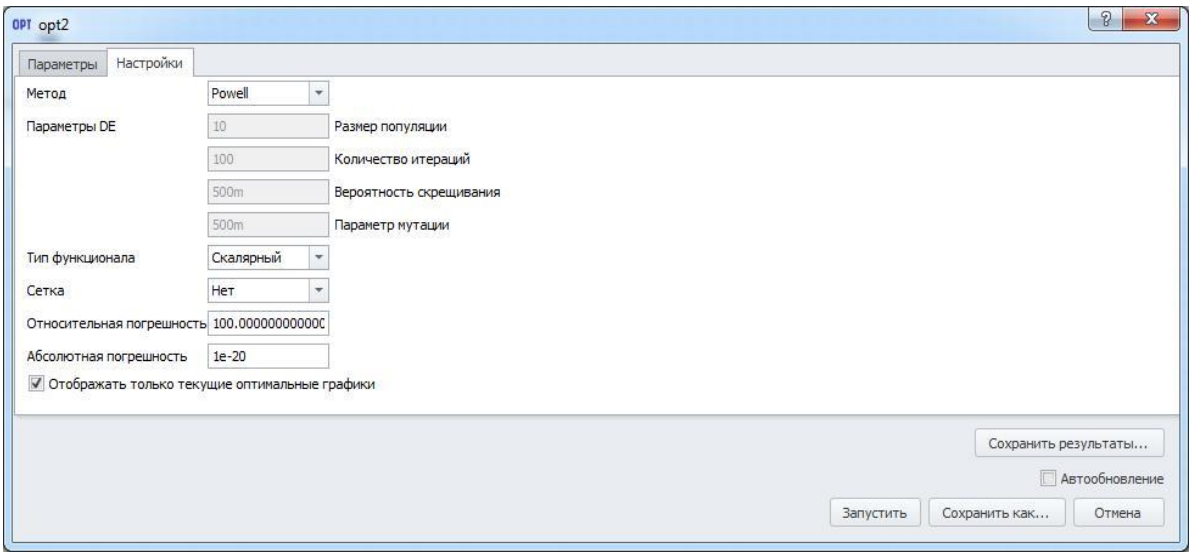


Рис. 18.2.3 Пример задания оптимизации схемы. Настройки

Таблица 18.2.1 Параметры симуляции окна оптимизации схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Варьируемые переменные		
Тип	Выбор компонента варьирования:	Элемент

- Элемент. Одиночный элемент схемы
- Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью.
- Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом.
- Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM, .DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.

Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
Начальное значение	Начальное значение параметра	Текущее значение
Нижняя граница	Нижняя граница интервала варьирования выбранного параметра	Текущее значение/10
Верхняя граница	Верхняя граница интервала варьирования выбранного параметра	Текущее значение*10
Сетка	Доступна, если выбраны опции **Сетка** или **Подобласти** в **Настройках оптимизации.**	Текущее значение/100
Текущее значение	Значение параметра на текущем шаге оптимизации	
Оптимальное значение	Значение параметра, оптимальное на текущий момент процесса оптимизации	

Критерии

Подгонка измерений

Критерий	Выбор типа критерии оптимизации: • Максимум. Будет осуществляться поиск максимального значения указанной характеристики. • Минимум. Будет осуществляться поиск минимального значения указанной характеристики. • Равенство. Характеристика будет устремляться к заданному значению. •	Максимум

	Ограничение. Характеристика будет ограничиваться заданным диапазоном.	
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	
+	Возможность добавить новое измерение, по которому будут идти оптимизации	
Равенство/Диапазон	Поля ввода значений при проверке на Равенство или Ограничения выбранного измерения	
Вес	Значение весового коэффициента текущего критерия	1
Текущее значение	Значение выбранного измерения на текущем шаге оптимизации	
Оптимальное значение	Значение выбранного измерения, оптимальное на текущий момент процесса оптимизации	
Ошибка	Разность в процентах между оптимальным значением и указанным Равенством/ Диапазоном	
Подгонка кривой		
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.	
+	Возможность добавить новое выражение, которое будет подгоняться к заданной кривой.	
Файл	Текстовый файл формата **csv**, который содержит точки графиков.	
График	График, к которому подгоняется выражение	
Точность	Точность, с которой программа будет добиваться совпадения графиков выражения и эталонного графика кривой	

Вес	Значение весового коэффициента текущего критерия	1
Ошибка	Среднеквадратичная ошибка совпадения графиков выражения и эталонного графика кривой	
Дополнительно		
Применить	Кнопка **Применить** меняет значения параметров схемы на оптимальные после окончания процесса оптимизации	Выкл.
Сохранить результаты	Сохраняет результаты оптимизации в текстовый файл	Выкл.
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.
Вкладка Настройки		
Метод	Выбор метода оптимизации: • Nelder-Mead. Оптимизация по методу Нелдера-Мида. • Powell. Поиск глобального оптимума по методу Пауэлла. • DE.	Powell
Тип функционала	Выбор типа функционала оптимизации: • Скалярный. • Векторный	Скалярный
Сетка	Использование сетки для указанных алгоритмов оптимизации: • Сетка. В этом случае вся область оптимизации делится равномерной сеткой на части; из каждого узла сетки проводится оптимизация по выбранному алгоритму. • Подобласти. В этом случае вся область оптимизации делится равномерной сеткой на подобласти оптимизации,	Нет

	и в каждой подобласти проводится оптимизация по выбранному алгоритму.	
Относительная погрешность	Относительная погрешность оптимизации	100u
Абсолютная погрешность	Абсолютная погрешность оптимизации	1e–20
Отображать только текущие оптимальные графики	Если включено, то на вкладках симуляций отображаются графики только тех шагов оптимизации, на которых их характеристики имеют значения, приближающееся к оптимальным. Если выключено, то на вкладках симуляций отображаются графики всех шагов.	Вкл.

После запуска процесса оптимизации программа создаёт вкладку с именем симуляции, на которую выводятся графики симуляций, используемых для получения значения измерений – критериев, по которым ведется оптимизация. При этом окно задания параметров на оптимизацию остается открытым, а в поля этого окна выводятся результаты процесса оптимизации:

- текущее значение критерия оптимизации,
- оптимальное значение критерия,
- текущее значение параметра схемы,
- оптимальное значение параметра схемы,
- ошибка – отклонение оптимизируемого критерия от желаемого,
- ошибка – отклонение оптимизируемого выражения от заданной кривой.

Как и с обычной симуляцией, процесс оптимизации можно остановить, приостановить или продолжить соответствующими кнопками панели **Симуляции**.

18.3 Пример выполнения оптимизации схемы

В качестве примера проведения оптимизации схемы возьмём следующую задачу: найти значение величины нагрузки, при котором в неё передаётся максимальная мощность от источника (рис. 18.3.1).

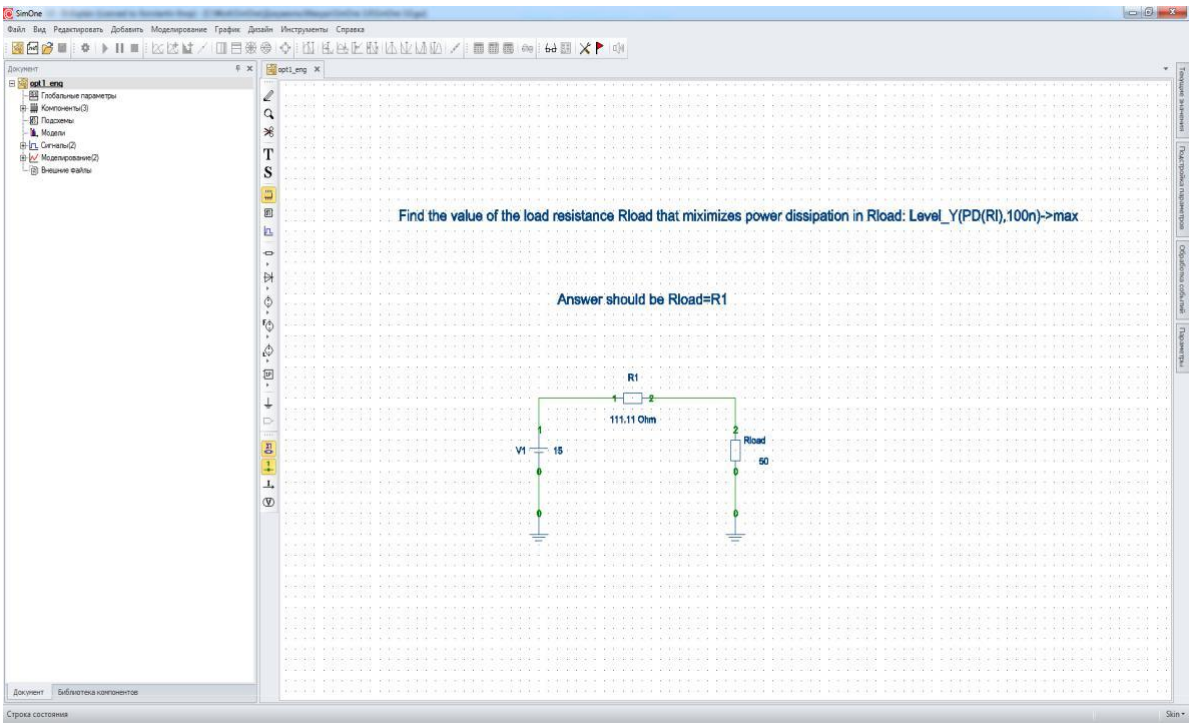


Рис. 18.3.1 Схема для оптимизаторв

Решение этой задачи хорошо известно: искомая величина нагрузки должна быть равна внутреннему сопротивлению источника R1. Выбираем меню **Симуляция#Оптимизация…** В окне задания параметров для оптимизации схемы (рис. 18.3.2) в качестве параметра варьирования выбираем Rн и его параметр R, устанавливаем допустимый диапазон варьирования.

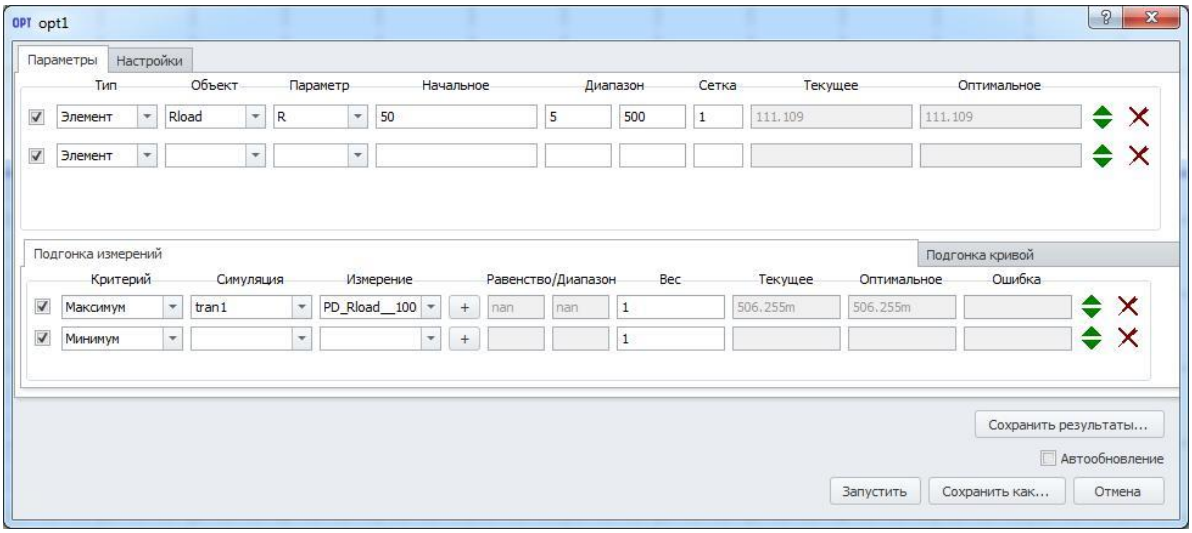
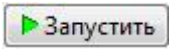


Рис. 18.3.2 Окно параметров симуляции

В качестве оптимизационного критерия будем искать максимум значения мощности на нагрузке в точке 100ns. При запуске оптимизации посредством нажатия кнопки



окна задания параметров симуляции программа согласно указанным на вкладке настроек алгоритмам произведет поиск требуемого максимума. Результат расчёта выводится в поля **Текущее значение** и **Оптимальное значение** вкладки **Параметры**, а также в поля **Текущее значение** и **Оптимальное значение** измерения (рис. 18.3.3).

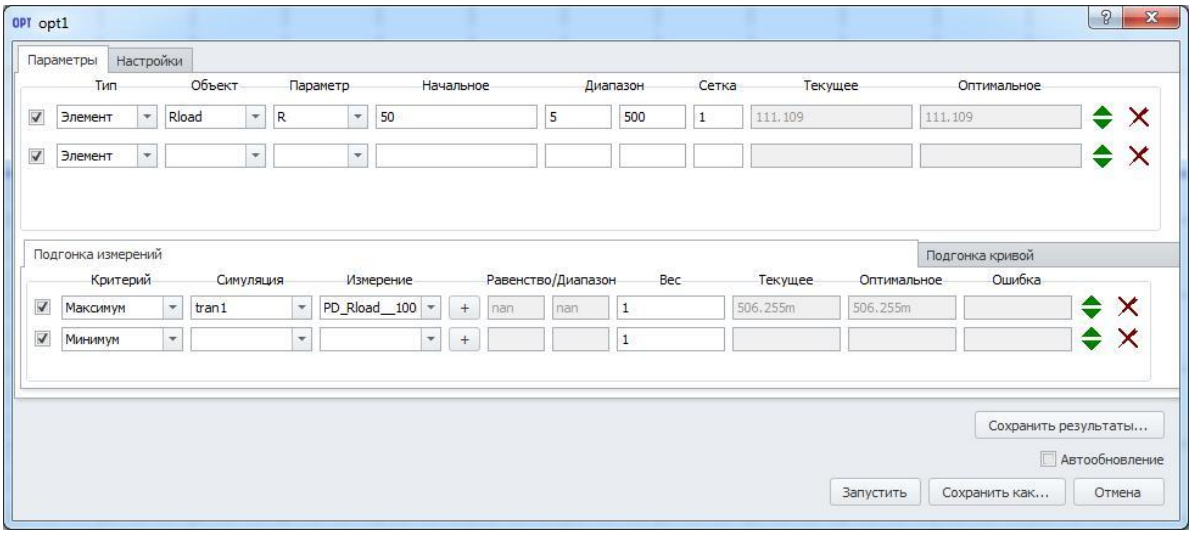


Рис. 18.3.3 Результат оптимизации

Как видно, задача оптимизации решена с требуемой точностью – до пятого знака. Для последнего, оптимального значения параметра будет построен график мощности на нагрузке. Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление

компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) будет вызывать последующий автоматический перезапуск оптимизации схемы.

19 Анализ Монте-Карло и наихудшего случая

19.1 Общие сведения

SimOne позволяет производить анализ схемы с учётом разброса параметров её компонентов. Для любого параметра схемы (параметра отдельного элемента, параметра модели компонентов, параметра сигнала источников или глобального параметра) могут быть заданы диапазон разброса и закон распределения.

Анализ Монте-Карло производится, если для всех параметров выбран вероятностный закон распределения. Он многократно повторяет анализ схемы при изменении её параметров по указанному закону. Анализ наихудшего случая производится, если для всех параметров выбран граничный закон распределения – Wcase или AWCase. В этом случае на каждом запуске расчёта варьируемый параметр будет принимать только граничные значения.
Если для одних параметров выбраны вероятностные, а для других - граничные законы распределения, то производится "смешанный" тип статистического анализа.

Результатами расчётов при всех типах анализа являются полученные семейства графиков схемы, а также гистограммы распределения исследуемых характеристик.

Для проведения статистических расчётов схем в **SimOne**

- указываются компоненты схемы, которые будут изменяться, диапазон варьирования их параметров и закон распределения плотности вероятности;
- с помощью механизма Измерений (см. главу 21 Измерения) выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска статистического расчёта программа заданное количество раз будет изменять значения выбранных варьируемых параметров согласно указанным законам, после чего запускать соответствующие виды анализа схемы, получая значения требуемых характеристик. После проведённого расчёта программа построит гистограммы распределения этих характеристик и выведет на экран статистическую информацию.

19.2 Интерфейс статистического анализа схемы

На рис. 19.2.1 приведено окно задания параметров статистического анализа схемы. Описание панелей и полей окна приведено в таблице 19.2.1. Пользователь может запустить симуляцию сразу (кнопка Запустить) либо сохранить её на диск компьютера с удобным ему именем (кнопка Сохранить...).

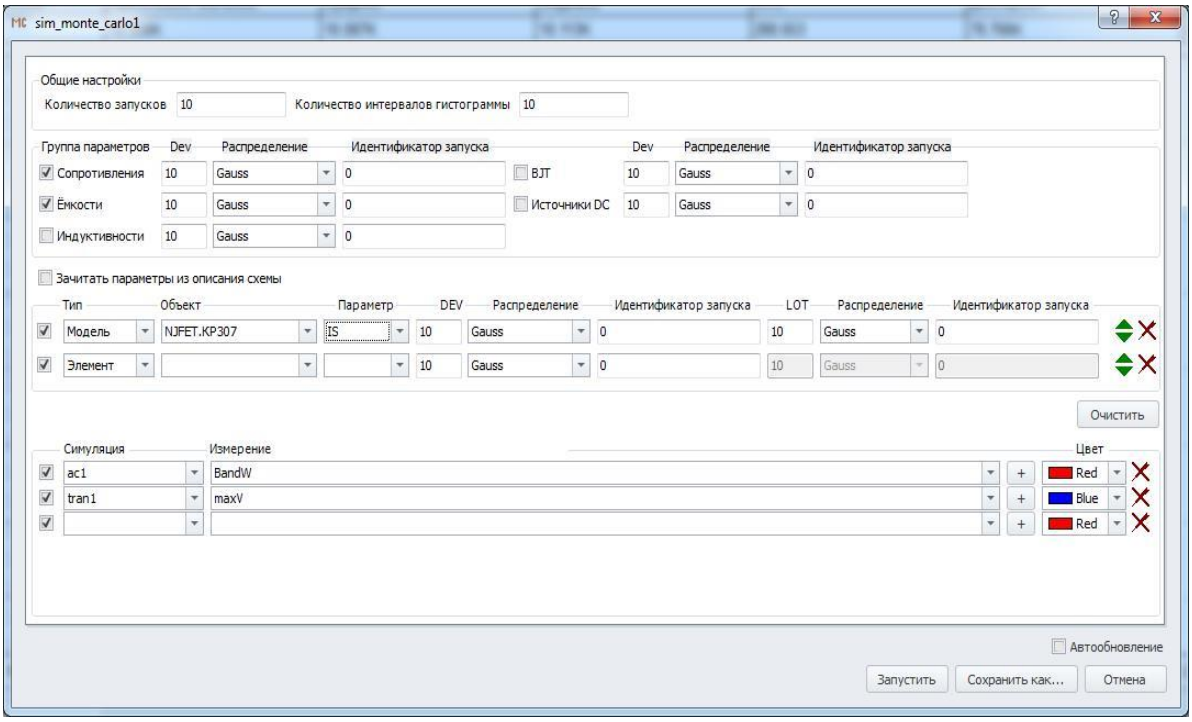


Рис. 19.2.1 Пример задания статистического анализа схемы

Таблица 19.2.1 Параметры окна задания статистического анализа

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие параметры		
Количество запусков	Количество запусков указанных расчётов схемы при изменении параметров.	10
Количество интервалов гистограмм	Определяет число, на которое будут разбиты гистограммы. Если указан 0, то количество интервалов будет задано формулой 1+Log2(Количество запусков)	10
Варьируемые переменные		

Групповое варьирование		
Тип группы	Для группового варьирования доступны следующие группы компонентов: • Сопротивления резисторов. • Емкости конденсаторов • Индуктивности	Выкл.
Зачитать параметры из схемы	При включённом флаге происходит чтение значений всех варьируемых параметров, заданных с помощью полей LOT и DEV в описании их моделей.	Выкл.
Варьирование индивидуальных параметров		
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд **.PARAM**, **.DEFINE**, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	
DEV	Значение девиации параметра компонента в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCase.	10%
Распределение	Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы: • Uniform – равномерное распределение в относительных значениях. • AUniform – равномерное распределение в абсолютных значениях.	Gauss

	• Gauss – нормальное распределение в относительных значениях. • AGauss – нормальное распределение в абсолютных значениях. • WCase – худший случай. Значения считаются относительными и берутся только на границах интервала допуска. • AWCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска.	
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
LOT	Значение девиации модельного параметра в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCase.	10%
Распределение	Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы: • Uniform – равномерное распределение в относительных значениях. • AUniform – равномерное распределение в абсолютных значениях. • Gauss – нормальное распределение в относительных значениях. • AGauss – нормальное распределение в абсолютных значениях. • WCase – худший случай. Значения считаются относительными и берутся только на границах интервала допуска. • AWCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска.	Gauss

Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
Измерения и Гистограммы		
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	
+	Добавление нового измерения, по которому будет производиться оптимизации	
Окно	Окно графика, в которое будет выводиться график выражений и переменных для расчета указанного измерения	
Группа	Группа графиков, в которую будет выводиться график выражений и переменных для расчета указанного измерения	
Дополнительно		
Пересчитывать при изменении схемы	Позволяет автоматически перезапускать симуляцию при изменении исходной схемы. Перезапуск симуляции происходит при передаче фокуса вкладке **Симуляции**.	Выкл.

После запуска статистического расчёта программа создаёт вкладку с именем симуляции, на которую выводятся графики симуляций, используемых для получения значения измерений, а также их гистограммы. В отдельном окне выводится следующая статистическая информация:

- наибольшее значение измерения,
- наименьшее значение измерения,
- среднее значение измерения,
- медиана измерения,
- среднее квадратичное отклонение измерения,
- дисперсия измерения,
- среднее отклонение измерения.

Как и с обычной симуляцией, статистический расчёт можно остановить, приостановить или же продолжить соответствующими кнопками панели **Симуляции**.

19.3 Пример выполнения анализа Монте-Карло

Рассмотрим пример расчёта переходного процесса схемы из примеров **SimOne**: **Файл#Открыть примеры… Examples\Example1\ sel.ssch**. Схема представляет собой преселектор дециметровых волн.

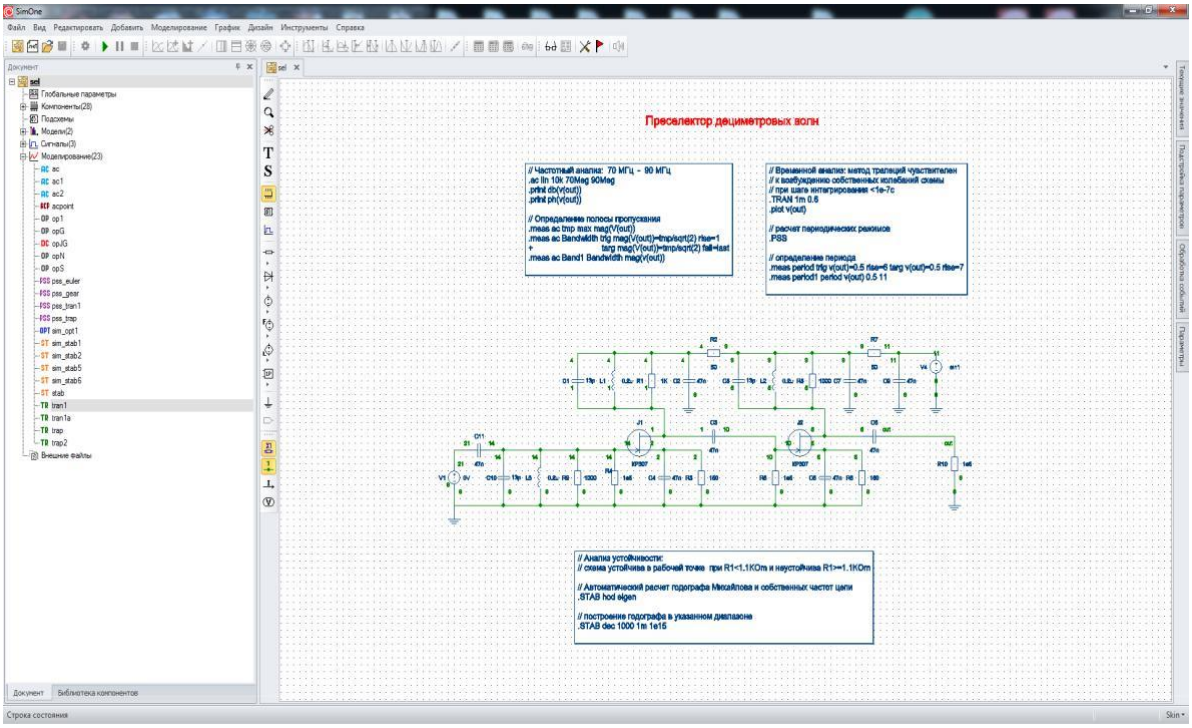


Рис. 19.3.1 Схема Преселектора дециметровых волн sel.ssch

Выбираем меню **Симуляция#Статистический анализ…** В окне задания параметров для статистического анализа схемы (рис. 19.3.2) в качестве параметров варьирования выбираем резистор R9 и его параметр R, гармонический сигнал источника напряжения с варьируемой амплитудой, модель полевого транзистора с варьируемым параметром IS.

Устанавливаем для каждого параметра допустимые относительные отклонения 10% и выбираем нормальный закон распределения плотности вероятности. В качестве интересующих характеристик схемы выберем максимум выходного напряжения в переходном процессе схемы и ширину полосы пропускания. Установим количество запусков расчёта Монте-Карло – 100.

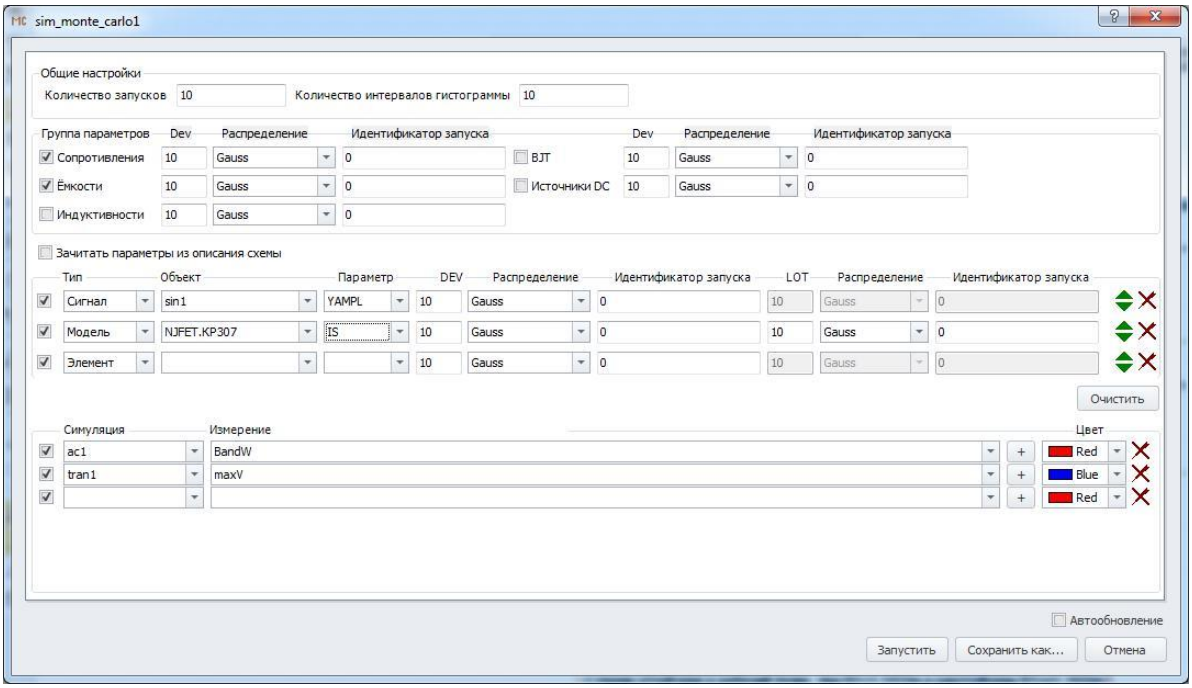
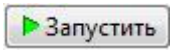


Рис. 19.3.2 Окно параметров симуляции

При запуске расчёта нажатием кнопки 

окна задания параметров симуляции программа произведёт 100 запусков расчёта переходного процесса и частотных характеристик схемы и получит 100 значений указанных измерений. Результаты расчёта в виде таблиц статистической информации и гистограммы сгруппированы по заданным измерениям и представлены на соответствующих вкладках. (рис. 19.3.3).

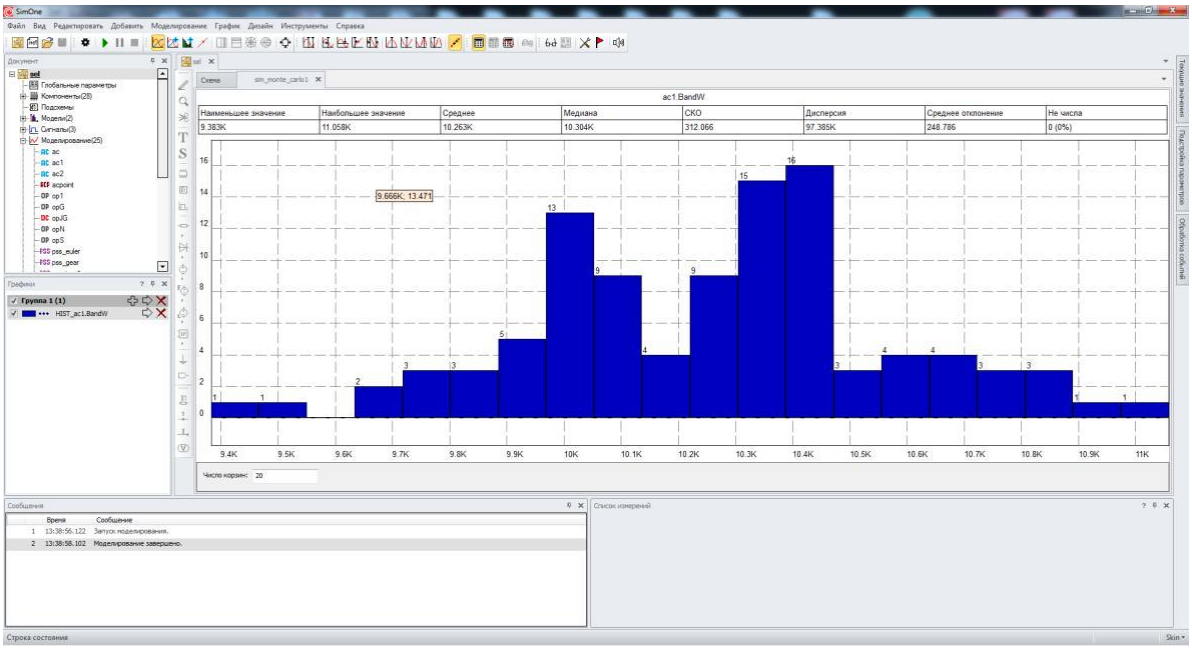


Рис. 19.3.3 Метод Монте-Карло. Статистическая информация и гистограмма

Если выбрать пункт **Пересчитывать при изменении схемы** в окне задания параметров симуляции, то любое изменение схемы (добавление или удаление компонентов, соединений, редактирование параметров моделей и сигналов) будет вызывать последующий автоматический перезапуск статистического расчёта схемы.

20 Просмотр и обработка результатов моделирования

20.1 Общие сведения

Результаты проведённого моделирования схемы в **SimOne** могут быть представлены в графическом, табличном и текстовом виде. После запуска выбранной симуляции для отображения и обработки её результатов программа открывает вкладку с именем выполняемой симуляции в модуле визуализации и обработки результатов моделирования (рис. 20.1.1).

Модуль визуализации и обработки результатов моделирования позволяет:

- отображать результаты моделирования;
- добавлять новые произвольные графики с помощью математических выражений;
- добавлять гистограммы распределений значений графических кривых;
- использовать функции курсоров для измерения параметров кривых;
- рассчитывать и отображать коэффициенты ряда Фурье выбранных графиков;
- производить измерения широкого набора параметров графиков;
- добавлять графики выбранных измерений как функции от варьируемых параметров схемы.

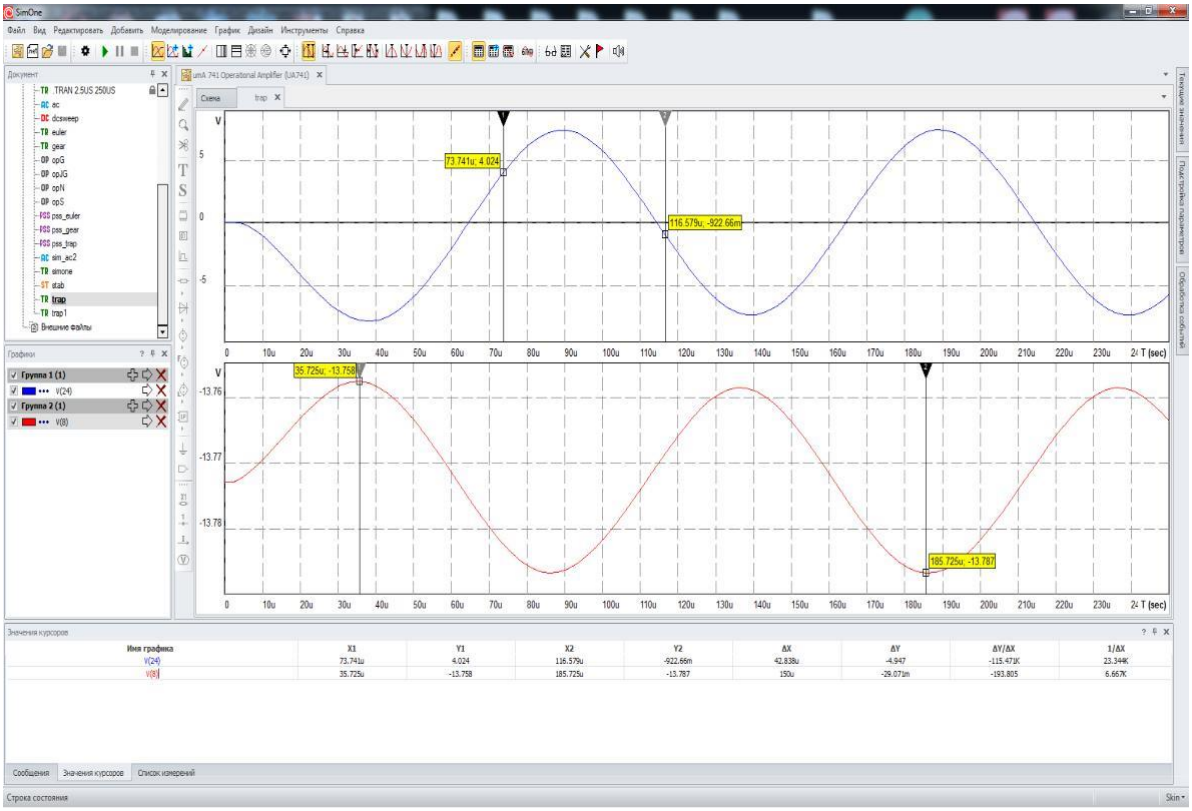


Рис. 20.1.1 Общий вид модуля визуализации и обработки результатов моделирования

Модуль визуализации и обработки результатов моделирования содержит:

-

Окно графиков. Позволяет отображать любое количество графиков. Каждая симуляция может иметь произвольное количество окон графиков, каждое окно графиков может иметь произвольное количество полей.
- Панель графиков. Содержит список отображаемых графиков.
- Панель измерений. Отображает численные значения измерений, проведённых по результатам моделирования.
- Панель курсоров. Отображает текущие координаты курсоров, а также соотношения между ними.
- Окно добавления новых графиков.
- Окно добавления новых измерений.
- Окно добавления графиков измерений.
- Окно быстрого преобразования Фурье.

Кроме собственных графиков, графический модуль **SimOne** отображает и умеет работать с графиками следующих форматов:

- LTSPICE (***.raw** файлы).
- PSPICE (***.dat**).
- HSPICE (***.sw, *.tr, *.ac**).
- Текстовые файлы (***.txt**).

Графики, представленные в графическом модуле **SimOne**, могут быть сохранены в различных форматах:

- Excel (***.xls** файлы).
- Matlab (***.m**).
- Maple (***.mw**).
- Текстовый формат (***.txt**).

20.2 Работа с графиками

В таблице 20.2.1 описаны команды, доступные при работе с графиками.

Таблица 20.2.1 Команды работы с графиками

Команда	Способ задания
Добавление нового графика	Главное меню: **График#Добавить график**. Панель инструментов: иконка
Приблизить график	Мышь: прокрутка колеса от себя. Клавиатура: кнопка «+».
Приблизить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Прокрутка колеса мыши от себя при нажатой клавише **Ctrl**.
Приблизить график по вертикальной оси – оси ординат	Прокрутка колеса мыши от себя при нажатой клавише **Shift**.
Отдалить график	Мышь: прокрутка колеса к себе. Клавиатура: кнопка «–».
Отдалить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Прокрутка колеса мыши к себе при нажатой клавише **Ctrl**.
Отдалить график по вертикальной оси – оси ординат	Прокрутка колеса мыши к себе при нажатой клавише **Shift**.
Увеличить область графика	При нажатой ЛКП – сдвинуть курсор из II квадранта в IV квадрант (слева сверху – вправо вниз).
Установить область отображения группы графиков	Главное меню: **График#Область отображения...**. Панель инструментов: иконка
Вернуть отображение графиков в исходное состояние	Мышь: двойной клик ЛКМ или при нажатой ЛКП сдвинуть курсор из IV квадранта во II квадрант (справа снизу – влево вверх). Клавиатура: клавиша F6

	Главное меню: **График#Исходный масштаб**.
Отображать/скрыть выбранный график	Кнопка на панели графиков рядом с нужным именем.
Перенести выбранный график в другую группу графиков	Кнопка на панели графиков рядом с нужным именем.
Сделать активной текущий график для работы курсоров.	Кнопка на панели графиков рядом с нужным именем.
Изменить цвет выбранного графика	Кнопка выбора цвета на панели графиков рядом с нужным именем.
Изменить толщину графиков	Главное меню: **Инструменты#Настройки#Толщина графиков**
Удалить выбранный график	Кнопка на панели графиков рядом с нужным именем.
Отобразить маркеры расчётных точек на графиках	Иконка на панели инструментов.
Логарифмировать ось X	Главное меню: **График#Режим#огарифмировать ось X**. Панель инструментов: иконка
Логарифмировать ось Y	Главное меню: **График#Режим#Логарифмировать ось Y**. Панель инструментов: иконка
Отобразить график на комплексной плоскости	Главное меню: **График#Режим#Полярные координаты**. Панель инструментов: иконка
Отобразить график на диаграмме Вольперта-Смита	Главное меню: **График#Режим#Диаграмма Смита**. Панель инструментов: иконка

Экспорт графиков

Главное меню: **График#Экспорт.**

Импорт графиков

Главное меню: **График#Импорт.**

20.3 Панель "График"

На панели списка графиков отображаются доступные (для отображения и работы) графики текущего окна вкладки результатов текущей симуляции программы.

Отображение панели списка графиков включается с помощью:

- главного меню: **График#Список графиков**;
- панели инструментов: иконка .

По умолчанию панель списка графиков отображается слева в окне графического модуля программы и имеет вид:

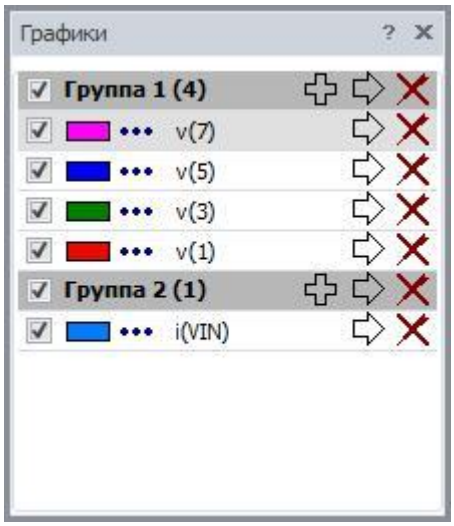


Рис. 20.3.1 Пример панели списка графиков

Панель содержит информацию об именах графиков, их цветовом представлении и номерах групп в текущем окне графика.

Панель позволяет:

- изменить группу расположения графика;
- изменить цвет графика;
- отключить отображение графика;
- удалить график с поля графиков.

Для изменения группы расположения графика следует нажать ЛКМ на кнопке , расположенной напротив имени выбранного графика, и в выпадающем списке выбрать нужную группу графиков или добавить новую. Чтобы перенести все графики текущей группы в другую или новую, следует нажать ЛКМ на кнопке , расположенной напротив имени выбранной группы.

Для изменения цвета отображения графика нажмите ЛКМ на кнопку текущего цвета , расположенную возле его имени, и в выпадающем списке выбрать нужный цвет.

Чтобы скрыть график или снова включить его отображение, используйте кнопку , расположенную напротив имени выбранного графика. Чтобы скрыть все графики группы, следует использовать кнопку , расположенную напротив имени выбранной группы.

Чтобы удалить выбранный график, нажмите ЛКМ на кнопке напротив имени графика.

Функции курсоров для текущей группы графиков осуществляются для графика, выбранного с помощью кнопки . Для графиков, построенных в частотном анализе схемы, доступно переключение шкалы и отображение на комплексной плоскости. Эта опция доступна с помощью кнопки изменения шкалы (рис. 20.3.3).

20.4 Окно добавления графиков

С помощью окна добавления графиков создаются новые типы графиков и указываются места их отображения в окне результатов текущей симуляции. Окно добавления графиков вызывается с помощью:

- главного меню: **График#Добавить график**;
- панели инструментов: иконка .

и имеет следующий вид:

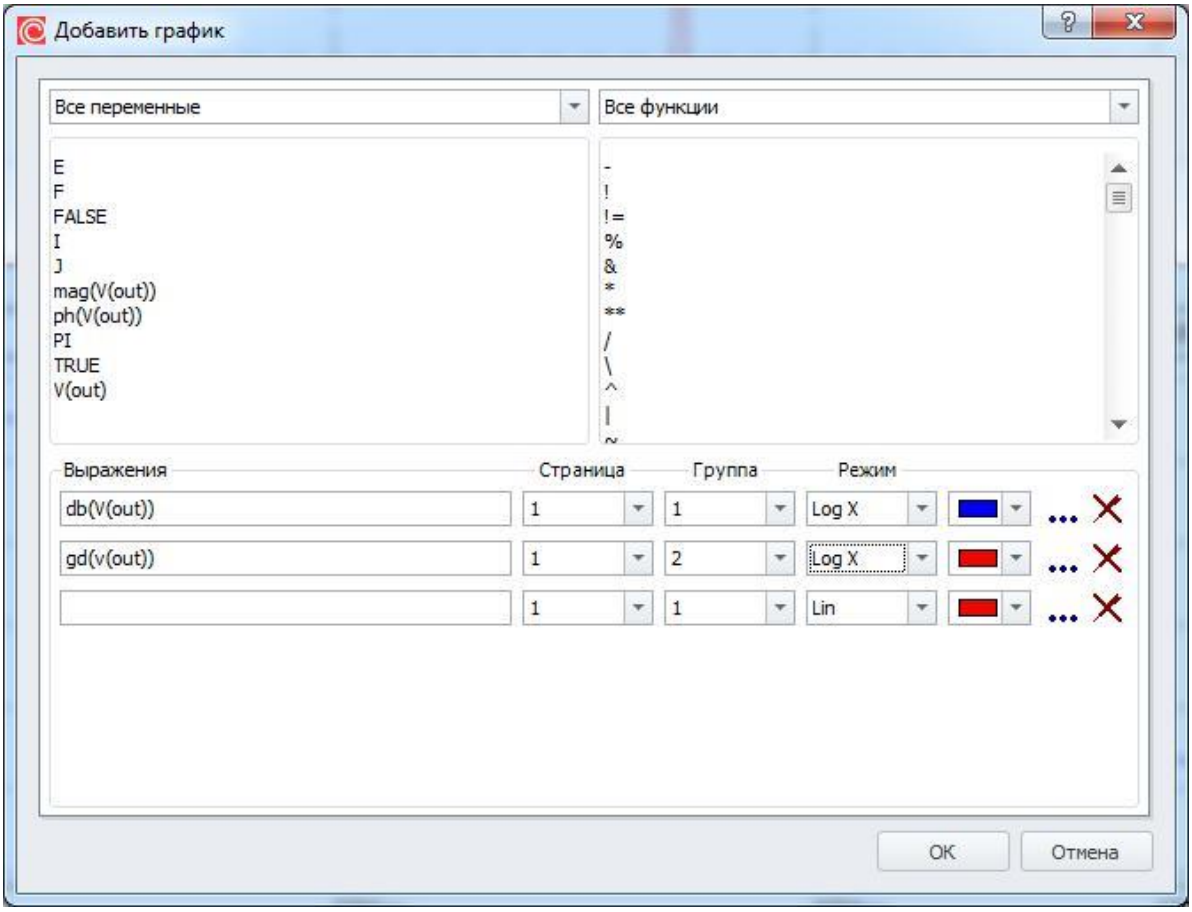


Рис. 20.4.1 Пример окна добавления новых графиков

Для добавления нового графика пользователь может сконструировать или записать вручную в поле **Выражение** любое математическое выражение с использованием предлагаемого списка переменных и функций. В качестве переменных доступны:

- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;
- независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции.

Полный список доступных математических функций с описанием приведён в §23.8 Математические функции.
Пользователь может выбрать окно (поле **Окно**) и группу (поле **Группа**), в которые будет выводиться добавляемый график.

Цвет графика выбирается из выпадающего списка доступных цветов с помощью нажатия ЛКМ на кнопку цвета , расположенную напротив выражения рядом с полем **Группа**. После нажатия на кнопку

график будет добавлен в указанную группу с именем, соответствующим введенному математическому выражению.

20.5 Окно добавления гистограмм

Гистограммы являются альтернативным способом представления результатов моделирования и показывают распределение численных значений графических кривых на интересующих интервалах в процентах.
С помощью окна добавления гистограмм создаются новые типы гистограмм и указываются места их отображения в окне результатов текущей симуляции. Окно добавления гистограмм вызывается либо с помощью меню **График#Добавить гистограмму**, либо с помощью иконки панели инструментов и имеет следующий вид (рис. 20.5.1):

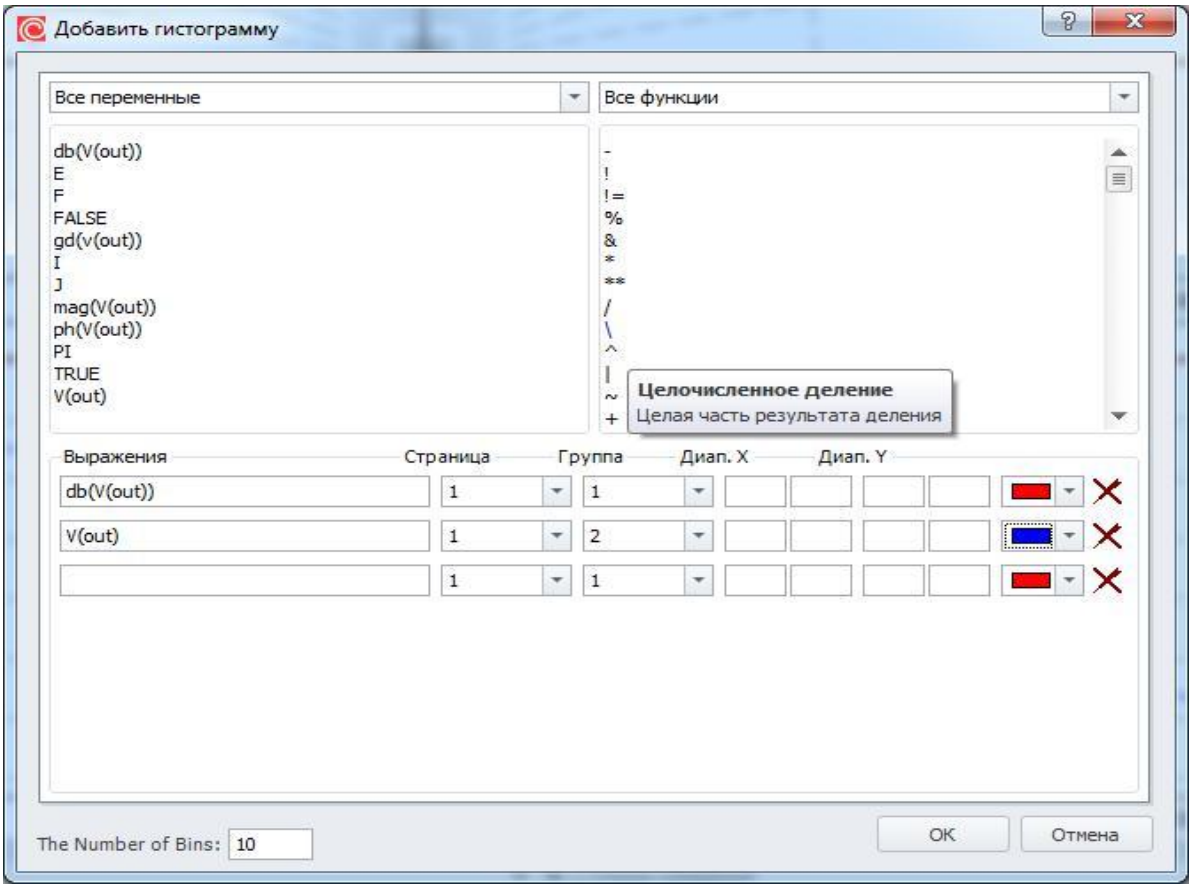


Рис. 20.5.1 Пример окна добавления новых гистограмм

Для добавления новой гистограммы пользователь может сконструировать или записать вручную в поле **Выражение** любое математическое выражение с использованием предлагаемого списка переменных и функций. В качестве переменных доступны:

- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;
-

независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции.

Полный список доступных математических функций с описанием приведён в §23.8 Математические функции.
Пользователь может выбрать окно (поле **Окно**) и группу (поле **Группа**), в которые будет выводиться добавляемый график.

С помощью полей **Диапазон X** и **Диапазон Y** может быть указана область графика, для которой строить гистограмму. По умолчанию эти поля пустые и гистограмма строится для распределений на всей площади графика.

Цвет графика выбирается из выпадающего списка доступных цветов с помощью нажатия ЛКМ на кнопку цвета , расположенную напротив выражения рядом с полем **Группа**. После нажатия на кнопку

гистограммы будут добавлен в указанные группы с именем, соответствующим введенному математическому выражению.

20.6 Работа с курсорами

Курсоры позволяют пользователю найти интересующую его точку на графике, а также производить измерения различных параметров графиков. На каждой группе графиков можно использовать одну пару курсоров:

- курсор управляется с помощью ЛКМ;
- курсор управляется с помощью ПКМ;

Если курсоры устанавливаются в точки графика с помощью измерения различных параметров графика, они устанавливаются по измерениям параметров на активном графике группы – том, имя которого отмечено кнопкой на панели графиков.

Команды работы с курсорами перечислены в таблице 20.6.1:

Таблица 20.6.1 Команды для работы с курсорами

Команда	**Способ задания**
Включение курсоров на графиках	Главное меню: **График# Курсоры#Отобразить курсоры**. Панель инструментов: иконка
Переместить первый курсор в заданную точку на графике	• нажать ЛКМ в требуемой точке графика; • навести курсор мыши на первый курсор и тянуть его в нужную точку при нажатой ЛКМ.
Переместить второй курсор в заданную точку на графике	• нажать ПКМ в требуемой точке графика; • навести курсор мыши на второй курсор и тянуть его в нужную точку при нажатой ЛКМ.
Сделать курсор активным	Нажать ЛКМ на нужном курсоре.
Установить активный курсор в точку со значением	Главное меню: **График # Курсоры# Установить в координату X….** Панель инструментов: иконка

X по оси абсцисс графика	
Установить активный курсор в точку со значением Y по оси ординат графика	Главное меню: **График # Курсоры# Установить в координату Y….** Панель инструментов: иконка
Установить курсоры в точки с координатами, соответствующими вычисленному значению выбранного измерения	Главное меню: **График# Курсоры# Установить в измерение….** Панель инструментов: иконка Команда вызывает окно выбора измерения, со списком доступных измерений. Подробнее см. §20.10 Панель измерений .
Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному максимуму графика	Главное меню: **График#Курсоры# Установить в пик.** Панель инструментов: иконка
Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному минимуму графика	Главное меню: **График # Курсоры# Установить во впадину**. Панель инструментов: иконка
Установить активный курсор в точку, соответствующую максимуму графика	Главное меню: **График # Курсоры# Установить в максимум**. Панель инструментов: иконка
Установить активный курсор в точку,	Главное меню: **График# Курсоры# Установить в минимум**. Панель инструментов: иконка

соответствующую минимуму графика	

20.7 Панель курсоров

На панели **Значения курсоров** отображаются: текущие координаты курсоров по всем группам графиков, а также различные соотношения их координат.

Отображение панели курсоров включается вместе с отображением самих курсоров с помощью:

- главного меню: **График** # **Курсоры**# **Отобразить курсоры**;
- панели инструментов: иконка .

По умолчанию панель курсоров отображается слева в окне графического модуля программы и имеет вид:

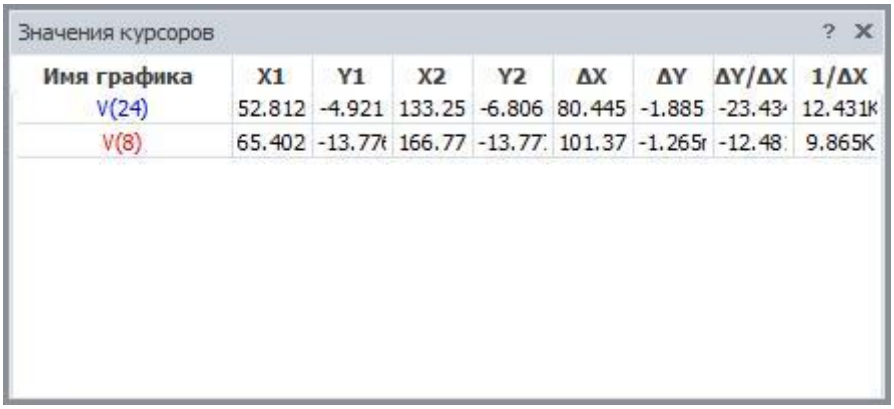


Рис. 20.7.1 Пример панели курсоров

Список полей панели курсоров приведён в таблице 20.7.1:

Таблица 20.7.1 Поля панели курсоров

Поле	Описание
x_1	Координата первого курсора по оси абсцисс.
y_1	Координата первого курсора по оси ординат.
x_2	Координата второго курсора по оси абсцисс.
y_2	Координата второго курсора по оси ординат.

Dx	Разность координат по оси абсцисс первого и второго курсора: dx=x_1–x_2
Dy	Разность координат по оси ординат первого и второго курсора: dy=y_1–y_2
dy/dx	Отношение разности координат по оси ординат первого и второго курсора к разности координат по оси абсцисс первого и второго курсора dy/dx =(y_1 – y_2)/(x_1 – x_2)
1/dx	Величина, обратная разности координат по оси абсцисс первого и второго курсора: 1/ dx=1/(x_1 – x_2)

20.8 Окно установки курсоров

Для установки курсоров в точки с координатами, соответствующими вычисленным значениям измерения, используется окно установки курсоров в измерение (рис. 20.8.1). Оно вызывается следующими способами:

- Главное меню: **График # Курсоры#Установить в измерение…**.
- Панель инструментов: иконка

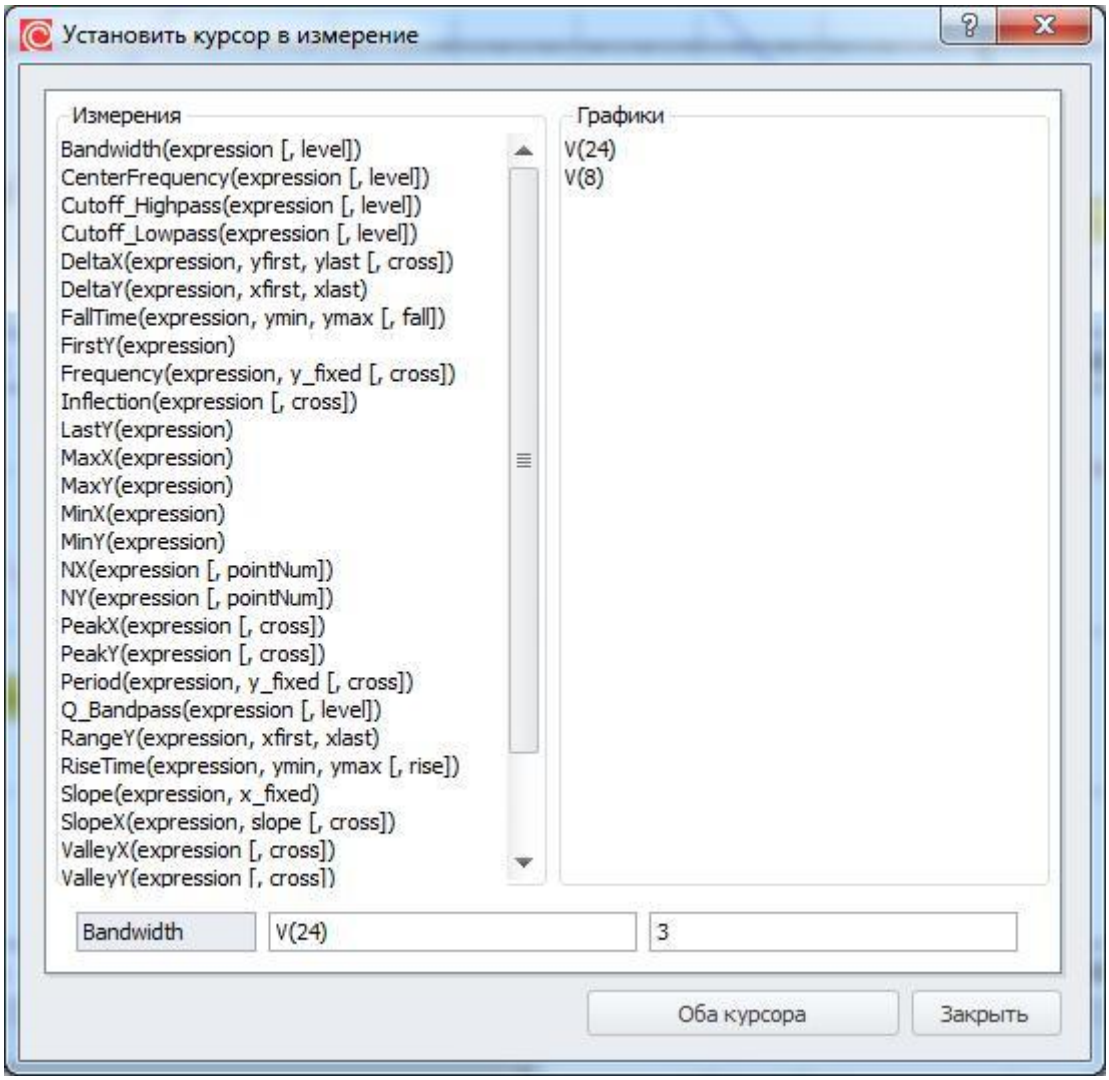


Рис. 20.8.1 Окно установки курсоров в измерение

На панели **Измерения** находится список доступных измерений. Необходимое измерение выбирается из списка нажатием ЛКМ. Необходимый график можно выбрать нажатием ЛКМ по имени нужного графика в списке графиков. Измерение может иметь дополнительные параметры, которые задаются в соответствующем поле.

Подробнее об измерениях и их параметрах см. §20.10 Панель измерений и главу 21 Измерения.

Нажатие на кнопку **Оба курсора** (или **Установить курсор,** зависит от типа выбранного измерения) закрывает окно и устанавливает курсоры на графике в рассчитанные координаты.

20.9 Работа с измерениями

Для оценки качества выходных характеристик схемы используется механизм Измерений. В данном параграфе пойдёт речь о работе с измерениями в модуле обработки данных. Подробнее о типах измерений и способах их задания см. главу 21 Измерения. В модуле визуализации и обработки данных моделирования для работы с измерениями доступны команды, перечисленные в таблице 20.9.1:

Таблица 20.9.1 Команды для работы с измерениями в модуле визуализации и обработки данных моделирования

Команда	Способ задания
Отобразить панель измерений	Главное меню: **График # Список измерений**. Панель инструментов: иконка
Добавить новое измерение	Главное меню: **График# Добавить измерения…** Панель инструментов: иконка
Добавить графики измерений	Главное меню: **График# Графики измерений…** Панель инструментов: иконка

20.10 Панель измерений

На панели измерений отображаются вычисленные значения заданных пользователем измерений для всех проведённых симуляций. Отображение панели измерений включается с помощью:

- главного меню: **График# Список измерений**;
- панели инструментов: иконка .

По умолчанию панель измерений отображается слева в окне графического модуля программы и имеет следующий вид:

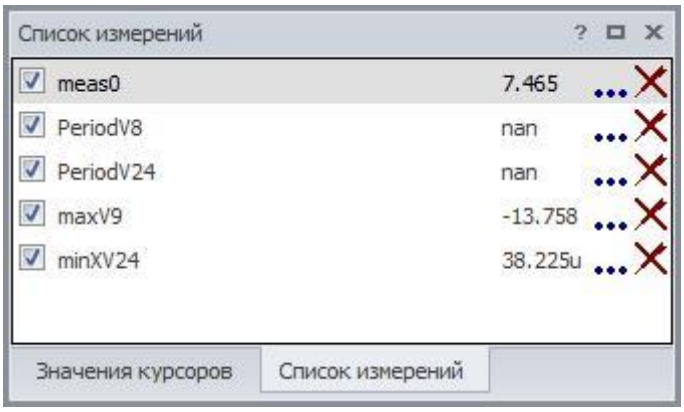
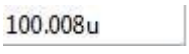


Рис. 20.10.1 Пример панели измерений

Список полей панели курсоров приведён в таблице 20.10.1:

Таблица 20.10.1. Поля панели курсоров

Поле	Описание
	Пересчитывать измерение при перезапуске симуляции.
	Кнопка вызова окна редактирования параметров измерения.
	Поле, содержащее имя измерения. Поле
	с численным значением измерения
	Кнопка удаления измерения из списка

20.11 Окно добавления нового измерения

Новые типы измерений в постпроцессоре добавляются с помощью окна **Измерения**. Оно вызывается с помощью:

- главного меню: **График#Добавить измерения…**;
- панели инструментов: иконка .

и имеет следующий вид:

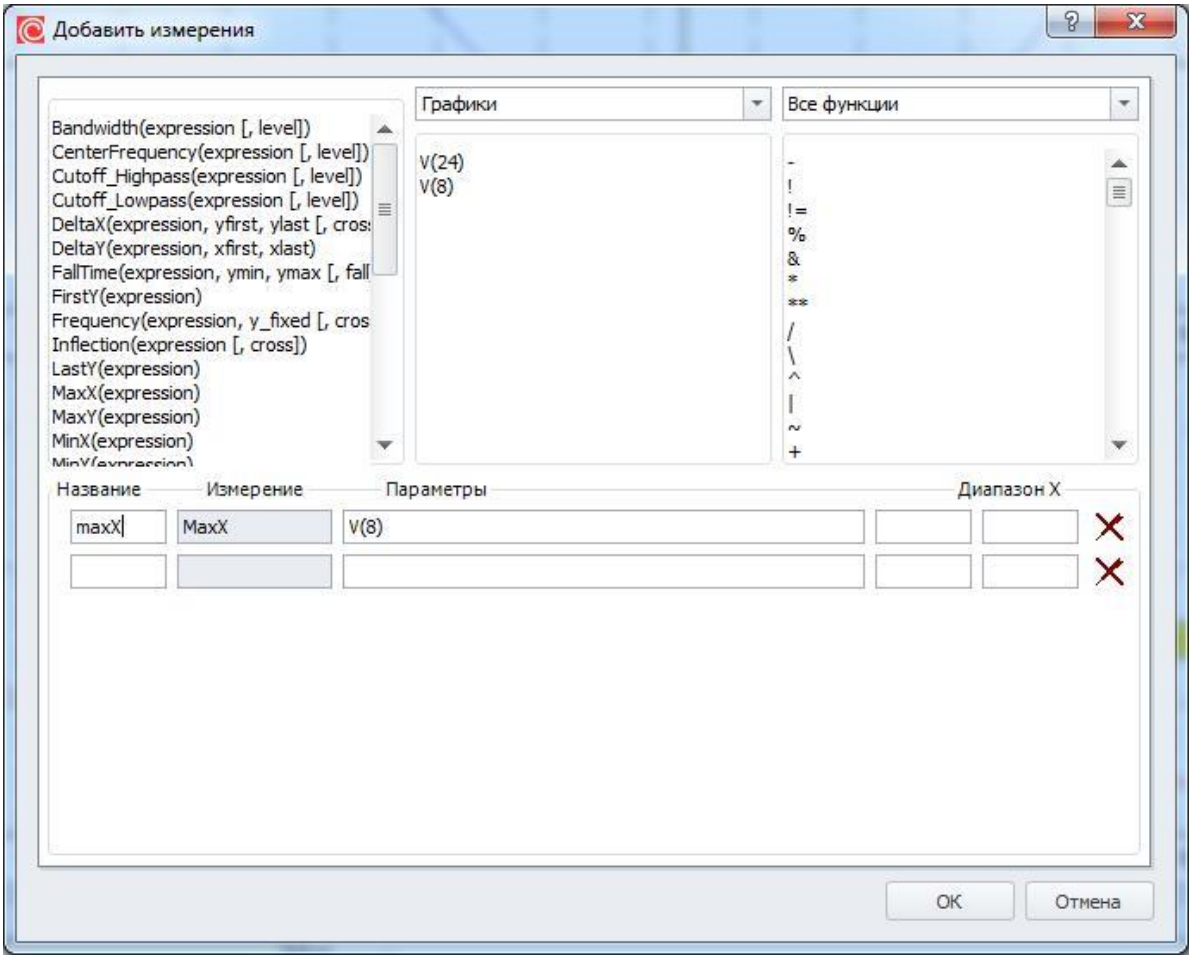


Рис. 20.11.1 Пример окна добавления новых измерений

Для добавления нового измерения пользователю предложены три панели окна:

- Панель **Измерения**. Содержит список доступных функций измерений.
- Панель **Переменные и выражения**. Содержит список рассчитанных и сохранённых в результате симуляции переменных схемы и выражений от них.
- Панель **Функции**. Содержит список доступных математических функций.

Полный список функций измерений, доступных в **SimOne**, представлен в §21.2 Синтаксис измерений SimOne.
Полный список доступных математических функций с описанием приведен в §23.8 Математические функции.

В качестве переменных доступны:

- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;
- независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции.

Новое измерение добавляется следующими действиями:

1. В поле **Название** вводится имя создаваемого измерения.
2. Нажатием ЛКМ по измерению из списка доступных измерений добавляется нужный тип измерения в поле **Измерение**.
3. Выражение для измерения может быть либо введено текстом в поле **Параметры,** либо "сконструировано" из функций и переменных с помощью ЛКМ (переменные берутся из панели **Переменные и выражения,** функции – из панели **Функции)**.
4. Если тип измерения предполагает задание дополнительных параметров, то они вводятся в соответствующие поля.
5. Указывается диапазон по оси абсцисс, если измерение необходимо произвести на определённом интервале.

После нажатия на кнопку

введённые измерения будут вычислены и добавлены на панель списка измерений в группу измерений, соответствующую имени симуляции.

20.12 Графики измерений

Численные значения измерений могут быть представлены в **SimOne** в графическом виде. Такое представление особенно актуально, если проводится многовариантный анализ схемы с варьированием различных её параметров: номиналов значений компонентов, моделей и т.п. В этом случае графики измерений позволяют наглядно оценить, как ведут себя интересующие характеристики схемы при варьировании её параметров.

Графики измерений можно добавить следующим образом:

- Главное меню: **График #Графики измерений…**
- Панель инструментов: иконка .

Окно добавления графиков измерений имеет вид:

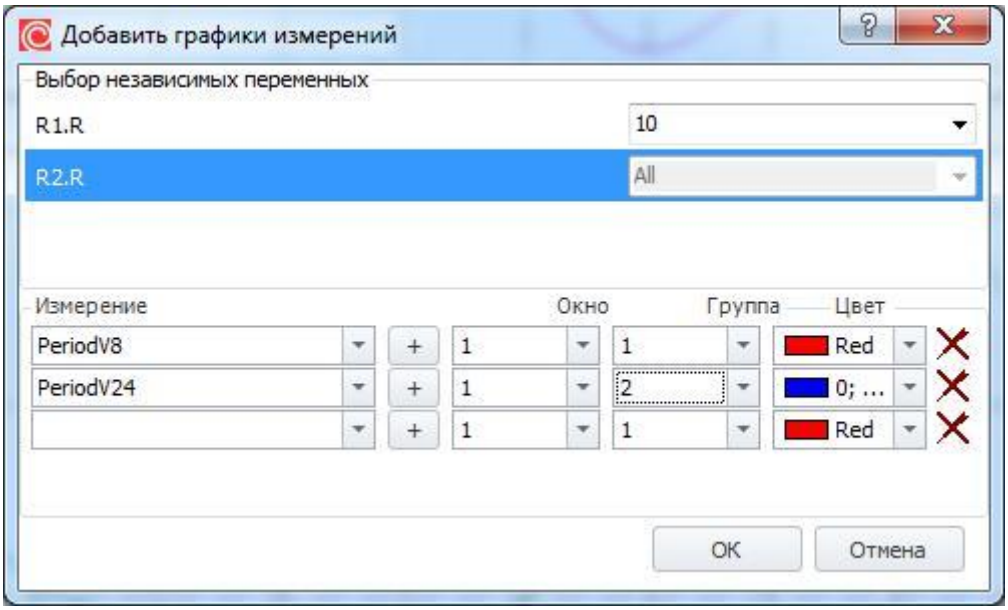


Рис. 20.12.1 Пример окна добавления новых графиков измерений

Окно добавления графиков измерений содержит в себе две основных панели:

- Панель выбора параметров переменных графиков.
- Панель выбора измерений для графиков.

В качестве независимой переменной, от которой будет построен график измерений, выбирается один из варьировавшихся схемных параметров. Выбор производится с помощью с помощью кнопки переключения в списке параметров. Для независимой переменной при построении графиков будут взяты все её значения. Для

остальных переменных могут быть выбраны значения из списка значений, или взяты все значения.

Измерение, для которого будет строиться график, может быть выбрано по имени из списка уже имеющихся измерений либо добавлено в этот список с помощью кнопки + . Пользователь может указать окно (поле **Окно**) и группу (поле **Группа**), в которые будет выводиться добавляемый график.

Для изменения цвета можно нажать ЛКМ на цветной квадрат в соответствующей строчке – при этом появится выпадающая палитра цветов. После нажатия на кнопку Ok все указанные графики будут добавлены в указанную группу. Имя графика будет иметь следующий синтаксис: MEAS(<имя измерения>), где (<имя измерения>) соответствует введенному имени измерения. На рис. 20.12.2 приведена панель **Графики**, содержащая имена построенных графиков измерений.

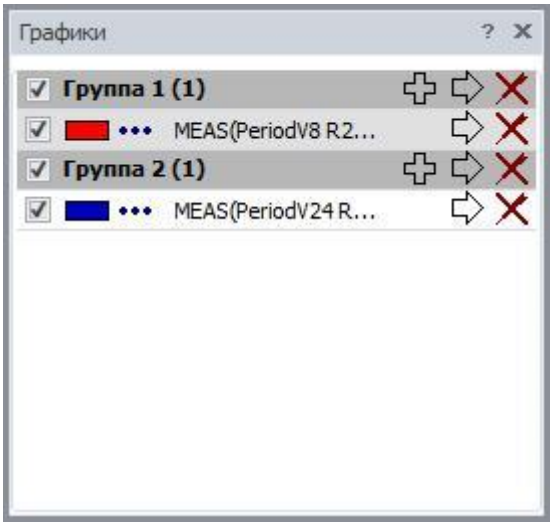


Рис. 20.12.2 Панель списка графиков с именами графиков измерений

20.13 Преобразование Фурье

Прямое и обратное преобразование Фурье выполняется на основе алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). С помощью БПФ определяются гармоники разложения в ряд Фурье выходных характеристик схемы.

Выражения для преобразования Фурье могут быть заданы следующим образом:

- SPICE командой **.FOUR**
- с помощью вкладки Фурье в окне задания на симуляцию;
- с помощью окна преобразования Фурье в постпроцессной обработке.

Команда .FOUR

Команда .FOUR может быть задана в тексте, в случае, если схема задается в виде нетлиста, или помещена на схему с помощью SPICE-блока, если схема разрабатывается в схемотехническом редакторе.
Команда .FOUR вызывает применение алгоритма БПФ к выражениям, заданным пользователем только для временных анализов схемы – расчету переходных процессов и периодических режимов и возможно только при наличии соответствующих команд .TRAN, .PSS.

SPICE\LTSPICE

Синтаксис:
.FOUR <частота> [<число гармоник >] [<число периодов >] <выражение1> <выражение2>…

<частота> – фундаментальная частота преобразования – частота первой гармоники ряда Фурье.
<число гармоник> – количество гармоник автомасштабирования при выводе графика. По умолчанию, равно 10.
<число периодов> – количество периодов с конца данных расчета, которое определяет интервал, на котором будет применяться преобразование Фурье. По умолчанию, равно 1.
<выражение1> <выражение2> … – выражения, для которых будет применяться преобразования Фурье.
Подробнее о выражениях см. главу 23 Выражения.

Примеры:

```
.four 1KHz V(out)
.four 10KHz  3 V3(out)
```

Примечание: интервал расчетных данных выражений, но котором будет применяться преобразование Фурье, определяется следующим образом: Конец интервала равен времени окончания временного анализа схемы; Начало интервала = Конец интервала – <число периодов >/<частота>.

Вкладка преобразования Фурье

Вкладка преобразования Фурье (рис. 20.13.1) доступна при следующих видах анализа схемы:

- Анализ переходных процессов.
- Расчет периодических режимов.
- Частотный анализ.

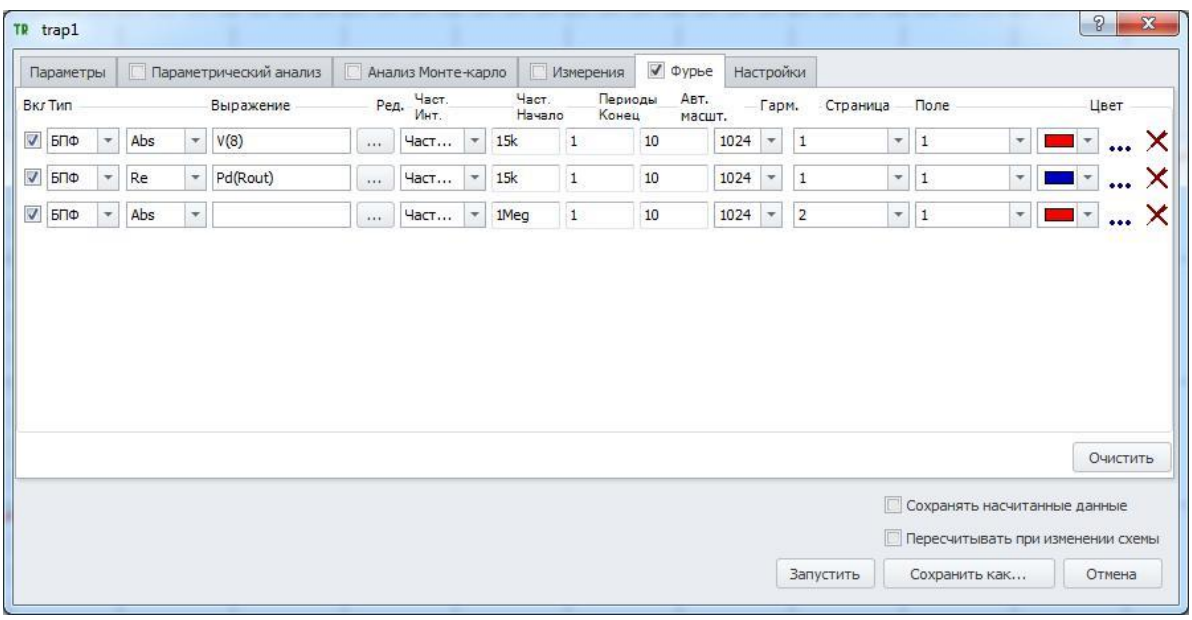


Рис. 20.13.1 Пример вкладки преобразования Фурье

Описание полей вкладки приведено в таблице 20.13.1:

Таблица 20.13.1. Вкладка Фурье

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Тип	Выбор типа преобразования: • БПФ – прямое преобразование Фурье • ОБПФ – обратное преобразование Фурье	БПФ \Abs –для временных анализов схемы,

	и типа арифметических действий над полученными комплексными результатами БПФ: • Abs – выводить на график модуль комплексных значений БПФ; • phase – выводить на график фазу комплексных значений БПФ; • Re – выводить на график вещественную часть комплексных значений БПФ; • Im – выводить на график мнимую комплексных значений БПФ.	ОБПФ – для частотного анализа.
Выражение	Выражение задается строкой и может быть сконструированно с помощью вспомогательного окна, вызываемого кнопкой .	
Интервал\Частота	Задается либо интервал, на котором будет применяться преобразование Фурье, при этом указываются значения верхнего и нижнего предела, либо фундаментальная частота преобразования, при этом указывается ее значение и количество периодов с конца данных расчета.	Весь интервал расчета.
Автомасштаб	Количество гармоник автомасштабирования при выводе графика	10
Размерность	Размерность преобразования Фурье – число точек входных данных преобразования	1024
Окно	Окно, в которое будет выводиться график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	красный
	Удалить график	

Окно преобразования Фурье

Окно преобразования Фурье (рис 20.13.2) вызывается командами:

- главное меню: **График БПФ**;

- панели инструментов: иконка .

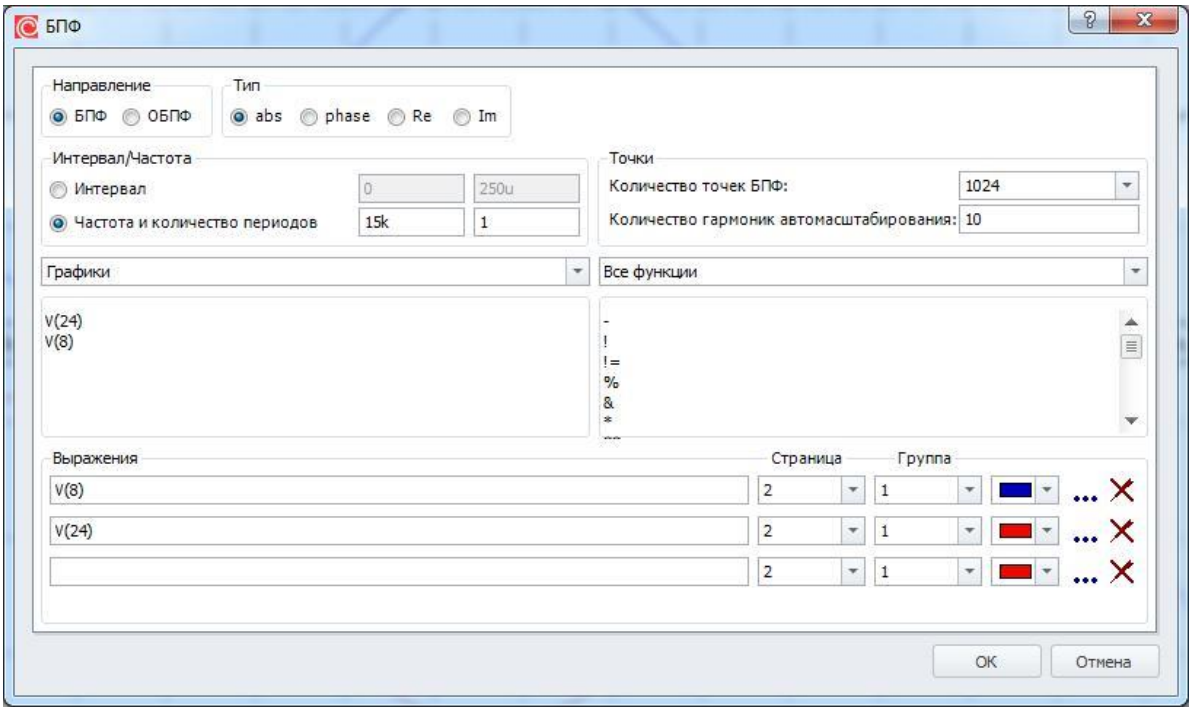


Рис. 20.13.2 Окно преобразования Фурье

Окно содержит:

- кнопку переключения между типами преобразования, которые будут применены к введённым выражениям:
    a. БПФ – прямое быстрое преобразование Фурье. Используется по умолчанию.
    b. ОБПФ – обратное быстрое преобразование Фурье.
- Интервал, на котором будут взяты значения выражения для преобразования. Фундаментальная частота преобразования будет считаться равной обратной величине интервала.
- Панели для конструирования задаваемых выражений:
    a. Панель с доступными переменными схемы и выражениями.
    b. Панель с математическими функциями.
- Кнопку переключения между типами арифметических действий над полученными комплексными результатами БПФ:
    a. Abs – выводить на график модуль комплексных значений БПФ.
    b. phase – выводить на график фазу комплексных значений БПФ.
    c. Re – выводить на график вещественную часть комплексных значений БПФ.
    d. Im – выводить на график мнимую комплексных значений БПФ.

Полный список доступных математических функций с их описанием приведён в §23.8 Математические функции.

Пользователь может выбрать окно (поле **Окно**) и группу (поле **Группа**), в которые будет выводиться добавляемый график. Для изменения цвета можно нажать ЛКМ на цветной квадрат в соответствующей строчке – при этом появится выпадающая палитра цветов.

Вкладка **Настройки** окна преобразования Фурье содержит две настройки:

- Количество точек БПФ – число точек, используемых в алгоритме БПФ. По умолчанию – 1024.
- Количество гармоник автомасштабирования – указывает число гармоник, которые будут выведены в видимую область графика. По умолчанию – 10. Остальные гармоники можно будет увидеть на графике, используя его масштабирование.

После нажатия на кнопку

графики будут добавлены в указанную группу с именем, соответствующим введённому математическому выражению, и аббревиатурой fft или ift в начале имени.

Примечание: созданные в постопроцессной обработке графики преобразования Фурье автоматически добавляются на вкладку Фурье общего задания на моделирование текущей симуляции. При последующих запусках симуляции они будут пересчитываться и перерисовываться автоматически.

20.14 Экспорт матриц системы

SimOne позволяет экспортировать уравнения схемы для дальнейшей работы с ними в математических пакетах, таких как:

- Matlab (***.m** файл).
- Waterloo Maple (***.mw** файл).

Уравнения схемы могут быть экспортированы в численном или символьном виде.

Экспорт уравнений осуществляется командами главного меню:

- **Симуляция#Экспорт#Численные уравнения схемы.**
- **Симуляция#Экспорт#Символьные уравнения схемы.**

Эти команды вызывают диалоговое окно экспорта, в котором задаётся имя и тип экспортируемого файла. После окончания экспорта **SimOne** выдаёт сообщение (рис. 20.14.1):

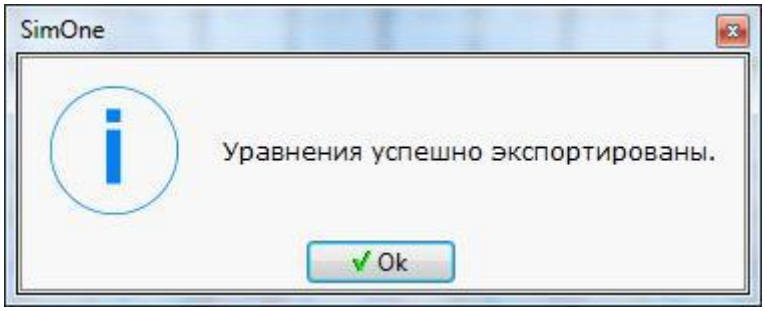


Рис. 20.14.1 Сообщение об успешном экспорте

20.15 Импорт графиков

Кроме данных собственного моделирования, **SimOne** позволяет просматривать и работать с графиками, заданными в различных форматах:

- LTSPICE (***.raw** файлы).
- PSPICE (***.dat**).
- HSPICE (***.sw, *.tr, *.ac**).
- Текстовый формат (***.txt**).
- Бинарный формат данных моделирования SimOne.

Импорт графиков осуществляется командой главного меню **График#Импорт**. Эта команда вызывает диалоговое окно ввода имени файла для импорта и выбора его типа. После ввода данных открывается окно импорта графиков (рис. 20.15.1). В этом окне выбираются имена нужных для отображения графиков.

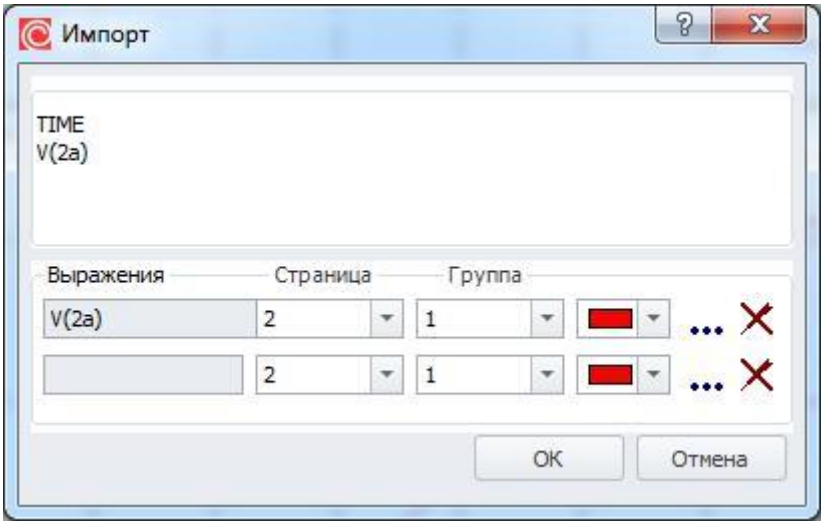


Рис. 20.15.1 Окно импорта графиков

Пользователь может выбрать окно (поле **Окно**) и группу (поле **Группа**), в которые будет выводиться добавляемый график. Для изменения цвета можно нажать ЛКМ на цветной квадрат в соответствующей строчке – при этом появится выпадающая палитра цветов. После нажатия на кнопку Ok графики будут импортированы и отображены в указанной группе графиков.

20.16 Экспорт графиков

SimOne предоставляет возможность экспортировать графики в форматах:

- Excel (***.xls** файл).
- Matlab (***.m**).
- Maple (***.mw**).
- Текстовый формат (***.txt**).
- Аудио формат (***.wav**).
- PWL - кусочно-линейный сигнал (***.pwl**)
- Touchstone формат (***.sNp**)
- Freq формат (***.txt**)

Экспорт графиков осуществляется командой главного меню **График#Экспорт**. Эта команда вызывает диалоговое окно ввода имени файла для экспорта и выбора его типа. После ввода данных открывается окно выбора графиков для экспорта (рис. 20.16.1). Для выбора графика следует установить флажок напротив его имени. После нажатия на кнопку

все выбранные графики будут экспортированы.

Рис. 20.16.1 Окно экспорта графиков

При экспорте графика в файл аудиоформата ***.wav** появляется дополнительное окно, в котором можно выбрать настройки преобразования и предварительного прослушать получаемый файл.

Значения настроек описаны в §1.6 Настройки программы.

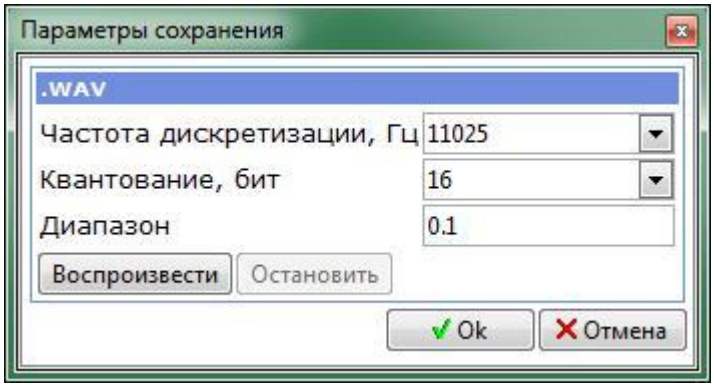


Рис. 20.16.2 Окно настроек преобразования wav - файла

В один файл формата кусочно-линейного сигнала ***.pwl** может быть экспортирован только один график, это учитывается в соответствующем окне выбора графика:

Рис. 20.16.3 Окно экспорта графика в pwl-файл

Окно экспорта данных в Touchstone-файл представлено рис. 20.16.4

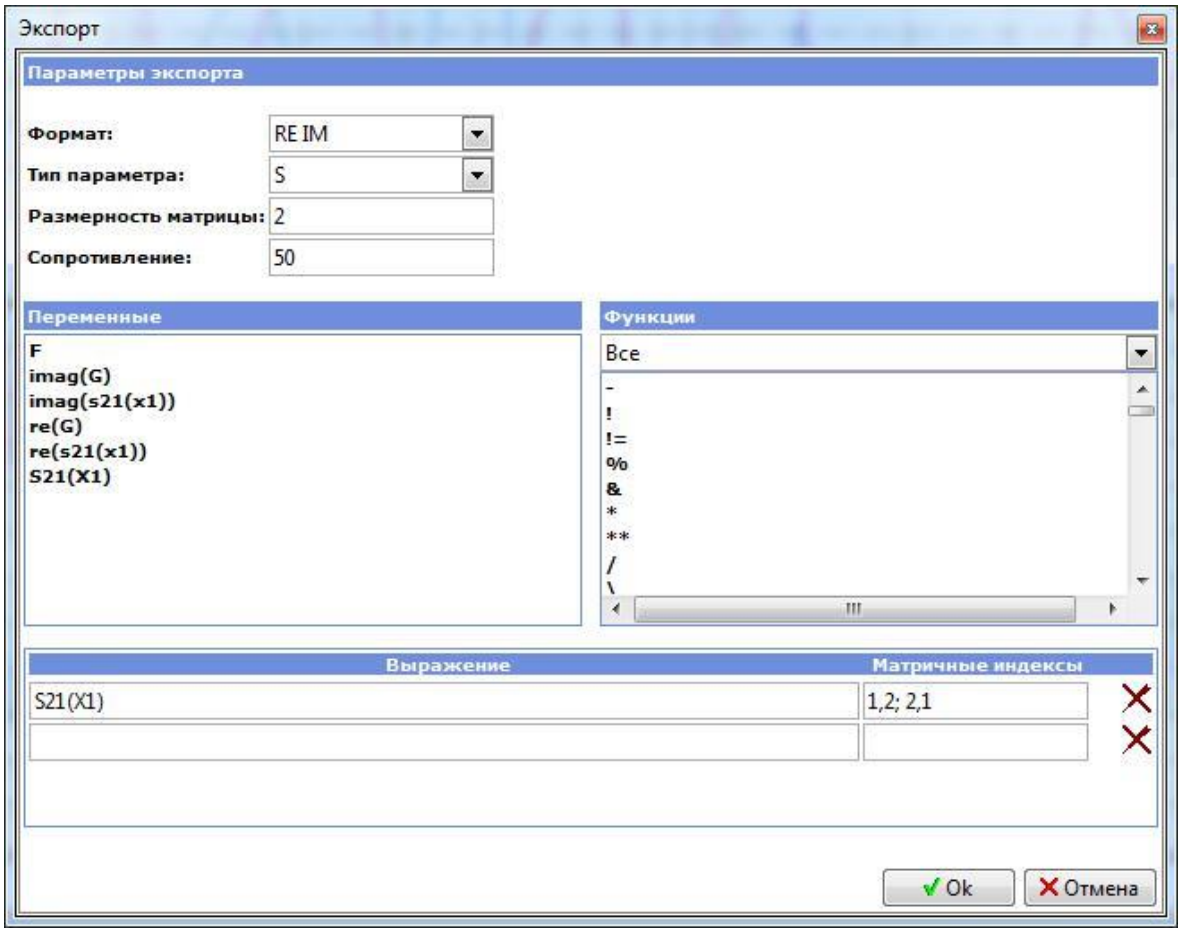


Рис. 20.16.4 Окно экспорта графика в Touchstone-файл

и содержит следующие настройки:

Поле	Описание
Формат	Формат представления числовых комплексных значений. Возможны следующие форматы: • Re Im -вещественная и мнимая часть; • Mag DEG - амплитуда и фаза в градусах; • DB DEG - децибелы и фаза в градусах.
Тип параметра	Тип параметра многополюсника. Возможны следующие типы: • S - s-параметры; • Y - y-параметры; • Z - z-параметры.

Размерность матрицы	Размерность матрицы параметров многополюсника
Сопротивление	Значение эталонного сопротивления, при котором измерены s-параметры.
Переменные	Переменные, доступные для составления выражений для экспорта в файл.
Функции	Функции, доступные для составления выражений для экспорта в файл.
Выражения	Выражения, которые будут экспортироваться в файл.
Матричные индексы	Индексы в матрице многополюсника. Указываются через запятую. Если необходимо указать несколько индексов для одного выражения, то в качестве разделителя необходимо использовать точку с запятой ';'

Окно экспорта данных в Freq-файл представлено рис. 20.16.5

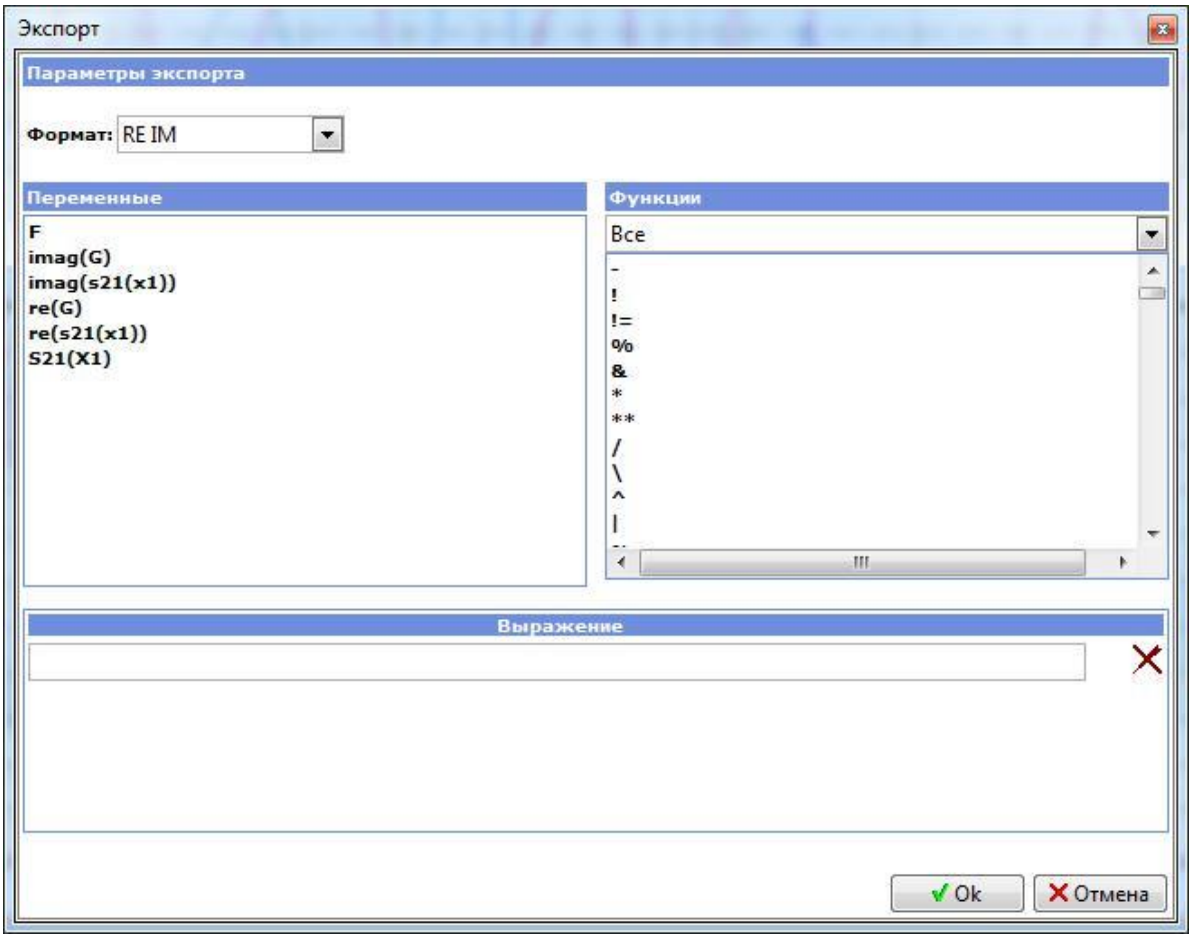


Рис. 20.16.5 Окно экспорта графика в Freq-файл

и содержит следующие настройки:

Поле	Описание
Формат	Формат представления числовых комплексных значений. Возможны следующие форматы: • Re Im -вещественная и мнимая часть; • Mag DEG - амплитуда и фаза в градусах; • DB DEG - децибелы и фаза в градусах.
Переменные	Переменные, доступные для составления выражения для экспорта в файл.
Функции	Функции, доступные для составления выражения для экспорта в файл.

Выражение	Выражение, которые будут экспортироваться в файл.

20.17 Воспроизведение графиков

Графические кривые могут быть преобразованы в аудиопотоки и выведены на динамики компьютера. Это можно сделать либо с помощью меню **График#Воспроизвести/Остановить**, либо иконкой панели инструментов.

Настройки воспроизведения графика содержатся в окне настроек программы на вкладке **.wav**

21 Измерения

21.1 Общие сведения

Для оценки качества выходных характеристик схемы в **SimOne** используется механизм Измерений. Измерения позволяют определять различные параметры графиков кривых, полученных в результате моделирования.

Результатом расчёта функции измерения является числовое значение. Если при заданных параметрах измерение не может быть вычислено, результатом будет NAN.

В **SimOne** измерения могут быть заданы следующим образом:

- В текстовом виде. В тексте SPICE-нетлиста или в SPICE-блоке на схеме.
- В окне задания симуляции – вкладка **Измерения**.
- В модуле просмотра и обработки результатов измерения с помощью окна добавления нового измерения (см. §20.11 Окно добавления нового измерения).

При задании измерений в текстовом виде можно использовать форматы HSPICE, LTSPICE, NGSPICE. Для некоторых измерений, доступных в постпроцессной обработке, создан также оригинальный текстовый формат задания.

21.1Вкладка Измерения окна параметров симуляции

Измерения могут быть заданы на этапе создания общего задания на моделирование с помощью вкладки **Измерения** окна задания параметров симуляции. Пример задания измерений приведён на рис. 21.1.1, описание настроек вкладки приведено в таблице 21.1.1:

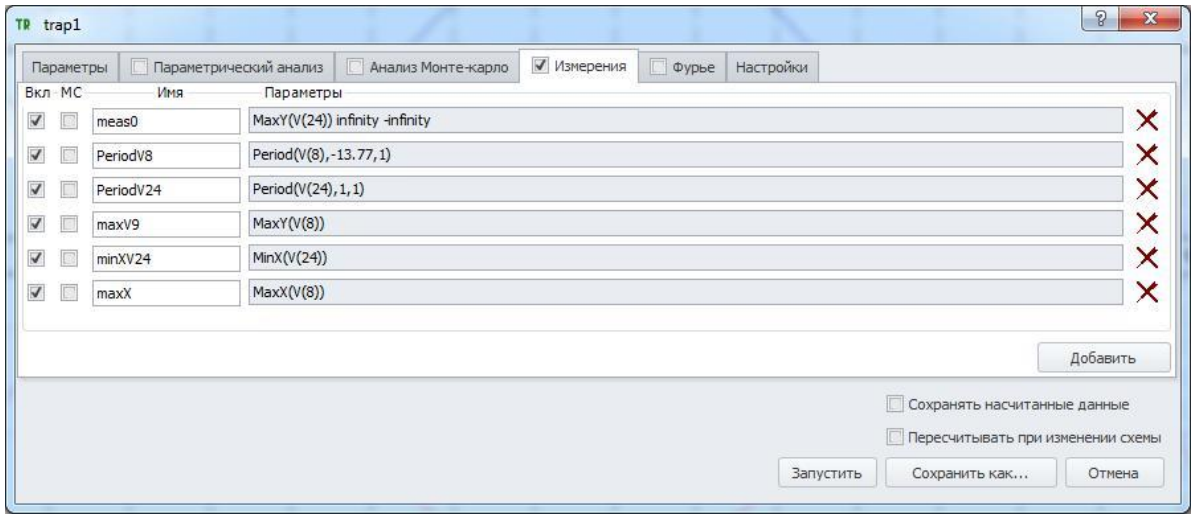


Рис. 21.1.1 Пример задания измерений схемы

Таблица 21.1.1 Параметры вкладки Измерения окна задания на моделирование

Наименование	**Описание**	**Значение по умолчанию**
Вкл./Выкл.	Произвести вычисление указанного измерения.	Вкл.
МС	Построить гистограмму указанного измерения при проведении многовариантного расчета Монте-Карло.	Выкл.
Измерение	Имя измерения и его тип. Список доступных типов измерений приведен в §21.2 Синтаксис измерений SimOne.	
Добавить измерение	Кнопка вызова диалогового окна создания новых измерений. Подробнее см. §20.11 Окно добавления нового измерения.	

21.2 Синтаксис измерений SimOne

Измерения в текстовом формате **SimOne** задаются командами:

.meas[ure] [<тип анализа схемы>] <имя измерения> <тип измерения>
+ <выражение> [<параметр1>,<параметр2>…]
+ [TRIG <левое выражение1> [[VAL]=]<правое выражение1>]
+ [TD=<значение задержки1>]
+ [<RISE|FALL|CROSS>=[<номер1>|LAST]
+[TARG <левое выражение2> [[VAL]=]<правое выражение2>]
+ [TD=<значение задержки2>]
+ [<RISE|FALL|CROSS>=[<номер2>|LAST]

.meas[ure] [<тип анализа схемы>] <имя измерения> <тип измерения>
+ <выражение> [<параметр1>,<параметр2>…]
+[<trig at>[=] <константное выражение1>]
+[<targ at> [=] <константное выражение2>]

.meas[ure] [<тип анализа схемы>] <имя измерения> <тип измерения>
+ <выражение> [<параметр1>,<параметр2>…]
+[<from> [=] <константное выражение1>]
+[<to> [=] <константное выражение2>]

В <типе анализа схемы> указывается ключевое слово, соответствующее типу запускаемого анализа схемы.

Доступны следующие типы анализа схем:

- dc – анализа передаточных функций по постоянному току (**.dc**);
- ac – частотный анализ (**.ac**);
- tran – анализ переходных процессов (**.tran**)
- pss – расчёт периодических режимов (**.pss**)

Если <тип анализа схемы> не указан, данное измерение будет вычисляться для всех типов симуляций.

<тип измерения> – тип производимого измерения.
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение; записывается через пробел после <типа измерения>
<параметр1>,<параметр2>… – список параметров, записывается через пробел после <выражения>.

Если <функция измерения> не задана, измерение возвращает только величину рассчитанного интервала.
Ключевое выражение FROM=<константное выражение1> определяет начальную точку интервала для расчёта измерения. Если оно не указано, началом интервала будет являться первая абсцисса графика.
Ключевое выражение TO=<константное выражение2> определяет конечную точку интервала для расчёта измерения. Если оно не указано, концом интервала будет являться последняя абсцисса графика.
Ключевые выражения <TRIG AT> и <TARG AT> аналогичны выражениям FROM–TO и могут использоваться для задания интервала по оси абсцисс, на котором производится измерение. После <TRIG AT> указывается <константное выражение1> для определения начала интервала, после <TARG AT> указывается <константное выражение2> для определения конца интервала.

С помощью ключевых выражений TRIG <левое выражение1> [[VAL]=]<правое выражение1> и TARG <левое выражение2> [[VAL]=]<правое выражение2>] можно задавать условия, определяющие интервал для расчёта измерения. Точка оси абсцисс, в которой <левое выражение1> равно <правому выражение1> является начальной точкой интервала для расчёта измерения. Точка оси абсцисс, в которой <левое выражение2> равно <правому выражение2> является конечной точкой интервала для расчёта измерения.

Если ключевые слова <TRIG> и <TRIG AT> не указаны, началом будет являться первая абсцисса графика. Если ключевые слова <TARG> и <TARG AT> не указаны, концом интервала будет являться последняя абсцисса графика.

Задержка задаётся константным выражением с помощью ключевого выражения TD = <значение задержки1> для условия TRIG и TD = <значение задержки1> для условия TARG.

Ключевые слова RISE, FALL и CROSS относятся к функциям условия TRIG и TARG и означают:

- RISE – искомая точка определяется выполнением условий в TRIG и TARG на подъёме функции с порядковым номером <номер>, либо на последнем подъёме, если указано ключевое слово LAST;
- FALL – искомая точка определяется выполнением условий в TRIG и TARG на спуске функции с порядковым номером <номер>, либо на последнем спуске, если указано ключевое слово LAST;
- CROSS – искомая точка определяется условием TRIG и TARG, которое выполняется с порядковым номером <номер>, либо встречается последним, если указано ключевое слово LAST;

Доступные типы измерений перечислены в пп. 21.2.1 – 21.2.28.

21.2.1 Ширина полосы пропускания

Синтаксис:

Bandwidth <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<level> – уровень в децибелах. По умолчанию <level>= 3.

Описание:

Ширина полосы пропускания по уровню <level> дб.

Определяется следующим образом:

1. Ищется максимум графика Ymax.
2. Рассчитывается пороговый уровень: Y0 = Ymax / 10^(<level>/20).
3. Определяется нижняя граница полосы пропускания Xbandleft: ближайшая точка по уровню Y0 слева от максимума на подъёме графика.
4. Определяется верхняя граница полосы пропускания Xbandright: ближайшая точка по уровню Y0 справа от максимума на спуске графика.
5. Вычисляется их разность Xbandright – Xbandleft.

21.2.2 Центральная частота

Синтаксис:
CenterFrequency <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<level> – уровень в децибелах. По умолчанию <level>= 3.

Описание:
Центральная частота полосы пропускания уровню <level> дб.

Определяется следующим образом:

1. Ищется максимум графика Ymax.
2. Вычисляется пороговый уровень: Y0 = Ymax / 10^(<level>/20).
3. Определяется нижняя граница полосы пропускания Xbandleft: ближайшая точка по уровню Y0 слева от максимума на подъёме графика.
4. Определяется верхняя граница полосы пропускания Xbandright: ближайшая точка по уровню Y0 справа от максимума на спуске графика.
5. Вычисляется центральная частота полосы пропускания: (Xbandright+ Xbandleft)/2.

21.2.3 Верхняя граница полосы пропускания

Синтаксис:

Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение .
<level> – уровень в децибелах. По умолчанию <level>= 3.

Описание:

Верхняя граница полосы пропускания по уровню <level> дб.

Определяется следующим образом:

1. Ищется максимум графика Ymax.
2. Вычисляется пороговый уровень: Y0 = Ymax / 10^(<level>/20).
3. Определяется ближайшая точка по уровню Y0 справа от максимума на спуске графика.

21.2.4 Нижняя граница полосы пропускания

Синтаксис:

Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение .
<level> – уровень в децибелах. По умолчанию <level>= 3.

Описание:

Нижняя граница полосы пропускания по уровню <level> дб.

Определяется следующим образом:

1. Ищется максимум графика Ymax.
2. Вычисляется пороговый уровень: Y0 = Ymax /10^(<level>/20).
3. Определяется ближайшая точка по уровню Y0 слева от максимума на подъёме графика.

21.2.5 Расстояние между двумя точками по оси абсцисс

Синтаксис:

DeltaX <выражение> <Yfirst> <Ylast> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<Yfirst> – ордината первой точки.
<Ylast> – ордината последней точки.
<cross> – порядковый номер измерения. По умолчанию <cross> = 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <Yfirst> и точкой с ординатой <Ylast>, встречающимися в <cross>-й раз.

Определяется следующим образом:

1. По <cross>-му значению <Yfirst> определяется абсцисса Xfirst.
2. По значению <Ylast> определяется ближайшая большая Xfirst абсцисса Xlast.
3. Вычисляется разность Xlast – Xfirst.

21.2.6 Расстояние между двумя точками по оси ординат

Синтаксис:

DeltaY <выражение> <Xfirst> <Xlast>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<Xfirst> – абсцисса первой точки.
<Xlast> – абсцисса последней точки.

Описание:

Расстояние по оси ординат между точкой с абсциссой <Xfirst> и точкой с абсциссой <Xlast>.

Определяется следующим образом:

1. Ищется значение Yfirst в точке <Xfirst>.
2. Ищется значение Ylast в точке <Xlast>.
3. Вычисляется разность Ylast – Yfirst.

21.2.7 Длина спуска

Синтаксис:

FallTime <выражение> <ymin> <ymax> [<fall>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<ymin> – минимальное значение <выражения>.
<ymax> – максимальное значение <выражения>.
<fall> – порядковый номер спуска от <ymax> к <ymin>. По умолчанию <fall>= 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <ymax> и точкой с ординатой <ymin> на <fall>-ом спуске.

Определяется следующим образом:

1. Ищется значение <ymax> на требуемом спуске (<fall>-ом спуске); определяется её абсцисса Xmax.
2. Ищется значение <ymin> на требуемом спуске (<fall>-ом спуске); определяется её абсцисса Xmin.
3. Вычисляется разность Xmin – Xmax.

21.2.8 Первое значение выражения

Синтаксис:

FirstY <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в первой точке графика.

21.2.9 Частота

Синтаксис:
Frequency <выражение> <y_fixed> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<y_fixed> – значение <выражения>, по которому будет определяться частота.
<cross> – порядковый номер измерения. По умолчанию <cross>= 1.

Описание:
Частота – величина, обратная расстоянию по оси абсцисс между двумя соседними точками с ординатой <y_fixed> с одинаковым знаком производной в этих точках, встретившихся в <cross>-й раз по счёту.

Определяется следующим образом:

1. Ищутся пары соседних значений <выражения>, равных <y_fixed> и имеющих одинаковый знак производной.
2. Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению <cross>.
3. Для этой пары находятся соответствующие <y_fixed> значения по оси абсцисс Xleft, Xright.
4. Определяется частота: 1/(Xright – Xleft).

21.2.10 Точка перегиба

Синтаксис:

Inflection <выражение> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<cross> – порядковый номер перегиба. По умолчанию <cross>=1.

Описание:

Возвращает абсциссу точки <cross>-го по счёту перегиба графика.

Определяется следующим образом:

1. Ищутся точки перегиба кривой.
2. Определяется точка, соответствующая по порядковому номеру значению <cross>.
3. Определяется её абсцисса Xinflect.

21.2.11 Последнее значение выражения

Синтаксис:

LastY <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в последней точке графика.

21.2.12 Максимальное значение

Синтаксис:

MaxY <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает максимальное значение графика (ординату точки максимума).

21.2.13 Координата максимального значения

Синтаксис:
MaxX <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:
Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает максимальное значение.

21.2.14 Минимальное значение

Синтаксис:

MinY <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает минимальное значение графика (ординату точки).

21.2.15 Координата минимального значения

Синтаксис:

MinX <выражение>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает минимальное значение.

21.2.16 Абсцисса точки графика

Синтаксис:

NX <выражение> <[N=1]>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу N-точки выражения.

21.2.17 Ордината точки графика

Синтаксис:

NY <выражение> <[N=1]>
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение выражения в N-точке.

21.2.18 Координата локального максимума функции

Синтаксис:
PeakX <выражение> [<cross>]
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<cross> – порядковый номер локального максимума. По умолчанию <cross>=1.

Описание:
Возвращает абсциссу точки локального максимума функции, имеющей порядковый номер <cross>.

21.2.19 Значение функции в локальном максимуме

Синтаксис:

PeakY <выражение> [<cross>]
<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<cross> – порядковый номер локального максимума. По умолчанию <cross>= 1.

Описание:

Возвращает значение функции в её локальном максимуме, имеющем порядковый номер <cross>.

21.2.20 Период

Синтаксис:

Period <выражение> <y_fixed> [<cross>],

где <выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<y_fixed> – значение <выражения>, по которому будет определяться частота.
<cross> – порядковый номер измерения. По умолчанию <cross>= 1.

Описание:

Период определяется как расстояние по оси абсцисс между двумя ближайшими точками с ординатой <y_fixed> с одинаковым знаком производной в этих точках, встретившимися в <cross>-ый раз.

Определяется следующим образом:

1. Ищутся пары ближайших значений <выражения>, равных <y_fixed> и имеющих одинаковый знак производной.
2. Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению <cross>.
3. Для этой пары на графике находятся соответствующие <y_fixed> абсциссы Xleft и Xright.
4. Определяется период: Xright – Xleft.

21.2.21 Добротность

Синтаксис:

Q_Bandpass <выражение> [<level>]

где <выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение, <level> – уровень в децибелах для расчёта полосы пропускания. По умолчанию <level>=3.

Описание:

Добротность вычисляется как отношение значения центральной частоты (см. выше) к ширине полосы пропускания (см. выше).

21.2.22 Перепад

Синтаксис:

RangeY <выражение> <xfirst> <xlast>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<xfirst> – значение первой точки по оси ординат.
<xlast> – значение первой точки по оси ординат

Описание:

Максимальный перепад на интервале от <xfirst> до <xlast>.

Определяется следующим образом:

1. Ищется максимальное значение на Ymax интервале от <xfirst> до <xlast>.
2. Ищется минимальное значение на Ymin интервале от <xfirst> до <xlast>.
3. Вычисляется разность Ymax – Ymin.

21.2.23 Длина подъёма

Синтаксис:

RiseTime <выражение> <ymin> <ymax> [<rise>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<ymin> – минимальное значение <выражения>.
<ymax> – максимальное значение <выражения>.
<rise> – порядковый номер подъёма от <ymin> к <ymax>. По умолчанию <rise>=1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <ymin> и точкой с ординатой <ymax> на <rise>-ом подъёме.

Определяется следующим образом:

1. Ищется значение <ymin> на требуемом подъёме (<rise>-ом подъёме); определяется её абсцисса Xmin.
2. Ищется значение <ymax> на требуемом подъёме (<rise>-ом подъёме); определяется её абсцисса Xmax.
3. Вычисляется разность Xmax – Xmin.

21.2.24 Наклон

Синтаксис:
Slope <выражение> <x_fixed>

<выражение> – выражение, для которого вычисляется измерение.
<x_fixed> – точка, в которой вычисляется наклон графика.

Описание:
Возвращает тангенс угла наклона в <x_fixed>.

21.2.25 Абсцисса наклона графика

Синтаксис:

SlopeX <выражение> <slope> [<cross>]

где <выражение> – выражение, для которого вычисляется измерение, <slope> – значение величины наклона, <cross> – порядковый номер наклона графика со значением, равным <slope>. По умолчанию <cross>=1.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой тангенс угла наклона равен <slope> и встречается с порядковым номером <cross>.

21.2.26 Координата локального минимума функции

Синтаксис:

ValleyX <выражение> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<cross> – порядковый номер локального минимума. По умолчанию <cross>=1.

Описание:

Возвращает абсциссу локального минимума функции, имеющего порядковый номер <cross>.

21.2.27 Значение функции в локальном минимуме

Синтаксис:

ValleyY <выражение> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<cross> – порядковый номер локального минимума. По умолчанию <cross>= 1.

Описание:

Возвращает значение функции в локальном минимуме, имеющем порядковый номер <cross>.

21.2.28 Интервал по горизонтали

Синтаксис:

Width <выражение> <y_fixed> [<cross>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<y_fixed> – значение <выражения>, по которому будет определяться частота.
<cross> – порядковый номер измерения. По умолчанию <cross>= 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между двумя ближайшими точками с ординатой <y_fixed>, встретившейся в <cross>-ый раз.

Определяется следующим образом:

1. Находятся пары ближайших значений <выражения>, равных <y_fixed>
2. Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению <cross>.
3. Для этой пары находятся соответствующие <y_fixed> точки с абсциссами Xleft и Xright.
4. Определяется разность: Xright – Xleft.

21.2.29 Абсцисса точки

Синтаксис:

XatY <выражение> <y_fixed> [<cross>] [<crosstype>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение. <y_fixed> – значение <выражения>, для которого будет определяться абсцисса. <cross> – порядковый номер <y_fixed>. По умолчанию <cross>= 1. <crosstype> – тип определения <y_fixed>. Существуют три типа:

- <cross> – любое значение <выражения>, равное <y_fixed>.
- <rise> – равенство <выражения> <y_fixed>, выполняемое на подъёме графика.
- <fall> – равенство <выражения> <y_fixed>, выполняемое на спуске графика.

Описание:

Возвращает абсциссу точки на графике с ординатой, равной <y_fixed> и встреченной <cross>-ый раз на требуемом участке: подъёме функции, спуске или простом пересечении.

Определяется следующим образом:

1. Ищутся значения <выражения>, равные <y_fixed>
2. Определяется значение, соответствующее порядковому номеру значения <cross>, определённому по заданному условию <crosstype>.
3. Определяется абсцисса найденной точки: Xlevel.

21.2.30 Значение в заданной точке

Синтаксис:
YatX <выражение> <x_fixed>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<x_fixed> – значение переменной, для которого необходимо вычислить <выражение>.

Описание:
Возвращает значение <выражения> в точке <x_fixed>

21.3 Измерения в заданной точке

Точка на оси абсцисс, в которой должно быть произведено измерение выражения, может быть определена с помощью команды **WHEN** (при этом точка вычисляется по заданному условию), или с помощью команды **AT** (точка задаётся константным выражением).

Команды для расчёта измерений в точке имеют следующий синтаксис:

.MEAS[URE] [<тип анализа схемы>] <имя измерения>
+ [<FIND|DERIV|PARAM> <выражение1>]
+ [AT[=]<константное выражение1>]

.MEAS[URE] [<тип анализа схемы>] <имя измерения>
+ [<FIND|DERIV|PARAM> <выражение1>]
+ [WHEN <выражение2>=<выражение3>]
+ [TD=<значение задержки>] [<RISE|FALL|CROSS>=[<номер>|LAST]]

В <типе анализа схемы> указывается ключевое слово, соответствующее типу запускаемого анализа схемы. Доступны следующие типы:

- DC – анализ передаточных функций по постоянному току (**.dc**);
- AC – частотный анализ (**.ac**);
- TRAN – анализ переходных процессов (**.tran**)
- PSS – расчёт периодических режимов (**.pss**)

Если <тип анализа схемы> не указан, данное измерение будет вычисляться для всех типов симуляций.

Ключевые слова FIND, DERIV, PARAM означают действие, которое будет применено к <выражению1>:

- FIND – найти значение <выражения1> в заданной точке;
- DERIV – найти значение производной <выражения1> в заданной точке;
- PARAM – сделать результат вычисления <выражения1> константным параметром. Удобно для использования его в дальнейших вычислениях.

Если ключевые слова FIND, DERIV, PARAM опущены, то измерение возвращает только рассчитанную точку.
Ключевые выражения WHEN <выражение2>=<выражение3> и AT=<константное выражение1> используются для задания точки, в которой должно быть выполнено действие над <выражением1>:

- WHEN <выражение2>=<выражение3> – определяет требуемую точку, исходя из условия равенства двух выражений.
- AT=<константное выражение1> – требуемая точка определяется значением константного выражения.

Задержка задаётся константным выражением с помощью ключевого выражения TD = <значение задержки>.

Ключевые слова RISE, FALL и CROSS могут быть использованы только вместе с WHEN – условием определения точки:

- RISE – искомая точка определяется выполнением условия WHEN на подъёме функции с порядковым номером <номер>, либо на последнем подъёме, если указано ключевое слово LAST ;
- FALL – искомая точка определяется выполнением условия WHEN на спуске функции с порядковым номером <номер>, либо на последнем спуске, если указано ключевое слово LAST;
- CROSS – искомая точка определяется условием WHEN, которое выполняется с порядковым номером <номер>, либо встречается последним, если указано ключевое слово LAST;

Примеры измерений:

Измерение *meas1* находит значение напряжения V(out) в точке 3us при расчёте переходных процессов схемы:

```
.MEAS TRAN meas1 FIND V(out) AT=3u
```

Измерение *meas2* находит значение производной напряжения V(out) в точке 10u/2+2u при расчёте переходных процессов схемы:

```
.MEAS TRAN meas2 DERIV V(out) AT 10u/2+2u
```

Измерение *meas3* является значением константного выражения, включающего в себя другие измерения:

```
.MEAS meas3 PARAM 3*meas1/meas2
```

Измерение *meas4* находит значение мощности на резисторе Rout в момент времени, когда напряжение на нём равно входному напряжению, умноженному на *meas1*:

```
.MEAS TRAN meas4 FIND Pd(Rout) WHEN V(Rout)=V(in)*meas1
```

Измерение *meas5* находит значение мощности на резисторе Rout в момент времени, для которого напряжение на нём в третий раз от начала расчёта равно входному напряжению, умноженному на *meas1*:

```
.MEAS TRAN meas5 FIND Pd(Rout) WHEN
+V(Rout)=V(in)*meas1 cross=3
```

Измерение *meas6* находит значение мощности на резисторе Rout в момент времени, для которого напряжение на нём равно входному напряжению, умноженному на *meas1* на последнем спуске функции:

```
.MEAS TRAN meas4 FIND Pd(Rout) WHEN
+V(Rout)=V(in)*meas1 fall=last
```

21.4 Измерения на интервале

Интервал, на котором рассчитываются измерения, может быть задан:

- с помощью пары команд **TRIG – TARG**, позволяющих включать условия для определения границ интервала,
- с помощью пары команд **FROM – TO**, в которых границы интервала определяются константными выражениями.

Синтаксис команд для расчёта измерений на интервале:

.MEAS[URE] [<тип анализа схемы>] <имя измерения>
+ [<функция измерения> <выражение1>]
+[FROM[=]<константное выражение1>] [TO[=] константное

выражение2>] .MEAS[URE] [<тип анализа схемы>] <имя измерения>

+ [<функция измерения> <выражение1>]
+[TRIG AT [=]<константное выражение1>]
+ [TARG AT [=] <константное выражение2>]

.MEAS[URE] [<тип анализа схемы>] <имя измерения>
+ [<функция измерения> <выражение1>]
+ [TRIG <левое выражение1> [[VAL]=]<правое выражение1>]
+ [TD=<значение задержки1>]
+ [<RISE|FALL|CROSS>=[<номер1>|LAST]
+[TARG <левое выражение2> [[VAL]=]<правое выражение2>]
+ [TD=<значение задержки2>]
+ [<RISE|FALL|CROSS>=[<номер2>|LAST]

В <типе анализа схемы> указывается ключевое слово, соответствующее типу запускаемого анализа схемы. Доступны следующие типы:

- DC – анализ передаточных функций по постоянному току (.dc);
- AC – частотный анализ (.ac);
- TRAN – анализ переходных процессов (.tran)
- PSS – расчёт периодических режимов (.pss)

Если <тип анализа схемы> не указан, данное измерение будет вычисляться для всех типов симуляций. В поле <функция измерения> указывается ключевое слово, соответствующее типу измерения:

- AVG – среднее значение <выражения1> на интервале;

- RMS – среднее квадратичное значение <выражения1> на интервале;
- PP – максимальная амплитуда <выражения1> на интервале;
- MAX – максимальное значение <выражения1> на интервале;
- MIN – минимальное значение <выражения1> на интервале;
- INTEG, INTEGRAL – интеграл от <выражения1> на интервале.

Если <функция измерения> не задана, измерение возвращает только величину рассчитанного интервала.

Ключевое выражение FROM=<константное выражение1> определяет начальную точку интервала для расчёта измерения. Если оно не указано, началом интервала будет являться первая абсцисса графика.

Ключевое выражение TO=<константное выражение2> определяет конечную точку интервала для расчёта измерения. Если оно не указано, концом интервала будет являться последняя абсцисса графика.

Ключевые выражения <TRIG AT> и <TARG AT> аналогичны выражениям FROM – TO и могут использоваться для задания интервала по оси абсцисс, на котором производится измерение. После <TRIG AT> указывается <константное выражение1> для определения начала интервала, после <TARG AT> указывается <константное выражение2> для определения конца интервала.

С помощью ключевых выражений TRIG <левое выражение1> [[VAL]=]<правое выражение1> и TARG <левое выражение2> [[VAL]=]<правое выражение2>] можно задавать условия, определяющие интервал для расчёта измерения. Точка оси абсцисс, в которой <левое выражение1> равно <правому выражение1> является начальной точкой интервала для расчёта измерения. Точка оси абсцисс, в которой <левое выражение2> равно <правому выражение2> является конечной точкой интервала для расчёта измерения.

Если ключевые слова <TRIG> и <TRIG AT> не указаны, началом будет являться первая абсцисса графика. Если ключевые слова <TARG> и <TARG AT> не указаны, концом интервала будет являться последняя абсцисса графика.

Задержка задаётся константным выражением с помощью ключевого выражения TD = <значение задержки1> для условия TRIG и TD = <значение задержки1> для условия TARG .

Ключевые слова RISE, FALL и CROSS относятся к функциям условия TRIG и TARG и означают:

- RISE – искомая точка определяется выполнением условий в TRIG и TARG на подъёме функции с порядковым номером <номер>, либо на последнем подъёме, если указано ключевое слово LAST ;
- FALL – искомая точка определяется выполнением условий в TRIG и TARG на спуске функции с порядковым номером= <номер>, либо на последнем спуске, если указано ключевое слово LAST;
- CROSS – искомая точка определяется условием TRIG и TARG, которое выполняется с порядковым номером <номер>, либо встречается последним, если указано ключевое слово LAST;

Примеры измерений:

Измерение *meas1* находит максимальное значение напряжения V(out) на интервале 2us – 6us в расчёте переходных процессов схемы:

```
.MEAS TRAN meas1 max V(out) from 2u to 6u
```

Измерение *meas2* находит максимальное амплитудное значение (максимальный перепад) напряжения V(out) на интервале 0 – 1/(2*Pi*1e6) в расчёте переходных процессов схемы:

```
.MEAS TRAN meas1 PP V(out) trig at 0 to targ at

1/ (2*Pi*1Meg)
```

Измерение *meas3* находит среднюю мощность на резисторе Rout на интервале, заданном условиями:
начало интервала: напряжение v(1) второй раз стало равно 0.7,
конец интервала: напряжение v(1) стало равно 0.9 на последнем своём спуске:

```
.meas tran meas3 avg P(Rout) trig v(1)=0.7 cross=2

targ v(1)=0.9 fall=last
```

Измерение *meas4* находит значение интервала, заданного условиями:
начало интервала: напряжение v(1) равно половине значения параметра V1 на первом подъёме своей функции,
конец интервала: напряжение v(1) равно половине значения параметра V1 на десятом подъёме своей функции, который рассчитывается с момента времени TRIG секунды:

```
.MEAS TRAN meas4 TRIG V(1) VAL=V1/2 RISE=1 TARG V(out)

VAL=V1/2 RISE=10 TD=TRIG
```

22 Дополнительные возможности

22.1 Подстройка параметров

Режим подстройки параметров схемы является инструментом ручной настройки схемы на соответствие предъявляемым к ней требованиям. Режим подстройки параметров схемы представляет собой интерактивный процесс, в котором пользователь двигает ползунок, изменяя значение варьируемого параметра схемы, а программа автоматически перезапускает текущую симуляцию схемы, отображая интересующие пользователя результаты на графиках и в таблицах.

Окно подстройки параметров (рис. 22.1.1) вызывается командами:

- Главное меню: **Симуляция#Подстройка параметров…**;
- Панель инструментов: иконка .

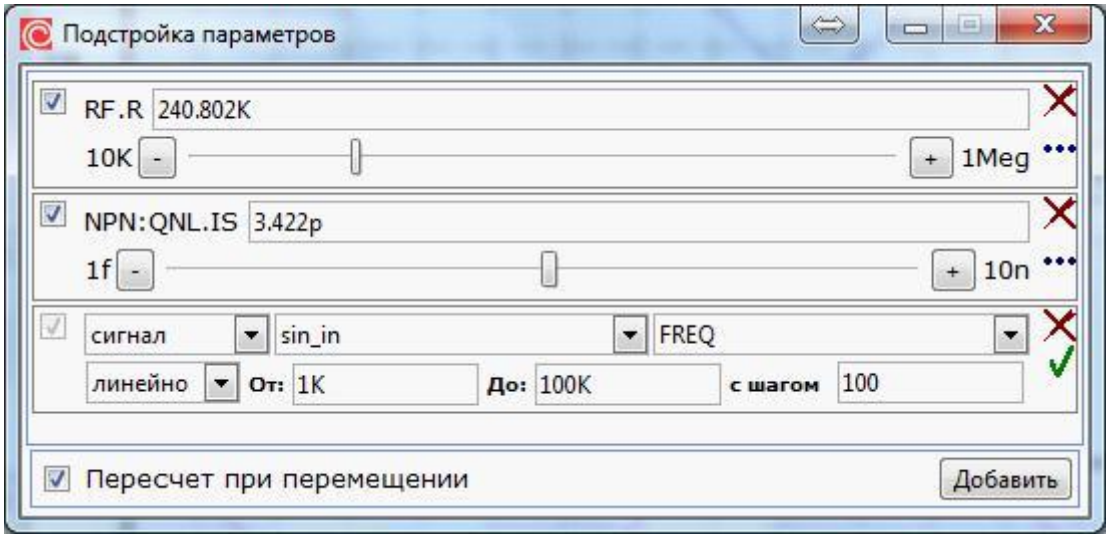


Рис. 22.1.1 Окно подстройки параметров

Выбор нужного подстраиваемого параметра осуществляется аналогично тому, как это происходит в параметрическом анализе схемы. При нажатии на кнопку Добавить открываются поля для добавления нового параметра. В первом поле выбирается тип параметра:

- Элемент. Одиночный элемент схемы.
- Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью.
- Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом.
- Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команд .PARAM, .DEFINE, либо в окне задания глобальных параметров.

Во втором поле указывается объект – имя элемента, модели сигнала, глобального параметра, в третьем – выбирается из списка сам варьируемый параметр. В строке под именем подстраиваемого параметра указывается диапазон и способ его варьирования:

- Начальная граница интервала варьирования выбранного параметра.
- Конечная граница интервала варьирования выбранного параметра.
- Способ варьирования: линейно, декадами, октавами, списком.

Указывается:

- величина максимального шага приращения варьируемого параметра для линейного способа его изменения;
- число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения варьируемого параметра;
- точные значения варьируемого параметра, при которых будет производиться расчёт, если указан способ его изменения – списком.

Нажатие на кнопку ✓ напротив введённого параметра заканчивает ввод его данных и добавляет параметр к списку варьируемых. Изменение значения параметра производится пользователем с помощью перемещения соответствующего ползунка. Это можно сделать с помощью мыши: двигать ползунок при нажатой ЛКМ, либо кнопками + и -. Изменение значения любого параметра из списка приведёт к автоматическому перезапуску активной симуляции при новых значениях параметров и автоматическому обновлению данных на графиках. Активной для подстройки симуляцией будет являться та симуляция, вкладка которой является открытой. Переключение к вкладке другой симуляции приведет к тому, что подстройка параметров будет вызывать перезапуск уже другой симуляции. Нажатие на кнопку ✗ удаляет текущий параметр из списка варьируемых параметров. Выход из режима подстройки параметров осуществляется закрытием окна подстройки.

22.2 Текущие значения

В момент приостановки расчета схемы или его окончания для последнего значения независимой переменной (времени во временных анализах схемы, частоты – в частотном и т.п.) **SimOne** рассчитывает:

- все узловые потенциалы схемы;
- токи всех компонентов схемы;
- все выходные параметры всех компонентов схемы.

Просмотр всех перечисленных величин, а также расчёт любых выражений от них доступен в окне просмотра текущих значений (рис. 22.2.1).

Окно вызывается следующим образом:

- Главное меню: **Вид#Текущие значения**;
- Панель инструментов: иконка .

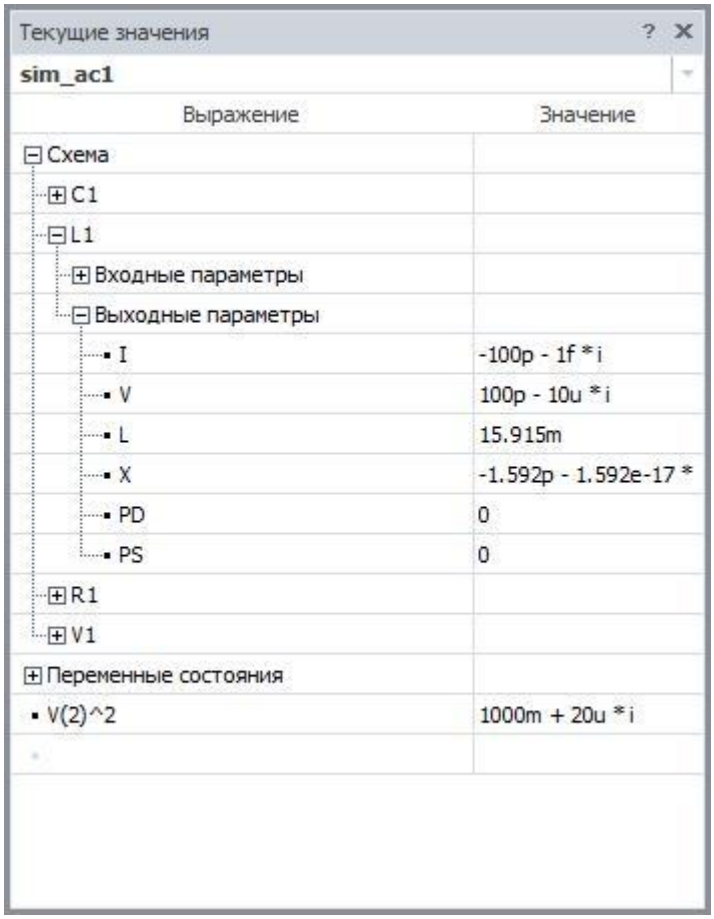


Рис. 22.2.1 Окно просмотра текущих значений

В окне **Текущие значения** отображаются данные для текущей активной симуляции – той симуляции, вкладка которой является открытой в данный момент. Переключение к вкладке другой симуляции приведет к тому, что текущие значения отобразятся для только что открытой симуляции.

В случае, если производился многовариантный расчет схемы, пользователь может просматривать ее состояние для различных расчетных потоков. Переключение между ними производится с помощью выпадающего списка в верхнем левом углу окна.

22.3 Вывод текущих значений

Текущее состояние схемы на момент окончания симуляции включает в себя значения узловых потенциалов, токов через компоненты, входные и расчётные параметры моделей компонентов схемы. Все они могут быть просмотрены в окне **Текущие значения**, а также в текстовом виде на экране.

Вывод текущих значений схемы на экран (рис. 22.3.1) осуществляется командами:

- Главное меню: **Симуляция#Вывод текущих значений**;
- Панель инструментов: иконка .

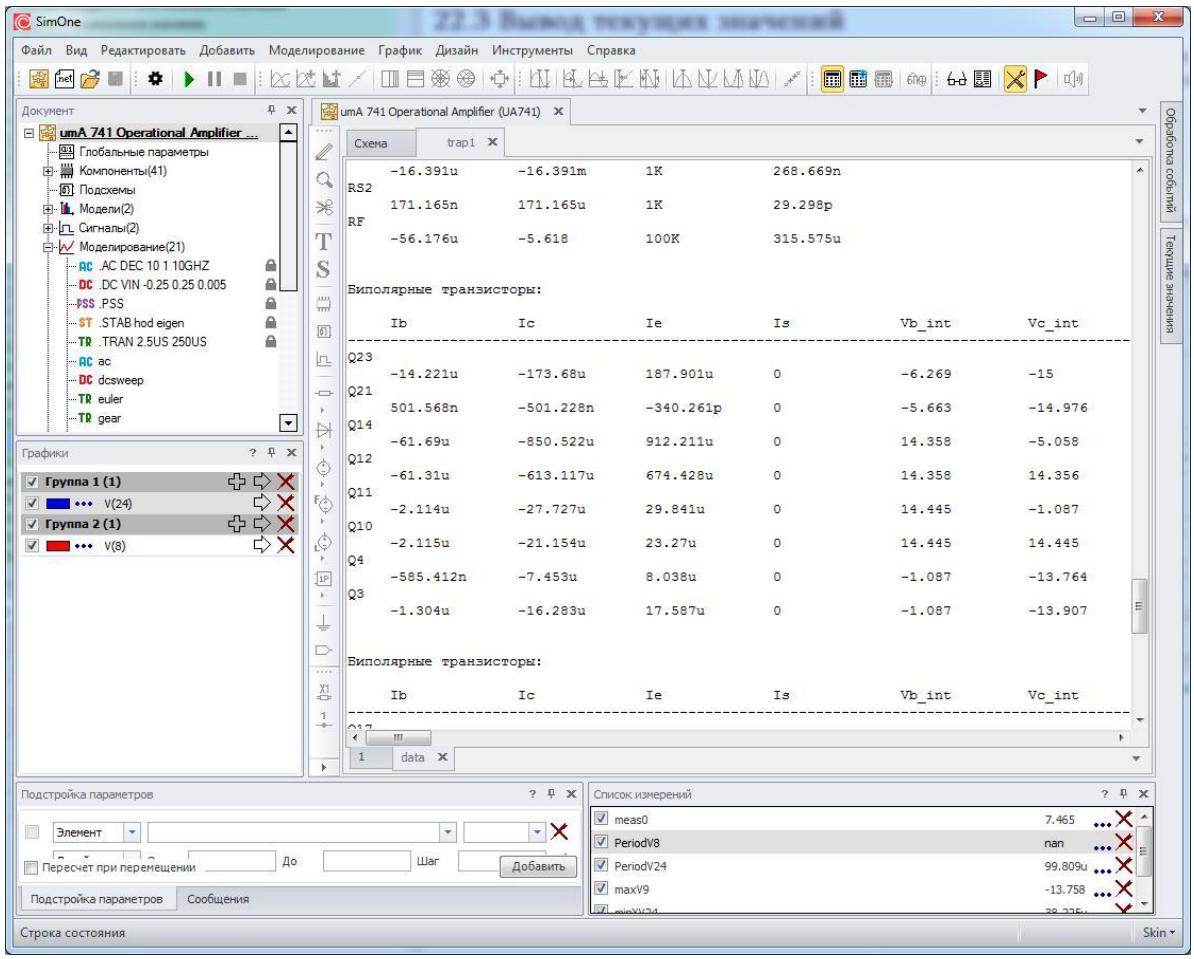


Рис. 22.3.1 Вывод текущих значений схемы на экран

22.4 Обработка событий

SimOne позволяет отслеживать различные события, которые происходят в процессе моделирования схемы. Для этого используется окно **Обработка событий**, которое позволяет задавать типы событий и виды действия при наступлении этих событий.
В качестве типов событий могут быть использованы любые выражения, а в качестве типов действий, например, приостановка моделирования для того, чтобы просмотреть состояние интересующих узлов схемы с помощью окна Просмотр текущих значений.

Окно обработки событий (рис. 22.4.1) вызывается командами:

- Главное меню: **Моделирование # Обработка событий…**;
- Панель инструментов: иконка .

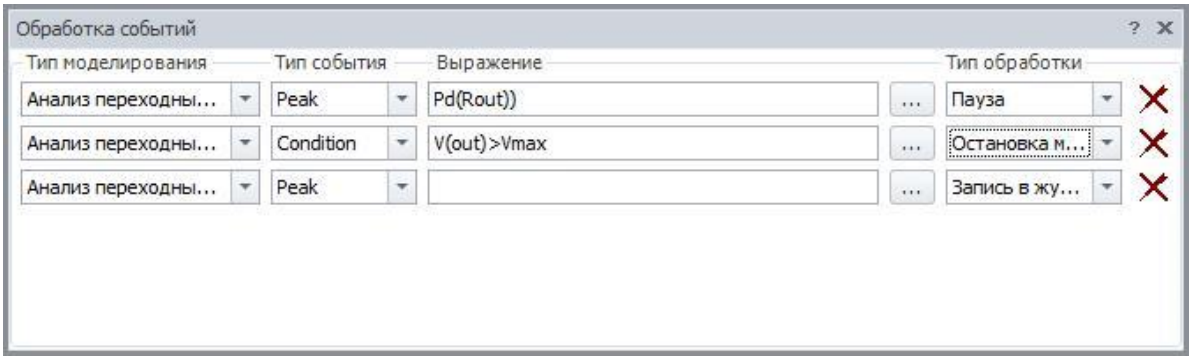


Рис. 22.4.1 Окно обработки событий

Окно содержит следующие поля:

- Тип моделирования.
- Тип события.
- Выражение.
- Тип обработки события.

Каждое отдельное событие вводится в учет моделирования с помощью соответствующего флага .

Обработка событий доступна для двух типов моделирования:

- Transient – расчета переходных процессов
- PSS – расчет периодических режимов

В качестве типа событий могут быть выбраны следующие:

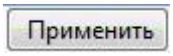
- Peak. Локальный максимум выражения.
- Valley. Локальный минимум выражения.
- Level. Пересечение выражением указанного значения y_fixed, при этом выбирается тип пересечения: cross – любое пересечение, fall – пересечение сверху-вниз, и rise – пересечение снизу-вверх.
- Slope. Величина наклона выражения в точке, равная *slope*
- Inflection. Точка перегиба выражения.
- Condition. Условное выражение.

Выражения, для которых формируются события могут включать в себя потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и др., а также математические выражения от них. Подробнее см. главу 23 Выражения.

Обработка событий допускает следующие действия:

- Остановка моделирования. Моделирование полностью прекращается.
- Пауза. Моделирование приостанавливается, при этом в случае многопоточного расчета приостанавливаются все потоки запуска, хотя бы событие и наступило только для одного из них.
- Запись в журнал. Событие фиксируется печатью в панель вывода.

Нажатие на кнопку удаляет текущее событие из списка обрабатываемых событий.

Нажатие на кнопку  фиксирует все сделанные изменения в окне к текущему моделированию, не закрывая самого окна.

Кнопка также фиксирует изменения в окне и закрывает его.

Кнопка отменяет все сделанные изменения.

23 Выражения

Выражения представляют собой сформированную пользователем текстовую строку, которая включает в себя числа, константы, переменные, арифметические операторы и математические функции. Выражения могут использоваться для задания параметров моделей компонентов, для построении графиков выходных переменных схемы, описании символьных переменных в командах SPICE **.PARAM, .DEFINE, .FUNC.**

23.1 Числа и константы

Числовые значения выражений могут быть заданы:

- действительным числом: 10.0, 0.05, 1200;
- действительным числом с плавающей точкой: 1E1, 5E–2, 1.2E3
- действительным числом с плавающей точкой в нотации, принятой в SPICE. В этом случае после цифры может быть добавлена буква, обозначающая приставку (см. таблицу 23.1.1) Пример: 50m=50E–3=0.005, 1.2K=1k2=1.2E3=1200.

Таблица 23.1.1 Буквенные обозначения приставок

f(F)	**p(P)**	**n(N)**	**u(U)**	**m(M)**	**K(k)**	**MEG (meg)**	**G(g)T(t)**
фемто	пико	нано	микро	милли	кило	мега	гига тера
1e–15	1e–12	1e–9	1e–6	1e–3	1e3	1e6	1e9 1e12

Выражения могут включать в себя следующие константы:

- PI – число # = 3,14159265358979323;
- E – число e = 2,718281828459045;
- I – мнимая единица $\sqrt{-1}$;
- TRUE – логическая единица;
- FALSE – логический ноль.

23.2 Переменные

В выражениях могут быть использованные следующие переменные:

- Time – время в секундах;
- F, Hertz – частота в герцах;
- TEMP – температура в градусах Цельсия;
- SIMTYPE – тип анализа схемы (доступные значения TYPEDC – расчет на постоянном токе, TYPEAC – частотный анализ, TYPETRAN – расчет временных процессов, TYPESTAB – анализ устойчивости).
- V(<имя узла1>) – потенциалы узлов схемы;
- V(<имя узла1>,<имя узла2>) – напряжение между узлами схемы;
- I(<имя источника напряжения>) – токи источников напряжения – независимых, управляемых, функциональных;
- I(<имя индуктивности>) – токи индуктивностей;
- входные параметры моделей компонентов;
- расчётные параметры моделей компонентов;
- символьные переменные;
- переменные состояния схемы.

Имена узлов схемы не могут содержать запятую ",", точку "." и двоеточие ":". Последние два знака являются разделителями. Например:

X1.input, X1:input – узел с именем <input> внутри подсхемы X1.

X1.R1, X1:R1 – компонент R1, находящийся внутри подсхемы X1.

X1.R1.tc1, X1:R1:tc1 – параметр TC1 компонента R1, находящегося внутри подсхемы X1.

Узлы схемы, имена которых начинаются с символов **$G_**, являются глобальными – их областью видимости является вся схема.

Примечание: в расчётах по постоянному току переменные Time, F, Hertz принимаются равными нулю; в расчётах частотных характеристик и гармонического режима схемы переменная Time принимается равной нулю; в расчёте переходных процессов и периодических режимах схемы переменные F, Hertz, принимаются равными нулю.

Расчётные параметры моделей компонентов могут использоваться только в выражениях для построения графиков.

23.3 Входные параметры моделей компонентов

Входными параметрами моделей компонентов являются параметры, заданные командой **.MODEL**. Они остаются постоянными в течение текущего расчёта схемы, но могут быть использованы как переменные в параметрическом анализе (§16.3 Параметрический анализ схемы), в оптимизации схемы (глава 18 Оптимизация), в статистическом анализе (глава 19 Статистический анализ Монте-Карло. Гистограммы измерений). Обращение ко входному параметру компонента осуществляется с помощью точки (".") после имени компонента.

Примеры параметров моделей:

R1.TC1 – линейный температурный коэффициент сопротивления резистора R1,
S1.RON – сопротивление замкнутого ключа S1,
D1.IS – ток насыщения диода D1.

23.4 Расчётные параметры моделей компонентов

Параметры моделей компонентов, доступные для использования в качестве переменных в Выражениях. Их обозначения приведены в таблице 23.4.1.

Таблица 23.4.1 Параметры моделей компонентов, используемые в качестве переменных

Компонент	Напряжения, потенциалы	Ток	Ёмкости/ Индуктивности	Заряд/ Потоко сцепление	Мощность	Энергия
Резистор R	V	I			PD	ED
Ёмкость C	V	I	C	Q	PS	ES
Индуктивность L	V	I	L	X	PS	ES
Длинная линия T	V1,V2	I1, I2				
Ключи S,W	V	I			PD	ED
Независимые источники V,I	V	I			PG	EG
Управляемые и функциональные источники	V	I				
Диод D	V	I	C	Q	PD,PS	ED,ES
Биполярный транзистор Q	VB,VC,VE,VS, VBC,VBE, VBS,VCE, VSE,VSC	IB, IC, IE, IS	CBC, CBE, CSC	QBC,QBE, QSC	PD,PS	ED,ES
Полевой транзистор J	VG,VD,VS, VGD,VGS,VDS	IG, ID, IS	CGD, CGS	QGD,QGS	PD,PS	ED,ES
МОП-транзистор M	VB,VG,VD,VS, VGB,VGD,VGS, VDS,VBD,VBS	IG, ID, IS	CGB,CGD, CGS,CBD, CBS	QGB,QGD, QGS,QBD, QBS	PD,PS	ED,ES

Для обращение к расчетному параметру компонента необходимо указать его обозначение согласно таблицы 23.4.1 и в скобках указать имя компонента, параметр которого будет использован.

Примеры параметров моделей:

Q(C1) – заряд на ёмкости C1,
CBC(Q1) – ёмкость перехода база-коллектор биполярного транзистора Q1,
VGD(J1) – напряжение перехода затвор-сток полевого транзистора J1.

23.5 Символьные переменные

Символьные переменные схемы – это переменные, определённые с помощью команд **.PARAM** или **.DEFINE**.

Символьные переменные могут быть использованы при задании параметров моделей компонентов, сигналов источников и задаваться в качестве переменных в многовариантных анализах схемы. Использование символьных переменных существенным образом повышает удобство разработки схем.

Примеры символьных переменных:

```
.PARAM Tper = 1us
.DEFINE Load 50
```

23.6 Переменные состояния схемы

Переменные состояния схемы – это напряжения и токи схемы, с помощью которых определяется состояние схемы в любой заданный момент времени.

В **SimOne** в качестве таких переменных используются потенциалы всех узлов схемы V(<имя узла>), токи индуктивных элементов I(<имя индуктивности>), токи источников напряжений всех типов – независимых, управляемых, функциональных I(<имя источника напряжения>).

23.7 Арифметические операторы

Обозначения: x и y – вещественные переменные, $z=x+iy$ – комплексная переменная.

Таблица 23.7.1 Арифметические операторы

Обозначение	Описание
+	f1(z)+f2(z) – сумма
–	f1(z)–f2(z) – разность
*	f1(z)*f2(z) – умножение
/	f1(z)/f2(z) – деление
**, ^	f1(z)^f2(z) – возведение в степень
\, DIV	f1(z)\f2(z) – целочисленное деление
%, MOD	f1(z)%f2(z) – остаток от целочисленного деления
ABS	abs(f(z)) – модуль
FLOOR	floor(f(z)) – ближайшее целое, меньшее f(z)
CEIL	ceil(f(z)) – ближайшее целое, большее f(z)
INT	int(f(z)) – floor(f(z)), если f(z)>0 и ceil(f(z)), если f(z)<0
NINT, ROUND	nint(f(z)), round(f(z)) – ближайшее целое

23.8 Математические функции

Обозначения: x и y – вещественные переменные, $z=x+iy$ – комплексная переменная.

Таблица 23.8.1 Математические функции

Обозначение	Описание
Тригонометрические функции	
Csc	cosec(f(z)) – косеканс
Cos	cos(f(z)) – косинус
Cot	ctg(f(z)) – котангенс
Sec	sec(f(z)) – секанс
Sin	sin(f(z)) – синус
Tan	tg(f(z)) – тангенс
Гиперболические функции	
Csch	csch(f(z)) – гиперболический косеканс
Cosh	ch(f(z)) – гиперболический косинус
Coth	cth(f(z)) – гиперболический котангенс
Sech	sech(f(z)) – гиперболический секанс
Sinh	sh(f(z)) – гиперболический синус
Tanh	th(f(z)) – гиперболический тангенс
Обратные тригонометрические функции	
Acos	arccos(f(z)) – арккосинус
Acsc	arccosec(f(z)) – арккосеканс
Acot	arcctg(f(z)) – арккотангенс
Asec	arcsec(f(z)) – арксеканс
Asin	arcsin(f(z)) – арксинус
Atan, Atn, Arctan	arctg(f(z)) – арктангенс
Обратные гиперболические функции	
Acosh	arch(f(z)) – гиперболический арккосинус
Acsch	arcsch(f(z)) – гиперболический арккосеканс
Acoth	arcth(f(z)) – гиперболический арккотангенс

Asech	arsech(f(z)) – гиперболический арксеканс
Asinh	arsh(f(z)) – гиперболический арксинус
Atanh	arth(f(z)) – гиперболический арктангенс
Степени и логарифмы	
Db	Db(f(z)) = 20*Log10(f(z)/F0) – децибелы,F0 - опорный уровень, F0=1 по умолчанию
Exp	exp(f(z)) – экспонента
Expl	expl(x,max) – экспонента с линейно ограниченной функцией: expl(x,max)=exp(x) при x < max, иначе expl(x,max)=exp(max)*(x+1–max);
LimExp	Limexp(f(z))– экспонента с ограничением на приращение аргумента при выполнении итераций метода Ньютона
Lg, Log10	lg(f(z)) – десятичный логарифм
Log, Ln	ln(f(z)) – натуральный логарифм
PWR	|f1(z)|^f2(z) – возведение в степень
POW	f1(z)^f2(z) – возведение в степень
PWRS	sign(f1(z)*|f1(z)|^f2(z) – возведение в степень с сохранением знака
Sqrt	sqrt(f(z)) – квадратный корень
Функции комплексного аргумента	
Re	Re(f(z)) – действительная часть комплексного числа
Im	Im(f(z)) – мнимая часть комплексного числа
Abs	(Abs(f(z)) – модуль комплексного числа
Mag	Mag(z) – магнитуда комплексного числа
P (Ph, Phase)	Phase(z) – фаза комплексного числа
Интегральные функции	
SD	sd(f(x,[start])) – численный интеграл по переменной T во временных анализах схемы, F в частотном и DCINPUT1 в расчёте статических характеристик. При x<start считается, что f(x)=0 .
SDT	sdt(f(x),[F0],[cond]) – численный интеграл по времени.

	F0 – начальное значение. F0=0 по умолчанию. Cond – условие. Если истинно, sdt сбрасывается до F0.
IDT	idt(f(x),[F0],[cond]) – численный интеграл по времени. F0 – начальное значение. F0=0 по умолчанию. Cond – условие. Если истинно, idt сбрасывается до F0.
IDTMOD	idtmod(f(x),[F0],[m],Fres) – численный интеграл по времени. F0 – начальное значение. F0=0 по умолчанию. m – значение по модулю idtmod, при котором idtmod сбрасывается до Fres.
DD	dd(f(x)) – численная производная по времени (T) во временных анализах схемы, F в частотном и DCINPUT1 в расчёте статических характеристик
DDT	ddt(f(x)) – численная производная по времени.
DDX	ddx(f(x), X) – символьная производная выражения f(x) по переменной X. В качестве последней может использоваться только переменная из вектора переменных состояния.
RMS	rms(f(x,[start])) – среднеквадратичное отклонение При x<start считается, что f(x)=0.
AVG	avg(f(x,[start])) – среднее значение функции. При x=start значение f(x) считается равным 0.
Логические функции	
==	(f1(x) == f2(x)) – проверка условия "равны?"
!=	(f1(x) != f2(x)) – проверка условия "не равны?"
>=	(f1(x)>= f2(x)) – проверка "больше либо равно?"
<=	(f1(x) <= f2(x)) – проверка "меньше либо равно?"
>	(f1(x)> f2(x)) – проверка "больше?"
<	(f1(x) <f2(x)) – проверка "меньше?"
!, ~	!b(x) – НЕ (логическое отрицание)
&, And	b1(x) AND b2(x) – И (конъюнкция)
|, Or	b1(x) OR b2(x) – ИЛИ (дизъюнкция)
Nor	b1(x) NOR b2(x) – НЕ ИЛИ

Nand	b1(x) NAND b2(x) – НЕ И
Xor	Исключающее ИЛИ
BUF	buf(x) – функция дискретизации: buf(x)=1 при x>0.5, иначе buf(x)=0.
INV	inv(x) – функция дискретизации: inv(x)=0 при x>0.5, иначе inv(x)=1;
Фурье анализ	
FFT	fft(f(x)[,N,[Freq]]) – преобразование Фурье выражения f(x) с фундаментальной частотой Freq и количеством точек N, равным 1024 по-умолчанию. Преобразование Фурье берется на интервале последнего периода функции f(x), равного 1/Freq. Значение частоты Freq можно не указывать, в этом случае она рассчитывается автоматически. Возвращает комплексные числа.
FFTN	fftn(f(x)[,N,[Freq]]) – нормированный спектр сигнала. Представляет собой отношение преобразования Фурье к модулю первой гармоники. Вычисляется с помощью фунции fft, описанной выше. Возвращает комплексные числа.
THD	thd(f(x)[,N,[Freq]]) – коэффициент гармонических искажений выражения f(x). Определяется как отношение среднеквадратичной суммы высших гармоник f(x), кроме первой, к первой гармонике. Вычисляется с помощью фунции fft, описанной выше.
THD_R	thd_r(f(x)[,N,[Freq]]) – коэффициент нелинейных искажений выражения f(x). Определяется как отношение среднеквадратичной суммы высших гармоник f(x), кроме первой, к среднеквадратичной сумме всех гармоник. Вычисляется с помощью фунции fft, описанной выше.
HARM	harm(f(x),Nh=1[,N,[Freq]]) – значение Nh-ой гармоники выражения f(x). Вычисляется с помощью фунции fft, описанной выше. Возвращает комплексное число.

FOURIER	fourier(f(x),[Nr,[,N,[Freq]]ъ) – вычисление суммы Nr, равным N по-умолчанию, членов ряда Фурье выражения f(x). Вычисляется с помощью фунции fft, описанной выше.
Функциональные преобразования	
Laplace	laplace(f(x), H(s)) – свертка функции f(x) с передаточной функцией H(s), заданной в s-области методом simone.
Laplace_smn	laplace_smn(f(x), H(s)) – свертка функции f(x) с передаточной функцией H(s), заданной в s-области методом simone. Тождественна функции laplace(f(x), H(s))
Laplace_euler	laplace_euler(f(x), H(s),mtol) – свертка функции f(x) с передаточной функцией H(s), заданной в s-области методом Эйлера. Значения функции f(x) < mtol не учавствуют в свертке.
Laplace_ift	laplace_ift(f(x), H(s),window,nfft,mtol) – свертка функции f(x) с передаточной функцией H(s), заданной в s-области методом Фурье. Если задан window, то частотная дискретизация вычисляется 0.5/window. nfft определяет количство точек в обратном преобразовании Фурье. Значения функции f(x) <mtol не участвуют в вычислении интеграла свертки.
Laplace_zp	laplace_zp (f(x) , ζ , ρ [, ε]) – свертка функции f(x) с заданной в s-области следующей функцией: $$H(s) = \frac{\prod_{k=0}^{M-1}\left(1-\frac{s}{\zeta_k^r + j\zeta_k^i}\right)}{\prod_{k=0}^{N-1}\left(1-\frac{s}{\rho_k^r + j\rho_k^i}\right)}$$
Laplace_zd	laplace_zd (f(x) , ζ , d [, ε]) – свертка функции f(x) с заданной в s-области следующей функцией:

$$H(s) = \frac{\prod_{k=0}^{M-1}\left(1 - \frac{s}{\zeta_k^r + j\zeta_k^i}\right)}{\sum_{k=0}^{N-1} d_k s^k}$$

Laplace_np	laplace_np (f(x) , n , ρ [, ε]) – свертка функции f(x) с заданной в s-области следующей функцией: $$H(s) = \frac{\sum_{k=0}^{M-1} n_k s^k}{\prod_{k=0}^{N-1}\left(1 - \frac{s}{\rho_k^r + j\rho_k^i}\right)}$$
Laplace_nd	laplace_nd (f(x) , n , d [, ε]) – свертка функции f(x) с заданной в s-области следующей функцией: $$H(s) = \frac{\sum_{k=0}^{M-1} n_k s^k}{\sum_{k=0}^{N-1} d_k s^k}$$
freq_db	freq_db(f(x), w1,db1,deg1,..,wn,dbn,degn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (децибелы и градусы) в частотной области.

	freq_db(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (децибелы и градусы) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
freq_db_deg	req_db_deg(f(x), w1,db1,deg1,..,wn,dbn,degn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (децибелы и градусы) в частотной области. Тождественна функции freq_db. req_db_deg(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (децибелы и градусы) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
freq_db_rad	req_db_rad(f(x), w1,db1,deg1,..,wn,dbn,degn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (децибелы и радианы) в частотной области. req_db_rad(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (децибелы и радианы) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
freq_ma	freq_ma(f(x), w1,amp1,deg1,..,wn,ampn,degn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (амплитуды и градусы) в частотной области req_ma(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (амплитуды и градусы) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
freq_ma_deg	freq_ma_deg(f(x), w1,amp1,deg1,..,wn,ampn,degn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (амплитуды и градусы) в частотной области. Тождественна функции freq_ma. req_ma_deg(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (амплитуды и градусы) в частотной области и

	находящейся в тестовом файле <Имя файла>. Тождественна функции freq_ma.
freq_ma_rad	freq_ma_rad(f(x), w1,amp1,rad1,..,wn,ampn,radn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (амплитуды и радианы) в частотной области. req_ma_rad(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (амплитуды и радианы) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
freq_ma_ri	freq_ri(f(x), w1,re,im1,..,wn,ren,imn) - свертка функции f(x) с передаточной функцией заданной дискретно (вещественные и мнимые части) в частотной области. req_ri(f(x), "<Имя файла>") - свертка функции f(x) с функцией заданной дискретно (вещественные и мнимые части) в частотной области и находящейся в тестовом файле <Имя файла>.
Случайные функции	
rnd	rnd() – равномерно распределённая на отрезке [0; 1] случайная величина.
rndc()	rnd() – равномерно распределённая на отрезке [0; 1] случайная величина. Вычисляется однократно.
urnd	urnd(a,b) – равномерно распределённая на отрезке [a; b] случайная величина.
unifrnd	unifrnd(nom,rvar) – равномерно распределённая на отрезке [nom–rvar·nom; nom+rvar·nom] случайная величина.
aunifrnd	aunifrnd(nom,avar) – равномерно распределённая на отрезке [nom–avar; nom+avar] случайная величина.

normalrnd(m,s)	normalrnd(m,s) – нормально распределённая случайная величина с мат. ожиданием m и стандартным отклонением s.
gaussrnd	gaussrnd(nom,rvar,s) – нормально распределённая случайная величина с мат. ожиданием nom и стандартным отклонением nom·rvar/s.
agaussrnd	agaussrnd(nom,avar,s) – нормально распределённая случайная величина с мат. ожиданием m и стандартным отклонением avar/s.
dbexprnd	dbexprnd(m,b) – случайная величина с двусторонним экспоненциальным распределением (распр. Лапласа) с мат. ожиданием m и стандартным отклонением b $\sqrt{2}$.
bimodrnd	bimodrnd(m1,m2,s1,s2) – случайная величина с двухмодальным распределением: комбинация двух нормальных распределений с ожиданиями m1 и m2 и отклонениями s1 и s2.
exprnd	exprnd(lmb) – случайная величина с экспоненциальным распределением с интенсивностью lmb.
poissrnd	poissrnd(lmb) – дискретная случайная величина с распределением Пуассона с мат. ожиданием lmb.
binomrnd	binomrnd(n,p) – дискретная случайная величина с биномиальным распределением с числом испытаний n и вероятностью успеха одного испытания p.
gammarnd	gammarnd(k,th) – случайная величина с гамма-распределением с параметром формы k и масштабным параметром th.
weibrnd	weibrnd(k,lmb) – случайная величина с распределением Вейбулла с параметром формы k и масштабным параметром lmb.
Измерения	
Bandwidth	Bandwidth(expr, [level]) - ширина полосы пропускания выражения expr по уровню level дб. По умолчанию level = 3 дб.

CenterFrequency	CenterFrequency(expr, [level]) - центральная частота полосы пропускания выражения expr по уровню level дб. По умолчанию level = 3 дб.
Cutoff_Highpass	Cutoff_Highpass (expr, [level]) - верхняя граница полосы пропускания выражения expr по уровню level дб. По умолчанию level = 3 дб.
Cutoff_Lowpass	Cutoff_Lowpass (expr, [level]) - верхняя граница полосы пропускания выражения expr по уровню level дб. По умолчанию level = 3 дб.
DeltaX	DeltaX(expr, y1, y2, [cross]) - расстояние по оси абсцисс между двумя точками с ординатами y1,y2 выражения expr. Параметр cross – порядковый номер измерения, по умолчанию = 1.
DeltaY	DeltaY(expr, x1, x2) - расстояние по оси ординат между двумя точками с абсциссами x1, x2 выражения expr.
FallTime	FallTime(expr, y1, y2, [fall]) - длина спуска по оси абсцисс от значения y1 до y2 выражения expr, Параметр fall – порядковый номер спуска, по умолчанию = 1.
firstY	firstY(expr) - первое значение выражения expr
Frequency	Frequency(expr, y, [cross]) - частота выражения expr. Измеряется по уровню y. Параметр cross – порядковый номер измерения, по умолчанию = 1
Inflection	Inflection(expr, [cross]) - абсцисса перегиба выражения expr. Параметр cross – порядковый номер перегиба, по умолчанию = 1
lastY	lastY(expr) - последнее значение выражения expr
MaxY	MaxY(expr) - максимальное значение выражения expr
MaxX	MaxX(expr) - абсцисса максимального значения выражения expr
MinY	MinY(expr) - минимальное значение выражения expr
MinX	MinX(expr) - абсцисса минимального значения выражения expr

NX	NX(expr, [N=1]) - абсцисса N-точки выражения expr
NY	NY(expr, [N=1]) - значение выражения expr в N-точке графика
PeakX	PeakX(expr, [cross]) - абсцисса локального максимума выражения expr. Параметр cross – порядковый номер локального максимума, по умолчанию = 1
PeakY	PeakY(expr, [cross]) - значение локального максимума выражения expr. Параметр cross – порядковый номер локального максимума, по умолчанию = 1
Period	Period(expr, y, [cross]) - период выражения expr. Измеряется по уровню y. Параметр cross – порядковый номер измерения, по умолчанию = 1
Q_Bandpass	Q_Bandpass (expr, [level]) - добротность выражения expr по уровню level дб. По умолчанию level = 3 дб.
RangeY	RangeY(expr,x1,x2) - перепад, разность между максимальным и минимальным значениями выражения expr на участке [x1;x2]
RiseTime	RiseTime(expr, y1, y2, [rise]) - длина подъема по оси абсцисс от значения y1 до y2 выражения expr, Параметр rise – порядковый номер подъема, по умолчанию = 1.
Slope	Slope(expr, x) - наклон выражения expr в абсциссе x
SlopeX	SlopeX(expr, slope, [cross]) - абсцисса наклона выражения expr, равного slope. Параметр cross – порядковый номер наклона графика, по-умолчанию=1.
ValleyX	ValleyX(expr, [cross]) - абсцисса локального минимума выражения expr. Параметр cross – порядковый номер локального максимума, по умолчанию = 1
ValleyY	ValleyY(expr, [cross]) - значение локального минимума выражения expr. Параметр cross – порядковый номер локального максимума, по умолчанию = 1

Width	Width(expr, y, [<cross>]) - интервал по оси абсцисс между двумя точками выражения expr с ординатами y. Параметр cross – порядковый номер y, по умолчанию = 1
XatY	XatY(expr,y,cross,[crosstype]) - значение абсциссы точки графика выражения expr равного y.Параметр cross – порядковый номер y, crosstype - тип пересечения: -1 - падение, 1- возрастание.
YatX	YatX(expr,x) - значение выражения expr в точке x
Другие функции	
DELAY	Delay(f(x),Xdel) – сдвиг f(x) на константное выражение Xdel.
Impulse	Impulse(x) – импульс с единичной площадью и амплитудой X
STP	STP(f(x)), – единичная ступенька, начинающаяся при t=f(x): STP(f(x))=1 при time>f(x) иначе STP(f(x))=0
U	U(f(x)), – единичная ступенька, начинающаяся при f(x)>0: U(f(x))=1 при f(x)>0 иначе U(f(x))=0
uramp	uramp(f(x))=f(x) при f(x)>0, иначе uramp(f(x))=0
If	IF(b, f1, f2) – условная функция. Если выражение b истинно, if возвращает выражение f1,иначе – возвращает выражение f2
Limit	Limit(f(z), g(z), h(z)) – предел. Возвращает f(z) с вещественной частью, ограниченной значениями RE(g(z)) и RE(h(z)) и мнимой, ограниченной значениями Im(g(z)) и Im(h(z))
Max	max(f1(z),[f2(z)]) – максимум
Min	min(f1(z),[f2(z)]) – минимум
Hypot	hypot(z1,z2) = sqrt(z1*z1+z2*z2)
Sgn, Signum	sign(f(z) – знак
GD	gd(f(z)) - групповое время задержки вычисляемое для комплексной функции f(z)

Poly	POLY(число переменных), список переменных, коэффициенты – полиномиальная функция формата Spice Пример: POLY(1) V1 p0,p1,p2,p3.. pk = p0+p1*v1+p2*(v1^2)+p3*(v1^3)+...pk*(v1^k)
Table	Table(f(x),x0,y0,x1,y1…) – таблица. f(x) – выражение, xi, yi – пары чисел кусочно-линейного представления. Table(f(x),<Имя файла>), <Имя файла> – имя текстового файла, содержащего строки с парами чисел xi, yi
PWL	pwl(f(x),x0,y0,x1,y1…) – кусочно-линейная функция. f(x) – выражение, xi, yi – пары чисел кусочно-линейного представления. pwl(f(x),<Имя файла>), <Имя файла> – имя текстового файла, содержащего строки с парами чисел xi, yi
SCHEDULE	schedule(x0,y0,x1,y1…) – кусочно-постоянная функция. xi, yi – пары чисел кусочно-постоянного представления
CURVE	curve(имя графика) – функция работы с графиками. Позволяет использовать уже построенные кривые в математических выражениях

24 Синтез фильтров

SimOne позволяет проводить параметрический синтез электронных схем активных и пассивных фильтров. Для этого он содержит свой собственный конструктор фильтров, использующий как классические схемы реализации. так и оригинальные.
Разработка фильтра производится в интерактивном режиме: любые внесенные пользователем изменения требований к характеристике фильтра вызывают автоматический пересчет параметров схемы и перестроение частотных характеристик в окне предпросмотра.

Окно конструктора фильтров

Окно конструктора фильтров вызывается из главного меню: **Дизайн#Фильтры...**
На рис. 24.1 и 24.2 приведено окно конструктора фильтров, описание его параметров содержится в таблице 24.1

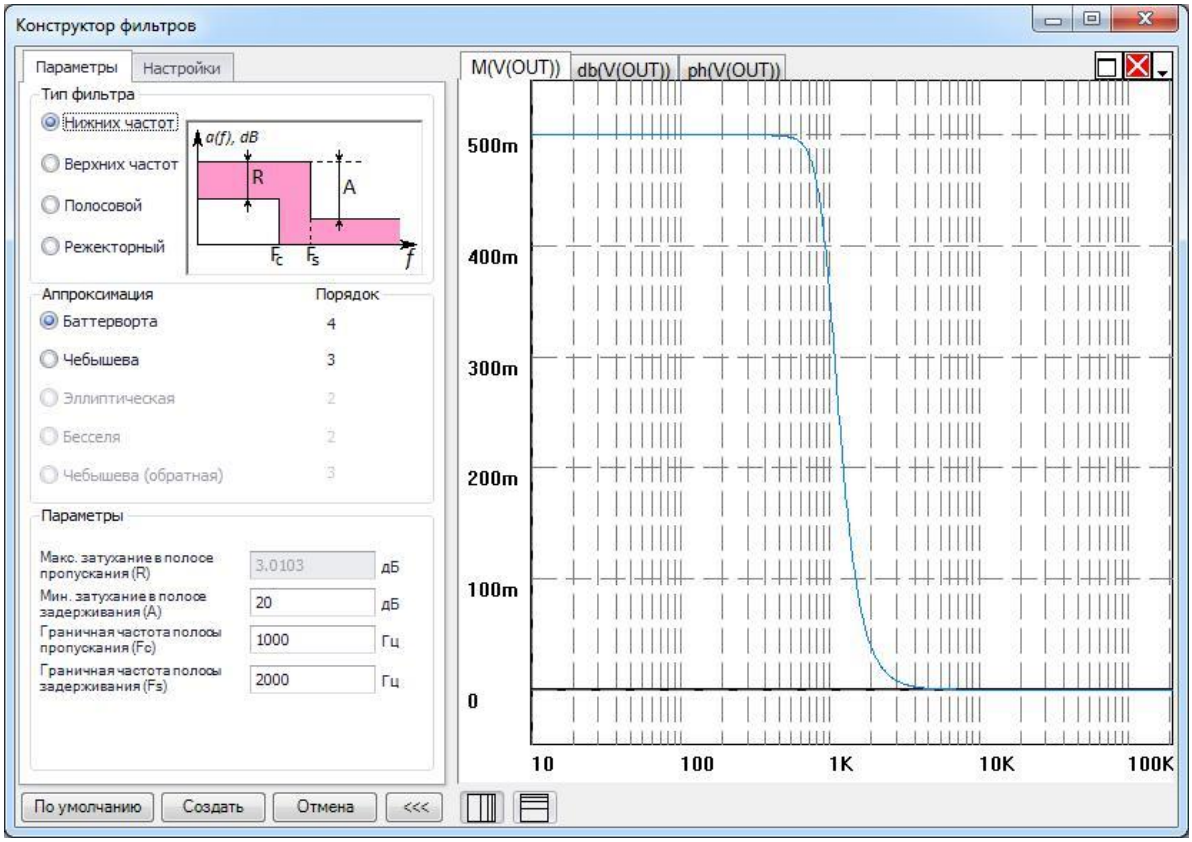


Рис. 24.1 Окно конструктора фильтров - Параметры

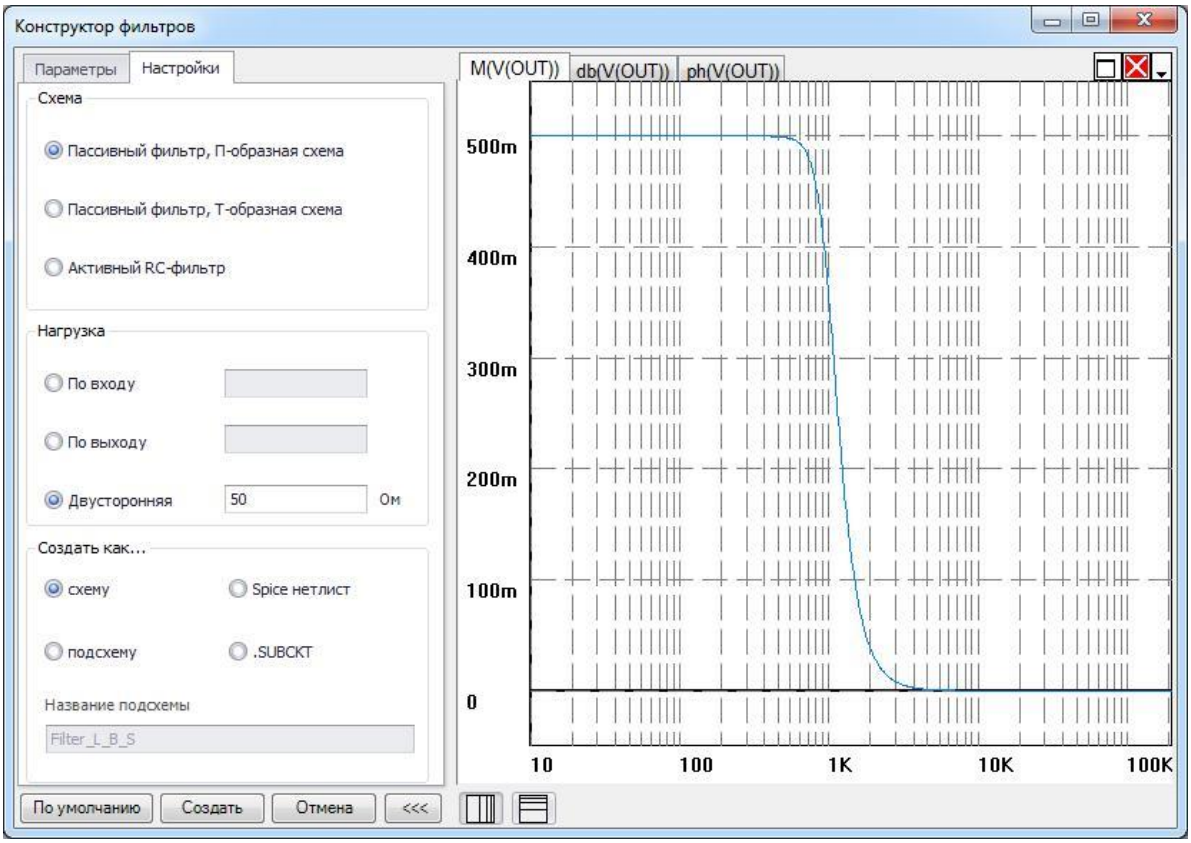
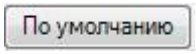
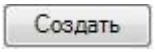
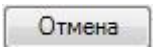


Рис. 24.2 Окно конструктора фильтров - Настройки

Таблица 24.1 Параметры конструктора фильтров

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Тип фильтра	Доступны следующие типы фильтров: • нижних частот, • верхних частот, • полосовой, • режекторный.	Нижних частот
Аппроксимация	Тип характеристики аппроксимации. Доступны следующие типы: • Баттерворта, • Чебышева.	Баттерворта

Максимальное затухание в полосе пропускания	Определяет амплитуду колебаний АЧХ в полосе пропускания. Актуально для фильтров с характеристикой Чебышева	3дБ.
Минимальное затухание в полосе задерживания	Определяет максимальную величину АЧХ в полосе задерживания.	20дБ.
Граничная частота полосы пропускания	Определяет спад АЧХ по уровню 3дБ. Актуально для фильтров нижних и верхних частот.	1 КГц
Граничная частота полосы задерживания	Определяет спад АЧХ до минимального затухания в полосе задерживания. Актуально для фильтров нижних и верхних частот.	2 КГц
Центральная частота	Определяет центральную частоту полосы пропускания. Актуально для полосовых и режекторных фильтров.	1 КГц
Ширина полосы пропускания	Определяет спад АЧХ по уровню 3дБ. Актуально для полосовых и режекторных фильтров.	100 Гц
Ширина полосы задерживания	Определяет спад АЧХ до минимального затухания в полосе задерживания. Актуально для полосовых и режекторных фильтров.	200 Гц
Настройки		
Схема	Вид схемы реализации фильтра: • пассивный LC-фильтр П-образная схема; • пассивный LC-фильтр Т-образная схема; • активный RC-фильтр.	Пассивный LC-фильтр П-образная схема
Нагрузка	~~Тип нагрузки и значение~~ сопротивления: • По входу • По выходу •	Двусторонняя нагрузка, 50 Ом

	Двусторонняя	
Создать как..	Создать схему фильтра в качестве: • схемы в графическом редакторе; • графической подсхемы; • SPICE-текстом; • текстовой подсхемой в SPICE-формате	Схема
Имя подсхемы	Задает имя создаваемой подсхемы.	Filter_L_B_S
Кнопки		
	Установить значения по умолчанию	
	Создать фильтр	
	Закрыть окно конструктора фильтров без создания фильтра	
	Открыть окно предпросмотра частотных характеристик фильтра	
	Логарифмировать ось X	Вкл.
	Логарифмировать ось Y	Выкл.

25 Синтез дисперсионных линий задержки

SimOne позволяет проводить параметрический синтез электронных схем дисперсионных линий задержек. Для этого он содержит свой собственный конструктор схем, использующий оригинальные алгоритмы синтеза. Разработка схем производится в интерактивном режиме: любые внесенные пользователем изменения требований к характеристике дисперсионной линии задержки вызывают автоматический пересчет параметров схемы и перестроение частотных характеристик в окне предпросмотра.

Окно конструктора

Окно конструктора фильтров вызывается из главного меню: **Дизайн#ДЛЗ...**
На рис. 25.1 и 25.2 приведено окно конструктора дисперсионных линий задержек, описание его параметров содержится в таблице 25.1

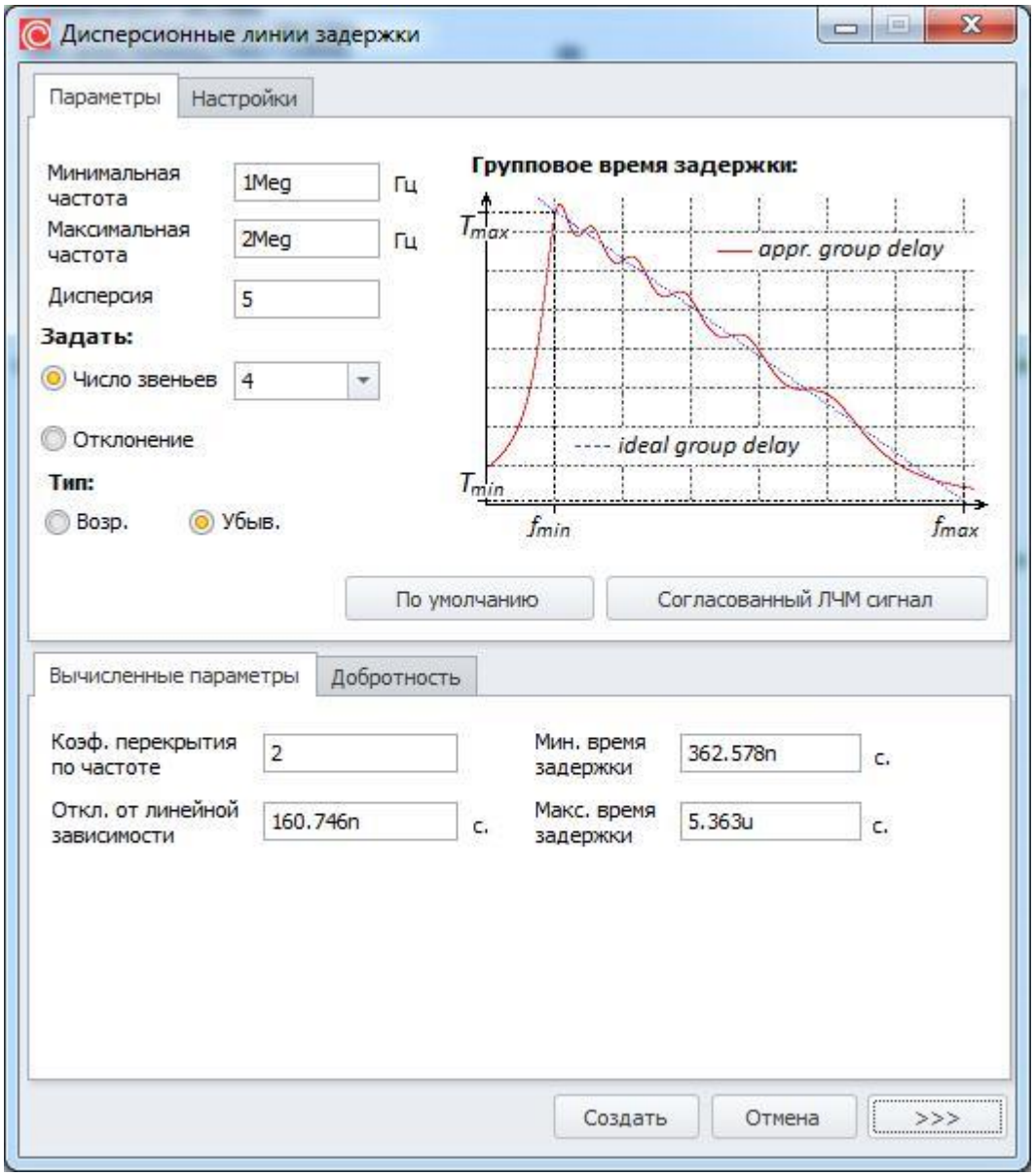


Рис. 25.1 Окно конструктора схем - Параметры

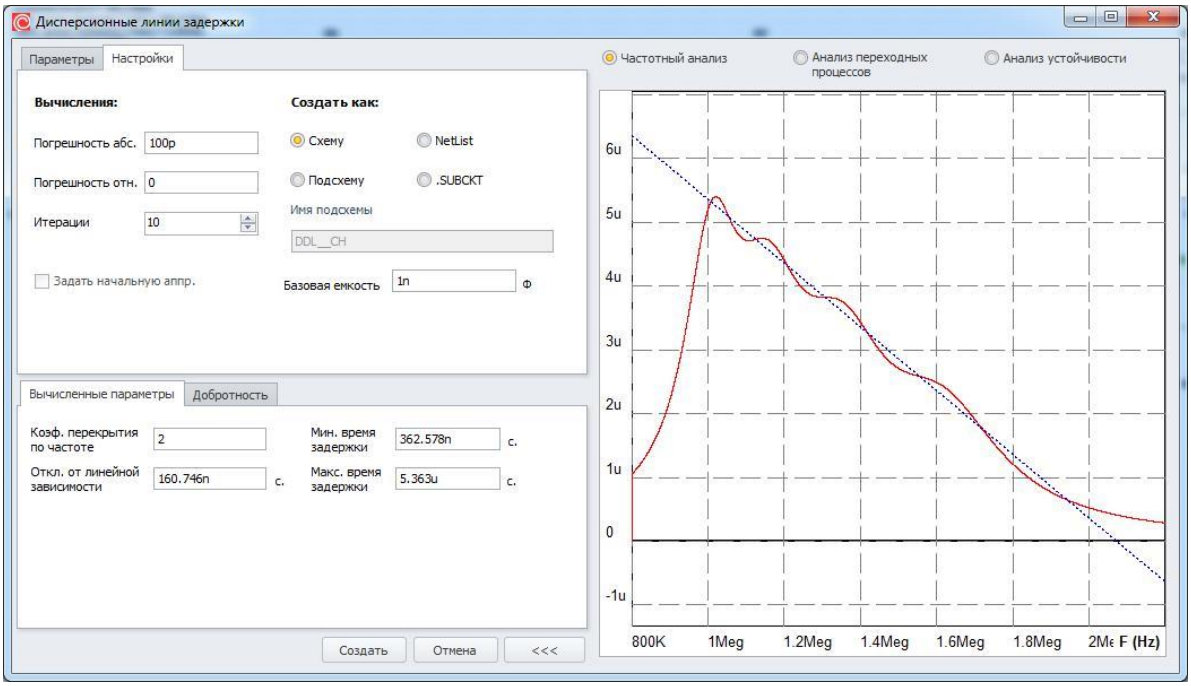
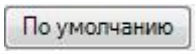
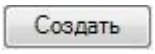
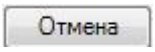


Рис. 25.2 Окно конструктора схем - Настройки

Таблица 25.1 Параметры конструктора фильтров

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Задаваемые параметры		
Минимальная частота	Минимальная частота интервала	1М Гц
Максимальная частота	Максимальная частота интервала	2М Гц
Дисперсия	Определяет величину наклона линии группового времени задержи	5дБ.
Число звеньев	Определяет количество звеньев схемы	4
Отклонение	Величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	2 мкс
Согласованный ЛЧМ сигнал	Окно задания параметров согласованного линейно частотно-модулированного сигнала	
Тип	Тип характеристики	убывающая
Расчетные параметры		

Коэффициент перекрытия по частоте	Определяется отношением максимальной частоте к минимальной	2
Отклонение от линейной зависимости	Сюда выводится величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	
Число звеньев	Количество звеньев синтезируемой схемы.	
Минимальное время задержки	Минимальное время задержки синтезируемой схемы	
Максимальное время задержки	Максимальное время задержки синтезируемой схемы	
Добротность	Сюда выводятся добротности каждого звена синтезироемой схемы	
Настройки		
Погрешность абсолютная	Максимальное значение абсолютной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	100п
Погрешность относительная	Максимальное значение относительной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	
Итерации	Максимальное количество итераций алгоритма синтеза схемы	10
Создать как...	Создать схему фильтра в качестве: • схемы в графическом редакторе; • графической подсхемы; • SPICE-текстом; • текстовой подсхемой в SPICE-формате	
Имя подсхемы	Задает имя создаваемой подсхемы.	DDL__CH
Базовая емкость	Значение базовой емкости, определяющее величины резисторов и емкостей схемы.	1пФ
Кнопки		
	Установить значения по умолчанию	

	Создать фильтр	
	Закрыть окно конструктора фильтров без создания фильтра	
	Открыть окно предпросмотра частотных характеристик фильтра	
	Логарифмировать ось X	Вкл.
	Логарифмировать ось Y	Выкл.

26 Синтез схем с наклонными участками АЧХ

SimOne позволяет проводить параметрический синтез электронных схем с заданными наклонными участками амплитудно частотных характеристик.
Для этого он содержит свой собственный конструктор схем, использующий оригинальные алгоритмы синтеза.
Разработка схем производится в интерактивном режиме: любые внесенные пользователем изменения требований к характеристике наклонного участка АЧХ вызывают автоматический пересчет параметров схемы и перестроение частотных характеристик в окне предпросмотра.

Окно конструктора

Окно конструктора фильтров вызывается из главного меню: **Дизайн#ЛинАЧХ...**
На рис. 26.1 и 26.2 приведено окно конструктора дисперсионных линий задержек, описание его параметров содержится в таблице 26.1

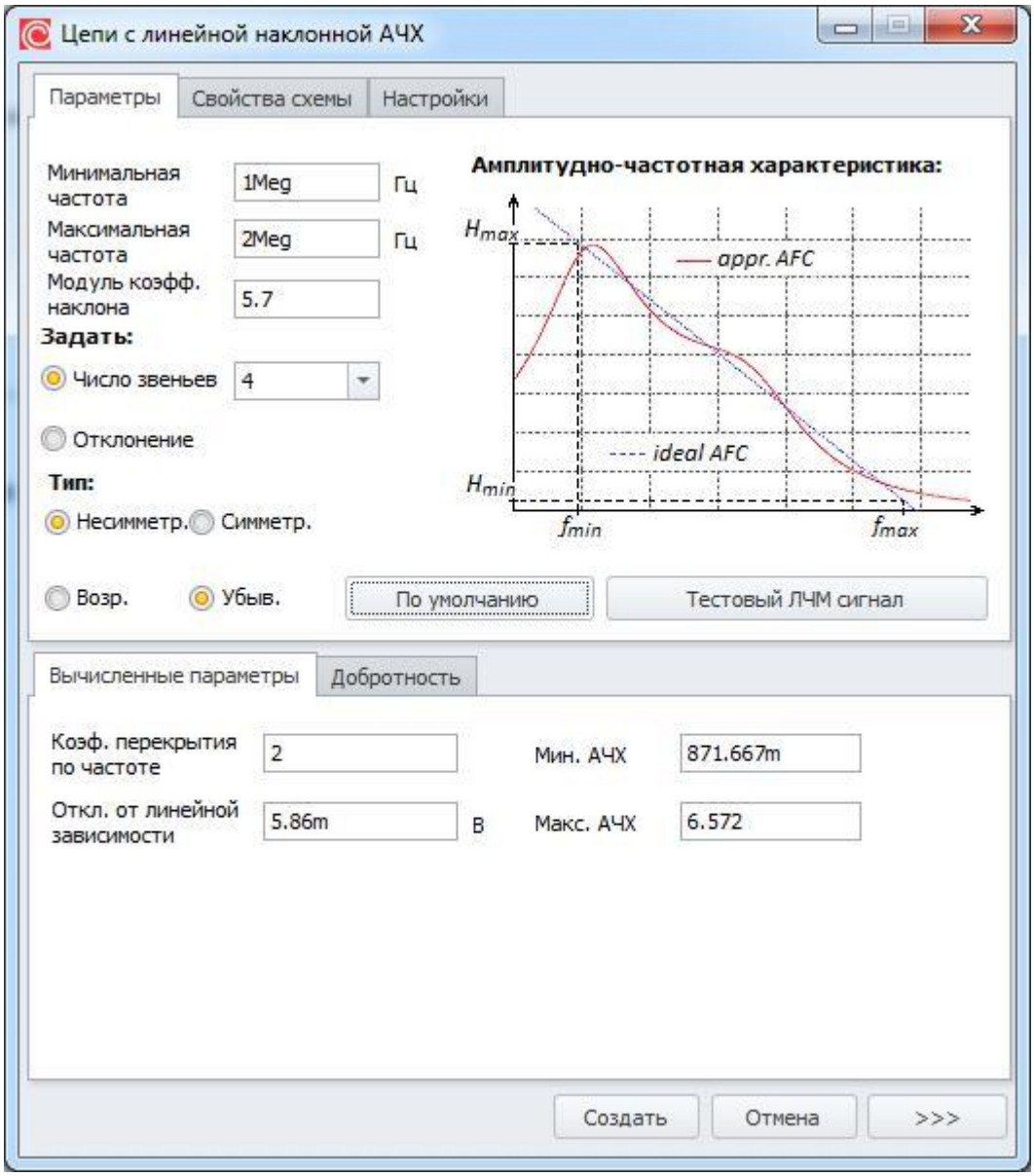


Рис. 26.1 Окно конструктора схем - Параметры

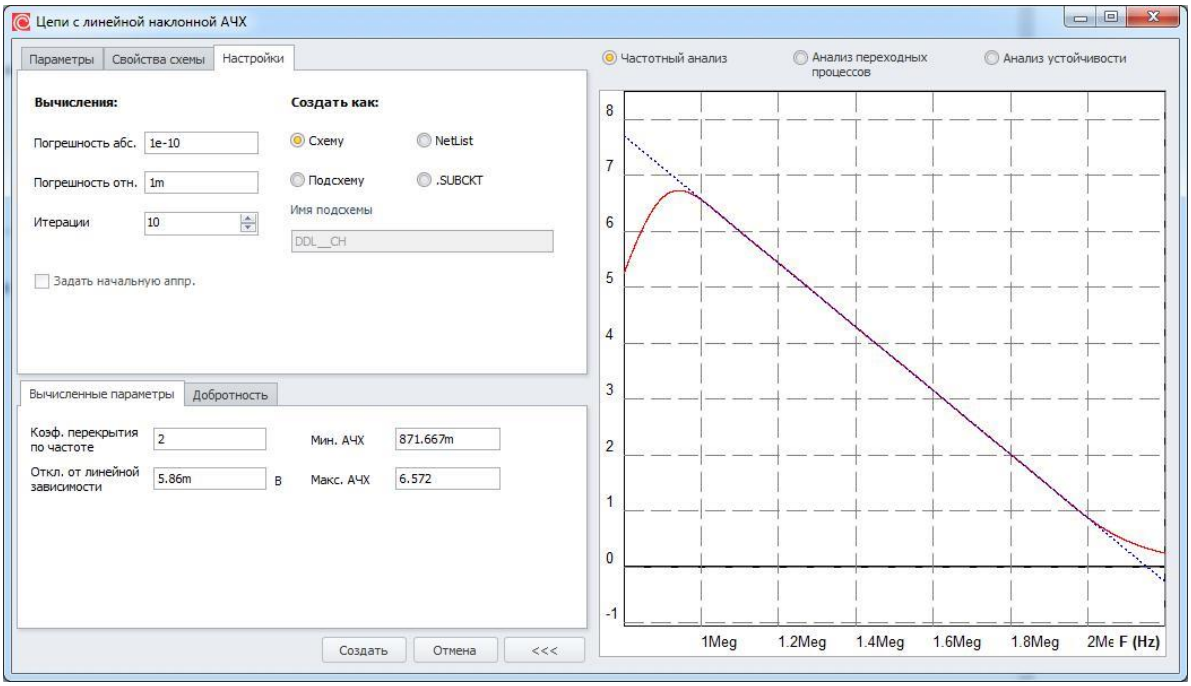
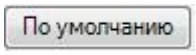
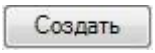
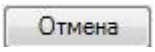


Рис. 26.2 Окно конструктора схем - Настройки

Таблица 26.1 Параметры конструктора фильтров

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Задаваемые параметры		
Минимальная частота	Минимальная частота интервала	1М Гц
Максимальная частота	Максимальная частота интервала	2М Гц
Модуль коэффициента наклона	Определяет величину наклона линии АЧХ	5.7дБ.
Число звеньев	Определяет количество звеньев схемы	4
Отклонение	Величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	2 мкс
Согласованный ЛЧМ сигнал	Окно задания параметров согласованного линейно частотно-модулированного сигнала	
Тип	Тип характеристики: • несимметричная	несимметричная убывающая

	• симметричная • убывающая • возрастающая	
Расчетные параметры		
Коэффициент перекрытия по частоте	Определяется отношением максимальной частоте к минимальной	2
Отклонение от линейной зависимости	Сюда выводится величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	
Число звеньев	Количество звеньев синтезируемой схемы.	
Минимальное АЧХ	Минимальное значение АЧХ	
Максимальное АЧХ	Максимальное значение АЧХ	
Добротность	Сюда выводятся добротности каждого звена синтезироемой схемы	
Настройки		
Погрешность абсолютная	Максимальное значение абсолютной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	100п
Погрешность относительная	Максимальное значение относительной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	
Итерации	Максимальное количество итераций алгоритма синтеза схемы	10
Создать как...	Создать схему фильтра в качестве: • схемы в графическом редакторе; • графической подсхемы; • SPICE-текстом; • текстовой подсхемой в SPICE-формате	
Имя подсхемы	Задает имя создаваемой подсхемы.	DDL__CH

Базовая емкость	Значение базовой емкости, определяющее величины резисторов и емкостей схемы.	1пФ
Элементный базис	• пассивная Т-образная LC-схема • активная RC-схема	пассивная Т-образная LC-схема
Тип нагрузки	• по входу • по выходу • двусторонняя	по входу 1К Ом
	Кнопки	
	Установить значения по умолчанию	
	Создать фильтр	
	Закрыть окно конструктора фильтров без создания фильтра	
	Открыть окно предпросмотра частотных характеристик фильтра	
	Логарифмировать ось X	Вкл.
	Логарифмировать ось Y	Выкл.

Рекомендованная литература

1. Andrei Vladimirescu – The SPICE Book – John Wiley&Son, Inc, 1993
2. Laurence W. Nagel – SPICE2: Computer program to simulate semiconductor circuits – College of the Engineering University of California Berkeley, 1975
3. T. Tuma – Circuit Simulation with SPICE OPUS Theory and Practice – Birkhäuser Boston, a part of Springer Science+Business Media, 2009
4. K.S. Kundert – The Designer's Guide to SPICE and SPECTRE – Kluwert Academic Publishers, 1995
5. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др.; Под ред. А. А. Воронова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.(http:// edu.alnam.ru/book_v_tau1.php?id=55)