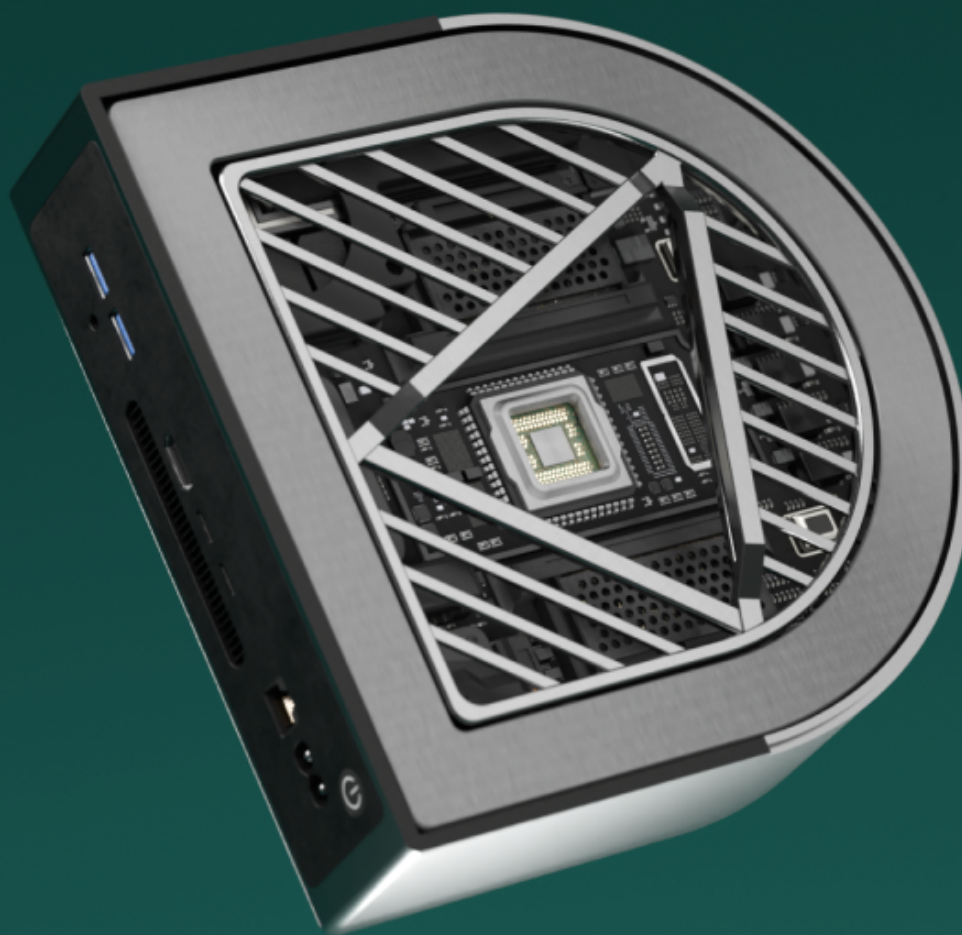




Комплексная среда сквозного проектирования
электронных устройств

Руководство пользователя
Система аналогового моделирования SimOne

Май, 2025



Руководство пользователя

Внимание!

Права на данный документ в полном объеме принадлежат компании «ЭРЕМЕКС» и защищены законодательством Российской Федерации об авторском праве и международными договорами.

Использование данного документа (как полностью, так и частично) в какой-либо форме, такое как: воспроизведение, модификация (в том числе перевод на другой язык), распространение (в том числе в переводе), копирование (заимствование) в любой форме, передача форме третьим лицам, – возможны только с предварительного письменного разрешения компании «ЭРЕМЕКС».

За незаконное использование данного документа (как полностью, так и частично), включая его копирование и распространение, нарушитель несет гражданскую, административную или уголовную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

Компания «ЭРЕМЕКС» оставляет за собой право изменить содержание данного документа в любое время без предварительного уведомления.

Данный документ предназначен для продвинутого пользователя ПК, знакомого с поведением и механизмами операционной системы Windows, уверенно владеющего инструментарием операционной системы.

Последнюю версию документа можно получить в сети Интернет по ссылке:

www.eremex.ru/knowledge-base/delta-design/docs

Компания «ЭРЕМЕКС» не несёт ответственности за содержание, качество, актуальность и достоверность материалов, права на которые принадлежат другим правообладателям.

Обозначения ЭРЕМЕКС, EREMEX, Delta Design, TopoR, SimOne являются товарными знаками компании «ЭРЕМЕКС».

Остальные упомянутые в документе торговые марки являются собственностью их законных владельцев.

В случае возникновения вопросов по использованию программ Delta Design, TopoR, SimOne, пожалуйста, обращайтесь:

Форум компании «ЭРЕМЕКС»: www.eremex.ru/society/forum

Техническая поддержка

E-mail: support@eremex.ru

Отдел продаж

Тел. +7 (495) 232-18-64

E-mail: info@eremex.ru

E-mail: sales@eremex.ru

Содержание

Система аналогового моделирования SimOne

1	Общие сведения	10
1.1	Интерфейс	10
1.1.1	Меню «SimOne»	10
1.2	Создание проекта	11
1.2.1	Создание проекта моделирования	11
1.2.2	Создание проекта платы Delta Design	16
1.2.3	Отчет по SPICE-моделям	27
1.2.4	Панель «Менеджер проекта». Сведения о SPICE-моделях проекта.	29
1.3	Панели инструментов	31
1.3.1	Панель инструментов «Запуск/Отладка»	32
1.3.2	Панель инструментов «SimOne Graphics»	33
2	Подсхемы	34
2.1	Создание графической подсхемы	35
3	SPICE-текст	36
3.1	Добавление объекта SPICE-текст на схему	36
3.2	Редактирование объектов SPICE-текст	37
4	Библиотека компонентов	39
4.1	Общие сведения	39
4.2	Примитивы	42
4.2.1	Добавление примитивов на схему	44
4.2.2	Редактирование параметров модели компонента	46
4.2.3	Активные компоненты. Общие параметры	47
4.2.4	Источники	55
4.2.5	Многополюсники	61
4.2.6	Пассивные элементы	64
4.3	Библиотеки	74
4.3.1	Предустановленная библиотека	74

4.3.2	Пользовательские SPICE-библиотеки	76
4.3.3	Файлы описания модели	77
5	Сигналы	82
5.1	Общие сведения	82
5.2	Экспоненциальный сигнал (EXP)	85
5.3	Импульсный сигнал (PULSE)	87
5.4	Кусочно-линейный сигнал (PWL)	88
5.5	Синусоидальный сигнал (SIN)	90
5.6	Частотно-модулированный синусоидальный сигнал (SFFM)	91
5.7	Шумовой сигнал (NOISE)	93
5.8	Гауссов импульс (GAUSSIAN)	94
5.9	Амплитудно-модулированный сигнал (AM)	95
5.10	Сигнал в аудиоформате (WAV)	97
5.11	Линейно-частотно-модулированный сигнал (SLFM)	98
6	Моделирование	99
6.1	Общие сведения	99
6.2	Окно параметров моделирования	101
6.3	Рабочая точка	104
6.3.1	Общие сведения	104
6.3.2	Интерфейс расчёта рабочей точки	105
6.3.3	Методы расчёта рабочей точки	107
6.3.4	Задание начальных условий .IC и .NODESET	108
6.4	Расчет чувствительности по постоянному току	110
6.4.1	Общие сведения	110
6.4.2	Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току	111
6.5	Статический анализ	113
6.5.1	Общие сведения	114
6.5.2	Интерфейс задания параметров моделирования	115
6.6	Анализ гармонического режима схемы	119

6.6.1	Общие сведения	119
6.6.2	Интерфейс анализа гармонического режима схемы	120
6.7	Частотный анализ	122
6.7.1	Общие сведения	122
6.7.2	Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы	123
6.8	Анализ переходных процессов	127
6.8.1	Общие сведения	127
6.8.2	Интерфейс расчёта переходных процессов схемы	128
6.9	Анализ периодических режимов	129
6.9.1	Общие сведения	129
6.9.2	Интерфейс расчёта периодических режимов схемы	131
6.10	Анализ устойчивости схемы	135
6.10.1	Общие сведения	135
6.10.2	Интерфейс анализа устойчивости схемы	137
6.11	Многовариантные типы анализа схем	141
6.11.1	Общие сведения	142
6.11.2	Температурный расчёт схемы	142
6.11.3	Параметрический анализ схемы	143
6.11.4	Анализ Монте-Карло и наихудшего случая	146
6.12	Настройки	153
7	Просмотр и обработка результатов моделирования	160
7.1	Общие сведения	161
7.2	Работа с графиками	163
7.3	Панель «Моделирование: Графики»	166
7.4	Режимы	169
7.5	Работа с курсорами	169
7.5.1	Панель «Моделирование: Курсоры»	172
7.6	Экспорт графиков	174
8	Измерения	177
8.1	Настройки вкладки «Измерения»	178

8.2	Добавление нового измерения	180
8.3	Список функций измерений	182
8.3.1	Bandwidth <выражение> [<level>]	185
8.3.2	CenterFrequency <выражение> [<level>]	186
8.3.3	Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]	186
8.3.4	Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]	187
8.3.5	DeltaX <выражение> <Yfirst> <Ylast> [<number>]	187
8.3.6	DeltaY <выражение> <Xfirst> <Xlast>	188
8.3.7	FallTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	188
8.3.8	FirstY <выражение>	189
8.3.9	Frequency <выражение> <y_fixed> [<number>]	189
8.3.10	Inflection <выражение> [<number>]	190
8.3.11	LastY <выражение>	190
8.3.12	MaxY <выражение>	191
8.3.13	MaxX <выражение>	191
8.3.14	MinY <выражение>	191
8.3.15	MinX <выражение>	191
8.3.16	NX <выражение> [<number>]	192
8.3.17	NY <выражение> [<number>]	192
8.3.18	PeakX <выражение> [<number>]	192
8.3.19	PeakY <выражение> [<number>]	193
8.3.20	Period <выражение> <y_fixed> [<number>]	193
8.3.21	Q_Bandpass <выражение> [<level>]	194
8.3.22	RangeY <выражение> <xfirst> <xlast>	194
8.3.23	RiseTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	195
8.3.24	Slope <выражение> <x_fixed>	195
8.3.25	SlopeX <выражение> <slope> [<number>]	196
8.3.26	ValleyX <выражение> [<number>]	196
8.3.27	ValleyY <выражение> [<number>]	196
8.3.28	Width <выражение> <y_fixed> [<number>]	197
8.3.29	XatY <выражение> <y_fixed> [<number>] [<type>]	197
8.3.30	YatX <выражение> <x_fixed>	198

8.4	Панель «Моделирование: Измерения»	199
9	Преобразование Фурье	200
9.1	Вкладка преобразования Фурье	200
9.2	Окно преобразования Фурье	203
10	Выражения	205
10.1	Общие сведения	205
10.2	Числа и константы	206
10.3	Переменные	207
10.4	Расчётные параметры моделей компонентов	208
10.5	Символьные переменные	209
10.6	Переменные состояния схемы	210
10.7	Математические операторы и функции	210
10.7.1	Арифметические операторы	210
10.7.2	Булевы операторы	212
10.7.3	Арифметические функции	215
10.7.4	Булевы функции	218
10.7.5	Гиперболические функции	218
10.7.6	Измерения	221
10.7.7	Интегральные функции	229
10.7.8	Комплексные функции	232
10.7.9	Логарифмы и экспоненты	234
10.7.10	Остальные функции	236
10.7.11	Случайные функции	241
10.7.12	Тригонометрические функции	244
10.7.13	Функциональные преобразования	248

10.7.14	Фурье анализ	253
11	Дополнительные возможности	256
11.1	Щуп	256
11.1.1	Работа инструмента	257
11.2	Метка измерения	260
11.2.1	Работа инструмента	260
11.3	Просмотр результатов расчета	264
11.4	Панель «Моделирование: Подстройка параметров»	266
11.5	Экспорт уравнений	268
12	Панель «Журналы»	269
13	Приложение. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.	270
13.1	В. Функциональные источники напряжения и тока	270
13.2	В. Арсенид-галлиевый полевой транзистор	271
13.3	С. Конденсатор	276
13.4	Д. Диод	278
13.5	Е. Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)	281
13.5.1	ИНУН с функцией Лапласа	284
13.5.2	Функциональный ИН	284
13.5.3	Функциональный ИН с функцией Лапласа	285
13.6	Ф. Источник тока, управляемый током (ИТУТ)	285
13.6.1	ИТУТ с функцией Лапласа	287
13.7	Г. Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)	287
13.7.1	ИТУН с функцией Лапласа	289
13.7.2	Функциональный ИТ	290
13.7.3	Функциональный ИТ с функцией Лапласа	290
13.8	Н. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	290
13.8.1	ИНУТ с функцией Лапласа	292
13.9	І. Независимый источник тока	292
13.10	Ј. Полевой транзистор	293

13.11	K. Магнитно-связанная индуктивность	296
13.12	L. Индуктивность	297
13.13	M. Полевой транзистор с изолированным затвором	299
13.14	Q. Биполярный транзистор	305
13.15	R. Резистор	310
13.16	S. Переключатель, управляемый напряжением	312
13.16.1	Режим плавного переключения	313
13.16.2	Гистерезисный режим	313
13.17	T. Длинная линия	313
13.18	V. Независимый источник напряжения	314
13.19	W. Переключатель (ключ), управляемый током	315
13.19.1	Режим плавного переключения	317
13.19.2	Гистерезисный режим	317
13.20	X. Подсхема	317

1 Общие сведения

SimOne представляет собой встроенный модуль Delta Design.

Модуль аналогового моделирования SimOne позволяет проводить полнофункциональное SPICE-моделирование, а также исследование устойчивости схемы при изменении различных входных параметров.

1.1 Интерфейс

Все доступные для SimOne операции могут быть вызваны из главного и контекстного меню системы Delta Design.

1.1.1 Меню «SimOne»

Меню команд «SimOne» доступно из главного меню и содержит следующие пункты, см. [Рис. 1](#):

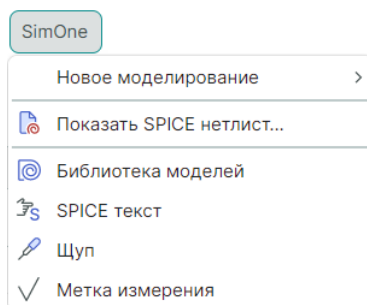


Рис. 1 Команды «SimOne» из главного меню



Примечание! Меню «SimOne» отображается в главном меню программы только при активном документе схемы проекта.

Описание доступных команд раздела главного меню «SimOne» представлен в [Табл. 1](#).

[Таблица 1](#) Перечень доступных команд

Символ	Команда	Описание
	Новое моделирование	Создание новой симуляции для активной схемы проекта моделирования.
	Показать SPICE-нетлист...	Отображение в отдельном окне SPICE-нетлиста, сгенерированного

Символ	Команда	Описание
		по активной схеме проекта моделирования.
	Библиотека моделей...	Активирование панели библиотеки моделей.
	SPICE-текст	Размещение SPICE-блока на схеме проекта моделирования.
	Щуп	Размещение щупа на схеме проекта моделирования.
	Метка измерения	Размещение метки измерения на схеме проекта моделирования.

1.2 Создание проекта

1.2.1 Создание проекта моделирования

В системе Delta Design с помощью модуля аналогового моделирования SimOne имеется возможность:

- построить и промоделировать схему проекта моделирования;
- создать список электрических цепей проекта моделирования.

Вызов создания проекта моделирования SimOne доступен из главного и контекстного меню, см. [Рис. 2](#):

- главное меню «Файл» → «Создать» → «Проект моделирования»;
- контекстное меню, вызванное из папки проекта в панели «Проекты» → «Создать другой проект» → «Проект моделирования».

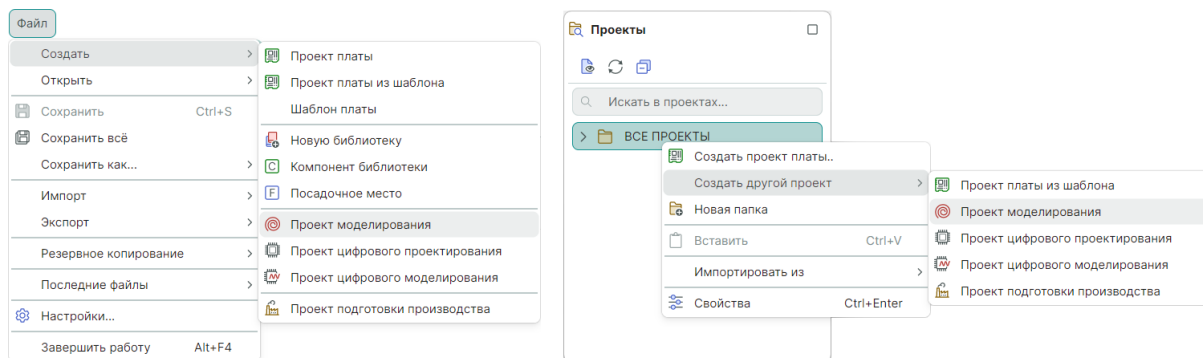


Рис. 2 Создание проекта моделирования



Важно! Создавая проект моделирования, важно помнить, что после создания схемы у пользователя не будет возможности создать плату проекта. Данный подход создания проекта возможен только для создания схемы и дальнейшего ее моделирования.

После запуска создания проекта открывается окно «Создать новый проект моделирования» с формой для заполнения основных параметров проекта, см. [Рис. 3](#).

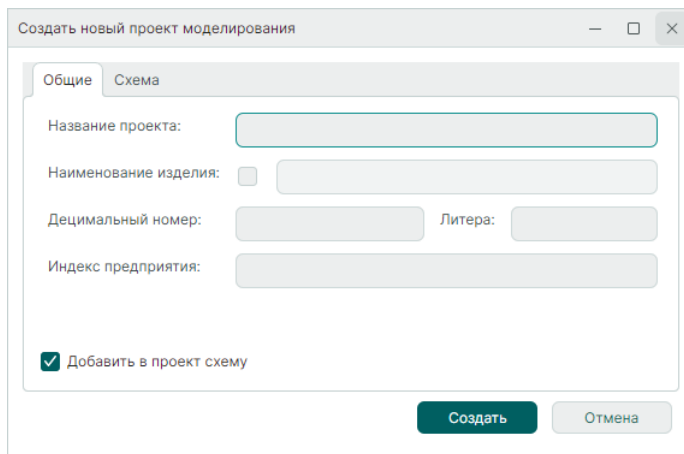


Рис. 3 Окно «Создать новый проект моделирования»

На вкладке «**Общие**» задается способ представления электрической схемы, а также общие свойства проекта.

К общим свойствам относятся:

- название проекта;
- наименование изделия (если чек-бокс не отмечен флагом, то наименование изделия будет совпадать с названием проекта);
- децимальный номер;
- литера;
- индекс предприятия.

Электрическая цепь разрабатываемого устройства, участвующего в моделировании, может быть выражена в формате принципиальной схемы или на основе списка цепей в формате SPICE.

По умолчанию установлен флаг в чек-бокс «Добавить в проект схему», это обеспечивает добавление электрической схемы проекта.

При снятии флага в чек-боксе «Добавить проект в схему» проект будет создан в виде [текстового проекта моделирования](#).

На вкладке «**Схема**» задаются параметры, определяющие оформление листов электрической схемы. Подробнее о заполнении данных см. [Проекты](#), раздел [Вкладка «Схема»](#).

1.2.1.1 Текстовый проект моделирования

Текстовый проект моделирования – это проект, предназначенный для моделирования электрической цепи, заданной в форме текста SPICE-формата – списка электрических цепей.

Основным источником входной информации для текстового проекта моделирования является список электрических цепей.

Для создания текстового проекта моделирования в окне «Создание проекта Моделирования» снимите флаг из чек-бокса «Добавить в проект схему», заполните поля основных параметров проекта и нажмите «ОК», см. [Рис. 4](#).

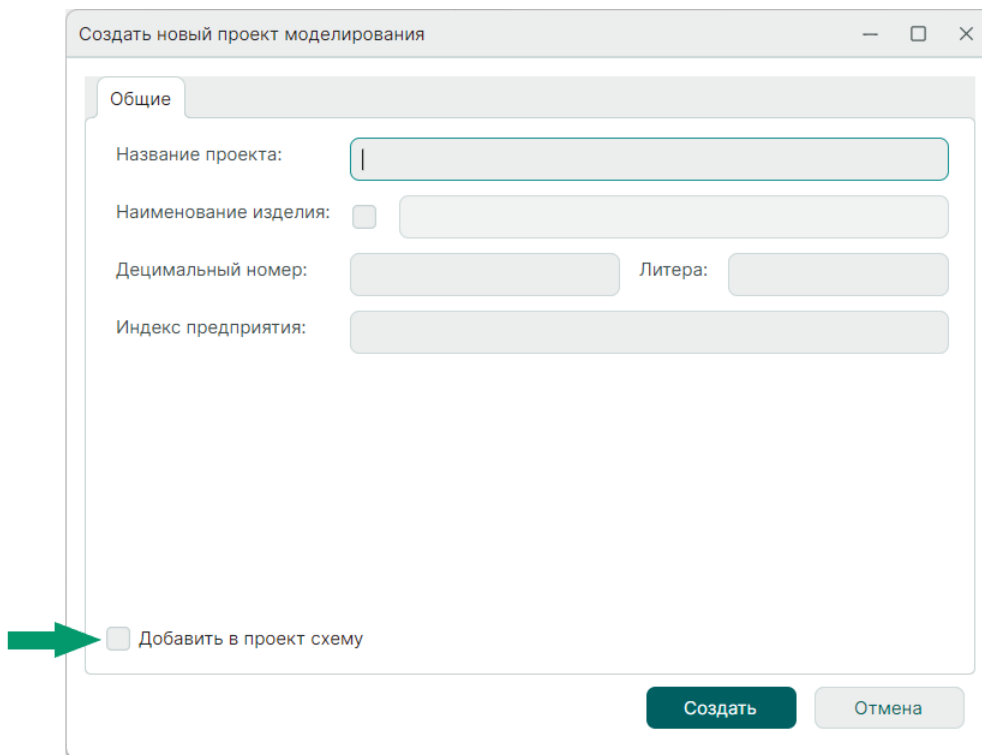


Рис. 4 Создание текстового проекта моделирования

После создания проекта моделирования без добавления схемы в проект в панели «Проекты» отображается новый проект с готовым шаблоном для создания текстовой модели, см. [Рис. 5](#).

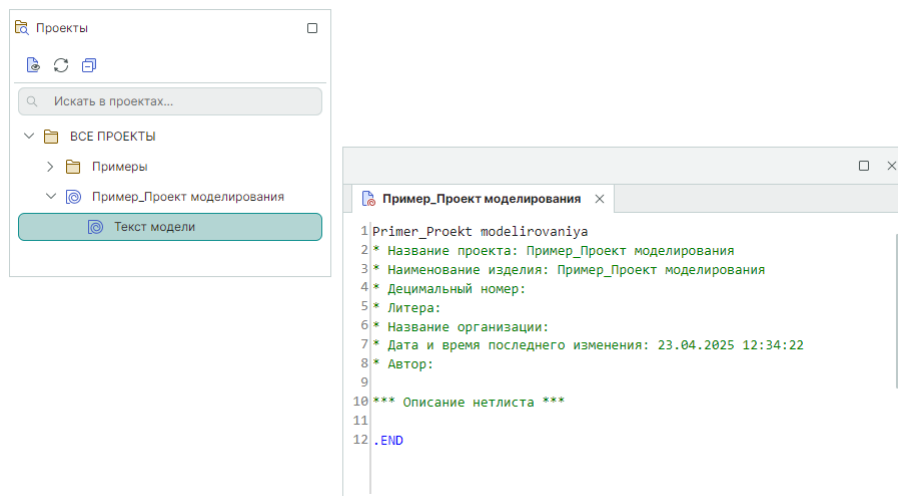


Рис. 5 Пример Текстового проекта моделирования и его шаблон в текстовом редакторе

Для проектов со схемой, что бы посмотреть его текстовую часть, необходимо из главного меню выбрать «SimOne» → «Показать SPICE нетлист», см. [Рис. 6](#).

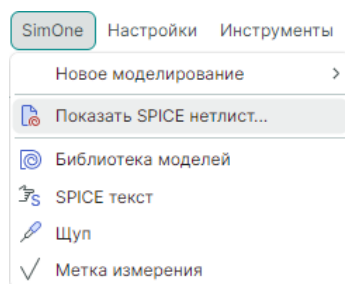


Рис. 6 Открытие текста модели текущей схемы

В результате выполнения команды «Показать SPICE нетлист» в окне текстового редактора отобразится описание схемы в виде списка цепей и описание моделей электронных компонентов, см. [Рис. 7](#).

```

1 *****
2 *   SPICE-нетлист по схеме
3 *   Создано в Delta Design
4 *   www.eremex.ru
5 *****
6
7 *** Описание нетлиста ***
8
9 C1 NET0004 NET0005 0.0000000015
10 C2 NET0006 NET0007 0.0000000015
11 V1 NET0001 N_INTERNAL_V1 DC 0 AC 1 0 PULSE 0 5 0 1u 1u 0.1m 0.1m
12 R_V1 N_INTERNAL_V1 0 0
13 VGB1 NET0002 0 5
14 R1 NET0001 NET0005 30000
15 R3 NET0002 NET0006 30000
16 R4 NET0002 NET0004 1000
17 R5 NET0002 NET0007 1000
18 Q1 NET0004 NET0006 0 NPN_MODEL_1 AREA=1
19 Q2 NET0007 NET0005 0 NPN_MODEL_1 AREA=1
20
21 *** Описание моделей ***
22
23 .MODEL NPN_MODEL_1 NPN
24 +(
25 + AF=1 BF=50 BR=0.1 CJC=0.5p CJE=0.4p CJS=1p
26 + CN=2.42 D=0.87 EG=1.11 FC=0.5 GAMMA=1e-11 IKF=infinity
27 + IKR=infinity IRB=infinity IS=1e-16 ISC=0 ISE=0
28 + ISS=0 ITF=0 KF=0 MJC=0.333 MJE=0.4
29 + MJS=0 NC=1.5 NE=1.5 NF=1 NK=0.5 NR=1 NS=1
30 + PTF=0 QCO=0 QUASIMOD=0 RB=50 RBM=0 RC=10
31 + RCO=0 RE=0 TF=0.12n TR=5n TRB1=0 TRB2=0
32 + TRC1=0 TRC2=0 TRE1=0 TRE2=0 TRM1=0
33 + TRM2=0
34 + VAF=50 VAR=infinity VG=1.206
35 + VJC=0.8 VJE=0.8 VJS=0.75 VO=10
36 + XCJC=1 XCJC2=1 XCJS=0 XTB=0
37 + XTF=0 XTI=3
38 +)
39 .END

```

Рис. 7 Пример описания схемы в виде списка цепей и описания моделей электронных компонентов в текстовом редакторе проекта

Принципиальная схема приведенного выше примера представлена на [Рис. 8.](#)

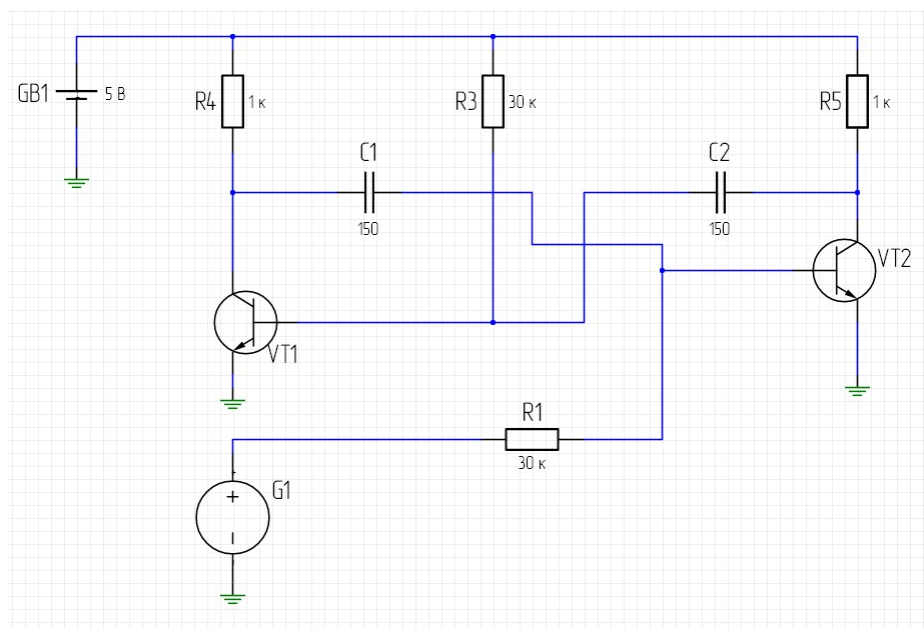


Рис. 8 Принципиальная схема

Анализ текстового проекта моделирования производится из главного меню «SimOne» → «Новое моделирование» или с помощью контекстного меню с узла «Расчеты и анализы» текущего проекта, подробнее см. раздел [Моделирование](#).

1.2.2 Создание проекта платы Delta Design

Использование функциональных возможностей аналогового моделирования SimOne возможно в рамках создания проекта платы в системе Delta Design, однако имеется ряд ограничений.

Для этого необходимо создать проект Delta Design любым способом, см.

[Рис. 9](#):

- главное меню «Файл» → «Создать» → «Проект платы»;
- контекстное меню, вызванное для любой папки в панели «Проекты» → «Создать проект платы...».

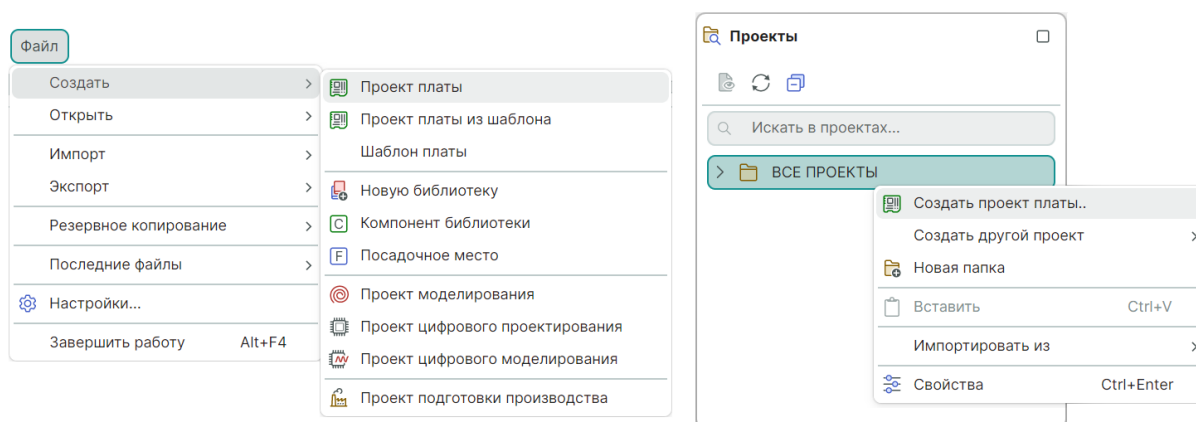


Рис. 9 Создание проекта платы

Подробнее о работе с проектами Delta Design см. [Проекты](#), раздел [Создание проекта](#).



Примечание! Создавая проект платы Delta Design, после составления схемы у пользователя есть возможность при необходимости создать плату проекта.

Библиотечные компоненты SimOne дополнены SPICE-моделями, наличие которых предопределяет возможность моделирования схемы с их использованием.

Контакты УГО библиотечных компонентов сопоставлены с выводами SPICE-модели компонента, следовательно, при создании нового компонента, после создания УГО и соответствующей ему SPICE-модели необходимо провести сопоставление контактов и выводов.

В системе Delta Design допустимо размещение библиотечных компонентов SimOne на схеме проекта, однако для использования данных компонентов при разводке платы некоторые компоненты необходимо будет "привязать" или к существующему посадочному месту, или создать новое посадочное место для размещенного библиотечного компонента SimOne. Подробнее смотри документ «[Руководство пользователя. Радиоэлектронные компоненты](#)».



Примечание! На схеме, предназначенной для моделирования, могут быть специальные компоненты, например, источники тока или напряжения, но они не размещаются на плате и, следовательно, не имеют посадочных мест.

При создании проекта моделирования можно использовать как библиотечные компоненты SimOne, так и задействовать компоненты библиотек Delta Design.

Для корректного использования библиотечных компонентов Delta Design необходимо добавить SPICE-модель внутри компонента или назначить SPICE-модель компоненту, уже расположенному на схеме.



Примечание! Для библиотечных компонентов Delta Design (резистор, конденсатор и индуктивность) параметры могут быть указаны как в поле «Радиодеталь» → «Номинал», так и «SPICE параметры» → «VALUE» панели «Свойства». В этом случае при выполнении расчетов будет использовано значение, заданное в поле «Номинал». Это обеспечивает автоматическое применение соответствующих параметров в расчетах симулятора при смене радиодетали.

У компонентов-примитивов не определены какие-либо радиодетали с заданным значением в поле «Номинал». Это позволяет пользователю менять вручную значение параметра «VALUE», без очистки значения поля «Номинал».

Добавление SPICE-модели к библиотечному компоненту

1. Откройте редактор компонента, см. [Рис. 10](#).

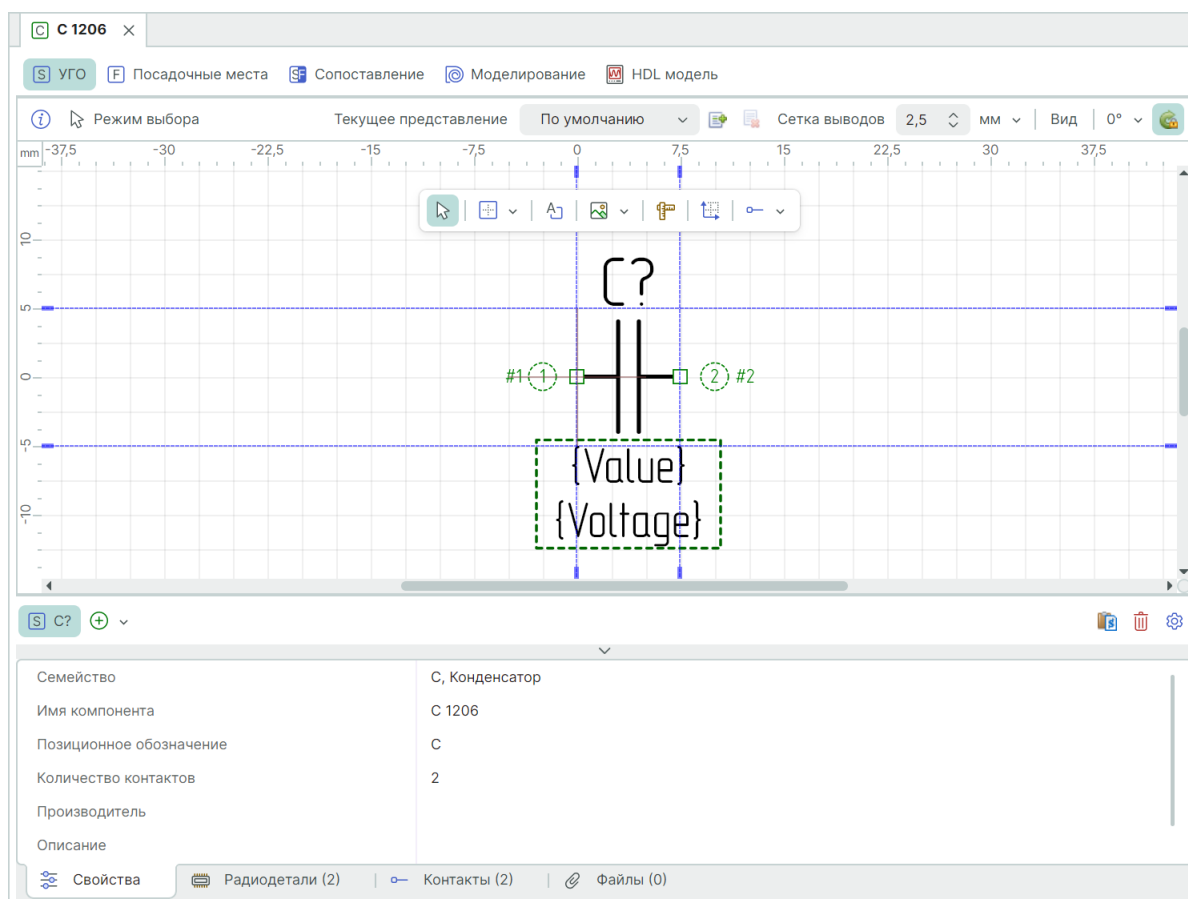


Рис. 10 Редактор компонента

2. Перейдите на вкладку «Моделирование», обозначенную кнопкой  Моделирование для добавления SPICE-модели, см. [Рис. 11](#).

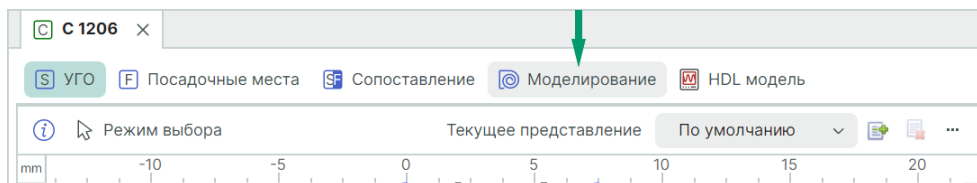


Рис. 11 Переход к созданию SPICE-модели

3. В открывшемся окне нажмите «Добавить SPICE-модель», см. [Рис. 12](#).

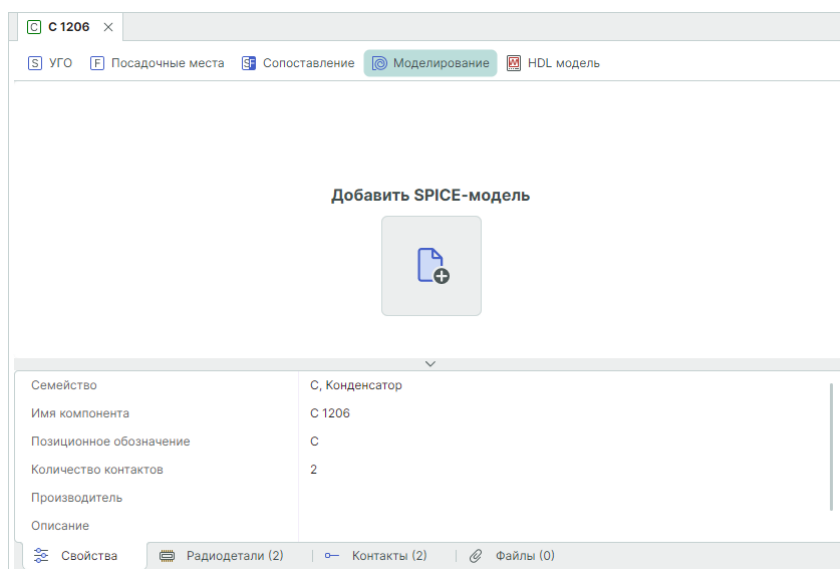


Рис. 12 Добавление SPICE-модели

4. В форме из выпадающего списка «Тип модели» выберите тип модели, см. [Рис. 13](#).

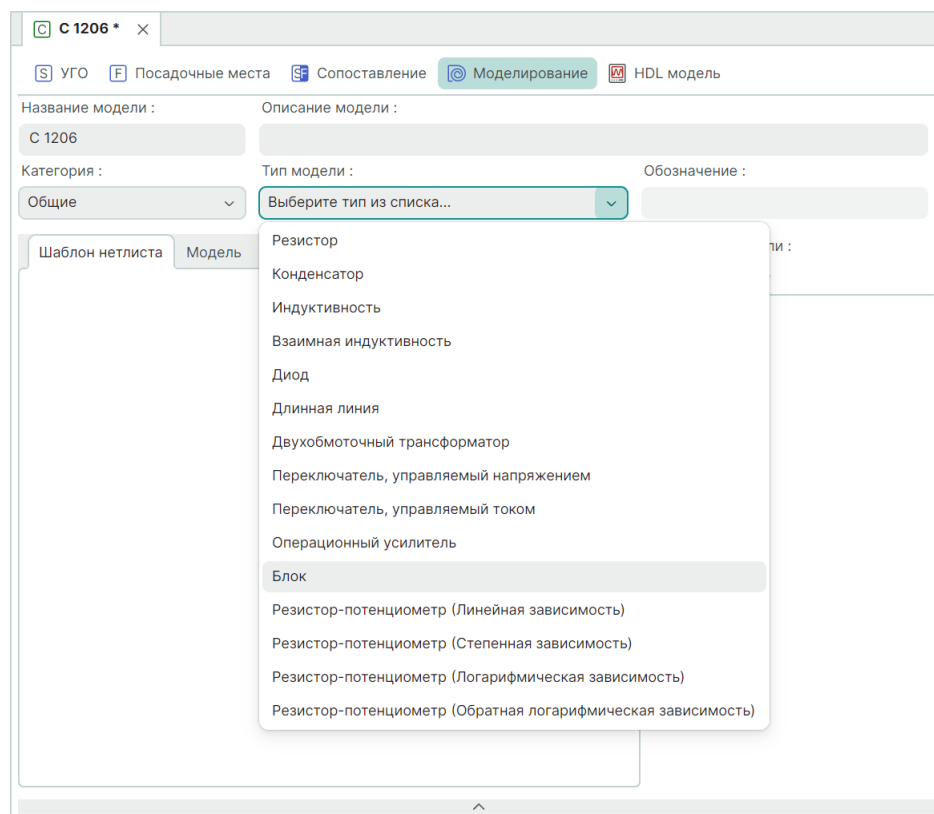


Рис. 13 Выбор типа модели



Примечание! Если нетлист добавляемой модели является подсхемой (.subckt), следует выбрать тип «Блок».

- Введите нетлист (список цепей) модели в текстовом окне вкладки «Модель», см. [Рис. 14](#).

Пример!

```
.SUBCKT NOJA106K006R 1 9
Lesl 1 2 1.800000e-009
Rels 1 2 10
Rp 2 9 5.500000e+006
Dp 9 2 DFWD
R1 2 3 RMOD1 2.360461e+000
C1 2 3 CMOD1 1.982308e-004
R2 3 4 RMOD2 5.325634e-001
C2 4 9 CMOD2 3.237240e-007
R3 4 5 RMOD3 2.540084e-001
C3 5 9 CMOD3 6.474480e-007
R4 5 6 RMOD4 1.900901e-001
C4 6 9 CMOD4 1.294896e-006
R5 6 7 RMOD5 6.680512e-001
C5 7 9 CMOD5 2.589792e-006
```



```

R6 7 8 RMOD6 2.715751e+000
C6 8 9 CMOD6 5.179584e-006
.MODEL CMOD1 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=-7.923511E-003 TC2=1.357800E-
005 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL CMOD2 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=1.194409E-003 TC2=1.821000E-
006 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL CMOD3 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=1.194409E-003 TC2=1.821000E-
006 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL CMOD4 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=1.194409E-003 TC2=1.821000E-
006 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL CMOD5 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=1.194409E-003 TC2=1.821000E-
006 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL CMOD6 CAP (C=1 T_MEASURED=25 TC1=1.194409E-003 TC2=1.821000E-
006 VC1=0
+ VC2=0)
.MODEL RMOD1 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=1.236389E-002
TC2=1.826170E-004
+ TCE=0)
.MODEL RMOD2 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=-7.418439E-003
TC2=3.494900E-005
+ TCE=0)
.MODEL RMOD3 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=-5.554650E-003
TC2=9.656000E-006
+ TCE=0)
.MODEL RMOD4 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=-5.554650E-003
TC2=9.656000E-006
+ TCE=0)
.MODEL RMOD5 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=-5.554650E-003
TC2=9.656000E-006
+ TCE=0)
.MODEL RMOD6 RES (NM=1 R=1 T_MEASURED=25 TC1=-5.554650E-003
TC2=9.656000E-006
+ TCE=0)
.MODEL DFWD D (LEVEL=2 AF=1 BV=0 CJO=0 EG=0.1 FC=500m IBV=100p IBVL=0
IKF=0
+ IS=8E-7 ISR=0 KF=0 M=500m N=2.5 NBV=1 NBVL=1 NR=2 RL=0 RS=0.1 TBV1=0
TBV2=0
+ TIKF=0 TRS1=0 TRS2=0 TT=0 VJ=1 XTI=0)
.ENDS

```

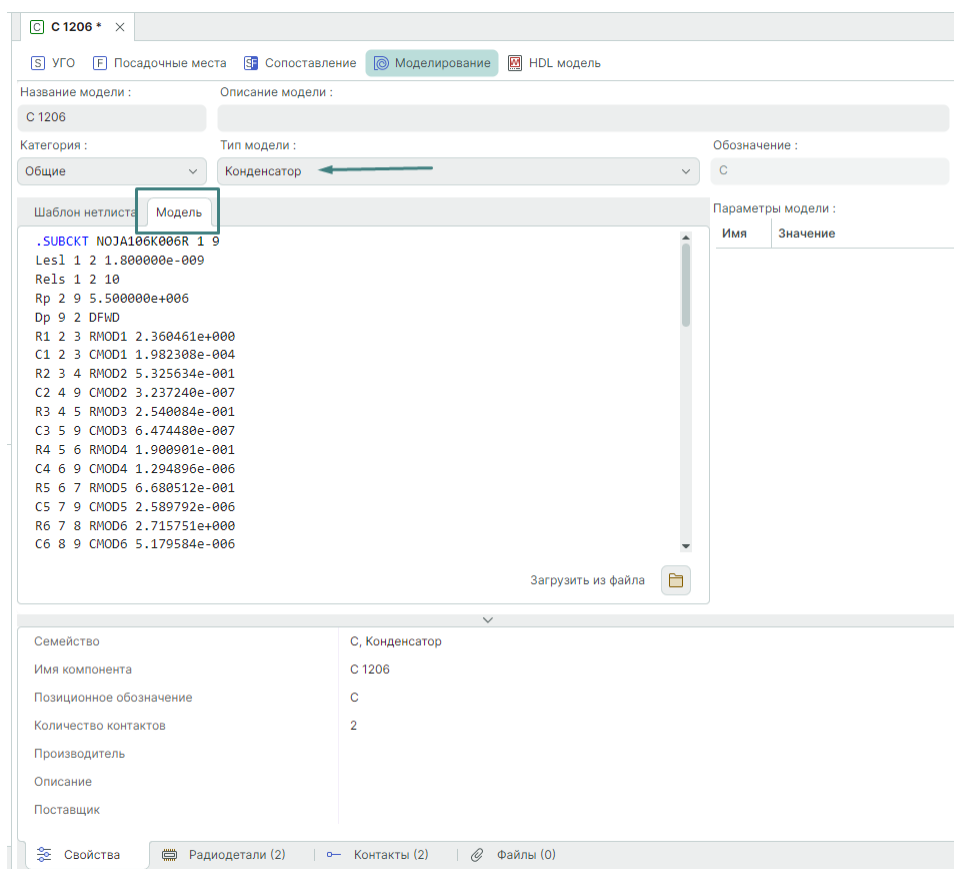


Рис. 14 Ввод примера списка цепей модели в текстовом окне вкладки «Модель»

Подробнее о нетлистах моделей см. [Модели электронных компонентов. SPICE-формат.](#)

6. Перейдите на вкладку «Шаблон нетлиста» и удостоверьтесь, что программа корректно «прочитала» модель и сгенерировала шаблон.



Пример! Для схемы модели конденсатора шаблон будет выглядеть следующим образом: {REFDES} @1 @2 NOJA106K006R.

7. Перейдите на вкладку «Контакты» и сопоставьте контакты УГО с выводами SPICE-модели, см. [Рис. 15.](#)

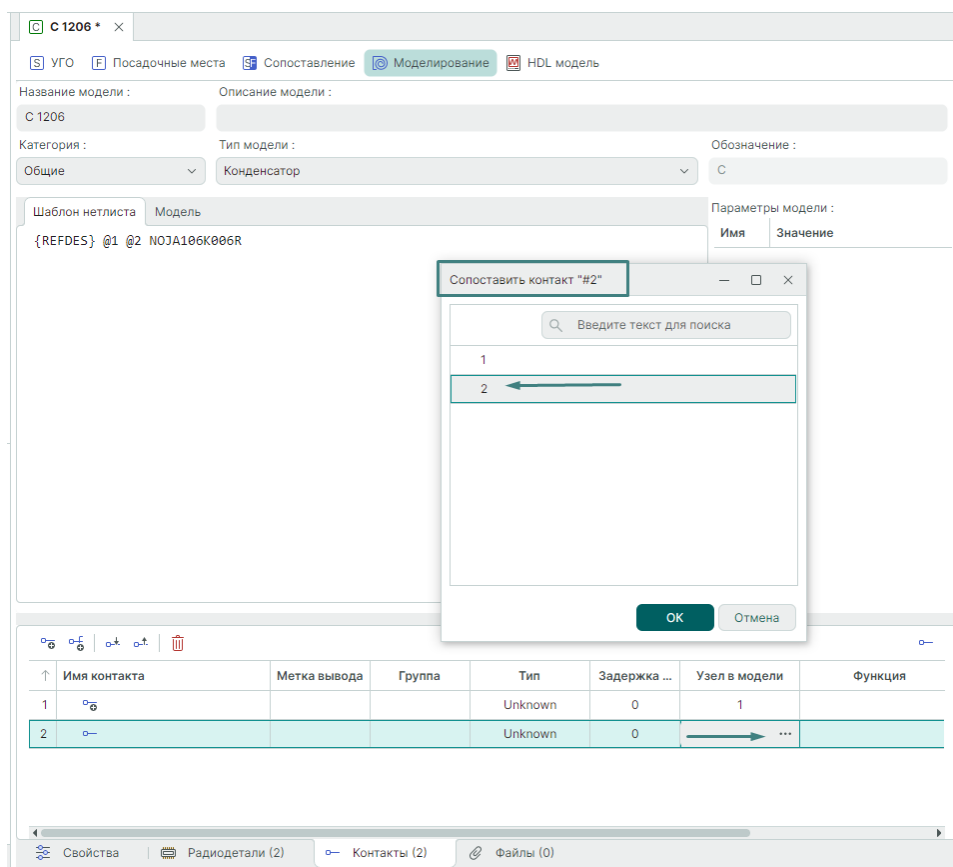


Рис. 15 Сопоставление контактов УГО с выводами SPICE-модели

8. Выполните проверку компонента, см. [Рис. 16](#).

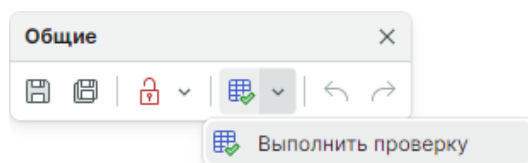


Рис. 16 Запуск проверки компонента

Компонент может использоваться в моделировании, если проверка прошла успешно.

Назначение SPICE-модели компоненту, расположенному на схеме

1. Выделите компонент на схеме и в поле «Свойства» → «SPICE» → «Модель» нажмите символ «...», см. [Рис. 17](#).

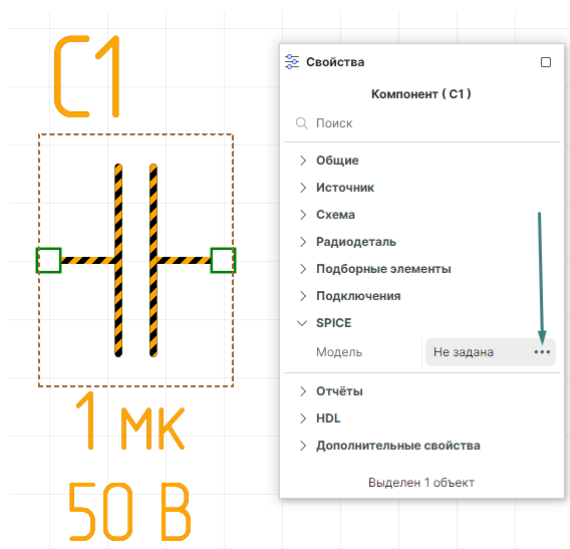


Рис. 17 Добавление SPICE-модели

2. Для добавления SPICE-модели к компоненту активируется окно «Задать модель компонента».

2.1. Для добавления модели из стороннего файла .lib в поле «Имя модели» нажмите символ «...» , см. [Рис. 18](#).

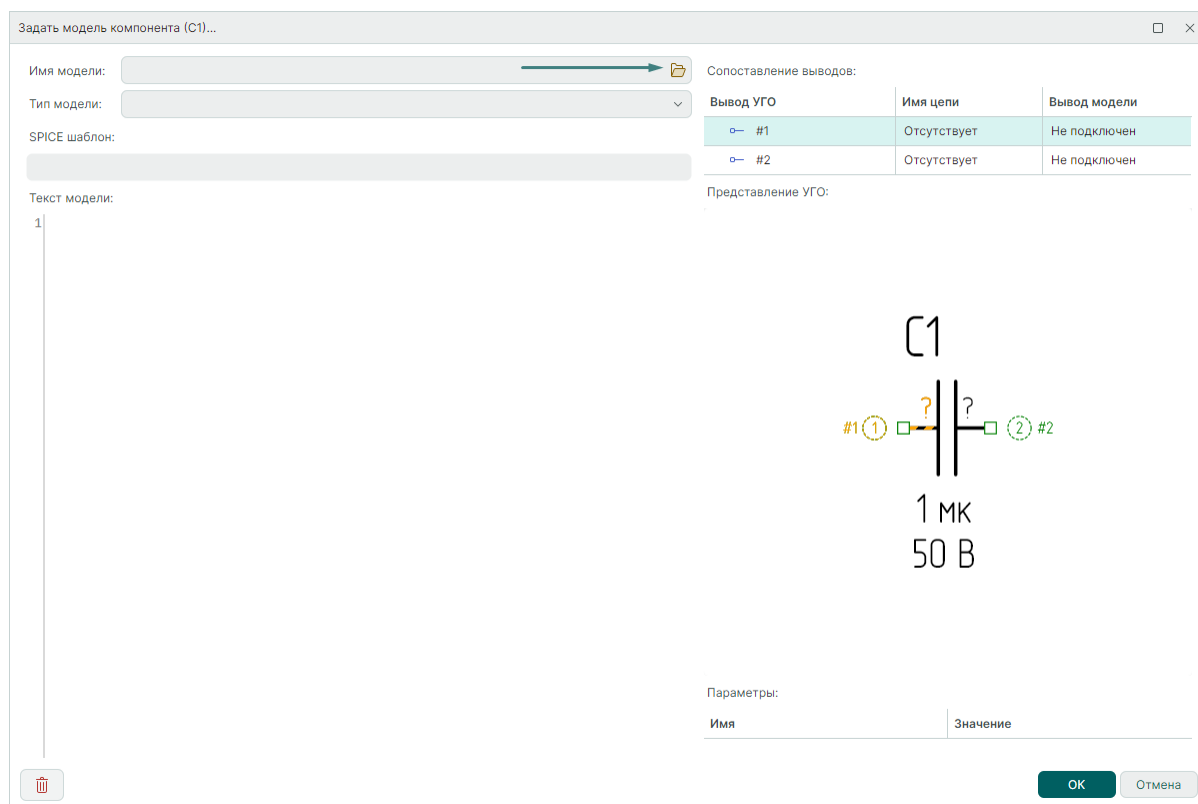


Рис. 18 Выбор имени модели в окне «Задать модель компонента»

В окне проводника выберите и откройте нужный файл SPICE-модели с расширением *.lib, см. [Рис. 19](#).

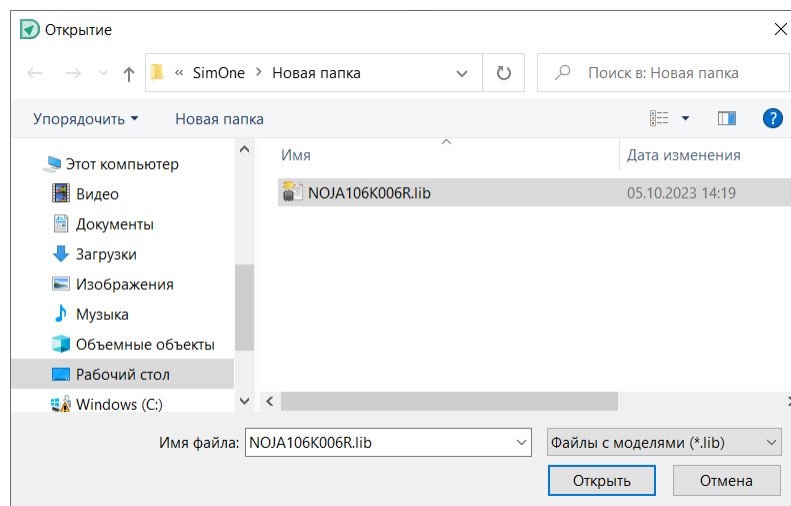


Рис. 19 Выбор файла SPICE-модели

2.2. Для добавления модели из внутренней библиотеки SPICE-моделей в поле «Тип модели» выберите из выпадающего списка тип модели, см. [Рис. 20](#).

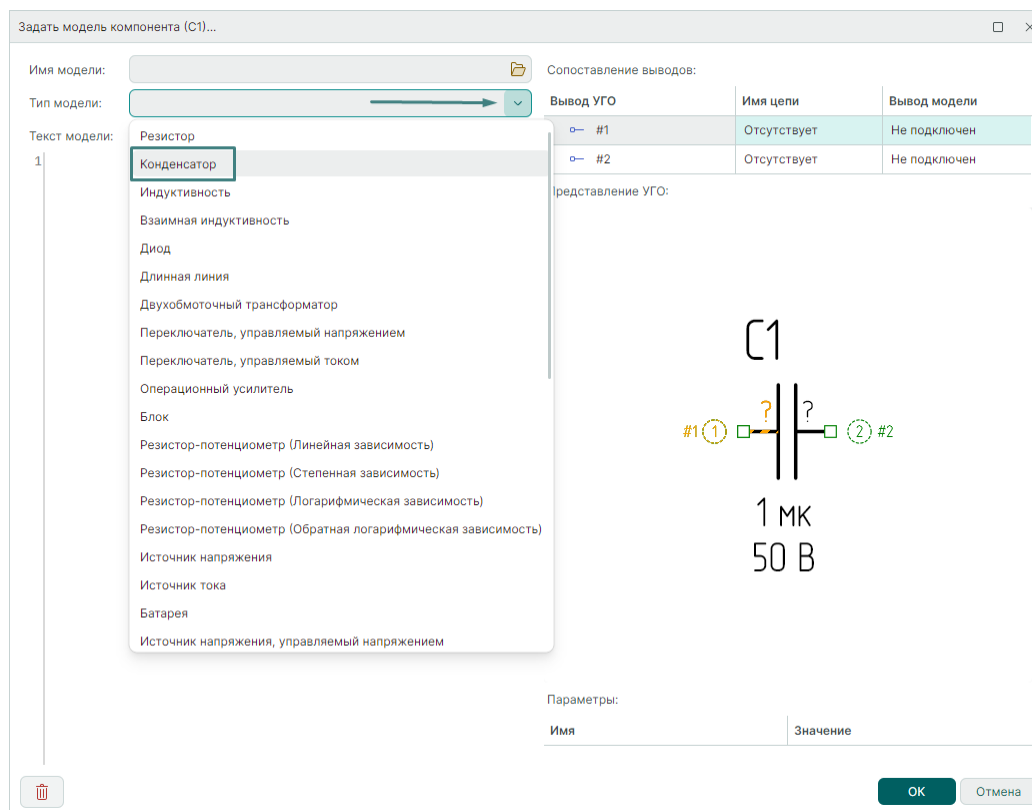


Рис. 20 Выбор типа модели в окне «Задать модель компонента»

3. Сопоставить выводы в поле «Вывод модели» из таблицы «Сопоставление выводов», выбрав из выпадающего списка соответствующий вывод модели для каждого вывода УГО, см. [Рис. 21](#).

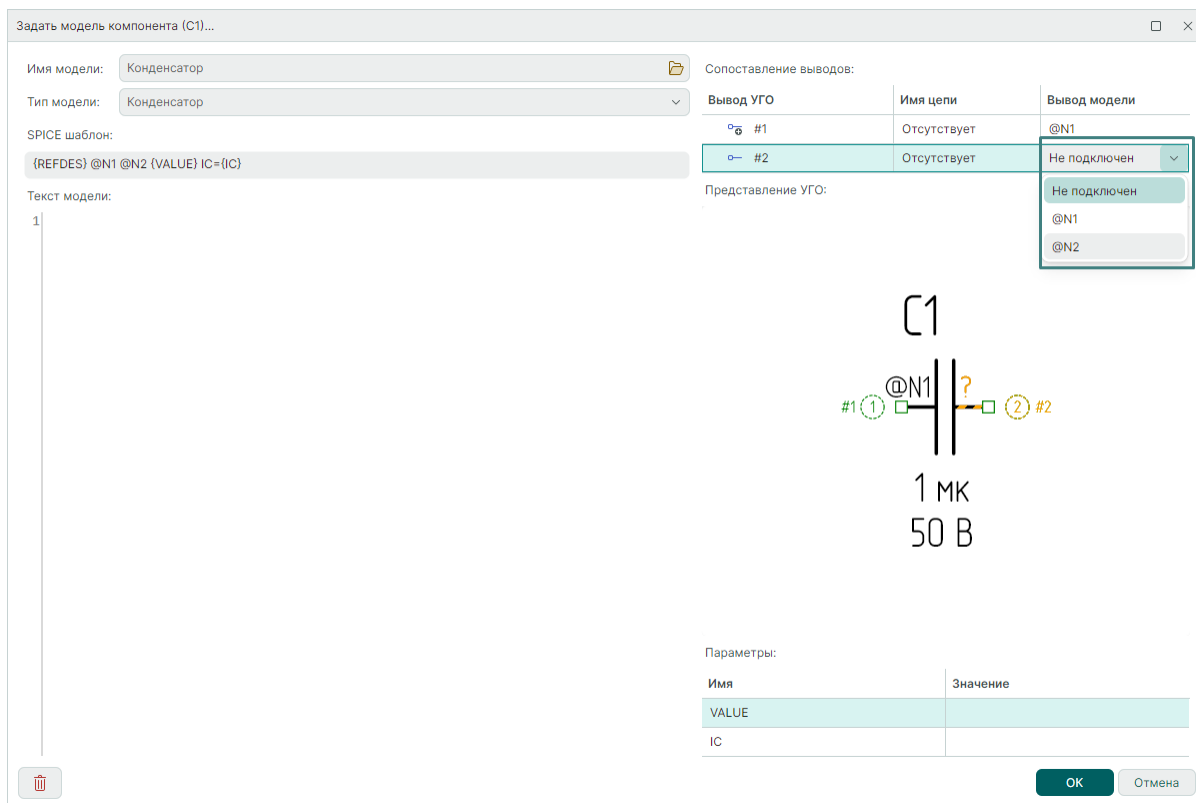


Рис. 21 Сопоставление выводов в окне «Задать модель компонента»

4. В поле «Текст модели» отображено текстовое описание модели из выбранного файла или в поле «SPICE шаблон» отображен шаблон выбранной системной библиотечной SPICE-модели.

Примечание! При наличии параметров и необходимости их назначения укажите нужные значения в таблице «Параметры», см. [Рис. 22](#).



Параметры:

Имя	Значение
VALUE	10
IC	

Рис. 22 Назначение параметров модели

5. Нажмите «OK» для сохранения настроек и закрытия окна «Задать модель компонента».

6. В поле «Свойства» → «SPICE» → «Модель» отображается информация по SPICE-модели для текущего компонента, см. [Рис. 23](#).

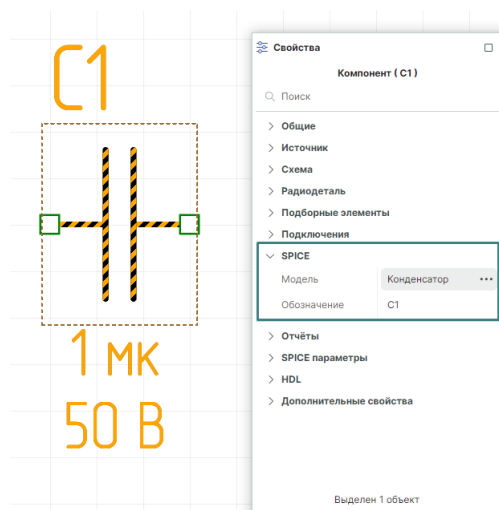


Рис. 23 Назначенная SPICE-модель у компонента

1.2.3 Отчет по SPICE-моделям

С помощью отчёта по SPICE-моделям пользователь имеет возможность получить информацию о количественных и качественных характеристиках модели электрической цепи, соответствующей проекту.

Отчет содержит статистику по SPICE-моделям, применённым в проекте.

Отчет формируется вызовом из главного меню «Документация» → «Отчёт по SPICE-моделям», см. [Рис. 24](#).

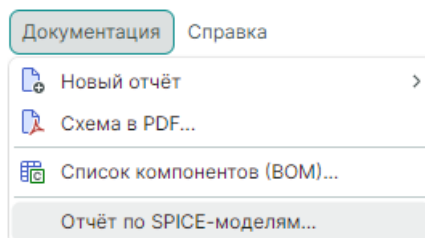


Рис. 24 Вызов команды «Отчет по SPICE-моделям»

В окне «Отчёт по SPICE-моделям» отображаются две вкладки «Типы моделей» и «Модели в проекте», см. [Рис. 25](#).

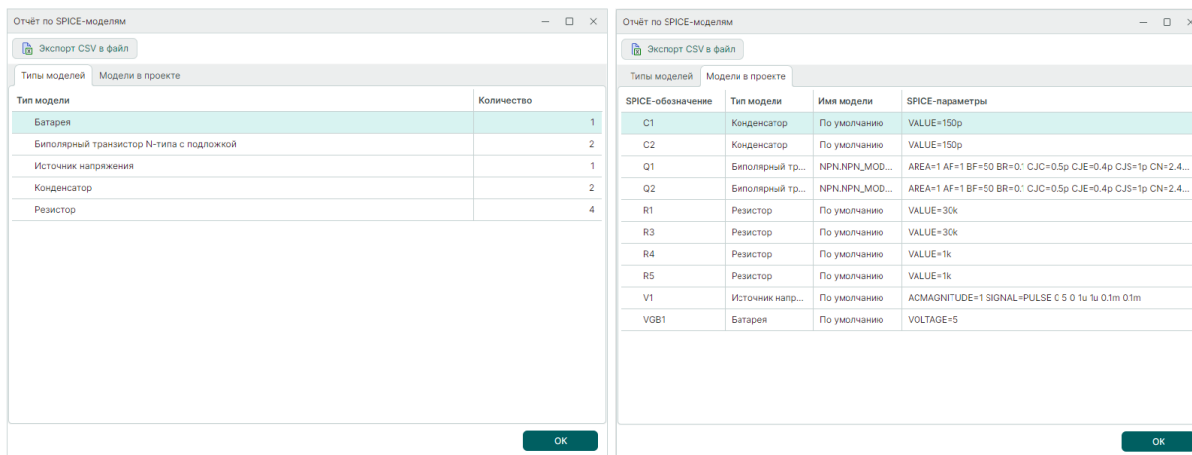


Рис. 25 Вид окна «Отчет по SPICE-моделям»

На вкладке «**Типы моделей**» представлена общая информация о моделях, учитывающая в том числе состав подсхем:

- в столбце «Тип модели» отображается тип модели, которая встречается в проекте;
- в столбце «Количество» отображается суммарное количество моделей каждого типа, в том числе с учётом иерархического вложения моделей в подсхемы.

На вкладке «**Модели в проекте**» представлена детализированная информация о моделях без учета подсхем:

- в столбце «SPICE-обозначение» отображается обозначение типа модели на схеме;
- в столбце «Тип модели» отображается название типа модели;
- в столбце «Имя модели» отображается имя модели-прототипа, назначенной модели-экземпляра;
- столбце «SPICE-параметр» отображается название и значение SPICE-параметра модели-экземпляра.

При нажатии на «Экспорт CSV в файл» открывается окно проводника для ввода имени файла и выбора расположения его в файловом хранилище.

После нажатия в окне проводника «Сохранить» создается файл формата Excel.



Примечание! Экземпляры целого ряда моделей могут не иметь описания, выполненного через директиву .model или .subckt, то есть не имеющие непосредственного именованного прототипа. Тогда для таких моделей используется внутренняя модель симулятора соответствующего типа со

значениями параметров по умолчанию. В этом случае такая модель в интерфейсе пользователя называется «По умолчанию».

1.2.4 Панель «Менеджер проекта». Сведения о SPICE-моделях проекта.

Функция предназначена для формирования сводки о перечне SPICE-моделей, применяемых в проекте.

Сводка предназначена для:

- отображения классификации моделей в проекте;
- быстрого поиска на схеме групп компонентов, имеющих заданную модель;
- просмотра информации об описании SPICE-текста компонента в соответствии с тем, как модель компонента будет включена в SPICE-нетлист;
- просмотра информации об описании SPICE-модели компонента.

Сводка о SPICE моделях в проекте может применяться при составлении модели электрической цепи и её отладке.

Иерархия сводки отображается в панели «Менеджер проекта» → «Компоненты» → «Используемые SPICE-модели», см. [Рис. 26](#).

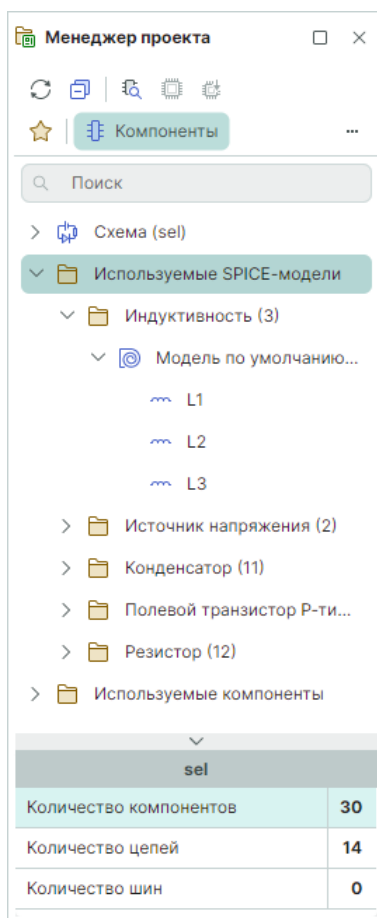


Рис. 26 Пример иерархии
«Используемые
SPICE-модели»

Иерархия «Используемые SPICE-модели» состоит из трех уровней:

- первый уровень – содержит названия типов SPICE моделей, которые обнаружены в проекте;
- второй уровень – содержит имя модели-прототипа, назначенной модели-экземпляру;
- третий уровень – содержит перечисления SPICE-обозначений моделей компонентов.



Примечание! Экземпляры целого ряда моделей могут не иметь описания, выполненного через директиву `.model` или `.subckt`, то есть не имеющие непосредственного именованного прототипа. Тогда для таких моделей используется внутренняя модель симулятора соответствующего типа со значениями параметров по умолчанию. В этом случае такая модель в интерфейсе пользователя называется «По умолчанию».

При выделении элемента иерархии «Используемые SPICE-модели» отображается контекстное меню, см. [Рис. 27](#).

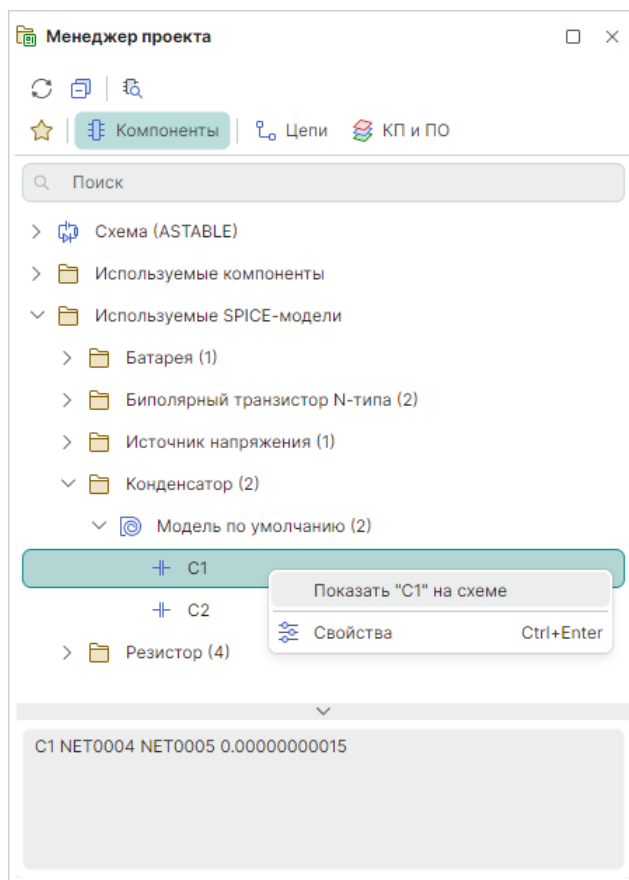


Рис. 27 Вызов контекстного меню с элемента иерархии «Используемые SPICE-модели»

1.3 Панели инструментов

При создании проекта моделирования SimOne для работы со схемой доступны те же панели инструментов, что и при работе со схемой проекта платы Delta Design.

Также доступными становятся панели SimOne, инструменты которых направлены на работу с моделированием – [панель инструментов «Запуск/Отладка»](#) и [панель инструментов «SimOne Graphics»](#).

1.3.1 Панель инструментов «Запуск/Отладка»

Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активной схеме представлена в следующем виде, см. [Рис. 28](#).

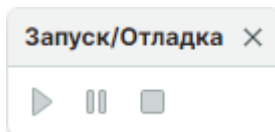


Рис. 28 Панель инструментов «Запуск/Отладка»

Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активном SPICE-нетлисте представлена в следующем виде, см. [Рис. 29](#).

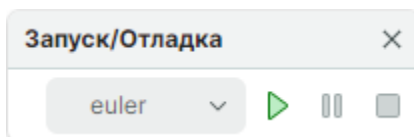


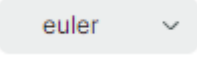
Рис. 29 Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активном SPICE-нетлисте



Примечание! Инструменты, расположенные на панели инструментов, становятся доступны при активном текстовом редакторе проекта моделирования.

В [Табл. 2](#) приведено описание панели инструментов «Запуск/Отладка».

[Таблица 2](#) Панель инструментов «Запуск/Отладка»

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Список расчетов и анализов	Представляет список существующих расчетов и анализов для выбранной схемы при запуске симуляции.
	Запустить	Запускает выполнение текущей симуляции.
	Приостановить	Приостанавливает выполнение текущей симуляции (доступно во время выполнения симуляции).
	Остановить	Останавливает выполнение текущей симуляции (доступно во время выполнения симуляции).

1.3.2 Панель инструментов «SimOne Graphics»

Панель инструментов «SimOne Graphics» представлена в следующем виде, см. [Рис. 30](#).

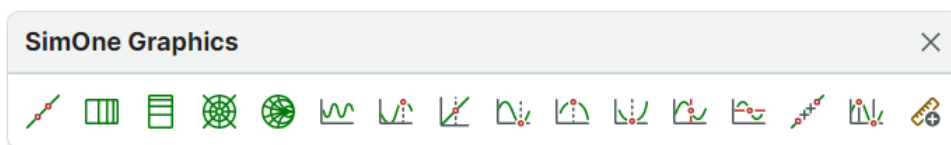


Рис. 30 Панель инструментов «SimOne Graphics»



Примечание! Инструменты, расположенные на панели инструментов, становятся доступны при активном окне симуляции. Перечень доступных инструментов зависит от выбранной симуляции.

В [Табл. 3](#) приведено описание панели инструментов «SimOne Graphics».

[Таблица 3](#) Панель инструментов «SimOne Graphics»

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Отобразить маркеры точек на графиках	Включает отображение каждой точки посчитанного графика в виде маркера.
	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 Смита	Отображение графика на диаграмме Вольперта-Смита. Доступно только для частотного анализа схемы.
	БПФ...	Вызвать окно расчёта коэффициентов ряда Фурье для выбранных графиков или выражений.
	Установить в максимум	Установить курсоры в точку, соответствующую максимуму текущего графика.

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Установить в следующую точку	Устанавливает курсор в следующую расчетную точку текущего графика.
	Установить в минимум	Установить курсоры в точку, соответствующую минимуму текущего графика.
	Установить в пик	Установить курсоры в точку, соответствующую локальному максимуму графика кривой. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в следующий локальный максимум.
	Установить во впадину	Установить курсоры в точку, соответствующую локальному минимуму графика кривой. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в следующий локальный минимум.
	Установить в координату X	Установить курсоры в заданную точку по оси абсцисс.
	Установить в координату Y	Установить курсоры в заданную точку по оси ординат.
	Интерполяция	Включить/выключить режим интерполяции данных при работе с курсорами.
	Отобразить курсоры	Отобразить/скрыть курсоры в окнах графиков.
	Добавить измерения...	Открыть интерфейс добавления новых измерений в симуляции.

2 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 подсхемы 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).

Модуль SimOne поддерживает графический тип подсхемы – макромодели.

Описание подсхемы представлено в графическом виде.

Подсхема создается с помощью схмотехнического редактора.

Графические подсхемы 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.

2.1 Создание графической подсхемы

Для создания подсхемы в дереве проекта моделирования:

1. Вызовите контекстное меню для узла «Подсхемы» → «Создать блок», см. [Рис. 31](#).

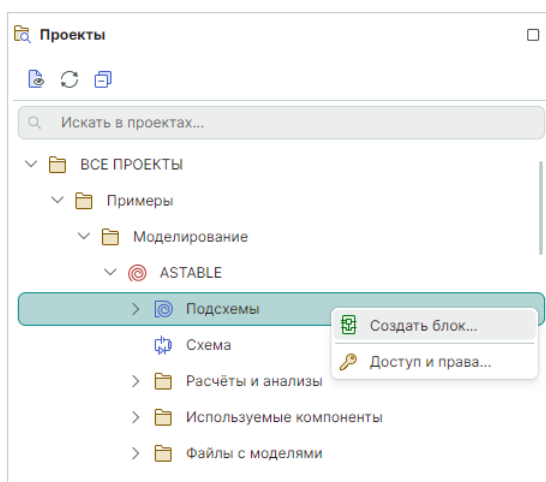


Рис. 31 Создание подсхемы

2. В окне «Создание блока» введите название и при необходимости установите флаг в поле «Децимальный номер», после чего введите децимальный номер, см. [Рис. 32](#).

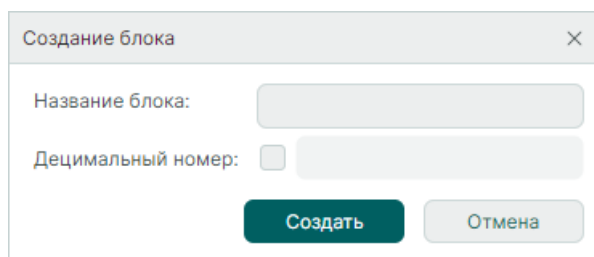


Рис. 32 Окно «Создание блока»

Подробнее о работе с блоками см. [Электрические схемы](#).

3 SPICE-текст

SPICE-текст – это текстовые объекты на схеме, содержание которых модуль SimOne интерпретирует как SPICE-текст. С их помощью можно задавать глобальные параметры и описание схемы в виде SPICE-нетлиста.

3.1 Добавление объекта SPICE-текст на схему

Добавление на схему текстового объекта доступно несколькими способами:

1. С помощью главного меню «SimOne» → «SPICE-текст», см. [Рис. 33](#).

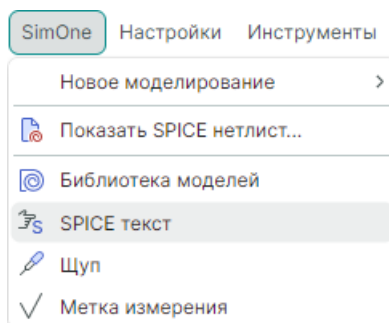


Рис. 33 Добавление объекта SPICE-текст

2. При помощи инструмента «Разместить SPICE-текст», расположенного на панели инструментов «Схема», см. [Рис. 34](#).



Рис. 34 Добавление объекта SPICE-текст с помощью панели инструментов «Схема»

3. Через вызов контекстного меню на схеме → «Инструменты» → «Разместить SPICE-текст», см. [Рис. 35](#).

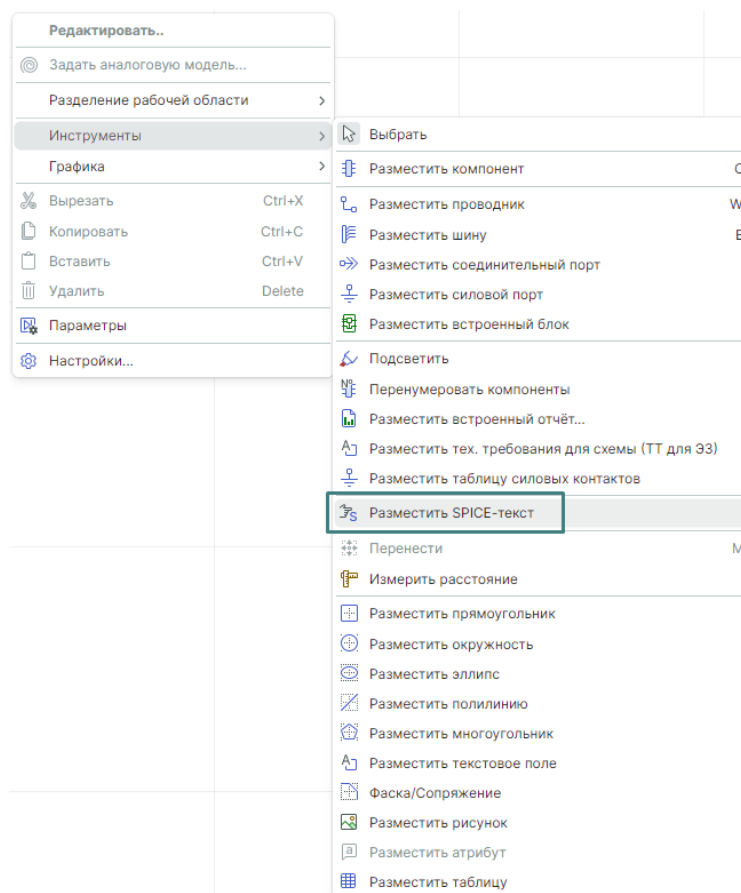


Рис. 35 Добавление объекта SPICE-текст с помощью контекстного меню

При добавлении на схему УГО компонента "прикрепляется" к курсору и перемещается вместе с ним.

Объект SPICE-блока может быть установлен поверх установленных на схеме компонентов, проводников и других текстовых объектов.

Пункт «Отменить» контекстного меню отменяет установку объекта SPICE-блока. Также для данного действия по умолчанию задана клавиша Escape.

3.2 Редактирование объектов SPICE-текст

Для редактирования SPICE-текста выполнить, см. [Рис. 36](#):

- выделить объект и выбрать пункт контекстного меню «Редактировать»;
- выделить объект и нажать кнопку F2.

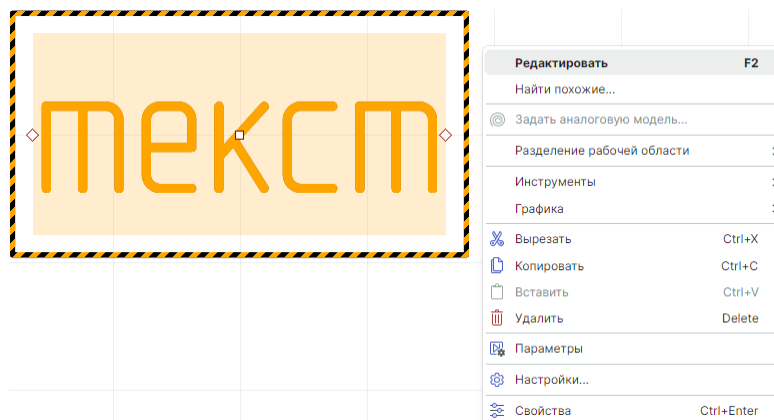


Рис. 36 Редактирование объекта SPICE-текст

В текстовом объекте включится режим редактирования. Функции текстового редактора стандартны, за исключением перевода строки: строка переводится клавишами Shift+Enter.

По нажатию клавиши Enter или по нажатию левой кнопки мыши в любой точке схемы осуществляется выход из режима редактирования текста.

В блоке могут быть определены глобальные параметры, которые в дальнейшем можно использовать в выражениях.

На [Рис. 37](#) показано использование параметра для задания амплитуды сигнала. Для того чтобы параметры были доступны, необходимо сохранить схему после их добавления, а сама схема должна пройти проверку SPICE-парсера без ошибок.

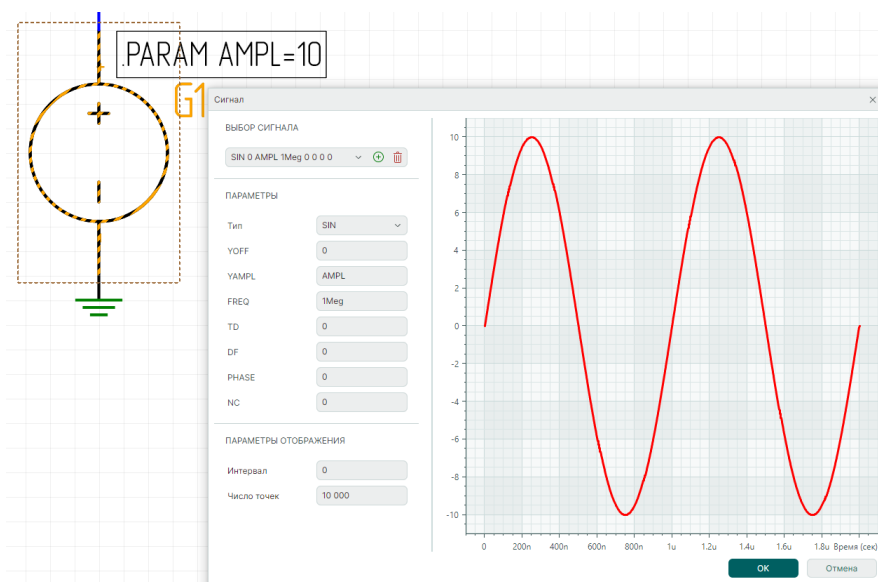


Рис. 37 Использование объекта SPICE-текст для задания глобального параметра

4 Библиотека компонентов

Библиотека компонентов модуля SimOne находится на панели «Модели» и содержит в себе все компоненты, которые пользователь может использовать при работе со схемой в схемотехническом редакторе.

4.1 Общие сведения

Библиотека компонентов содержит следующие основные каталоги:

- Прimitives – набор компонентов, имеющих определённые модели по умолчанию.
- Библиотеки – в первую очередь, это база компонентов SimOne, входящей в поставку программы. В состав Delta Design включена библиотека, содержащая 37240 SPICE-моделей, которая является сборником из открытых источников. Библиотека, предоставляемая дистрибутивом, доступна в директории размещения Delta Design в поддиректории SimOne. База содержит каталогизированный список моделей существующих электронных компонентов, в отличие от примитивов, содержащих абстрактные модели. Также мы можем подключить для работы и любые другие SPICE-библиотеки – папки с текстовыми файлами с расширением *.lib.

Примечание! Если в процессе установки программы на этапе «Параметры» в чек-боксе «Установить библиотеку моделей симулятора» поставить флаг, см. [Рис. 38](#), то библиотека «Libs» будет доступна в библиотеке моделей «Модели» → «Библиотеки».

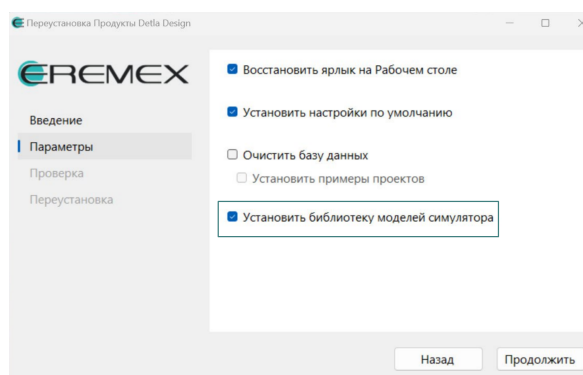
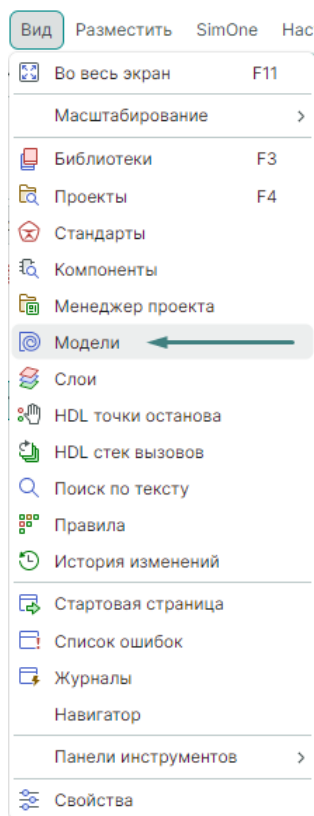


Рис. 38 Вид установочного окна на этапе «Параметры»

Если в процессе установки программы на этапе «Параметры» в чек-боксе «Установить библиотеку моделей симулятора» убрать флаг, то для установки библиотека «Libs» необходимо будет добавить базу компонентов SimOne или SPICE-библиотеку с помощью кнопки «Подключить библиотеку...», расположенной на панели «Модели».

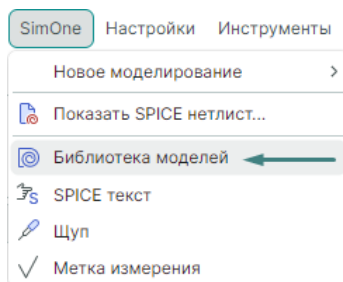
Открыть панель «Модели» можно одним из способов:

1. Через главное меню «Вид» → «Модели», см. [Рис. 39](#).



*Рис. 39 Вызов панели
«Модели» из главного
меню «Вид»*

2. Через главное меню «SimOne» → «Библиотека моделей», см. [Рис. 40](#).



*Рис. 40 Вызов панели
«Модели» из главного
меню «SimOne»*

В верхней части панели расположена строка, которая позволяет осуществлять поиск компонентов. Для выполнения поиска введите имя или часть имени компонента, после этого будут отображены только те компоненты, в именах которых присутствует введенная последовательность символов, см. [Рис. 41](#).

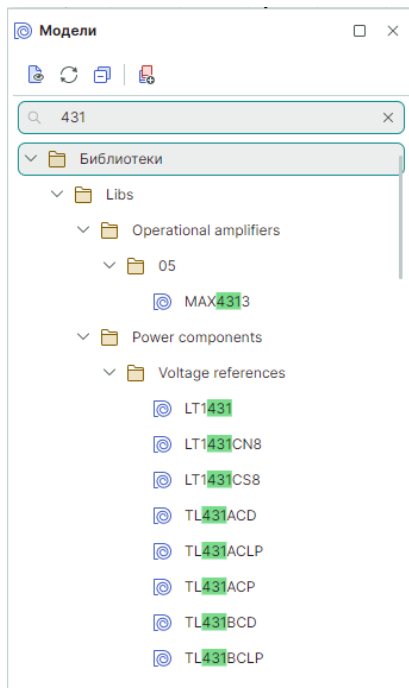


Рис. 41 Поиск компонентов в панели «Модели»



Примечание! Поисковый фильтр в ОС Linux является регистрозависимым, т.е. при вводе в поисковую строку наименований «bc857» и «BC857» будет получен разный результат.

Добавить базу компонентов SimOne или SPICE-библиотеку можно с помощью кнопки «Подключить библиотеку...», расположенной на панели «Модели», см. [Рис. 42](#).

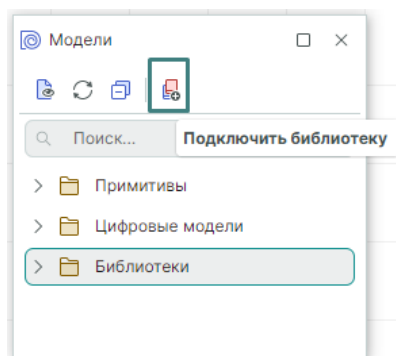


Рис. 42 Добавление базы компонентов SimOne или SPICE-библиотеки

Если библиотека больше не нужна для работы, ее можно отключить, нажав «Отключить» в контекстном меню, см. [Рис. 43](#).

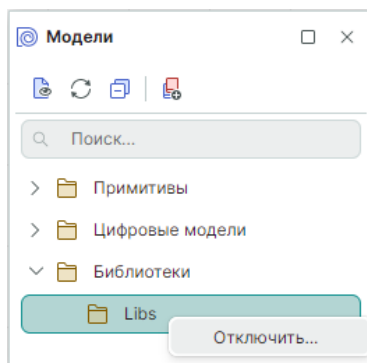


Рис. 43 Отключение библиотеки

4.2 Примитивы

Примитивы – это встроенные в программу модели электронных компонентов со схемным УГО.

В [Табл. 4](#) приведен список поддерживаемых примитивов.

[Таблица 4](#) Поддерживаемые примитивы

Символ	Наименование инструмента
Активные компоненты	
	Арсенид-галлиевый полевой транзистор
	Биполярный транзистор N-типа
	Биполярный транзистор N-типа с подложкой
	Биполярный транзистор P-типа
	Биполярный транзистор P-типа с подложкой
	МОП транзистор DN-типа
	МОП транзистор DP-типа
	МОП транзистор N-типа
	МОП транзистор P-типа
	Операционный усилитель
	Полевой транзистор N-типа
	Полевой транзистор P-типа

Символ	Наименование инструмента
Источники	
<i>Независимые источники</i>	
	Батарея
	Источник напряжения
	Источник тока
<i>Управляемые источники</i>	
	Источник напряжения, управляемый напряжением
	Источник напряжения, управляемый током
	Источник тока, управляемый напряжением
	Источник тока, управляемый током
<i>Функциональные источники</i>	
	Функциональный источник напряжения
	Функциональный источник тока
Многополюсники	
	Восьмиполюсник
	Двухполюсник
	Четырехполюсник
	Шестиполюсник
Пассивные элементы	
	Взаимная индуктивность
	Двухобмоточный трансформатор
	Диод
	Длинная линия
	Индуктивность
	Конденсатор
	Переключатель, управляемый напряжением
	Переключатель, управляемый током
	Резистор

Символ	Наименование инструмента
	Резистор-потенциометр

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

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

4.2.1 Добавление примитивов на схему

Размещение примитива на схеме доступно тремя способами:

1. В панели «Модели» вызвать контекстное меню выбранного объекта, нажать «Разместить» см. [Рис. 44](#) и разместить объект на схеме.

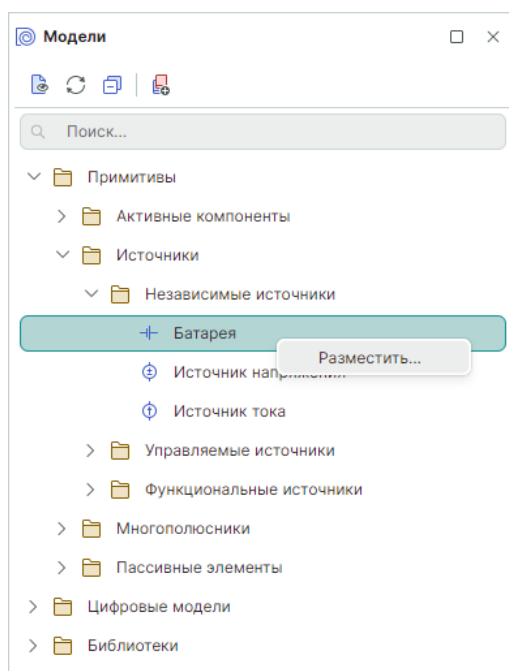


Рис. 44 Добавление элемента на схему

2. В панели «Модели» выбрать объект, дважды кликнуть левой кнопкой мыши по выбранному объекту и разместить объект на схеме.
3. В панели «Модели» выбрать объект и используя метод «Drag&Drop» разместить объект на схеме.

После добавления на схему объекта способом 1 и 2 инструмент «Разместить» доступен для размещения последующих объектов. Для выхода из инструмента «Разместить» необходимо нажать клавишу Escape или кнопку

«Отмена», расположенную в верхней правой части рабочей области или в контекстном меню выбрать пункт «Отменить», см. [Рис. 45](#).

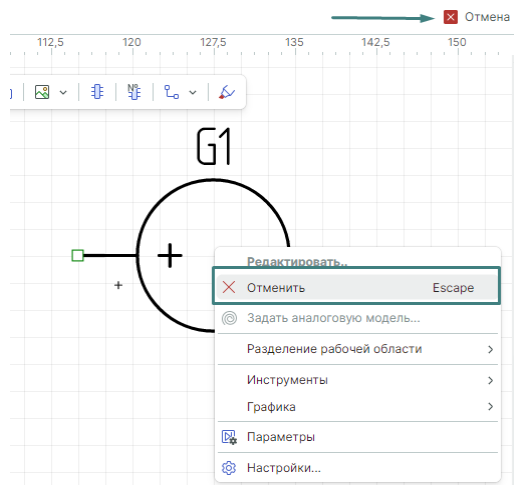


Рис. 45 Выход из инструмента
«Разместить»

Если при размещении объект пересекается с уже имеющимися на схеме объектами, система подсветит размещаемый компонент красным цветом, см. [Рис. 46](#).

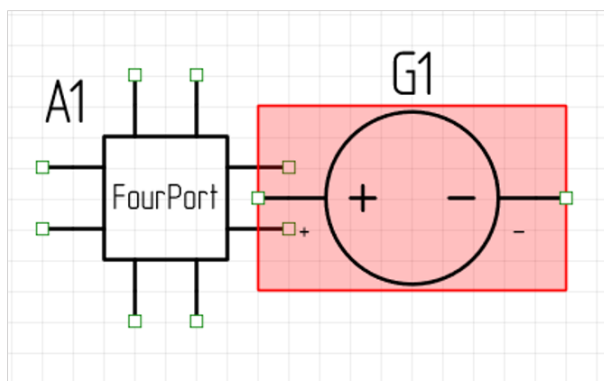


Рис. 46 Запрет на размещение

Разрешенное подключение обозначается зелеными квадратными метками, см. [Рис. 47](#).

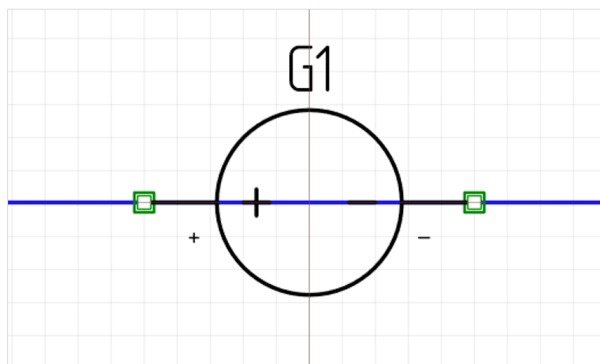


Рис. 47 Разрешенное размещение

4.2.2 Редактирование параметров модели компонента

Редактирование параметров модели компонента осуществляется в панели «Свойства», см. [Рис. 48](#).

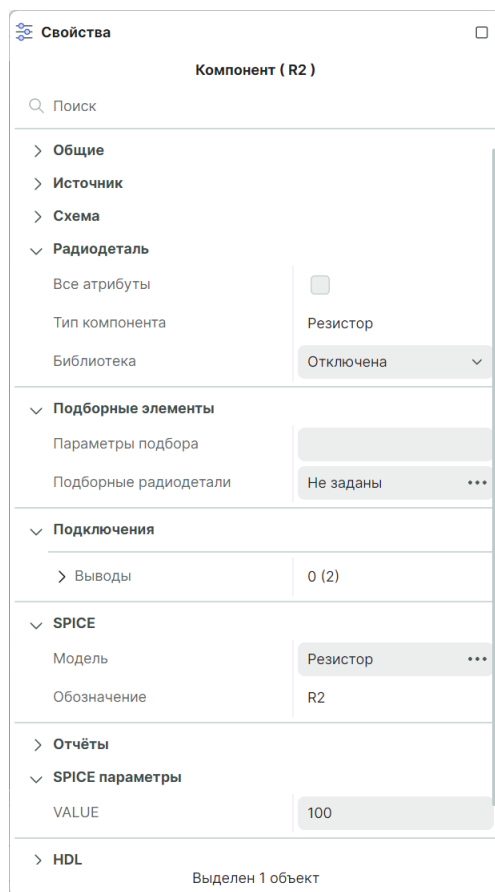


Рис. 48 Редактирование параметров модели компонента

Примитивы имеют доступные для редактирования входные параметры. Редактирование внутренних параметров моделей примитивов невозможно.

Для создания собственных моделей с внутренними параметрами, отличными от параметров по умолчанию, следует создавать новые библиотечные компоненты или [подключать пользовательскую библиотеку моделирования](#).

4.2.3 Активные компоненты. Общие параметры

У активных компонентов есть общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 49](#).

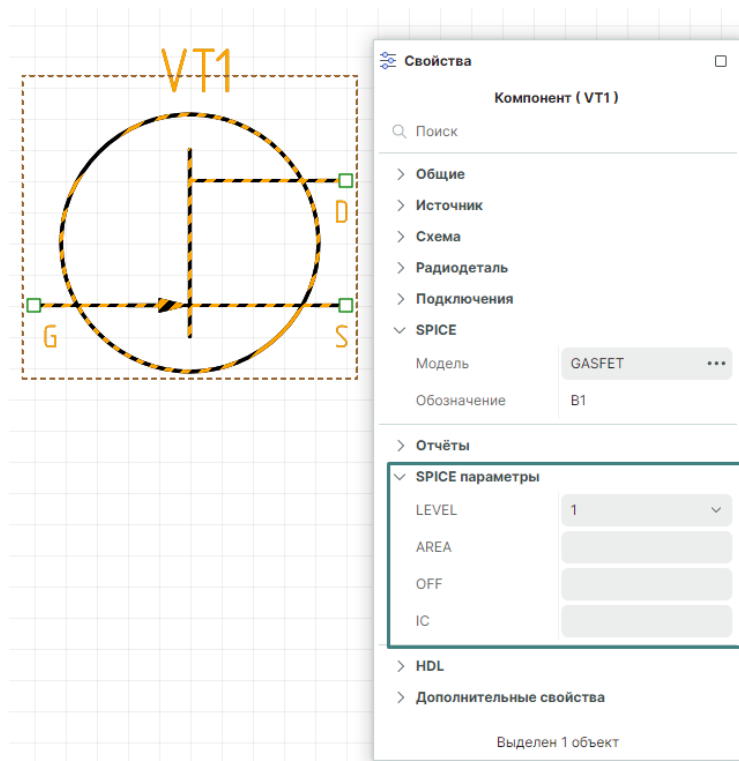


Рис. 49 Общие входные редактируемые SPICE-параметры компонента

Параметр LEVEL позволяет выбрать модель для математического моделирования в зависимости от вида транзистора.

Параметр AREA – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких однотипных транзисторов.

Параметр OFF указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Параметр IC задает начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании параметра IC см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

4.2.3.1 Арсенид-галлиевый полевой транзистор

УГО компонента представлено на [Рис. 50](#).

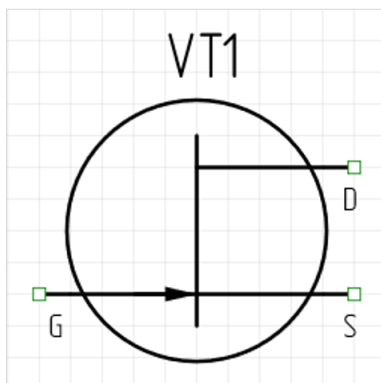


Рис. 50 УГО компонента

Кроме [общих параметров](#) активных компонентов для редактирования доступен также SPICE-параметр LEVEL, см. [Рис. 51](#).

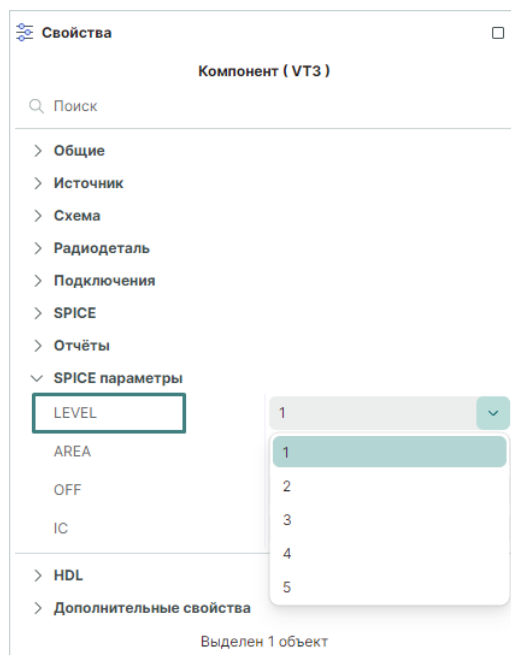


Рис. 51 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр LEVEL позволяет выбрать модель для математического моделирования.

Подробнее см. [Табл. 5](#).

[Таблица 5](#) Модели для математического моделирования

Параметр LEVEL	Имя модели
1 (по умолчанию)	Модель Куртиса (Curtice)
2	Модель Рэйтеона (Raytheon)
3	Модель TriQuit TOM
4	Модель TriQuit TOM-2
5	Модель Паркера-Скеллерна

4.2.3.2 Биполярный транзистор N-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 52](#).

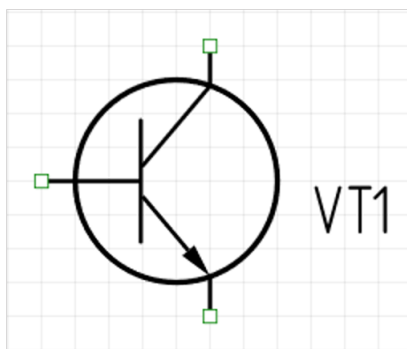


Рис. 52 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.3 Биполярный транзистор N-типа с подложкой

УГО компонента представлено на [Рис. 53](#).

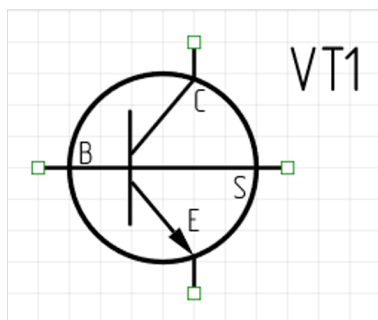


Рис. 53 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.4 Биполярный транзистор Р-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 54](#).

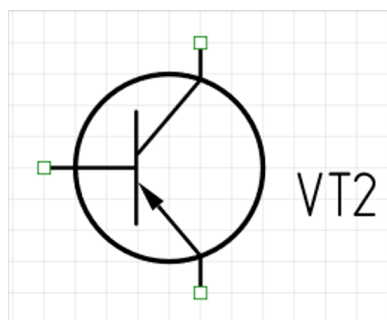


Рис. 54 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.5 Биполярный транзистор Р-типа с подложкой

УГО компонента представлено на [Рис. 55](#).

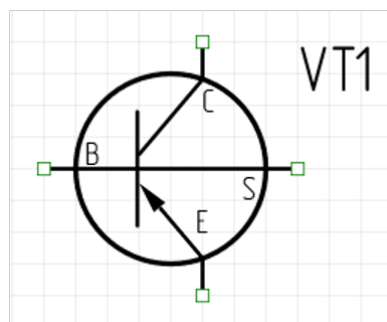


Рис. 55 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.6 МОП-транзисторы (Полевые транзисторы с изолированным затвором)

Кроме [общих параметров](#) активных компонентов для редактирования доступен SPICE-параметр LEVEL, см. [Рис. 56](#).

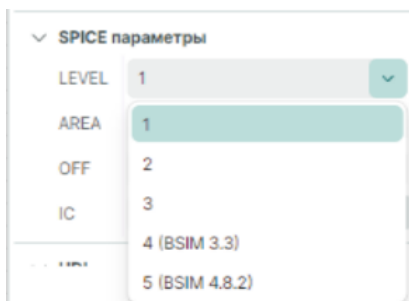


Рис. 56 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр LEVEL позволяет выбрать модель для математического моделирования.

Подробнее см. [Табл. 6](#).

[Таблица 6](#) Модели для математического моделирования:

Параметр LEVEL	Имя модели
1 (по умолчанию)	Модель Шихмана–Ходжеса
2	MOS2 аналитическая модель Грув–Хоффмана
3	MOS3, полуэмпирическая модель
4	BSIM, версия 3.3, берклиевская модель ПТИЗ с коротким каналом
5	BSIM, версия 4.8.2, берклиевская модель ПТИЗ с коротким каналом

4.2.3.6.1 МОП-транзистор DN-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 57](#).

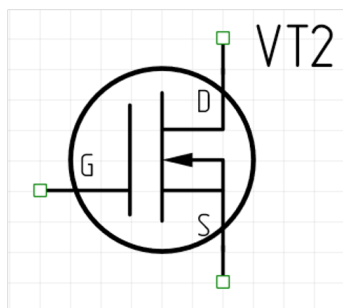


Рис. 57 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.6.2 МОП-транзистор DP-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 58](#).

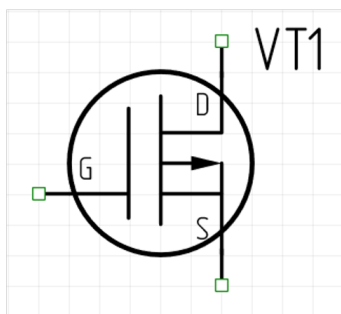


Рис. 58 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.6.3 МОП-транзистор N-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 59](#).

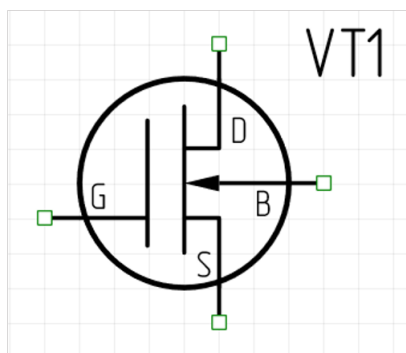


Рис. 59 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.6.4 МОП-транзистор P-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 60](#).

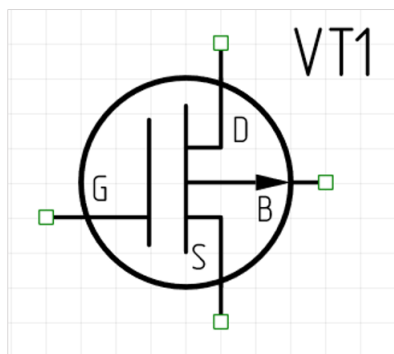


Рис. 60 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.7 Операционный усилитель

УГО компонента представлено на [Рис. 61](#).

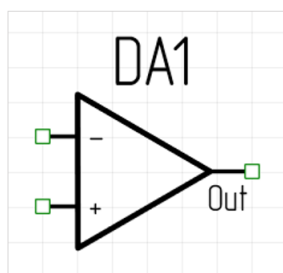


Рис. 61 УГО компонента

Для операционного усилителя для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 62](#).

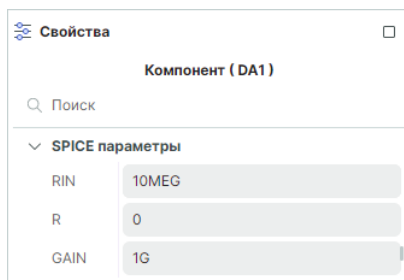


Рис. 62 Редактируемые параметры компонента

Подробнее о редактируемых параметрах компонента см. [Табл. 7](#).

Таблица 7 Редактируемые параметры операционного усилителя

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

4.2.3.8 Полевой транзистор N-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 63](#).

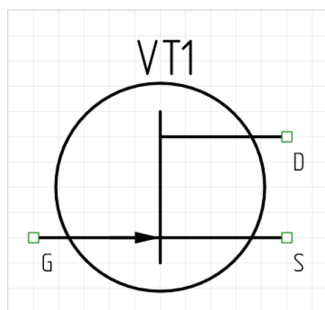


Рис. 63 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.3.9 Полевой транзистор P-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 64](#).

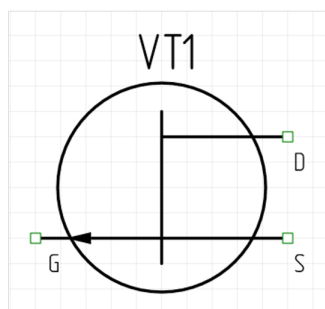


Рис. 64 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) активных компонентов.

4.2.4 Источники

4.2.4.1 Независимые источники

4.2.4.1.1 Батарея

УГО компонента представлено на [Рис. 65](#).

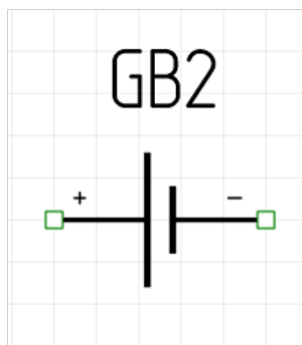


Рис. 65 УГО

Для редактирования доступен SPICE-параметр VOLTAGE, см. [Рис. 66](#).

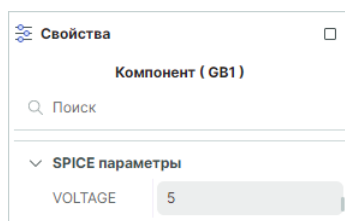


Рис. 66 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о SPICE-параметре VOLTAGE см. [Табл. 8](#).

[Таблица 8](#) Редактируемый SPICE-параметр VOLTAGE

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VOLTAGE (DC)	Уровень постоянного напряжения	5	В

4.2.4.1.2 Источник напряжения

УГО компонента представлено на [Рис. 67](#).

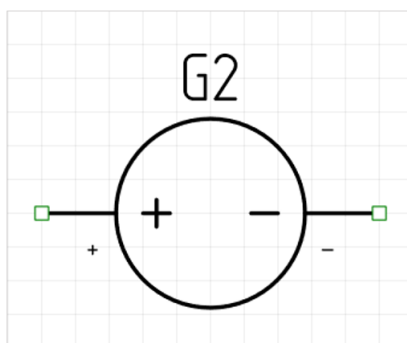


Рис. 67 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 68](#).

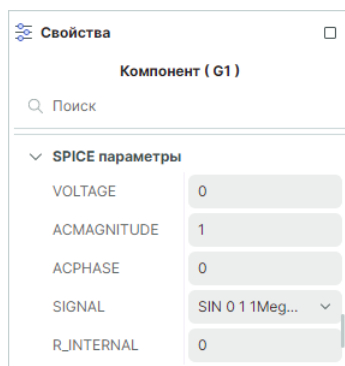


Рис. 68 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 9](#).

[Таблица 9](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VOLTAGE (DC)	Уровень постоянного напряжения	0	В
ACMAGNITUDE	Амплитуда гармонического сигнала	0	В
ACPHASE	Фаза гармонического сигнала	0	Град.
Rser	Внутреннее сопротивление источника	0	Ом

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
SIGNAL	Функция от времени (см. раздел Сигналы)	Не задан	-

4.2.4.1.3 Источник тока

УГО компонента представлено на [Рис. 69](#).

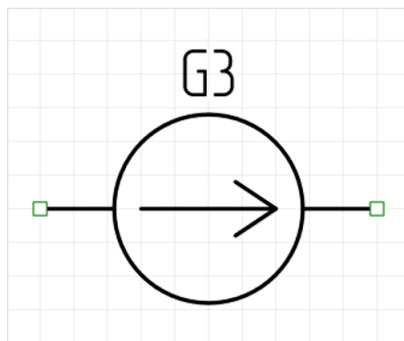


Рис. 69 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 70](#).

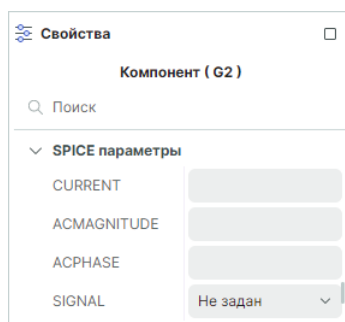


Рис. 70 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 10](#).

[Таблица 10](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
CURRENT	Уровень постоянного тока	0	В

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
ACMAGNITUDE	Амплитуда гармонического сигнала	0	В
ACPHASE	Фаза гармонического сигнала	0	Град.
SIGNAL	Функция от времени (см. раздел Сигналы)	Не задан	-

4.2.4.2 Управляемые источники

У управляемых источников для редактирования доступен SPICE-параметр GAIN - коэффициент усиления (по умолчанию = 1), см. [Рис. 71](#).

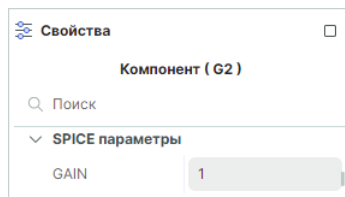


Рис. 71 Редактируемый SPICE-параметр GAIN

4.2.4.2.1 Источник напряжения, управляемый напряжением

УГО компонента представлено на [Рис. 72](#).

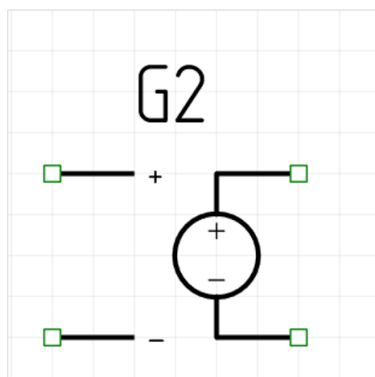


Рис. 72 УГО компонента

В источнике напряжения, управляемом напряжением, с помощью коэффициента усиления можно задать зависимость выходного напряжения от падения напряжения на управляющих узлах:

$V = \text{GAIN} \cdot V_y$, где V_y – падение напряжения на управляющих потенциалах.

4.2.4.2.2 Источник напряжения, управляемый током

УГО компонента представлено на [Рис. 73](#).

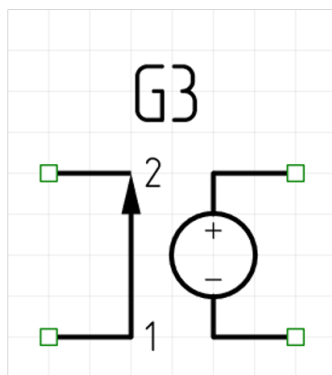


Рис. 73 УГО компонента

В источнике напряжения, управляемом током, с помощью коэффициента усиления можно задать зависимость выходного напряжения от управляющего тока:

$V = \text{GAIN} \cdot I_y$, где I_y – управляющий ток.

4.2.4.2.3 Источник тока, управляемый напряжением

УГО компонента представлено на [Рис. 74](#).

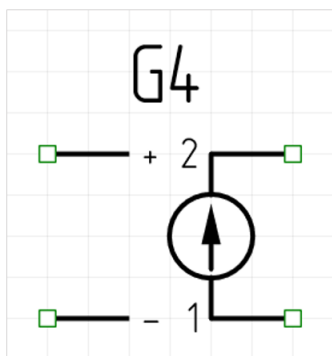


Рис. 74 УГО компонента

В источнике тока, управляемом напряжением, с помощью коэффициента усиления можно задать зависимость выходного тока от управляющего напряжения:

$I = \text{GAIN} \cdot V_y$, где V_y – управляющее напряжение.

4.2.4.2.4 Источник тока, управляемый током

УГО компонента представлено на [Рис. 75](#).

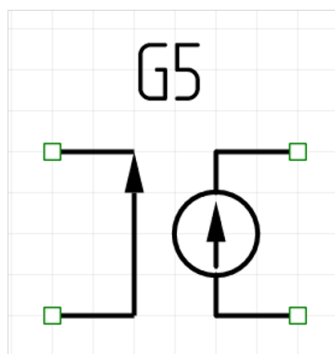


Рис. 75 УГО компонента

В источнике тока, управляемом напряжением, с помощью коэффициента усиления можно задать зависимость выходного тока от управляющего:

$$I = \text{GAIN} * I_y, \text{ где } I_y - \text{ток управляемого источника.}$$

4.2.4.3 Функциональные источники

У функциональных источников для редактирования доступен SPICE-параметр Expression (выражение), см. [Рис. 76](#).

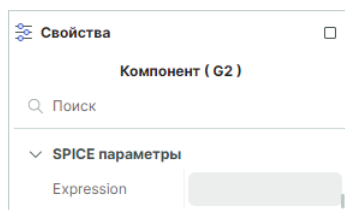


Рис. 76 Редактируемый
SPICE-параметр
Expression

4.2.4.3.1 Функциональный источник напряжения

УГО компонента представлено на [Рис. 77](#).

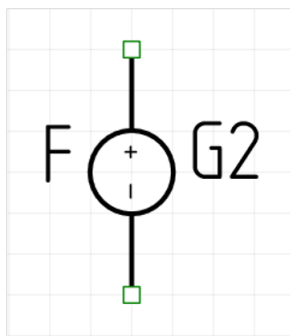


Рис. 77 УГО компонента

В функциональном источнике напряжения зависимость для выходного напряжения задаётся выражением (см. раздел [Выражения](#)).

4.2.4.3.2 Функциональный источник тока

УГО компонента представлено на [Рис. 78](#).

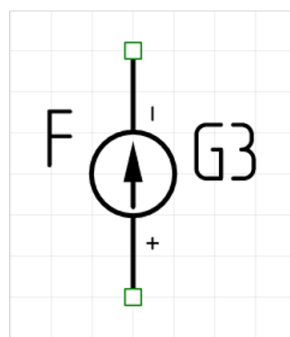


Рис. 78 УГО компонента

В функциональном источнике тока зависимость для выходного тока задаётся выражением (см. раздел [Выражения](#)).

4.2.5 Многополюсники

У многополюсников есть общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 79](#).

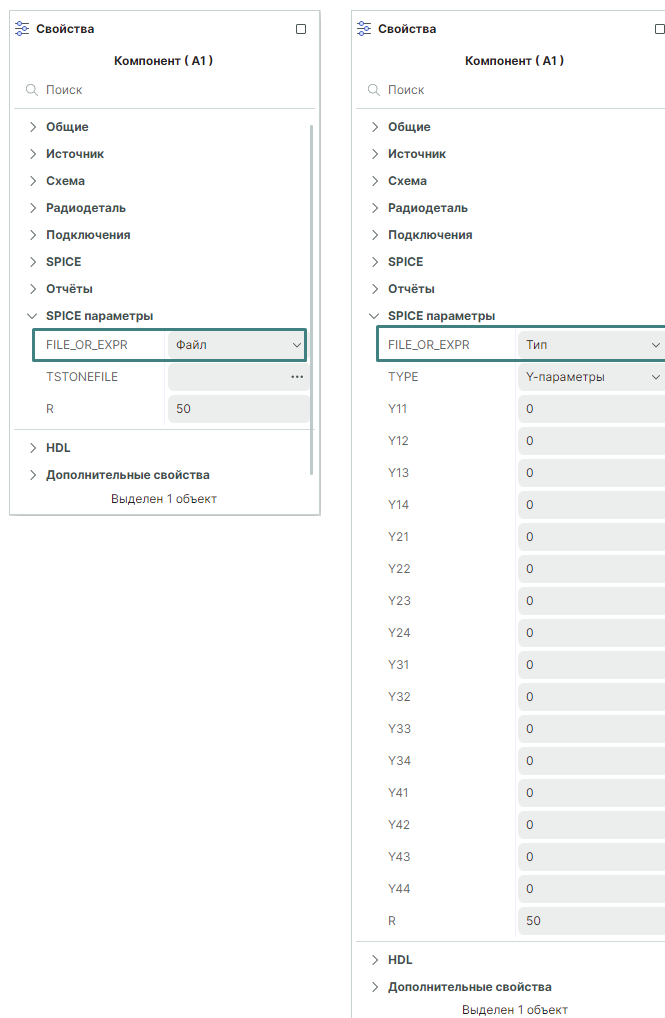


Рис. 79 Общие входные редактируемые SPICE-параметры многополюсников

Параметр FILE_OR_EXPR – выбор способа указания параметров многополюсника.

Выбор варианта «**Файл**» предполагает определение текстового файла с расширением *.sNp, где N - количество портов многополюсника/2, содержащего описание модели компонента в Touchstone-формате с помощью S,Y,Z-параметров в поле TSTONEFILE.

Выбор варианта «**Тип**» предполагает ручной ввод параметров многополюсника после выбора типа параметров.

Возможны следующие типы:

- S-параметры,
- Z-параметры,
- Y-параметры.

Параметр R - эталонное сопротивление. Значение сопротивления, при котором измеряются S-параметры (по умолчанию = 50 Ом).

4.2.5.1 Восьмиполюсник

УГО компонента представлено на [Рис. 80](#).

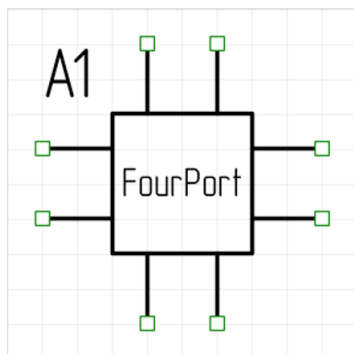


Рис. 80 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) многополюсников.

4.2.5.2 Двухполюсник

УГО компонента представлено на [Рис. 81](#).

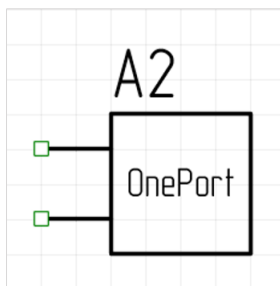


Рис. 81 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) многополюсников.

4.2.5.3 Четырехполюсник

УГО компонента представлено на [Рис. 82](#).

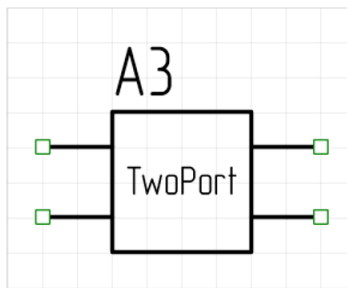


Рис. 82 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) многополюсников.

4.2.5.4 Шестиполюсник

УГО компонента представлено на [Рис. 83](#).

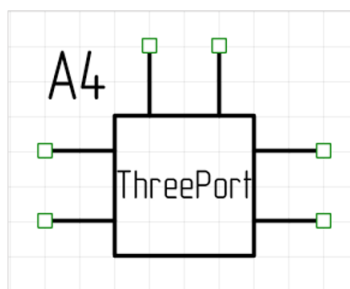


Рис. 83 УГО компонента

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами](#) многополюсников.

4.2.6 Пассивные элементы

4.2.6.1 Взаимная (магнитосвязная) индуктивность

УГО компонента представлено на [Рис. 84](#).



Рис. 84 УГО компонента

85. Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 85](#).

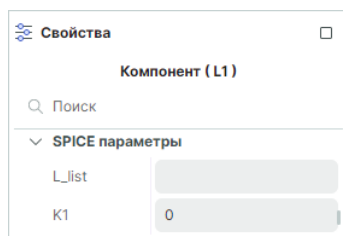


Рис. 85 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 11](#).

[Таблица 11](#) Редактируемые SPICE-параметры

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.

$$M_{ij} = K \cdot \sqrt{L_i \cdot L_j}$$

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

Порядок перечисления имён индуктивностей в списке не имеет значения.

4.2.6.2 Двухобмоточный трансформатор

УГО компонента представлено на [Рис. 86](#).

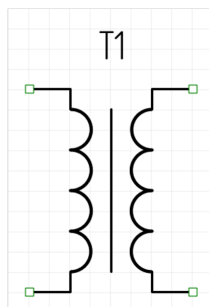


Рис. 86 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 87](#).

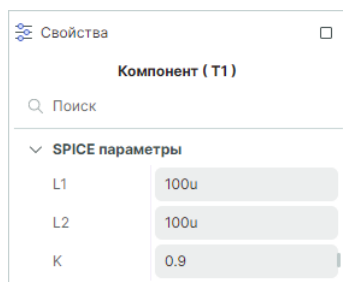


Рис. 87 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 12](#).

[Таблица 12](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
L1	Индуктивность первой обмотки	100u	Гн
L2	Индуктивность второй обмотки	100u	Гн
K	Коэффициент магнитной связи	0.9	-

Трансформатор является элементом взаимной индуктивности для случая двух обмоток. Сопротивления обмоток не учитываются в моделировании.

4.2.6.3 Диод

УГО компонента представлено на [Рис. 88](#).

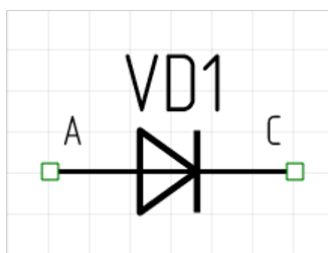


Рис. 88 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 89](#).

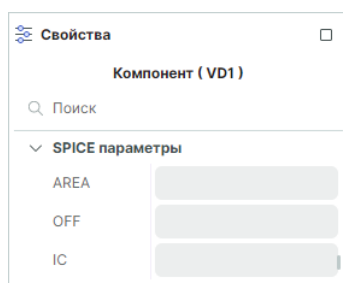


Рис. 89 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр AREA – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких диодов.

Параметр OFF указывает на отключение диода на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Параметр IC задат начальные условия на диоде при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании IC см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

4.2.6.4 Длинная линия

УГО компонента представлено на [Рис. 90](#).

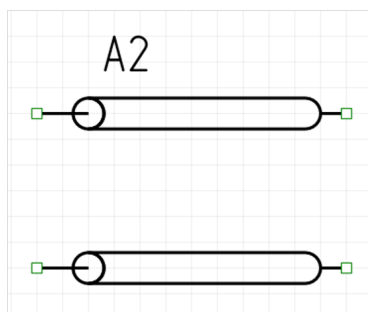


Рис. 90 УГО компонента

91.

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис.](#)

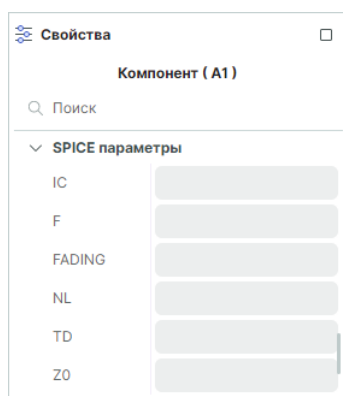


Рис. 91 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 13](#).

Таблица 13 Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Единица измерения
IC	Начальные значения напряжений и токов	-
F	Частота для расчёта NL	Гц
FADING	Коэффициент затухания в линии	-
NL	Электрическая длина на частоте F	-
TD	Время задержки сигнала	с
Z0	Волновое сопротивление	Ом

4.2.6.5 Индуктивность

УГО компонента представлено на [Рис. 92](#).

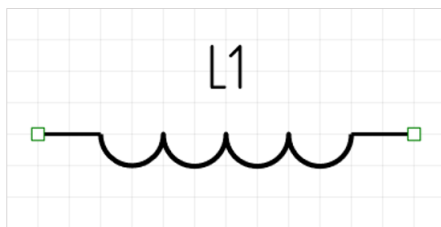


Рис. 92 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 93](#).

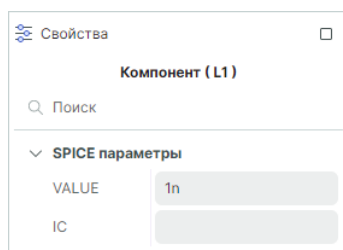


Рис. 93 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 14](#).

[Таблица 14](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VALUE	Номинал индуктивности или выражение для неё	1n	Гн
IC	Начальные значения напряжений и токов	-	-

4.2.6.6 Конденсатор

УГО компонента представлено на [Рис. 94](#).

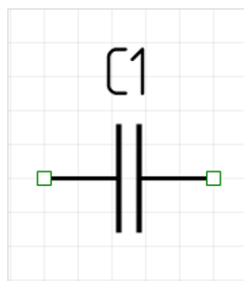


Рис. 94 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 95](#).

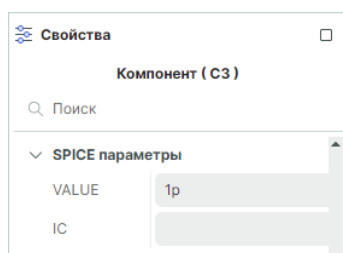


Рис. 95 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 15](#).

[Таблица 15](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VALUE	Номинал ёмкости или выражение для неё	1p	Ф
IC	Начальные значения напряжений и токов	-	-

4.2.6.7 Переключатель, управляемый напряжением

УГО компонента представлено на [Рис. 96](#).

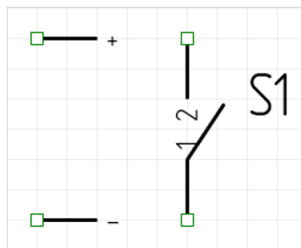
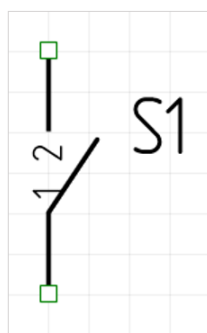


Рис. 96 УГО

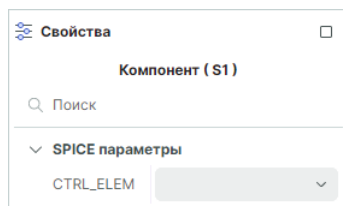
По умолчанию переключатель, управляемый напряжением, не имеет редактируемых параметров.

4.2.6.8 Переключатель, управляемый током

УГО компонента представлено на [Рис. 97](#).

Рис. 97 УГО
компонента

Для редактирования доступен SPICE-параметр CTRL_ELEM, см. [Рис. 98](#).

Рис. 98 Редактируемый
SPICE-параметр
CTRL_ELEM

Для работы с переключателем, управляемым током, необходимо выбрать имя источника напряжения, ток которого управляется ключом.

4.2.6.9 Резистор

УГО компонента представлено на [Рис. 99](#).

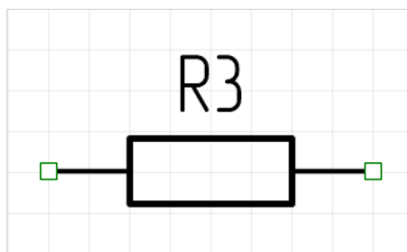


Рис. 99 УГО компонента

Для редактирования доступен SPICE-параметр VALUE, см. [Рис. 100](#).

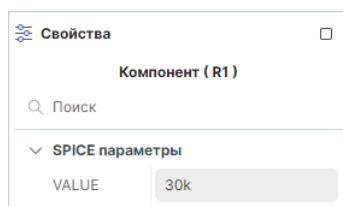


Рис. 100 Редактируемый SPICE-параметр VALUE

Подробнее о редактируемом SPICE-параметре VALUE см. [Табл. 16](#).

[Таблица 16](#) Редактируемый SPICE-параметр VALUE

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VALUE	Номинал резистора или выражение для сопротивления	100	Ом

4.2.6.10 Резистор-потенциометр

УГО компонента представлено на [Рис. 101](#).

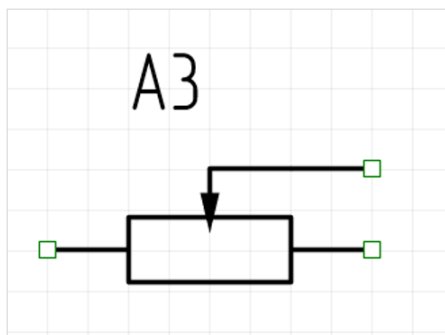


Рис. 101 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 102](#).

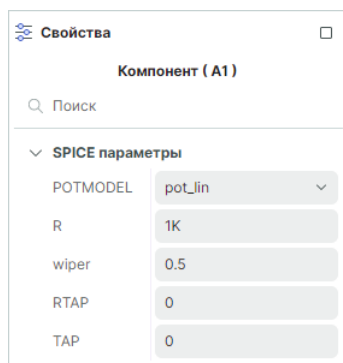


Рис. 102 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр POTMODEL - модель (зависимость сопротивления), может быть выбрана из вариантов: линейная, степенная, логарифмическая и обратная логарифмическая. Подробнее см. [Табл. 17](#).

Параметр R - номинальное сопротивление.

Параметр wiper - положение ползунка (может принимать значение от 0 до 1).

Параметр RTAP - ордината характеристической точки (сопротивление) для нелинейной функции зависимости сопротивления (pow, plog, nlog).

Параметр TAP - абсцисса характеристической точки (положение ползунка) для нелинейной функции зависимости сопротивления (pow, plog, nlog).

В зависимости от выбранной модели POTMODEL параметры RTAP и TAP (соответствующие точке (TAP, R-RTAP) на графике зависимости сопротивления от коэффициента wiper) имеют разные значения по умолчанию. Параметры TAP и RTAP можно менять в пределах (0 .. 1) и (0 .. R) соответственно. Подробнее см. [Табл. 18](#).

[Таблица 18](#) Зависимости сопротивления

Обозначение	Зависимость сопротивления	Значение по умолчанию RTAP	Значение по умолчанию TAP
pot_lin	линейная	0	0
pot_pow	степенная	100	0.5
pot_plog	логарифмическая	0.1	0.001

Обозначение	Зависимость сопротивления	Значение по умолчанию RTAP	Значение по умолчанию TAP
pot_nlog	обратная логарифмическая	0.1	0.999

4.3 Библиотеки

4.3.1 Предустановленная библиотека

База компонентов SimOne поставляется с программой и включает более тридцати тысяч готовых моделей реальных электронных компонентов.

Модели в базе компонентов объединены в разделы:

- Компараторы (Comparators);
- Диоды (Diodes);
- Разное (Miscellaneous);
- Операционные усилители (Operational amplifiers);
- Пассивные компоненты (Passive components);
- Силовые компоненты (Power components);
- Российские компоненты (Russian components);
- SMPS (SMPS Примитивы);
- Переключатели (Switches);
- Тиристоры (Thyristors);
- Транзисторы (Transistors).

Добавление компонента из базы на схему происходит аналогично тому, как это описано в разделе [Примитивы](#), см. [Рис. 103](#).

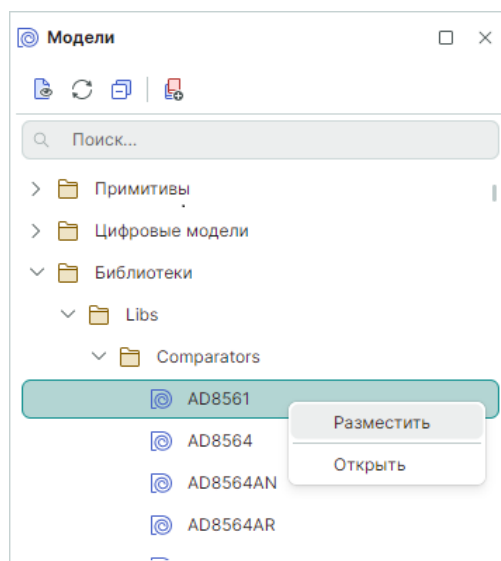


Рис. 103 Размещение компонента на схему из предустановленной библиотеки

Пункт «Открыть» контекстного меню (см. [Рис. 104](#)) раскрывает на вкладке «УГО» описание компонента, его УГО, таблицу контактов компонентов и на вкладке «Моделирование» → «Модель», текстовую модель и параметры модели компонента, см. [Рис. 105](#).

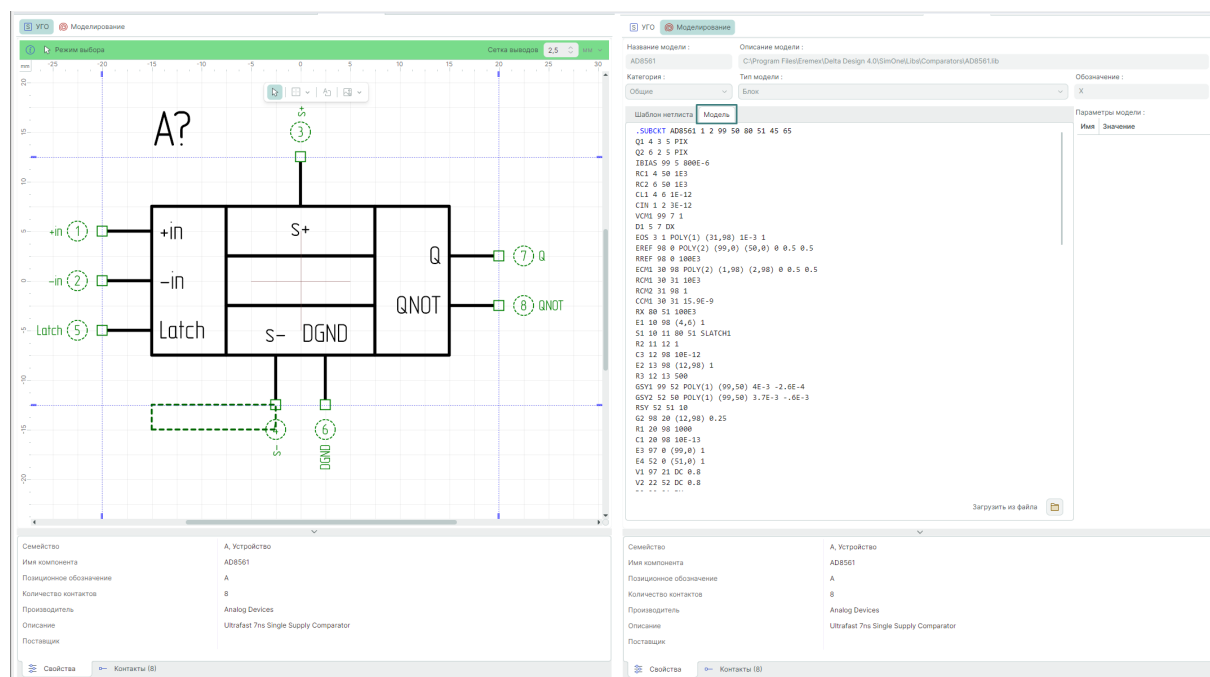


Рис. 105 Описание компонента, УГО, таблицы контактов, модель и параметры модели компонента

4.3.2 Пользовательские SPICE-библиотеки

Пользователь может подключать собственные SPICE-библиотеки, сформированные в виде каталогов с текстовыми файлами с расширением *.lib, содержащими описание моделей компонентов в SPICE-формате.

Для подключения SPICE-библиотеки используется кнопка  в верхней части панели «Модели», см. [Рис. 106](#).

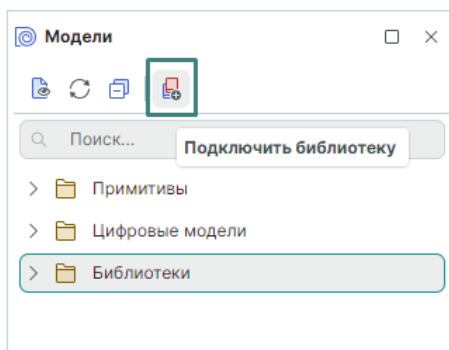


Рис. 106 Подключение библиотеки

В появившемся диалоговом окне следует выбрать путь к папке, содержащей библиотеку.

После подключения SPICE-библиотека отображается в панели «Модели» вместе с предустановленной базой моделей SimOne, см. [Рис. 107](#).

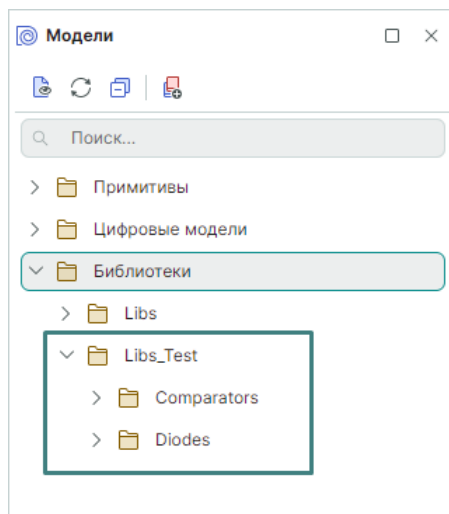


Рис. 107 Отображение подключенной библиотеки

УГО библиотечных компонентов генерируются автоматически при чтении SPICE-файлов.

Действия по просмотру и добавлению компонента такой библиотеки на схему аналогичны описанным выше действиям с компонентами базы SimOne.

Любые компоненты, когда-либо добавленные на схему из базы компонентов SimOne или какой-либо другой SPICE-библиотеки, попадают в локальную библиотеку текущего проекта для удобства дальнейшего использования.

4.3.3 Файлы описания модели

Файлы содержащие описание моделей компонентов в SPICE-формате с расширением *.lib расположены в каталоге с [предустановленной библиотекой](#) или установленной [пользовательской библиотеке](#).

Файлы с моделями компонентов в SPICE-формате, доступна в директории размещения Delta Design в поддиректории SimOne.

Все файлы компонентов расположены в соответствующих поддиректориях.

Пример организации файлов в директории предустановленной библиотеки Libs см. [Рис. 108](#).

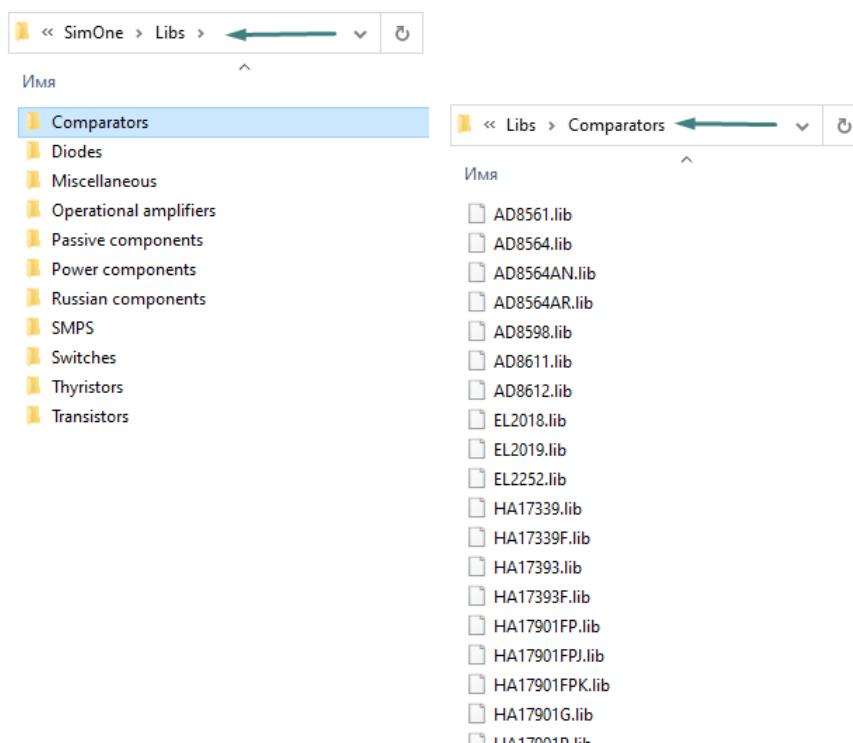


Рис. 108 Пример организации файлов в предустановленной библиотеке Libs

Для редактирования модели компонента необходимо открыть файл в редакторе, см. [Рис. 109](#).

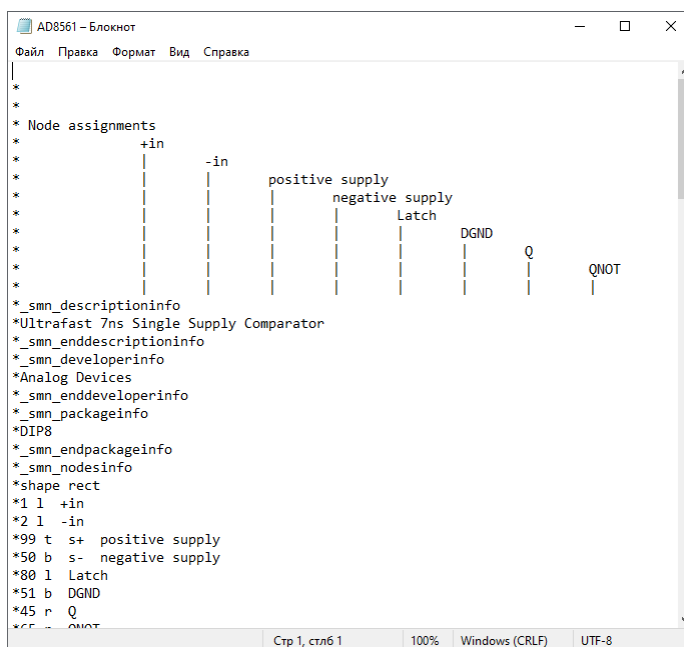


Рис. 109 Пример файла компонента в текстовом редакторе

Файл с описанием модели в своей структуре содержит управляющие блоки.

Управляющие блоки SimOne в файлах описания модели предназначены для управления синтезом компонентов, описанных в подключаемых в Delta Design файлах описаний моделей через панель «Модели».

Содержание внутри открывающего и закрывающего тэга каждого типа управляющих блоков служит для заполнения значений некоторых свойств синтезируемых компонентов, а также выбора условного графического обозначения (УГО), управления сопоставлением выводов УГО и местозаполнителей узлов SPICE-шаблона, сопоставляемого для модели по её типу. При этом УГО хранятся в структуре БД в разделе Стандарты (ресурсная библиотека SPICE_FAMILY_SYMBOLS.DDS).

Управляющие блоки SimOne начинаются специальным словом (открывающий тэг) и заканчиваются специальным словом (закрывающий тэг).

Данные специальные слова должны находиться каждое в отдельной строке и быть экранированы слева символом комментария «*» в начале строки.

В строке или нескольких строках, расположенных между строками начального и конечного тэга, следует описать содержание управляющего блока.

Каждая строка управляющего блока должна быть экранирована слева символом комментария «*».

В [Табл. 19](#) приведен перечень управляющих блоков.

[Таблица 19](#) Перечень управляющих блоков

Наименование	Описание
Блок «Описание»	Начальный тэг: *_smn_descriptioninfo. Конечный тэг: *_smn_enddescriptioninfo. Назначение управляющего блока: значение поля «Описание» в свойствах компонента. Допустимый размер управляющего блока: одна строка.
Блок «Производитель»	Начальный тэг: *_smn_developerinfo. Конечный тэг: *_smn_enddeveloperinfo. Назначение управляющего блока: значение поля «Производитель» в свойствах компонента. Допустимый размер управляющего блока: одна строка.
Блок указания УГО и сопоставления выводов	Начальный тэг: *_smn_nodesinfo. Конечный тэг: *_smn_endnodesinfo. Назначение управляющего блока: сопоставление формы УГО и местозаполнителей SPICE-шаблона, соответствующего модели, выводам УГО. Допустимый размер управляющего блока: множество строк.



Примечание! Имя компонента считывается из названия файла, содержащего модель, без расширения этого файла.

Форма УГО определяется парой слов, первое из которых shape, а второе соответствует названию УГО во встроенной библиотеке SPICEFamilySymbols.dds.

В [Табл. 20](#) приведен перечень соответствия название УГО компонента с его названием в библиотеке SPICEFamilySymbols.dds.

Таблица 20 Перечень соответствия

Специальное слово обозначения УГО	Краткое описание УГО
bridge	выпрямительный мост тип 1
bridge_rev	выпрямительный мост тип 2
capacitor	конденсатор
crystal	кварцевый резонатор
cur_reg	регулятор тока
darlington_npn	составной биполярный транзистор Дарлингтона со структурой NPN
darlington_pnp	составной биполярный транзистор Дарлингтона со структурой PNP
diac	диодный тиристор
diode	диод
dualRef1	пара диодов с общим катодом тип 1
dualRef2	пара диодов с общим катодом тип 2
dualRef3	пара диодов с общим анодом
ferrite_bead	индуктивность с ферритовым сердечником
ibgt	биполярный транзистор с изолированным затвором
inductor	индуктивность
led	светодиод
mct	тиристор MCT
njfet	полевой транзистор с N-каналом
nmos	полевой МОП транзистор с N-каналом

Специальное слово обозначения УГО	Краткое описание УГО
nmos4	полевой МОП транзистор с N-каналом и выводом от подложки
npn	биполярный транзистор со структурой NPN
npn4	биполярный транзистор со структурой NPN и выводом от подложки
photo	фотодиод
pjfet	полевой транзистор с P-каналом
pmos	полевой МОП транзистор с P-каналом
pnp	биполярный транзистор со структурой PNP
put	тиристор PUT
rect	прямоугольник
resistor	резистор
schottky	диод Шоттки
scr	управляемый тиристор SCR
thermistor	термистор
transform	трансформатор
triangle	треугольник (операционный усилитель)
triac	симметричный тиристор
triode	триод
tunnel	туннельный диод
tvс	подавитель переходных напряжений
varactor	варикап/варактор

Специальное слово обозначения УГО	Краткое описание УГО
varistor	варистор
zener	диод Зенера (стабилитрон)

При использовании **shape rect** или **shape triangle** возможно определить позиции выводов относительно центра УГО, а также определить имена синтезированных выводов и их связь с узлами модели:

<имя узла> {r,l,t,b} <имя вывода>, где

<имя узла> - имя узла в заголовке подсхемы;

{r,l,t,b} - один из символов, указывающих сторону УГО для размещения вывода: r - правая, l - левая, t - верхняя, b - нижняя;

<имя вывода> - имя или обозначение вывода на УГО.

Пример:

```
*_smn_nodesinfo
*shape rect
*8 b GNF
*2 b GND
*3 l COMP
*4 t FB
*5 l SENS
*6 l OSC
*1 r OUT1
*7 r OUT2
*_smn_endnodesinfo

.subckt test_subcircuit 1 2 3 4 5 6 7 8
```

Примечание – **shape rect** или **shape triangle** используется совместно с моделями, описанными как подсхемы.

5 Сигналы

5.1 Общие сведения

Сигнал – это функция временного аргумента, с помощью которого подается входное воздействие на схему.

Сигналы используются в схеме двумя компонентами – независимым источником напряжения и независимым источником тока.

Сигналы могут быть созданы следующими способами:

1. Выделить на схеме источник и из контекстного меню выбрать пункт «Задать сигнал...», что откроет окно «Сигналы» для управления сигналам, см. [Рис. 110](#).

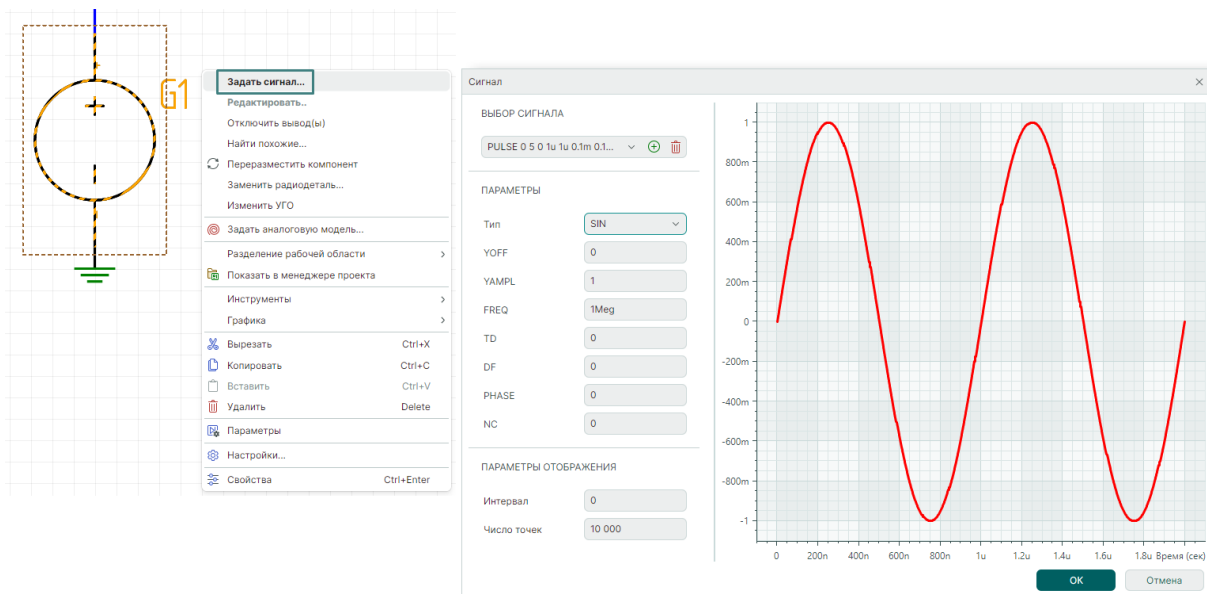


Рис. 110 Создание сигнала из контекстного меню

2. Выделить на схеме источник и в панели «Свойства» выбрать «SPICE-параметр» → «SIGNAL» → «Задать сигнал...», см. [Рис. 111](#).

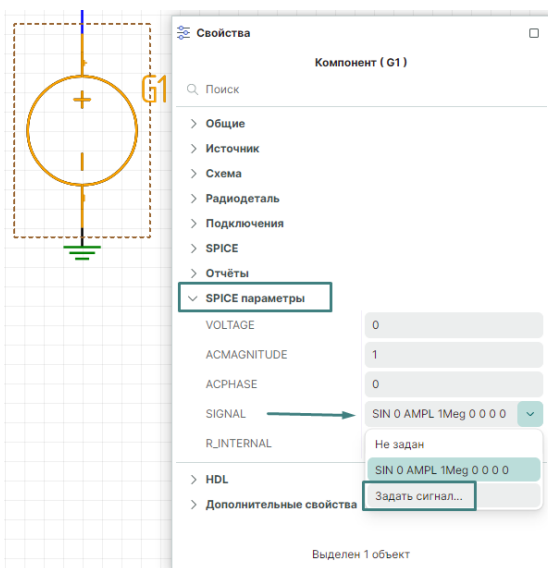


Рис. 111 Создание сигнала из панели «Свойства»

Выпадающий список содержит варианты: «Не задан», список уже созданных для данной схемы сигналов (если такие есть) и «Задать сигнал...».

Выбор пункта «Задать сигнал...» откроет окно «Сигналы» для управления сигналам.



Примечание! Для корректной работы необходимо, чтобы для выбранного источника были заданы SPICE-параметры. В случае отсутствия внутреннего сопротивления параметр R_INTERNAL следует задать равным 0.

Окно «Сигналы» позволяет создавать новые сигналы, редактировать параметры существующих сигналов, удалять их из списка, см. [Рис. 112](#).

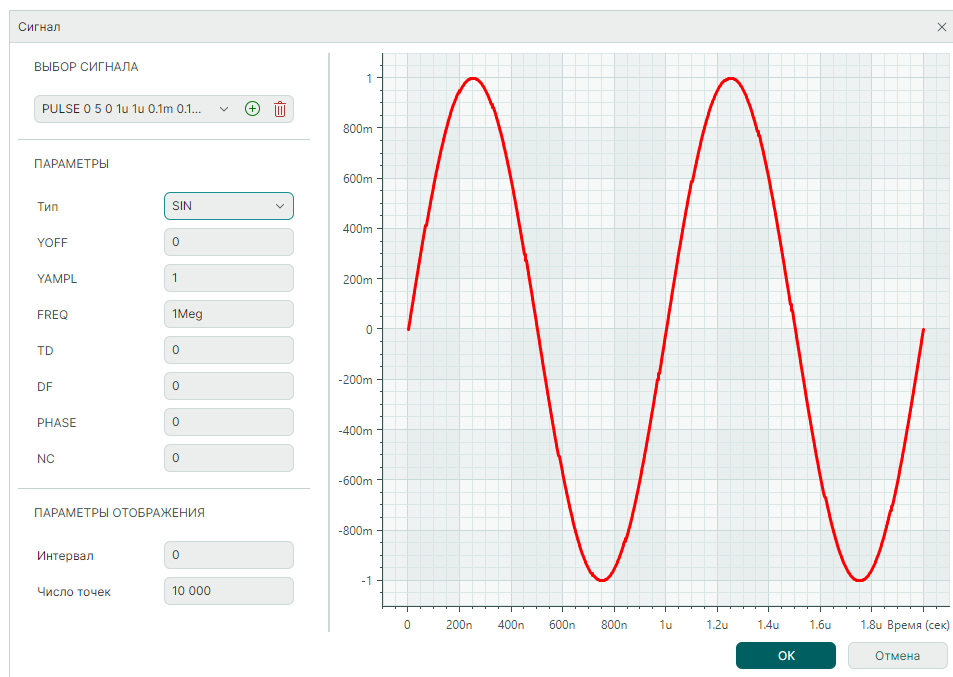


Рис. 112 Окно «Сигналы»

Если на выбранном источнике не задан сигнал, то таблица и график в окне отсутствуют.

Пользователь может создать новый сигнал или выбрать из выпадающего списка существующий, если в работе с активным документом схемы уже создавались сигналы.

В [Табл. 21](#) представлен общий интерфейс окна «Сигналы» для управления сигналом.

Таблица 21 Общий интерфейс окна «Сигналы»

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Выпадающий список «Выбор сигнала»	Содержит список сигналов. «Не задан», если сигнал на источнике отсутствует.	«Не задан» или текущий сигнал.
Выпадающий список «Параметры» → «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; • AM – амплитудно-модулированный сигнал; • WAV – сигнал в аудиоформате; • SLFM – линейно частотно-модулированный сигнал.	SIN
«Параметры отображения» → «Интервал»	Интервал отображения сигнала в окне предварительного просмотра	0
	Добавление нового сигнала	-
	Удаление выбранного сигнала из списка доступных	-

Характеристики, приведенные в таблице, соответствуют SPICE-формату и индивидуальны для каждого типа сигнала.

5.2 Экспоненциальный сигнал (EXP)

Экспоненциальный сигнал задаётся списком параметров EXP (Y1 Y2 TD1 TC1 TD2 TC2).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 113](#).

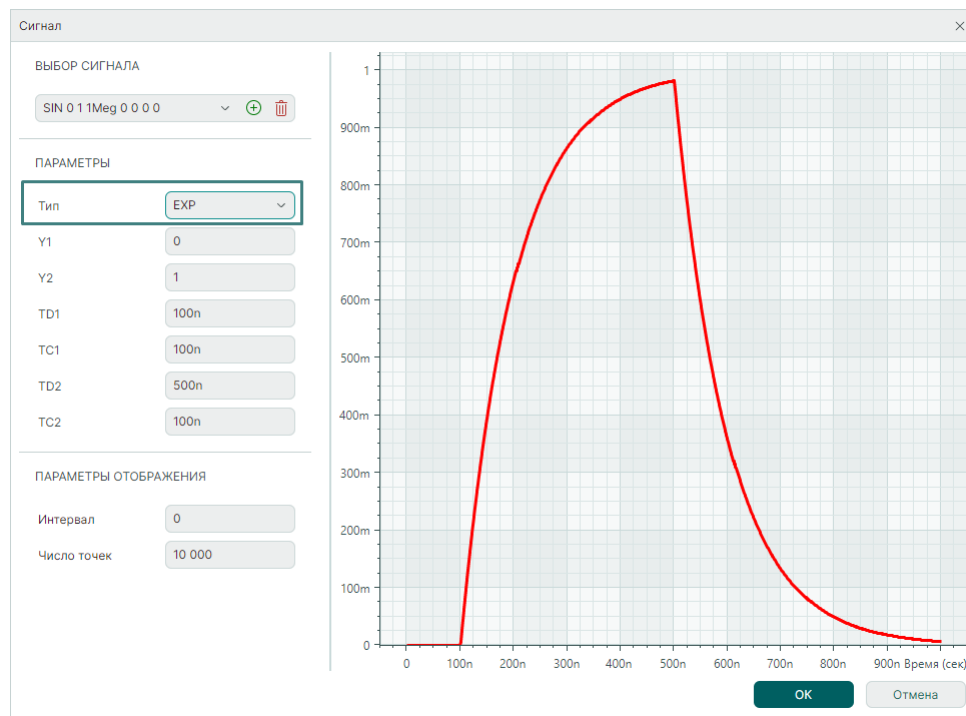


Рис. 113 Параметры экспоненциального сигнала

Подробнее параметры экспоненциального сигнала описаны в [Табл. 22](#).

[Таблица 22](#) Параметры экспоненциального сигнала

Обозначение	Параметр
Y1	Начальное значение
Y2	Максимальное значение
TD1	Начало переднего фронта
TC1	Постоянная времени переднего фронта
TD2	Начало заднего фронта
TC2	Постоянная времени заднего фронта

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 23](#).

[Таблица 23](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TD1$	Y1

Интервал	Значение
$TD1 < t \leq TD2$	$Y1 + (Y2 - Y1) * (1 - \exp(-t + TD1) / TC1)$
$TD2 < t \leq TSTOP$	$Y1 + (Y2 - Y1) * (1 - \exp(-t + TD1) / TC1) - (1 - \exp(-t + TD2) / TC2)$

TSTOP – конечное время анализа переходного процесса.

5.3 Импульсный сигнал (PULSE)

Импульсный сигнал задается списком параметров PULSE (Y1 Y2 TD TR TF PW PER NC).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 114](#).

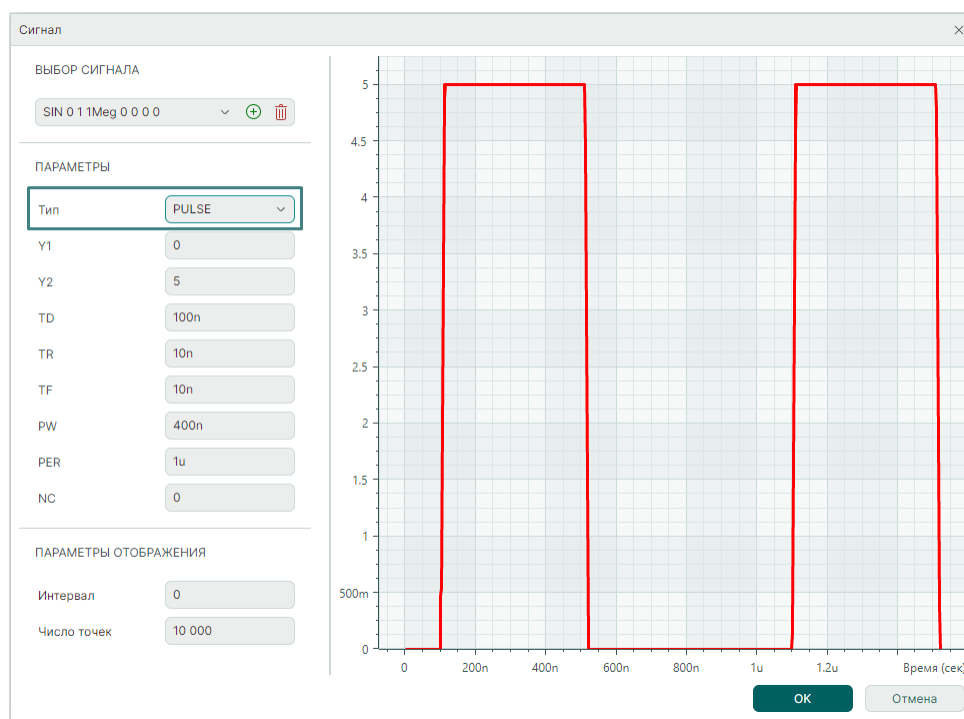


Рис. 114 Параметры импульсного сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 24](#).

[Таблица 24](#) Параметры импульсного сигнала

Обозначение	Параметр
Y1	Начальное значение
Y2	Максимальное значение

Обозначение	Параметр
TD	Начало переднего фронта
TR	Длительность переднего фронта
TF	Длительность заднего фронта
PW	Длительность плоской части импульса
PER	Период повторения
NC	Количество периодов (0 соответствует отсутствию ограничения)

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 25](#).

[Таблица 25](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TD$	Y1
$TD < t \leq TD+TR$	$Y1 + ((Y2 - Y1)/TR) * (t - TD)$
$TD+TR < t \leq TD+TR+PW$	Y2
$TD+TR+PW < t \leq TD+TR+PW+TF$	$Y2 + ((Y1 - Y2)/TF) * (t - TD - TR - PW)$
$TD+TR+PW+TF < t \leq PER$	Y1

5.4 Кусочно-линейный сигнал (PWL)

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

Такой тип сигналов задаётся списком параметров:

PWL[TIME_SCALE_FACTOR=<значение>]
[VALUE_SCALE_FACTOR=<значение>]+ (точки_отсчёта)*

В секции (точки_отсчёта) помещаются следующие данные:

- (<tn, yn>) – 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.

Пример задания rwl-сигнала представлен на [Рис. 115](#).

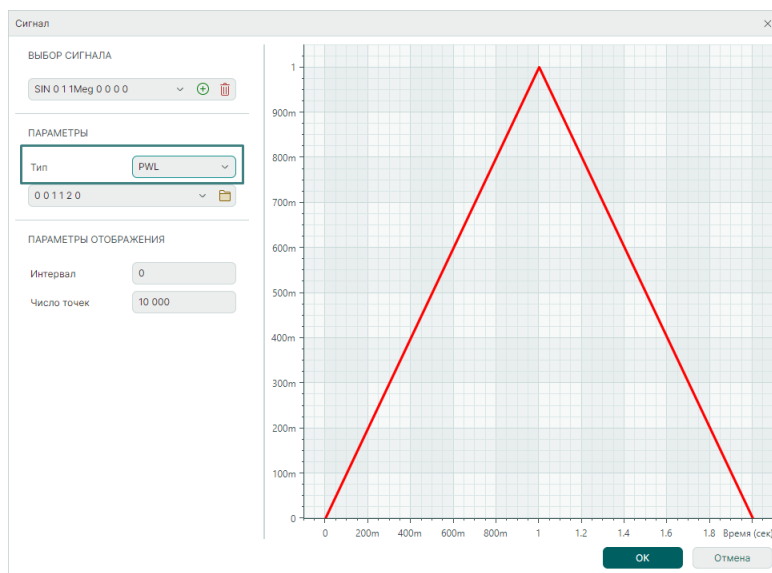


Рис. 115 Пример задания rwl-сигналов

Кроме этого rwl-сигнал может быть задан с помощью файла с расширением .rwl.

В форме нажмите на символ  и через окно проводника выберите и откройте необходимый файл формата .rwl, в результате в секции вместо координат точек отображается полное имя файла с rwl-сигналом, см. [Рис. 116](#).

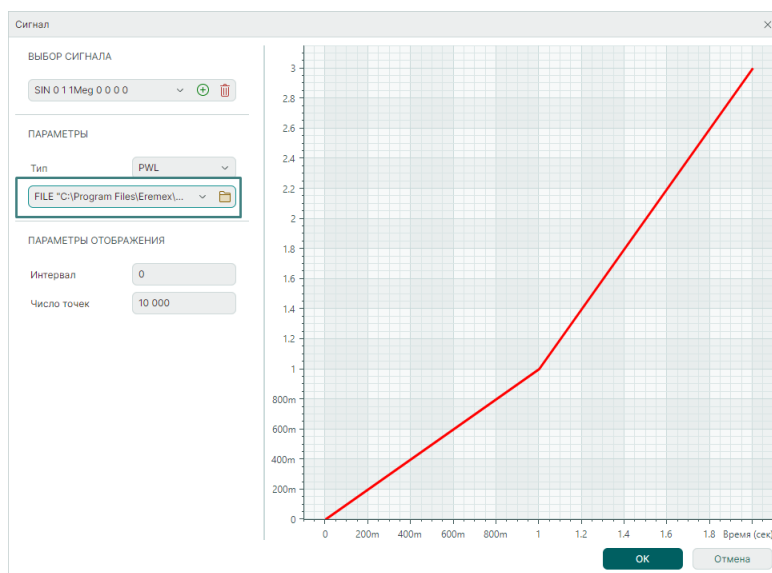


Рис. 116 Задание rwl-сигнала с помощью файла

Пример файла с rwl-сигналом, содержащего точки отсчета, представлен на [Рис. 117](#).

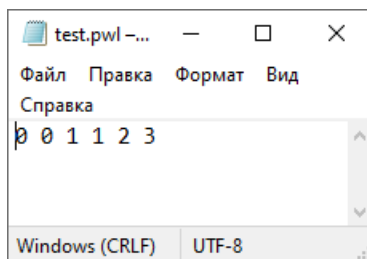


Рис. 117 Пример файла, содержащего точки

При использовании метода ввода точек PWL-функции на основе файла структура файла должна содержать последовательные разделённые пробелом координаты точек парами "абсцисса и ордината": $x_1 y_1 x_2 y_2 \dots x_n y_n$.

5.5 Синусоидальный сигнал (SIN)

Синусоидальный сигнал задаётся списком параметров SIN (YOFF YAMPL FREQ TD DF PHASE NC).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 118](#).

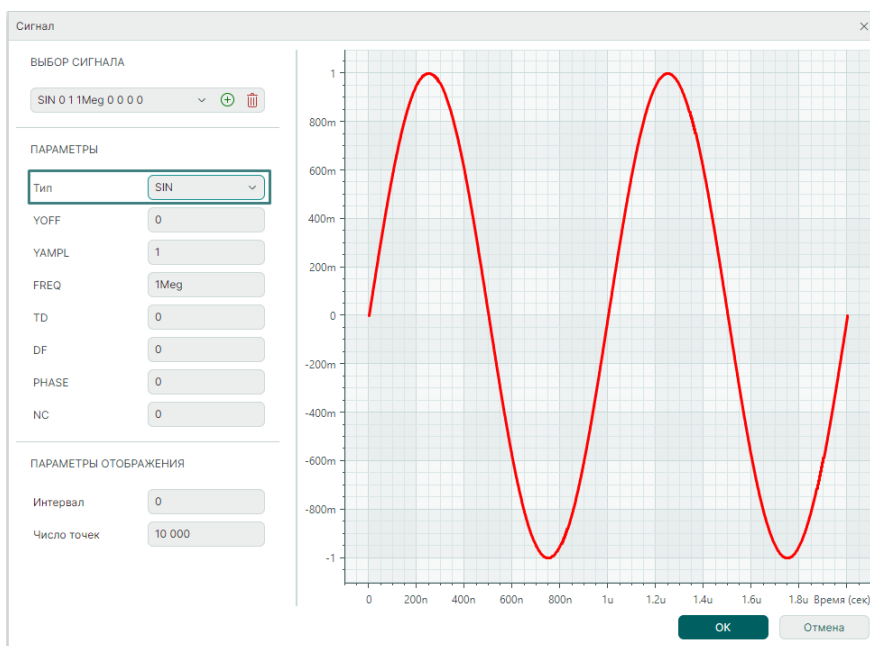


Рис. 118 Параметры синусоидального сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 26](#).

[Таблица 26](#) Параметры синусоидального сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда
FREQ	Частота
TD	Задержка
DF	Коэффициент затухания
PHASE	Фаза
NC	Количество периодов (0 соответствует отсутствию ограничения)

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 27](#).

[Таблица 27](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TD$	YOFF
$TD < t \leq TSTOP$	$YOFF + YAMPL \cdot \exp(-(t-TD) \cdot DF) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot FREQ \cdot (t-TD) + PHASE/360)$

5.6 Частотно-модулированный синусоидальный сигнал (SFFM)

Частотно-модулированный синусоидальный сигнал задаётся списком параметров SFFM (YOFF YAMPL FC MOD FM).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 119](#).

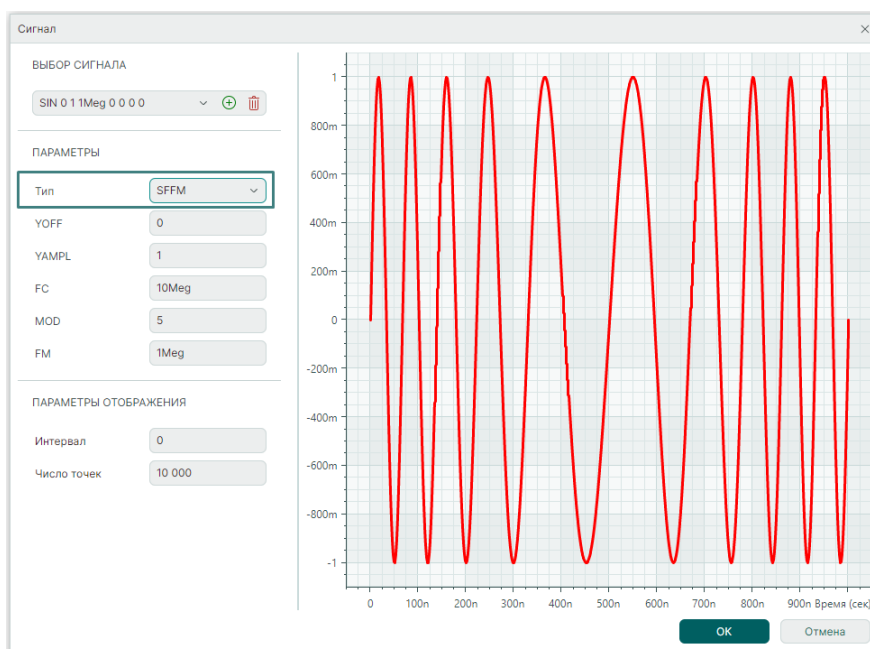


Рис. 119 Параметры частотно-модулированного синусоидального сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 28](#).

[Таблица 28](#) Параметры частотно-модулированного синусоидального сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда
FC	Частота несущей
MOD	Индекс частотной модуляции
FM	Частота модуляции

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 29](#).

[Таблица 29](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TSTOP$	$YOFF + YAMPL \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot FC \cdot t + MOD \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot FM \cdot t))$

5.7 Шумовой сигнал (NOISE)

Шумовой сигнал задаётся списком параметров NOISE (YOFF STEP YAMP TD TF SEED).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 120](#).

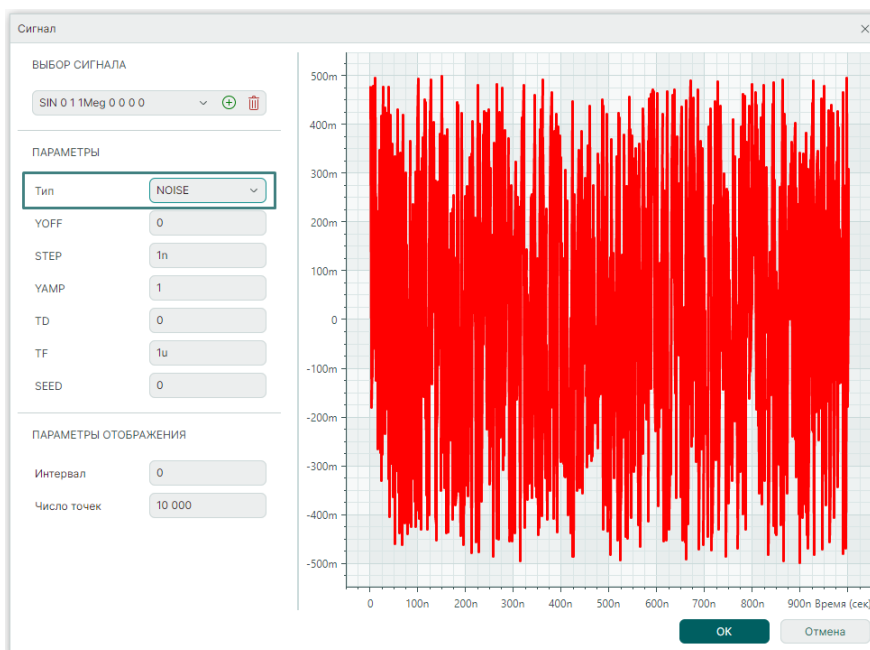


Рис. 120 График шумового сигнала

Подробнее параметры шумового сигнала объясняются в [Табл. 30](#).

[Таблица 30](#) Параметры шумового сигнала

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

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 остается неизменной от запуска к запуску. В противном случае последовательности отличаются между собой при каждом новом запуске.

5.8 Гауссов импульс (GAUSSIAN)

Гауссов импульс - это импульс, имеющий форму функции плотности нормального (Гауссова) распределения. Он задаётся списком параметров GAUSSIAN (YOFF YAMP TR PW PER).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 121](#).

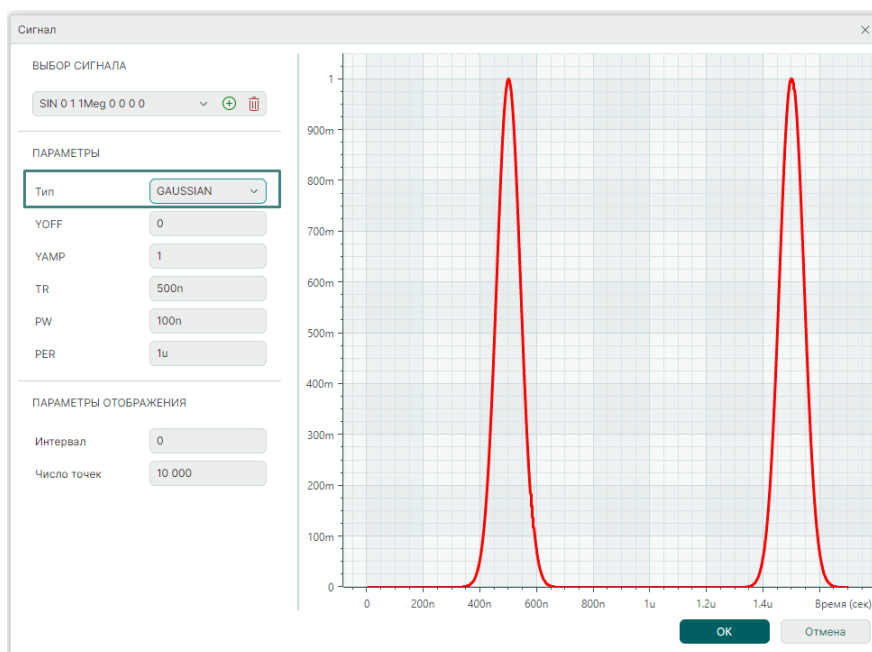


Рис. 121 Параметры Гауссова импульса

Подробнее параметры описаны в [Табл. 31](#).

[Таблица 31](#) Параметры Гауссова импульса

Обозначение	Параметр
YOFF	Смещение по оси ординат
YAMP	Амплитуда импульсов
TR	Ордината вершины первого импульса
PW	Полная ширина одного импульса на уровне половины амплитуды (полуширина)
PER	Период следования импульсов

Выражение для Гауссова импульса представляется формулой

$$s(t) = YOFF + YAMP * \exp(-4 * \ln(2) * ((t \bmod PER) - TR)^2 / PW^2), \text{ где}$$

exp - функция расчёта экспоненты;

ln - функция расчёта натурального логарифма;

mod - оператор остатка деления по модулю.

Полной шириной является отрезок на оси абсцисс $[TR - PW/2; TR + PW/2]$ длиной PW.

5.9 Амплитудно-модулированный сигнал (AM)

Задаётся списком параметров AM (YAMP YOFF FM FC TD).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 122](#).

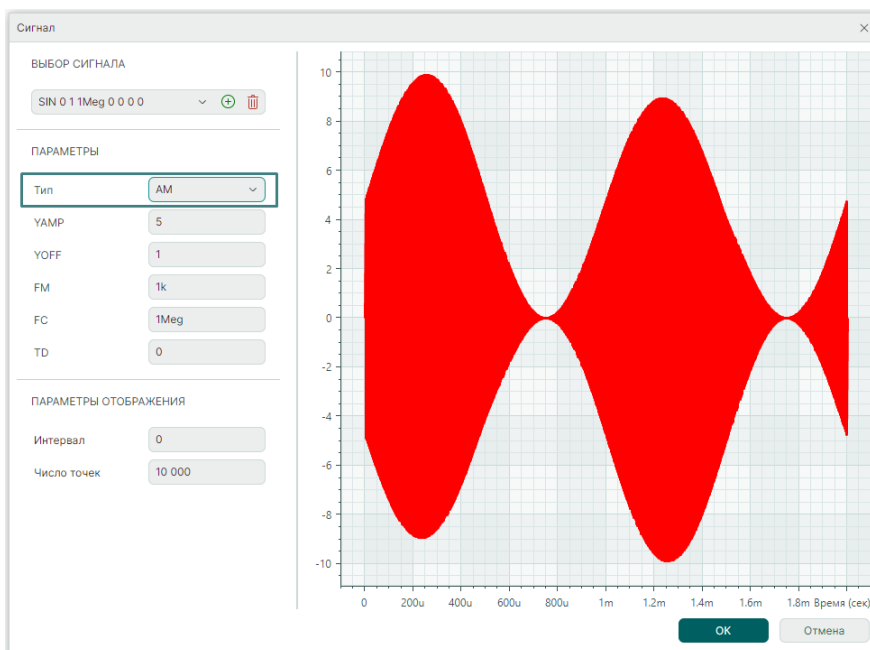


Рис. 122 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Подробнее параметры амплитудно-модулированного сигнала объясняются в [Табл. 32](#).

Таблица 32 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр
YAMP	Амплитуда сигнала без модуляции
YOFF	Смещение по оси ординат
FM	Частота модулирующей волны
FC	Частота несущей волны
TD	Задержка или запаздывание сигнала по оси времени

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 33](#).

Таблица 33 Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TSTOP$	$YAMP * (YOFF + \sin(2 * \pi * FM * t)) * \sin(2 * \pi * FC * t)$

5.10 Сигнал в аудиоформате (WAV)

Сигнал в аудиоформате 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. 123](#).

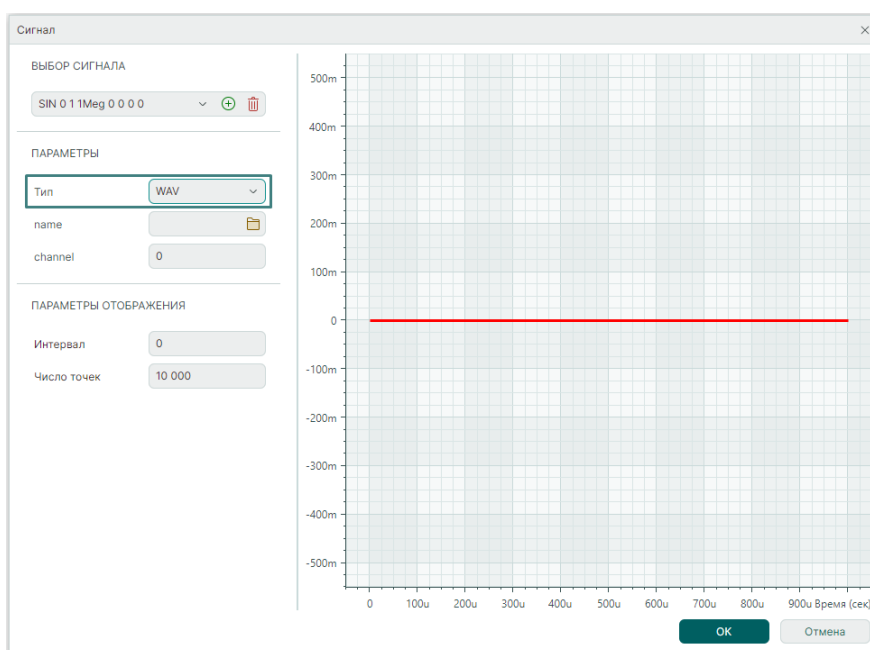


Рис. 123 График аудиосигнала

Подробнее параметры аудиосигнала объясняются в [Табл. 34](#).

[Таблица 34](#) Параметры аудиосигнала

Обозначение	Параметр
name	Полный путь к файлу хранения аудио данных с расширением <code>.wav</code>
channel	Номер канала записи аудио данных в файле

Нумерация аудиоканалов начинается с 0.

Если определение параметра `chan=` пропущено, то значение канала по умолчанию равно 0.



Примечание! Модуль SimOne поддерживает WAV-файлы с типами кодировки Signed 16 bit PCM/Signed 24 bit PCM/Signed 32 bit PCM. Поддержка других типов кодировки WAV-файлов не гарантируется.

5.11 Линейно-частотно-модулированный сигнал (SLFM)

Линейно-частотно-модулированный сигнал задаётся списком параметров SLFM (YOFF YAMPL FINIT FDEV TD PW).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 124](#).

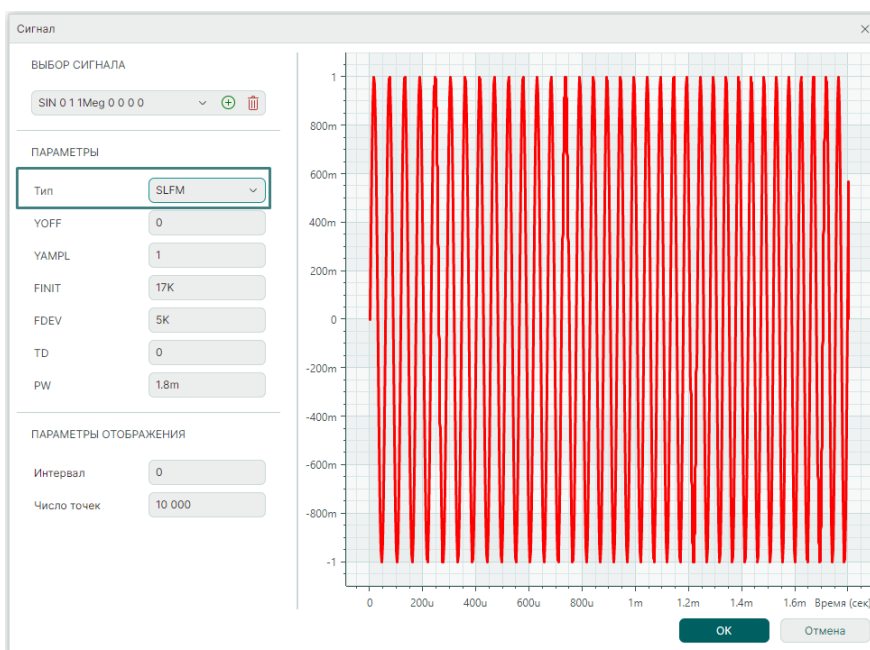


Рис. 124 Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

Подробнее параметры линейно-частотно-модулированного сигнала приведены в [Табл. 35](#).

[Таблица 35](#) Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда
FINIT	Начальная частота
FDEV	Девияция частоты
TD	Задержка

Обозначение	Параметр
PW	Длительность сигнала

6 Моделирование

6.1 Общие сведения

В модуле SimOne представлены различные виды анализа электронных схем.

Условно виды анализа электронных схем можно разделить на несколько типов:

- Анализ схемы по постоянному току. Сюда относятся расчёт рабочей точки схемы, построение статических характеристик схемы при изменении параметров компонентов, температуры, расчёт чувствительности по постоянному току.
- Анализ схемы в режиме малого сигнала. Этот анализ включает в себя расчёт переменных схемы на указанной частоте воздействия, построение частотных характеристик схемы, исследование устойчивости схемы.
- Анализ временных процессов схемы. Этот анализ включает в себя построение временных диаграмм работы схемы, переходных процессов и установившихся периодических режимов.
- 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, температуры – температурный анализ схемы, при учете разброса входных параметров – анализ Монте-Карло и наихудшего случая.

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.

Для проведения и управления моделированием 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, а также использовать симуляции для дальнейшей постпроцессной обработки.

Все симуляции для проекта отображаются в функциональной панели «Проекты» в иерархии выбранного проекта в папке «Расчёты и анализы», см. [Рис. 125](#).

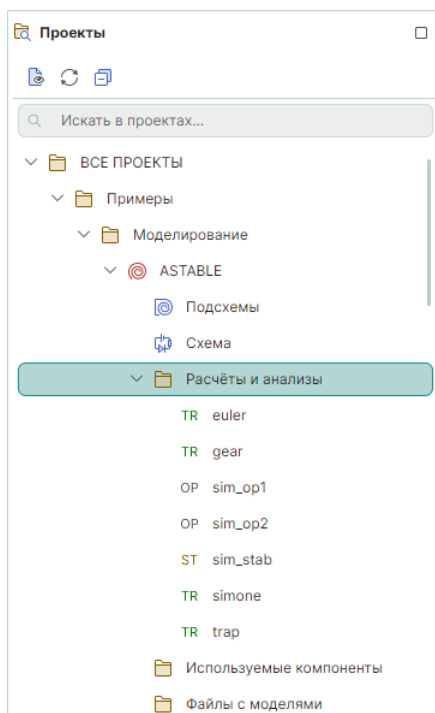


Рис. 125 Отображение симуляций в иерархии выбранного проекта

Из контекстного меню симуляции проекта доступны следующие действия, см. [Рис. 126](#).

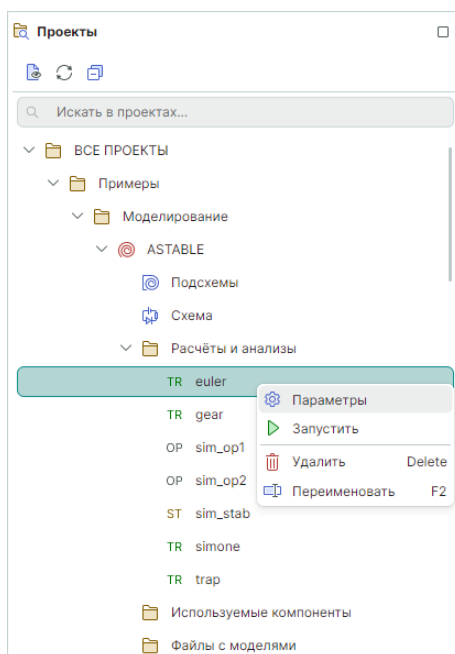


Рис. 126 Действия, доступные из контекстного меню для имеющейся симуляции

- «Параметры» – открывает окно для просмотра и изменения параметров данной симуляции;
- «Запустить» – открывает окно просмотра графиков результатов данной симуляции (если при предыдущем запуске указывалась опция «Сохранять насчитанные данные»);
- «Удалить» – удаление ранее созданной симуляции;
- «Переименовать» – переименование названия ранее созданной симуляции.

6.2 Окно параметров моделирования

Создание любого вида анализа схемы запускается:

- из главного меню «SimOne» → «Новое моделирование», см. [Рис. 127](#);
- из контекстного меню узла «Расчёты и анализы» выбранного проекта, см. [Рис. 128](#).

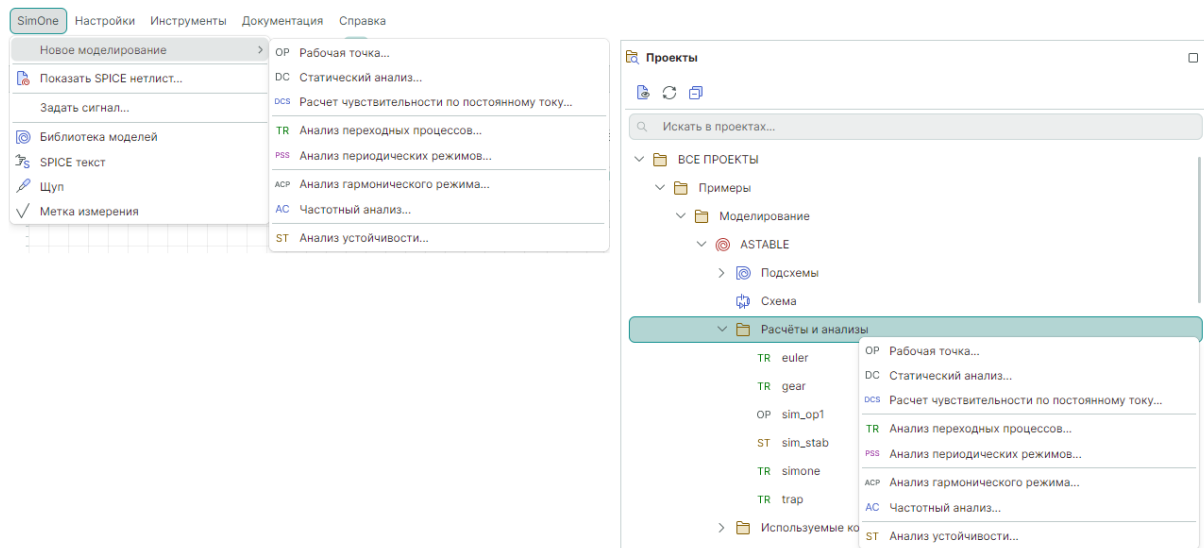


Рис. 128 Выбор типа моделирования

После выбранного в меню вида анализа схемы открывается окно формы для задания параметров моделирования.

На [Рис. 129](#) приведен пример окна формы при выборе вида анализа «Частотный анализ».

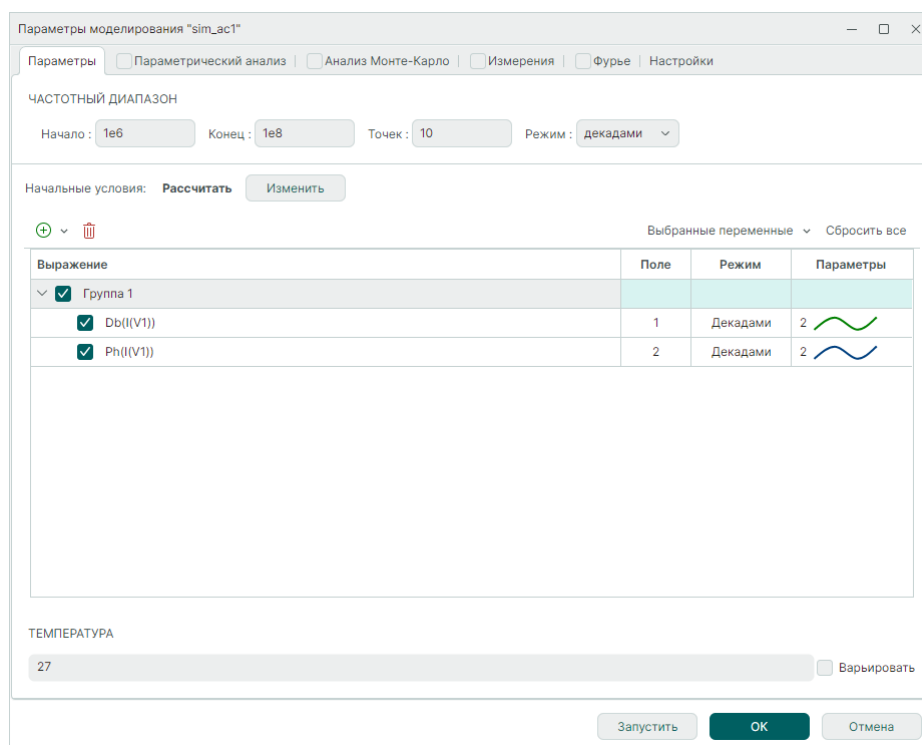


Рис. 129 Окно настройки параметров моделирования для частотного анализа схемы

Форма содержит несколько вкладок:

- «Параметры» – настройка типа выбранного анализа схемы;
- «Параметрический анализ» – используется для многократного запуска текущего анализа схемы при варьировании в указанных диапазонах выбранных параметров схемы;
- «Анализ Монте-Карло» – используется для многократного запуска текущего анализа схемы при случайном изменении выбранных параметров схемы;
- «Измерения» – позволяет задать интересующие оценки графиков исследуемых величин;
- «Фурье» – используется для задания параметров преобразования и выражений, к которым будет применено прямое или обратное преобразование Фурье после проведения расчета;
- «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 вкладка «Параметры» уникальна для каждого из типов анализа.

Вкладка «Фурье» доступна при проведении временных и частотных анализов схемы.

Описание вкладок «Параметрический анализ» и «Анализ Монте-Карло» приведено в разделе [Многовариантные типы анализа схем](#), вкладки «Измерения» – в разделе [Измерения](#), вкладки «Фурье» – в разделе [Преобразование Фурье](#).

В списке «Выражение» указываются выражения, которые будут считаться при выполнении моделирования.

Выражения могут включать в себя потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и др., а также математические выражения от них.

В выпадающем списке «Выбранные переменные» указывают переменные, которые будут сохранены после завершения моделирования. По умолчанию сохраняются только выражения, указанные в списке моделирования. Пользователь может добавить к сохраняемым переменным все токи и напряжения, внутренние токи и напряжения или все, кроме внутренних, см. [Рис. 130](#).

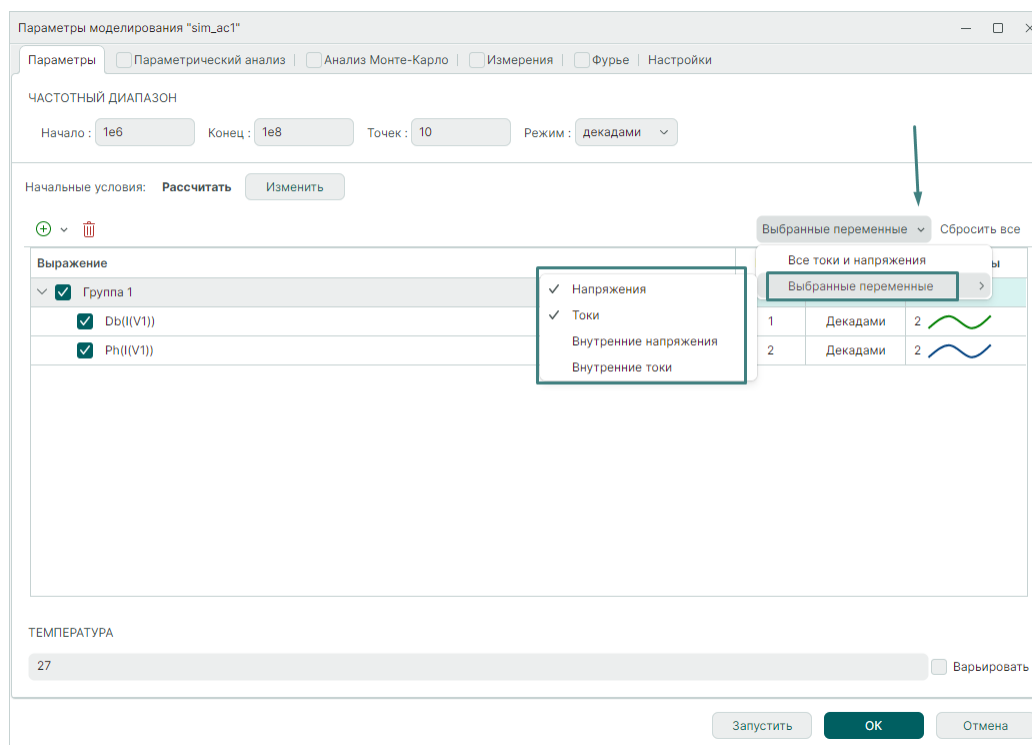


Рис. 130 Выбор переменных для учитываемых выражений

Некоторые типы моделирования содержат опцию выбора «Сохранять насчитанные данные». 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.

Пользователь может запустить процесс моделирования сразу и сохранить симуляцию с именем, установленным по умолчанию, с помощью кнопки «Запустить», либо сохранить её с удобным ему именем, нажав кнопку «Сохранить как...».

6.3 Рабочая точка

6.3.1 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.

Результаты расчёта рабочей точки отображаются в таблице.

6.3.2 Интерфейс расчёта рабочей точки

На [Рис. 131](#) приведено окно формы задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы.

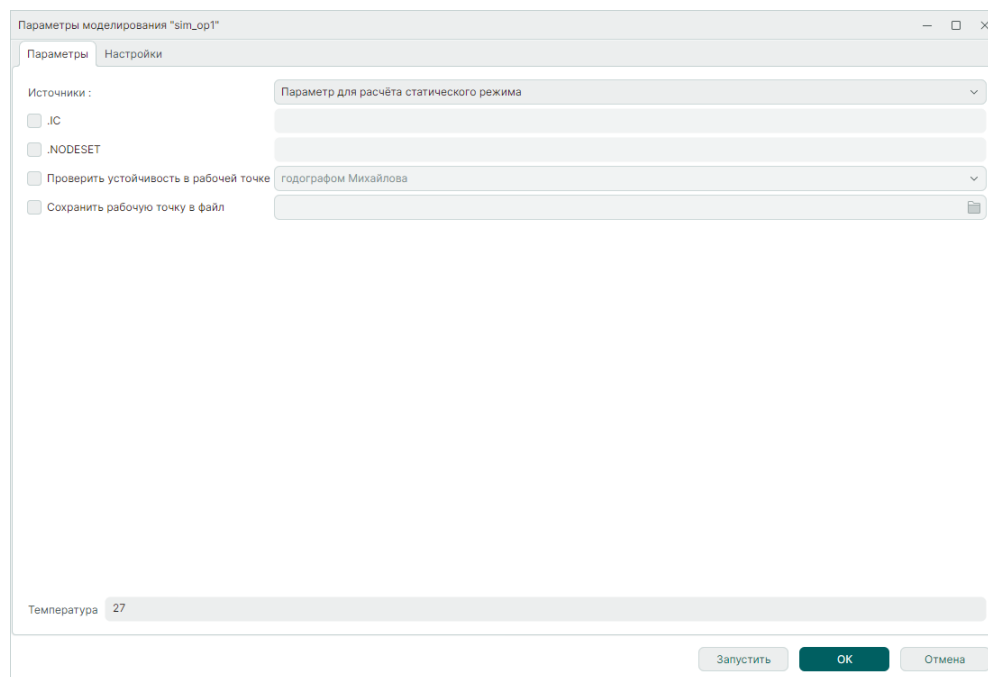


Рис. 131 Окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

Подробнее описание параметров и инструментов расчета и анализа приведено в [Табл. 36](#).

[Таблица 36](#) Описание параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Источники	Выбор значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки: «Параметр для расчета статического режима» – для расчета берется значение SPICE-параметра VOLTAGE для источника напряжения или значение SPICE-параметра CURRENT для источника тока; «Значение сигнала переходного процесса при Time=0» – для расчета берется значение SPICE-параметра SIGNAL.	Параметр для расчета статического режима
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующей	Выкл.

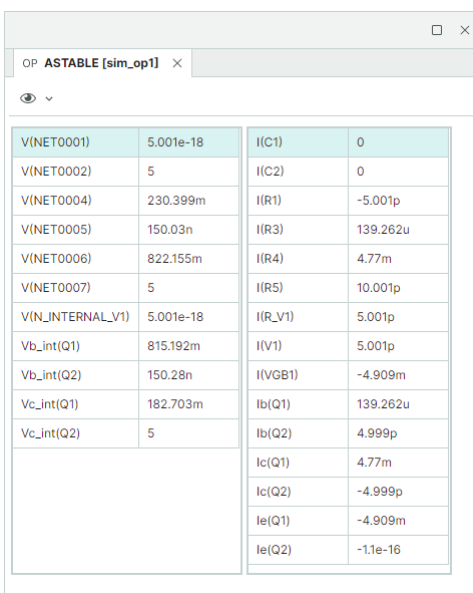
Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	строке. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующей строке. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке предложенным методом.	Выкл.
Сохранить рабочую точку в файл	Сохранение результатов рассчитанной рабочей точки в файл для последующего использования в других видах анализа схем.	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой делается расчёт.	27 °C

Подробное описание вкладки с параметрами настройки приведено в разделе [Настройки](#).

При нажатии в окне формы на кнопку «Запустить» стартует симуляция расчета рабочей точки.

В результате расчета формируются таблицы с параметрами, указанными в разделе «Параметры» для каждого из выражений, указанных в разделе «Выражения».

Пример расчета для параметров, указанных в форме на [Рис. 132](#), после окончания симуляции, см. [Рис. 133](#).



V(NET0001)	5.001e-18	I(C1)	0
V(NET0002)	5	I(C2)	0
V(NET0004)	230.399m	I(R1)	-5.001p
V(NET0005)	150.03n	I(R3)	139.262u
V(NET0006)	822.155m	I(R4)	4.77m
V(NET0007)	5	I(R5)	10.001p
V(N_INTERNAL_V1)	5.001e-18	I(R_V1)	5.001p
Vb_int(Q1)	815.192m	I(V1)	5.001p
Vb_int(Q2)	150.28n	I(VGB1)	-4.909m
Vc_int(Q1)	182.703m	Ib(Q1)	139.262u
Vc_int(Q2)	5	Ib(Q2)	4.999p
		Ic(Q1)	4.77m
		Ic(Q2)	-4.999p
		Ie(Q1)	-4.909m
		Ie(Q2)	-1.1e-16

Рис. 133 Отображение результатов расчета в табличной форме

При отображении результатов расчёта в таблице при нажатии на иконку  («Показать/скрыть данные») пользователь может выбрать варианты отображения:

- «Напряжения» – отображение только внешнего напряжения, без раскрытия подсхем;
- «Токи» – отображение только внешних токов, без раскрытия подсхем;
- «Внутренние напряжения» – отображение напряжения в подсхемах (локальные узлы электрической цепи);
- «Внутренние токи» – отображение токов в подсхемах (локальные узлы электрической цепи).

6.3.3 Методы расчёта рабочей точки

В модуле 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 р-п-переходу каждого полупроводникового компонента схемы.

Выбор метода расчета рабочей точки в окне формы задания параметров симуляции на вкладке «Настройки», см. [Рис. 134](#).

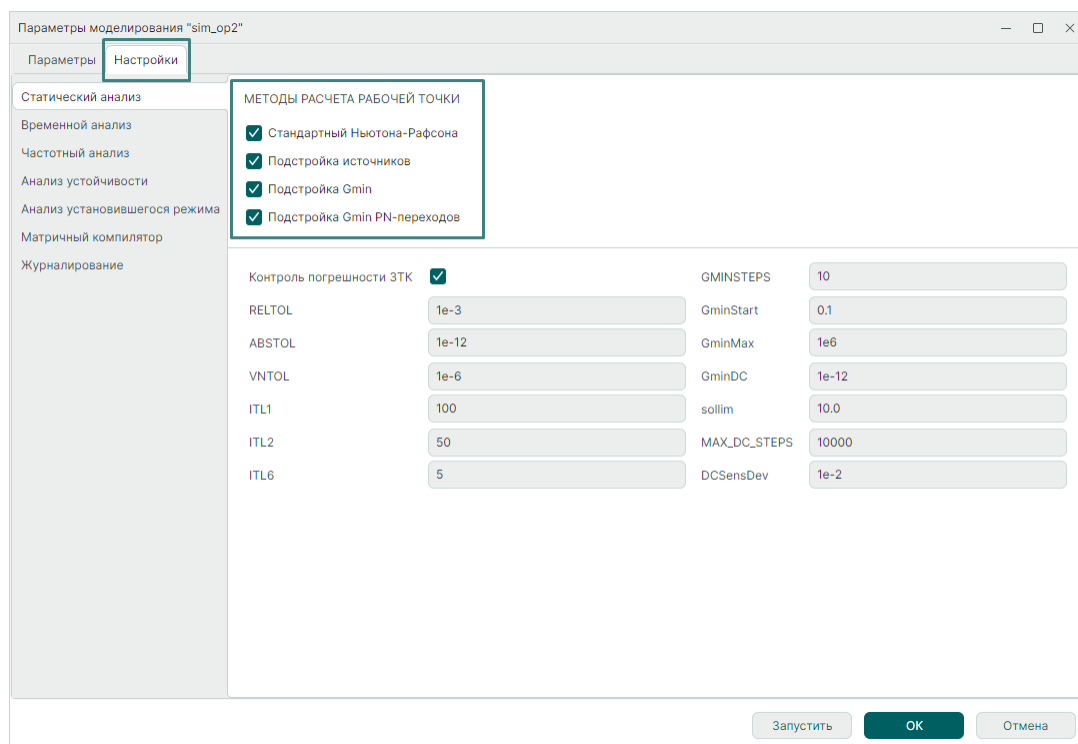


Рис. 134 Выбор метода расчета рабочей точки

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

Подробное описание вкладки «Настройки» приведен в разделе «[Настройки](#)».

6.3.4 Задание начальных условий .IC и .NODESET

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`

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. 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 из окна формы задания параметров симуляции выбрав пункт `.IC` или `.NODESET`. В этом случае в строке редактирования указываются требуемые переменные, при этом сама команда `.IC/.NODESET` опускается.

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`.

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).

6.4 Расчет чувствительности по постоянному току

6.4.1 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 превалирует.

Для оценки этого влияния используются функции чувствительностей – абсолютные и нормированные.

Абсолютная чувствительность является производной выходной статической характеристики схемы по проверяемому параметру:

$$\text{Абс. Чувств.} = df(X_{\text{stat}})/dPar$$

Нормированная чувствительность определяется следующим образом:

$$\text{Норм. Чувств.} = df(X_{\text{stat}})/dPar * Par/100\%,$$

где Par – номинальное значение варьируемого параметра,

$f(X_{\text{stat}})$ – значение выражения при номинальных значениях всех варьируемых параметров.

В модуле 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:

$$dPar = DCSensDev * Par, \text{ если } Par \neq 0 \text{ и}$$

$$dPar = DCSensDev, \text{ если } Par = 0.$$

Параметр DCSensDev по умолчанию равен $1e-2$ и настраивается в окне задания параметров симуляции статического анализа на вкладке «Настройки».

Для расчета чувствительностей измерений в SimOne указываются:

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

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

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

6.4.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току

На [Рис. 135](#) приведено окно формы задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току.

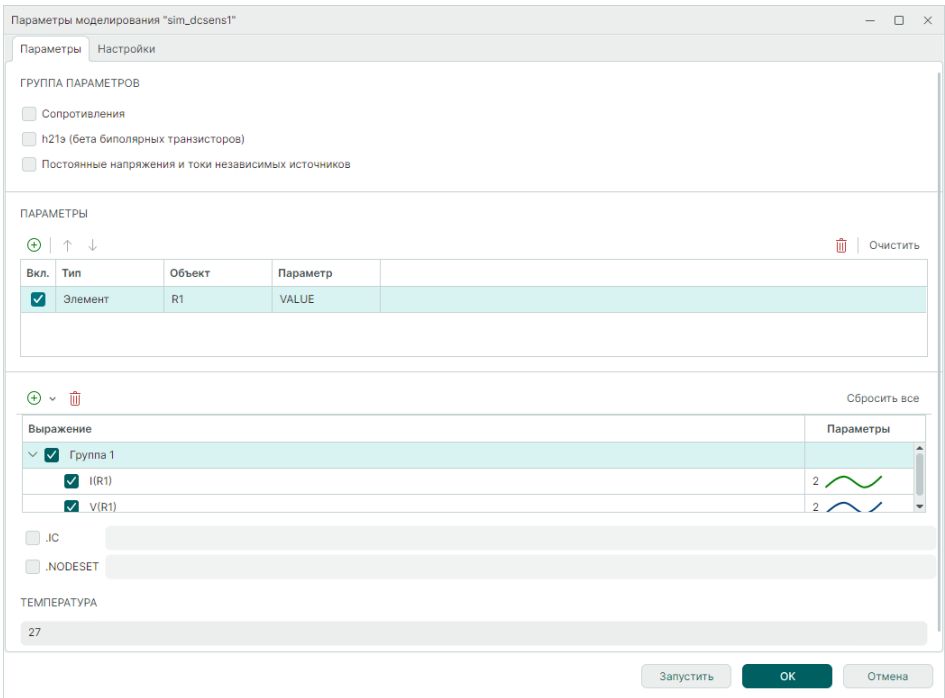


Рис. 135 Форма задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 37](#).

[Таблица 37](#) Описание параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Группа параметров		
Группа параметров	Выбор группы параметров, по которым производится расчет: • Сопротивления. • h21э (бета биполярных транзисторов).	-

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
	Постоянные напряжения и токи независимых источников.	
Параметры		
Тип	Выбор типа параметра, по которому производится расчет: - 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 команды .PARAM, либо в окне задания глобальных параметров.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра на схеме.	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала.	-
	Добавление нового параметра.	-
	Перемещение по списку параметров.	-
	Удаление выделенного параметра.	-
Очистить	Удаление всех параметров.	-
Выражение		
Выражение	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них.	-
	Добавление группы или выражения.	-
	Удаление выделенного строки.	-
Сбросить все	Удаление всех выражений.	-
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт.	27 °C

Подробное описание вкладки с параметрами настройки приведено в разделе [Настройки](#).

При нажатии в окне формы на кнопку «Запустить» стартует расчет чувствительности по постоянному току.

В результате расчета формируются таблицы с параметрами, указанными в разделе «Параметры» для каждого из выражений, указанных в разделе «Выражения».

Пример расчета чувствительности по постоянному току для параметров, указанных в форме на [Рис. 136](#), после окончания расчёта, см. [Рис. 137](#).

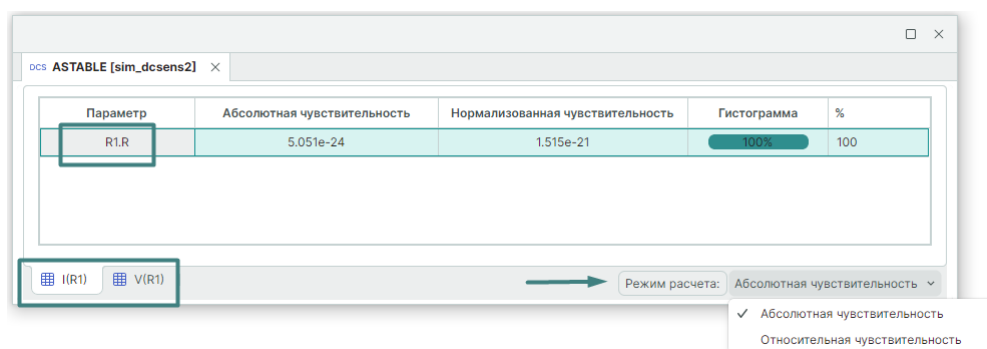


Рис. 137 Отображение результатов расчета

В форме с результатами расчета есть возможность выбора отображения режима расчета. Режим расчета определяет способ построения шкалы:

- «Абсолютная чувствительность» – гистограмма строится по данным из столбца «Абсолютная чувствительность»;
- «Относительная чувствительность» – гистограмма строится по данным из столбца «Нормализованная чувствительность».

6.5 Статический анализ

6.5.1 Общие сведения

Расчёт передаточных функций по постоянному току (статический анализ) делается при варьировании одного или нескольких параметров цепи. Это могут быть параметры отдельного компонента схемы, модели, сигнала или глобальные параметры, заданные с помощью команды .PARAM. Ещё одним входным параметром расчёта может являться температура функционирования схемы.

Выходными величинами расчёта являются любые пользовательские 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 симуляции 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.

Описание вкладок «Параметрический анализ» и «Анализ Монте-Карло» приведено в разделе [Многовариантные типы анализа схем](#).

6.5.2 Интерфейс задания параметров моделирования

На [Рис. 138](#) приведено окно формы задания параметров анализа передаточных функций по постоянному току.

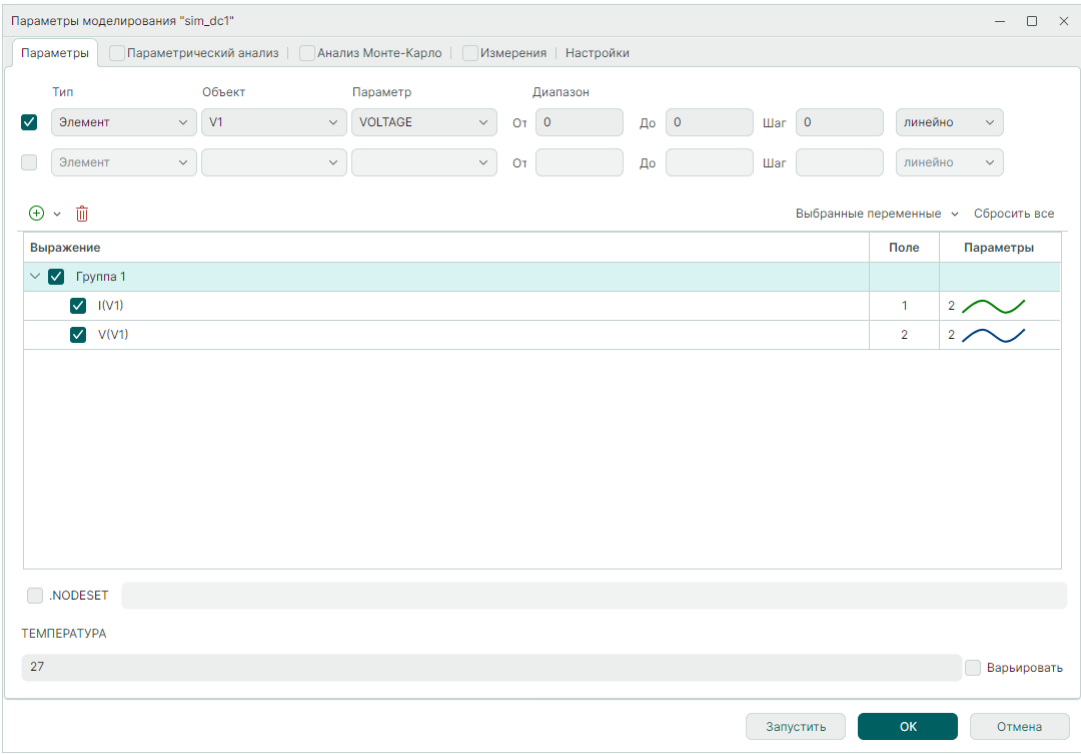


Рис. 138 Форма задания параметров анализа передаточных функций по постоянному току

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 38](#).

[Таблица 38](#) Описание параметров анализа передаточных функций по постоянному току.

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Переменные		
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы. • Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный.	Элемент

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	- Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. - Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM.	
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра.	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала.	-
Диапазон От	Начальная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	-
Диапазон До	Конечная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	-
Шаг	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.	-
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Выражение		
Выражение	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них.	-
Поле	Номер поля координат, в которое будет выведен график.	1
Параметры	Толщина линии и цвет графика.	1
	Добавление группы или выражения.	-
	Удаление выделенной строки.	-
	Выбор из выпадающего списка сохраняемых в симуляции переменных.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Сбросить все	Удаление всех переменных и выражений.	-
Начальные условия		
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Многовариантный анализ		
Параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Параметрический анализ ».	Выкл.
Анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Анализ Монте-Карло ».	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры.	27 °C
Температура, чек-бокс «Варьировать» выделен флагом		
Начало	Начальное значение температуры	27 °C
Конец	Конечное значение температуры.	-
Шаг	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 произведен расчёт, если указан способ её изменения – списком.	-
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

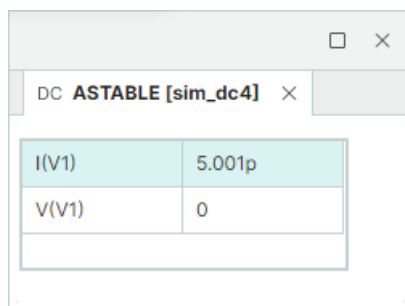
Подробное описание вкладки «Параметрический анализ» приведено в разделе [Параметрический анализ](#).

Подробное описание вкладки «Анализ Монте-Карло» приведено в разделе [Анализ Монте-Карло и наихудшего случая](#).

Подробное описание вкладки «Измерения» приведено в разделе [Измерения](#).

Подробное описание вкладки с параметрами настройки приведено в разделе [Настройки](#).

В результате расчета при условии отсутствия диапазона варьирования выбранного параметра отображается таблица, пример см. [Рис. 139](#).



DC ASTABLE [sim_dc4]	
I(V1)	5.001p
V(V1)	0

Рис. 139 Отображение результатов расчета

В результате расчета при условии наличия диапазона варьирования выбранного параметра отображается график или графики, пример см. [Рис. 140](#).

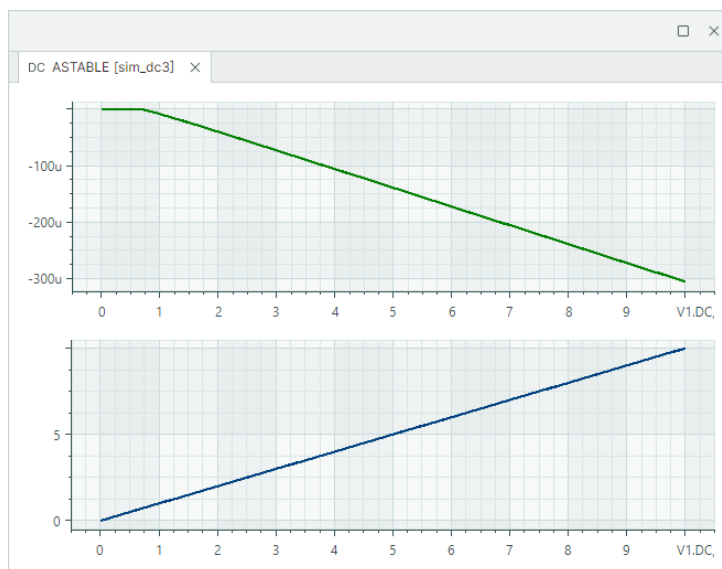


Рис. 140 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

В результате расчета при условии наличия диапазона варьирования выбранного параметра и создания выражений для нескольких групп отображается график или графики на нескольких вкладках, пример см. [Рис. 141](#).

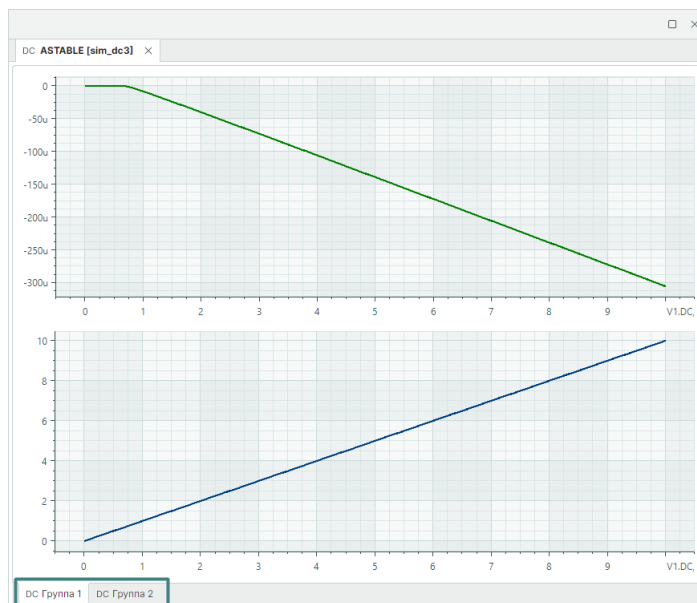


Рис. 141 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

6.6 Анализ гармонического режима схемы

6.6.1 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.

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 в таблицу.

6.6.2 Интерфейс анализа гармонического режима схемы

На [Рис. 142](#) приведено окно формы задания параметров анализа гармонического режима схемы.

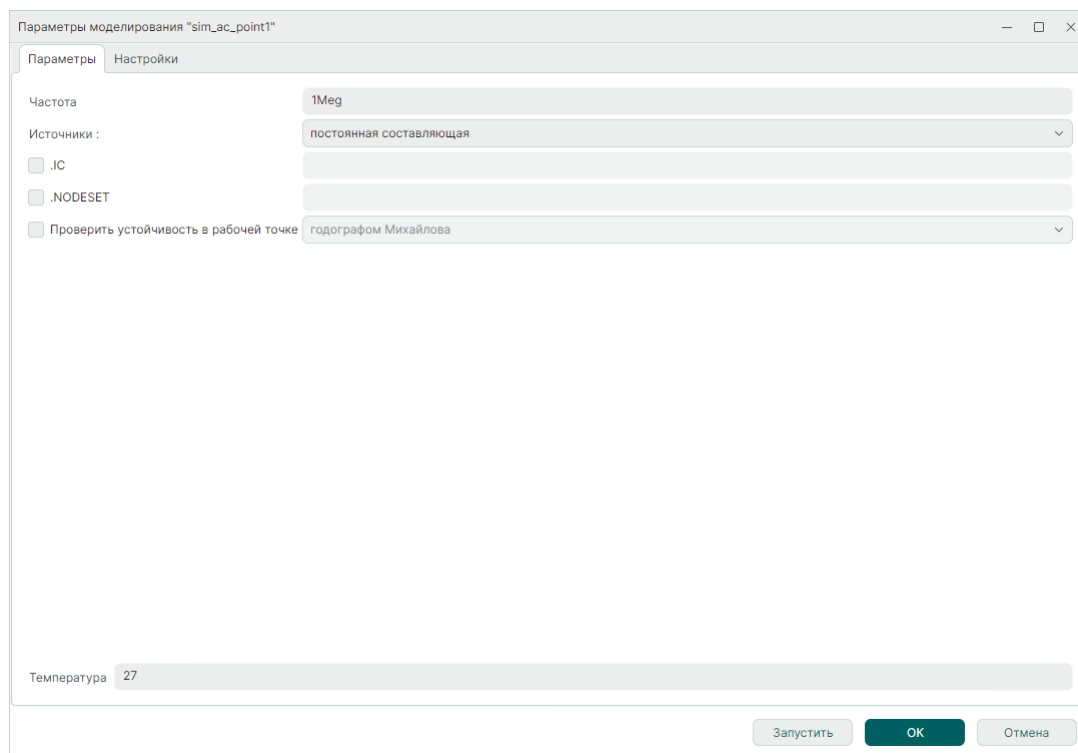


Рис. 142 Окно задания параметров анализа гармонического режима схемы

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 39](#).

[Таблица 39](#) Описание параметров анализа гармонического режима схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Частота	Значение частоты, для которой рассчитываются параметры	1МГц
Источники	Выбор значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки: «постоянная составляющая» – для расчета берется значение SPICE-параметра VOLTAGE для источника напряжения или значение SPICE-параметра CURRENT для источника тока; «сигнал» – для расчета берется значение SPICE-параметра SIGNAL.	постоянная составляющая
Рабочая точка		

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке	Выкл.
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт	27 °C

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

При отображении результатов расчёта в окне с табличной формой при нажатии на иконку  («Показать/скрыть данные») пользователь может выбрать варианты отображения результатов расчета:

- «Напряжения» – только внешнего напряжения, без раскрытия подсхем;
- «Токи» – только внешних токов, без раскрытия подсхем;
- «Внутренние напряжения» – напряжения в подсхемах (локальные узлы электрической цепи);
- «Внутренние токи» – токов в подсхемах (локальные узлы электрической цепи).

При отображении результатов расчёта в окне с табличной формой при нажатии на селектор раскрытия списка в правой верхней части пользователь может выбрать варианты формата вывода рассчитанных комплексных значений:

- «Комплексные числа» – представление напряжений и токов в форме комплексных чисел ($Re+i*Im$, где Re - действительная часть и Im - мнимая часть комплексного числа);
- «Магнитуда и фаза» – представление напряжений и токов в виде магнитуды (амплитуды) и фазы (M и Ph).

6.7 Частотный анализ

6.7.1 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 п. [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.

6.7.2 Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы

На [Рис. 143](#) приведено окно формы задания параметров симуляции расчёта частотных характеристик схемы.

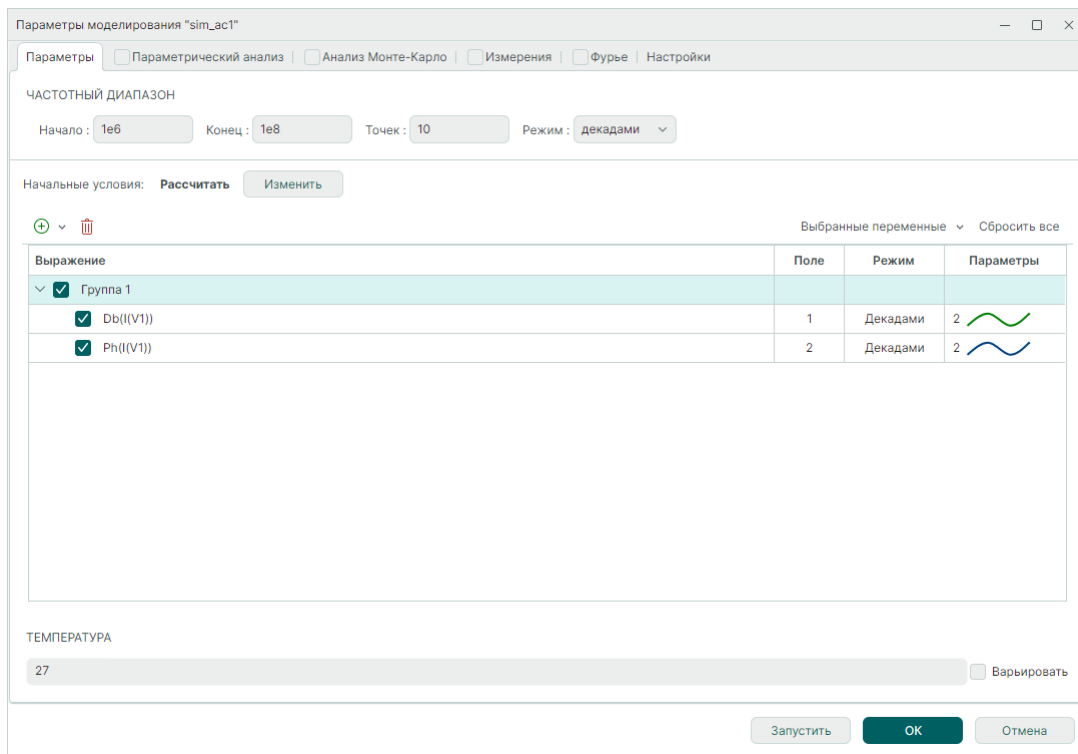
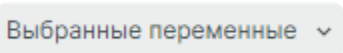
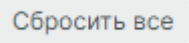
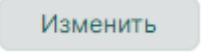


Рис. 143 Окно задания параметров расчёта частотных характеристик схемы

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 40](#).

[Таблица 40](#) Описание параметров симуляции расчёта частотных характеристик схемы

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Частотный диапазон		
Начало	Начальная частота варьирования.	1МГц
Конец	Конечная частота варьирования.	100МГц
Точек	Определяет: - число точек на диапазон для линейного способа измерения частоты; - число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения частоты.	10 точек на декаду
Режим	Линейно, декадами, октавами.	декадами

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Выражение		
Выражение	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них.	-
Поле	Номер поля координат, в которое будет выведен график.	1
Параметры	Толщина линии и цвет графика.	1
Режим	Линейно, декадами.	декадами
	Добавление группы или выражения.	-
	Удаление выделенного строки.	-
	Выбор из выпадающего списка управления сохраняемыми в симуляции переменными.	-
	Удаление всех переменных и выражений.	-
Начальные условия		
	Открытие окна с опциями для расчета рабочей точки.	-
Источники	Выбор значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки: «постоянная составляющая» – для расчета берется значение SPICE-параметра VOLTAGE для источника напряжения или значение SPICE-параметра CURRENT для источника тока; «сигнал» – для расчета берется значение SPICE-параметра SIGNAL.	постоянная составляющая
Рассчитать рабочую точку	Расчёт рабочей точки при текущих опциях.	Вкл.
Загрузить из файла	Расчет рабочей точки из файла, предварительно рассчитанной и сохранённой в файл.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Включает проверку расчёта устойчивости схемы в полученной рабочей точке выбранным методом: • годографом Михайлова; • методом собственных частот.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Параметрический анализ ».	Выкл.
Анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Анализ Монте-Карло ».	Выкл.
Фурье	Включает задания параметров преобразования Фурье. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Преобразование Фурье ».	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры.	27 °C
Температура, чек-бокс «Варьировать» выделен флагом		
Начало	Начальное значение температуры	27 °C
Конец	Конечное значение температуры.	-
Шаг	Определяет: • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения;	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	- число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; - точные значения температуры, при которых будет произведен расчёт, если указан способ её изменения – списком.	
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

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

Подробное описание вкладки «Измерения» приведено в разделе [Измерения](#).

Подробное описание вкладки с параметрами настройки приведено в разделе [Настройки](#).

После установки интервала варьирования частоты, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта, программа произведет расчёт частотных характеристик и построит соответствующие графики, пример см. [Рис. 144](#).

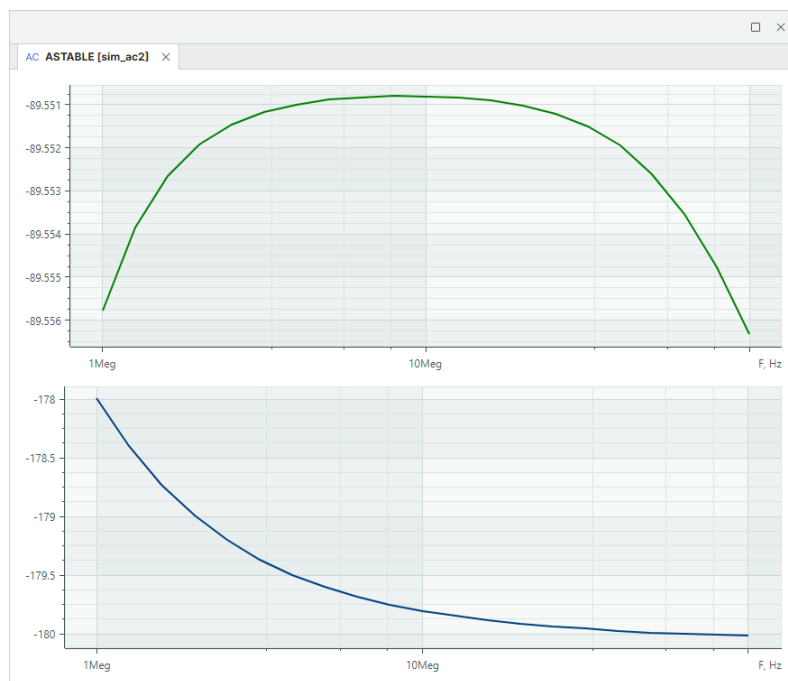


Рис. 144 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

В результате расчета при условии создания выражений для нескольких групп отображается график или графики на нескольких вкладках, пример см. [Рис. 145](#).

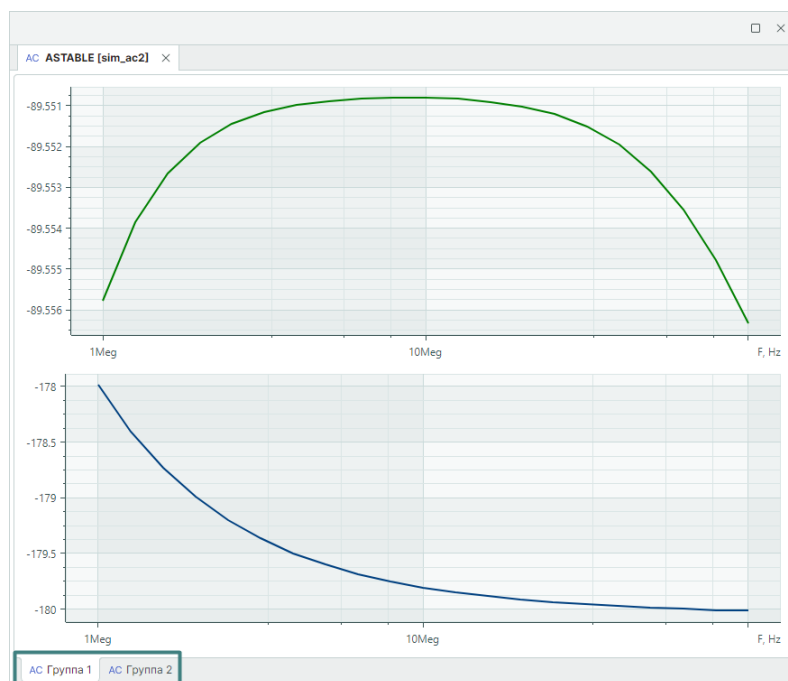


Рис. 145 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

6.8 Анализ переходных процессов

6.8.1 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.

Результаты анализа представляются в виде временных диаграмм, которые отображают процессы в моделируемой схеме аналогично тому, как в реальной схеме это делают с помощью осциллографа.

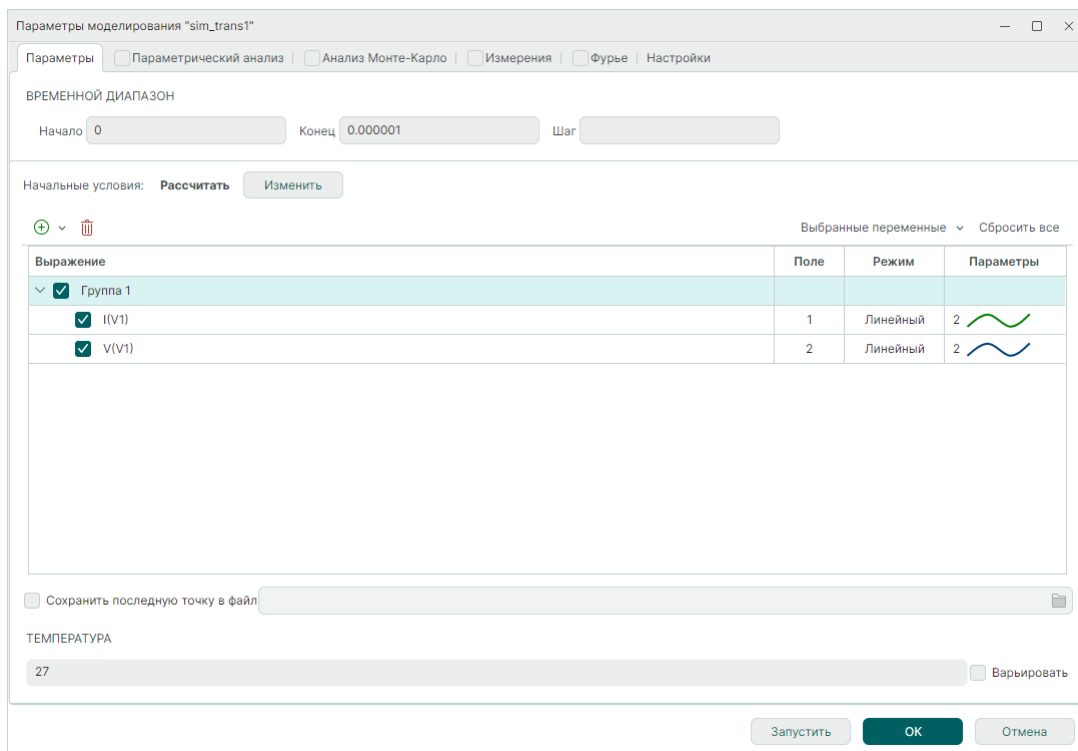
В общем случае моделируемая схема описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, а для получения временных диаграмм используются численные методы интегрирования.

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](#).

6.8.2 Интерфейс расчёта переходных процессов схемы

На [Рис. 146](#) приведено окно формы задания параметров симуляции расчёта переходного процесса схемы. Параметры аналогичны [параметрам частотного анализа](#), но расчёт производится во временном диапазоне, заданном в секундах. В качестве оси абсцисс выступает шкала времени.



Параметры моделирования "sim_trans1"

Параметры | Параметрический анализ | Анализ Монте-Карло | Измерения | Фурье | Настройки

ВРЕМЕННОЙ ДИАПАЗОН

Начало 0 Конеч 0.000001 Шаг

Начальные условия: Рассчитать Изменить

Выбранные переменные Сбросить все

Выражение	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
I(V1)	1	Линейный	2
V(V1)	2	Линейный	2

Сохранить последнюю точку в файл

ТЕМПЕРАТУРА

27 Вaryровать

Запустить OK Отмена

Рис. 146 Окно формы задания параметров анализа переходных процессов

После установки требуемого временного интервала, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта программа численно проинтегрирует дифференциальные уравнения схемы и построит временные диаграммы заданных выражений.

6.9 Анализ периодических режимов

6.9.1 Общие сведения

Анализ периодических процессов позволяет исследовать поведение схемы в установившемся периодическом режиме. Установившийся периодический режим возникает в схеме в двух случаях:

1. Для периодического входного сигнала с затуханием всех переходных составляющих. Период процесса определяется периодом входного сигнала источников.
2. 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 модуле SimOne с помощью Пристрелочного метода Ньютона решения граничной задачи

дифференциальных уравнений. С помощью итераций Ньютона решается следующая система уравнений:

$$X(T_{\text{per}}) - X(0) = 0, \text{ относительно вектора начальных условий } X(0).$$

Решением данного уравнения осуществляется подбор таких начальных условий исходных дифференциальных уравнений схемы, при которых переходная составляющая решения равна нулю, а 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.

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».

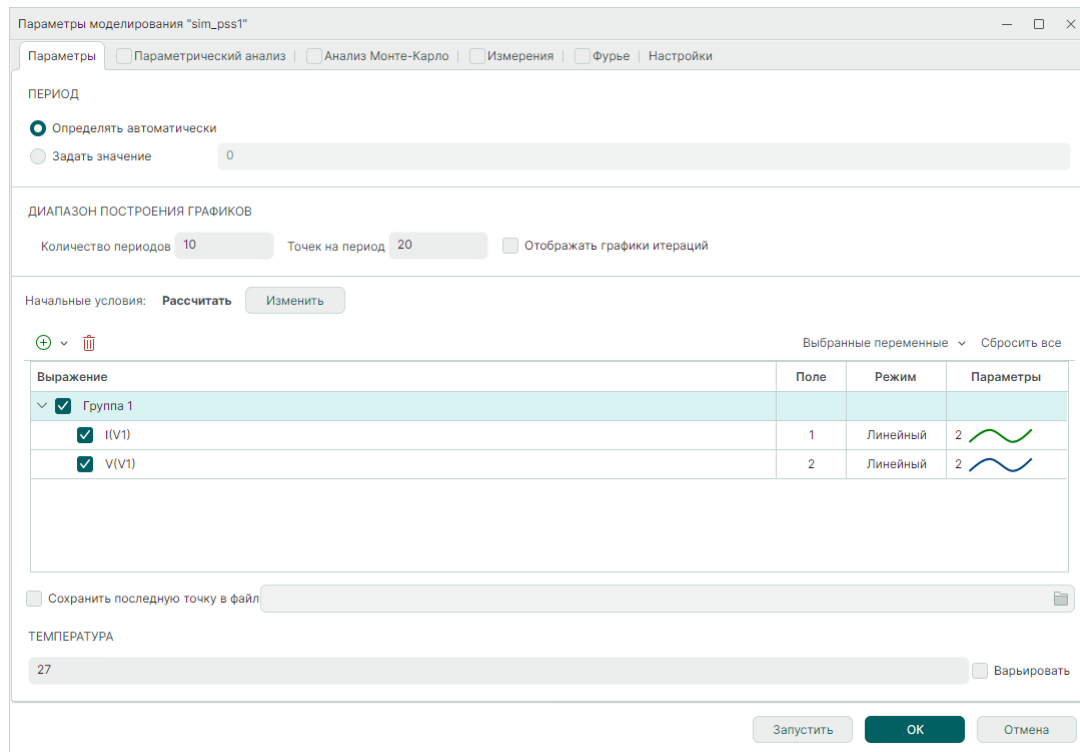
Нахождение периодического процесса схемы происходит следующим образом:

1. Вручную или автоматически определяется период искомого периодического процесса (автоматически – программа анализирует периоды входных воздействий и выбирает наименьший из них; вручную – период задаётся пользователем).
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](#).

Анализ периодических режимов не поддерживается для схем, содержащих компоненты, задаваемые в частотной области – функциональных Лапласовых источников и длинных линий.

6.9.2 Интерфейс расчёта периодических режимов схемы

На [Рис. 147](#) показано окно формы задания параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы.



Параметры моделирования "sim_pss1"

Параметры | Параметрический анализ | Анализ Монте-Карло | Измерения | Фурье | Настройки

ПЕРИОД

☒ Определять автоматически
☐ Задать значение 0

ДИАПАЗОН ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКОВ

Количество периодов 10 Точек на период 20 ☐ Отображать графики итераций

Начальные условия: Рассчитать Изменить

Выбранные переменные Сбросить все

Выражение	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
☒ I(V1)	1	Линейный	2 
☒ V(V1)	2	Линейный	2 

☐ Сохранить последнюю точку в файл

ТЕМПЕРАТУРА

27 ☐ Варьировать

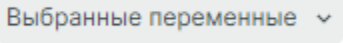
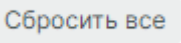
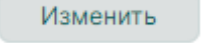
Запустить OK Отмена

Рис. 147 Окно формы задания параметров анализа периодических режимов

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 41](#).

[Таблица 41](#) Описание параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы

Наименование/ Символ	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.
Диапазон построения графиков		
Количество периодов	Определяет конечное время для построения графиков.	10

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Точек на период	Определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса.	20
Отображать графики итераций	Отображение промежуточных результатов нахождения периодического режима по итерациям.	Выкл.
Выражение		
Выражение	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них.	-
Поле	Номер поля координат, в которое будет выведен график.	1
Параметры	Толщина линии и цвет графика.	1
Режим	Линейно, декадами.	декадами
	Добавление группы или выражения.	-
	Удаление выделенного строки.	-
	Выбор из выпадающего списка управления сохраняемыми в симуляции переменными.	-
	Удаление всех переменных и выражений.	-
Сохранить последнюю точку в файл	Активация опции и указание полного имени файла для сохранения последней рабочей точки в файл.	Выкл.
Начальные условия		
	Открытие окна с опциями для расчета рабочей точки.	-
Источники	Для значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки берется значение SPICE-параметра SIGNAL.	сигнал
Рассчитать рабочую точку	Расчёт рабочей точки при текущих опциях.	Вкл.
Использовать начальные условия компонентов (UIC)	Использование начальных условия компонентов при расчете.	Выкл.

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Загрузить из файла	Расчет рабочей точки из файла, предварительно рассчитанной и сохранённой в файл.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Включает проверку расчёта устойчивости схемы в полученной рабочей точке выбранным методом: • годографом Михайлова; • методом собственных частот.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Параметрический анализ ».	Выкл.
Анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Анализ Монте-Карло ».	Выкл.
Фурье	Включает задания параметров преобразования Фурье. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Преобразование Фурье ».	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры.	27 °C
Температура, чек-бокс «Варьировать» выделен флагом		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Начало	Начальное значение температуры	27 °C
Конец	Конечное значение температуры.	-
Шаг	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 произведен расчёт, если указан способ её изменения – списком.	-
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

После запуска расчёта периодических режимов программа ищет вектор начальных условий, при котором периодический режим устанавливается сразу. Результатом расчёта будут временные диаграммы периодического процесса, пример см. [Рис. 148](#).

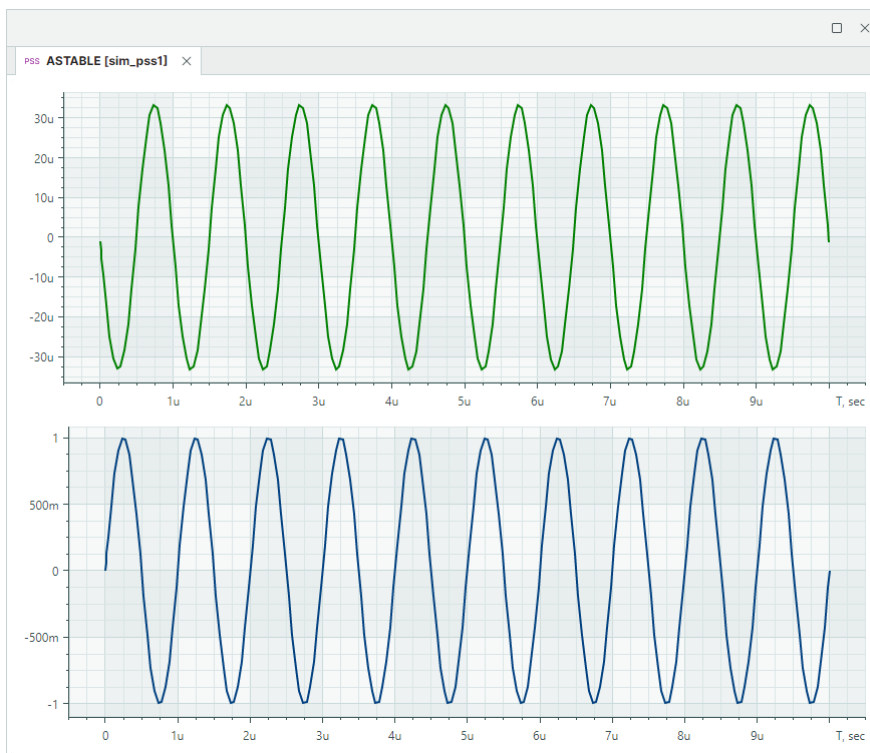


Рис. 148 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

Если за указанное число итераций с заданной точностью периодический режим не будет найден, то программа выдаст сообщение «Ошибка расчёта периодического режима» или «Достигнуто максимальное число итераций» и нарисует временные диаграммы, построенные из последнего рассчитанного вектора начальных условий.

В результате расчета при условии создания выражений для нескольких групп отображается график или графики на нескольких вкладках, пример см. [Рис. 149](#).



Рис. 149 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

6.10 Анализ устойчивости схемы

6.10.1 Общие сведения

Анализ устойчивости схемы позволяет определять, устойчива ли 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](#).

6.10.1.1 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 модуль 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 панели «Журналы», см. [Рис. 150](#).

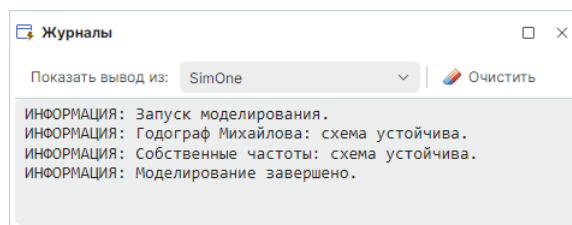


Рис. 150 Отображение результатов проверки устойчивости в панели

6.10.1.2 Критерий Михайлова

Годограф Михайлова – кривая, представляющая собой геометрическое место концов переменного вектора, определяемого значениями характеристического полинома системы при замене независимой переменной на $l \cdot w$:

$D(l \cdot w) = \det(l \cdot w \cdot B + A)$, 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 $N \cdot \pi/2$, 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.

Проверка устойчивости схемы с помощью годографа Михайлова осуществляется в модуле 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.

Анализ устойчивости не поддерживается для схем, содержащих компоненты, задаваемые в частотной области – функциональных Лапласовых источников и длинных линий.

6.10.2 Интерфейс анализа устойчивости схемы

На [Рис. 151](#) показано окно формы задания параметров анализа устойчивости схемы (в том числе таких, как годограф Михайлова, рабочая точка, температурный анализ).

Параметры моделирования "sim_stab3"

Параметры

Параметрический анализ

Анализ Монте-Карло

Настройки

Проверка устойчивости

✓

 Проверить годографом Михайлова

✓

 Отобразить годограф Михайлова

✓

 Проверить методом собственных частот

✓

 Отобразить таблицу собственных частот

Отобразить график собственных частот

Построение годографа Михайлова без проверки устойчивости

ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН

Начало

0.001

Конец

1e20

Шаг

100

Режим

декадами

Начальные условия:

Рассчитать

Изменить

Строить годограф Михайлова

в логарифмическом масштабе

Цвет графиков

Зеленый

ТЕМПЕРАТУРА

27

Варьировать

Запустить

OK

Отмена

Рис. 151 Окно формы задания параметров анализа устойчивости схемы

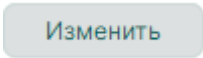
Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 42](#).

[Таблица 42](#) Описание параметров анализа устойчивости схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Проверка устойчивости		Вкл.
Проверить годографом Михайлова	Производит анализ устойчивости по критерию Михайлова.	Вкл.
Отобразить годограф Михайлова	Отображает в указанном масштабе кривую Михайлова на комплексной плоскости.	Вкл.
Проверить методом собственных частот	Производит анализ устойчивости расчётом собственных частот схемы.	Вкл.
Отобразить таблицу собственных частот	Отображает рассчитанные собственные частоты схемы в таблице.	Вкл.

 EREMEX

138

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Отобразить график собственных частот	Отображает расположение рассчитанных собственных частот схемы на комплексной плоскости.	Выкл.
Построение годографа Михайлова		Выкл
Частотный диапазон		
Начало	Начальная частота варьирования.	1m Hz
Конец	Конечная частота варьирования.	1e20 Hz
Шаг	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
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	декадами
Строить годограф Михайлова		Выкл.
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.	-
Начальные условия		
	Открытие окна с опциями для расчета рабочей точки.	-
Источники	Для значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки берется значение SPICE-параметра SIGNAL.	сигнал
Рассчитать рабочую точку	Расчёт рабочей точки при текущих опциях.	Вкл.
Загрузить из файла	Расчет рабочей точки из файла, предварительно рассчитанной и сохранённой в файл.	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Включает проверку расчёта устойчивости схемы в полученной рабочей точке выбранным методом: • годографом Михайлова; • методом собственных частот.	годографом Михайлова.
Многовариантный анализ		
Параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Параметрический анализ ».	Выкл.
Анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке « Анализ Монте-Карло ».	Выкл.
Температура		
Температура	Значение температуры, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры.	27 °C
Температура, чек-бокс «Варьировать» выделен флагом		
Начало	Начальное значение температуры	27 °C
Конец	Конечное значение температуры.	-
Шаг	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 произведен расчёт, если указан способ её изменения – списком.	-
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

После окончания расчёта устойчивости схемы результаты выводятся на вкладку «Годограф Михайлова», пример см. [Рис. 152](#).

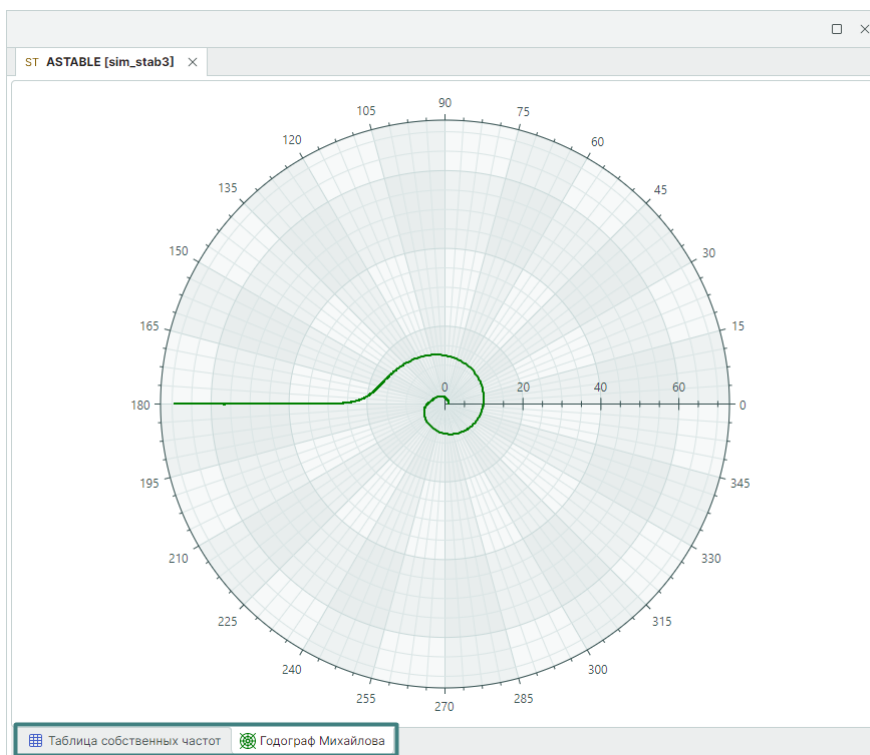
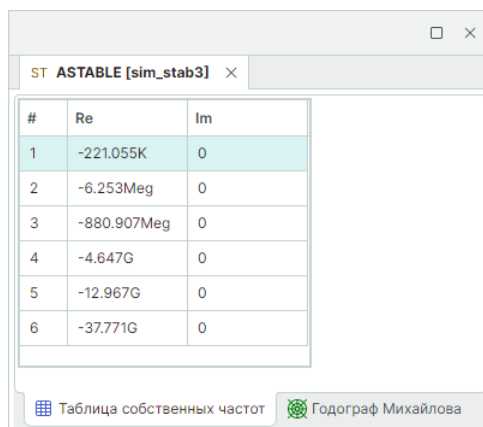


Рис. 152 Отображение результатов моделирования

На вкладке «Таблица собственных частот» отображается в табличной форме результаты расчёта устойчивости схемы, пример см. [Рис. 153](#).



#	Re	Im
1	-221.055K	0
2	-6.253Meg	0
3	-880.907Meg	0
4	-4.647G	0
5	-12.967G	0
6	-37.771G	0

The figure shows a table of eigenfrequencies (Таблица собственных частот) in a window titled "ST ASTABLE [sim_stab3]". The table has three columns: #, Re, and Im. The data is as follows:

Рис. 153 Отображение результатов моделирования в виде таблицы

6.11 Многовариантные типы анализа схем

6.11.1 Общие сведения

Многие виды анализа схемы могут быть запущены многократно (многовариантно) при изменении различных параметров схемы ([параметрический анализ](#), [анализ Монте-Карло](#), [анализ худшего случая](#)) и/или температуры ([температурный анализ](#)).

Для каждого значения варьируемых параметров проводится выбранный анализ схемы с построением семейств графических характеристик или таблиц.

К многовариантным видам анализа относятся:

- статический анализ;
- анализ переходных процессов;
- анализ периодических режимов;
- частотный анализ;
- анализ устойчивости схемы.

Все типы многовариантных анализов схемы могут быть запущены совместно.

Задать варьируемые параметры можно следующими способами:

- командой SPISE в SPICE-нетлисте схемы, если схема задана в виде SPICE-нетлиста;
- на вкладке соответствующей вкладке окна формы задания параметров многовариантных видов анализа для задания [параметрический анализ](#), [анализ Монте-Карло](#), [анализ худшего случая](#);
- включением опции «Вариативность» в окне формы задания параметров многовариантных видов анализа для задания [вариативности температуры](#).

6.11.2 Температурный расчёт схемы

Запуск расчётов при варьировании рабочей температуры схемы можно осуществить с помощью установки флага в поле «Варьировать», расположенного на основной вкладке окна параметров симуляции, указав при этом диапазон изменения температуры, способ изменения, количество значений, см. [Рис. 154](#).

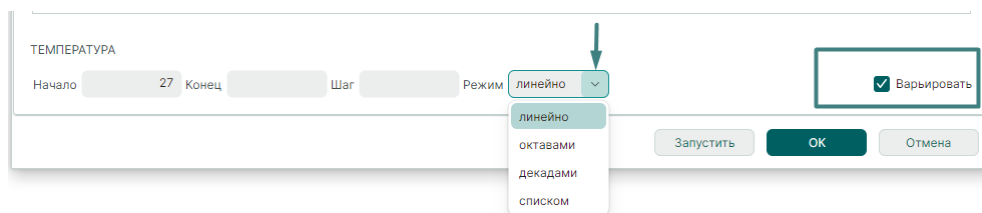


Рис. 154 Включение/Выключение опции варьирования температуры

Режим варьирования температуры может быть следующий:

- линейно с указанным шагом;
- декадами с определённым количеством точек на декаду;
- октавами с определённым количеством точек на декаду;
- списком, где списком указываются точные значения температуры, при которых делаются расчёты.

Если схема задана в виде SPICE-нетлиста, то для задания варьируемых температурных параметров использовать команду `.TEMP`.

SPICE-формат

`.TEMP <список значений температур>`

- значения задаются в градусах Цельсия.

Примеры:

`.TEMP 27`

`.TEMP -20 0 10 20 27 60`

6.11.3 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 команды `.PARAM`.

Если схема задана в виде SPICE-нетлиста, то для задания варьируемых параметров использовать команду .STEP.

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

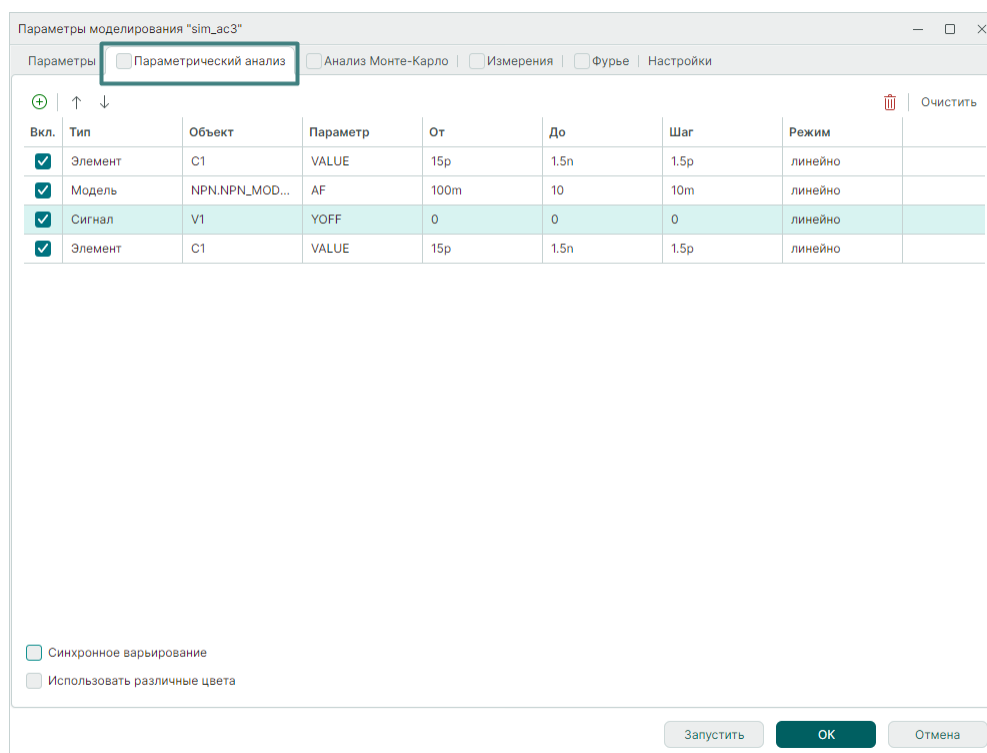
.STEP DEC NPN Qmod(IS) 1e-18 1e-15 10

.STEP TEMP LIST -20 0 10 20 27 60

.STEP DEC PARAM GAIN 1K 1Meg 10

6.11.3.1 Настройки вкладки «Параметрический анализ»

Окно формы настройки параметров параметрического анализа выглядит следующим образом, см. [Рис. 155](#).



Вкл.	Тип	Объект	Параметр	От	До	Шаг	Режим
☒	Элемент	C1	VALUE	15p	1.5n	1.5p	линейно
☒	Модель	NPN.NPN_MOD...	AF	100m	10	10m	линейно
☒	Сигнал	V1	YOFF	0	0	0	линейно
☒	Элемент	C1	VALUE	15p	1.5n	1.5p	линейно

☐ Синхронное варьирование
☐ Использовать различные цвета

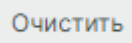
Запустить **OK** Отмена

Рис. 155 Окно формы настройки параметров параметрического анализа

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 43](#).

[Таблица 43](#) Описание параметров параметрического анализа.

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Переменные		
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы. • Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра.	C1
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала.	VALUE
От	Начальная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	15p
До	Конечная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	1,5n
Шаг	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.	1,5p
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Инструменты		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	Добавление компонента.	-
	Перемещение между компонентами.	-
	Удаление выделенного строки.	-
	Удаление всех переменных.	-
Дополнительные условия		
Синхронное варьирование	Запускает синхронное варьирование заданных параметров. При синхронном запуске число стартов расчёта равно минимальному числу запусков по каждому варьируемому параметру.	Выкл.
Использовать различные цвета	Включение этой опции приводит к отображению графиков, получающихся при параметрическом расчёте, случайными цветами для каждого запуска с отличающимся параметром. Если эта опция выключена, то для отображения графиков для каждого запуска с отличающимся параметром используется только тот цвет, который задан на вкладке Параметры.	Выкл.

По умолчанию варьирование нескольких заданных параметров осуществляется **последовательно**. При последовательном запуске общее число запусков параметрического расчёта определяется как произведение числа запусков по каждому варьируемому параметру.

Для проведения параметрического анализа схемы следует включить опцию «Параметрический анализ» в заголовке формы 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.

6.11.4 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.

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.

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 выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска статистического расчёта программа заданное количество раз измеряет значения выбранных варьируемых параметров согласно указанным законам, после чего запускает соответствующий анализ схемы, получая значения требуемых характеристик.

После проведённого расчёта программа строит гистограммы распределения данных характеристик.

Анализ Монте-Карло может быть проведен как в рамках выбранной симуляции, так и в качестве самостоятельного анализа, использующего измерения из различных симуляций.

Если схема задана в виде SPICE-нетлиста, то для задания варьируемых параметров использовать команду .MC.

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:

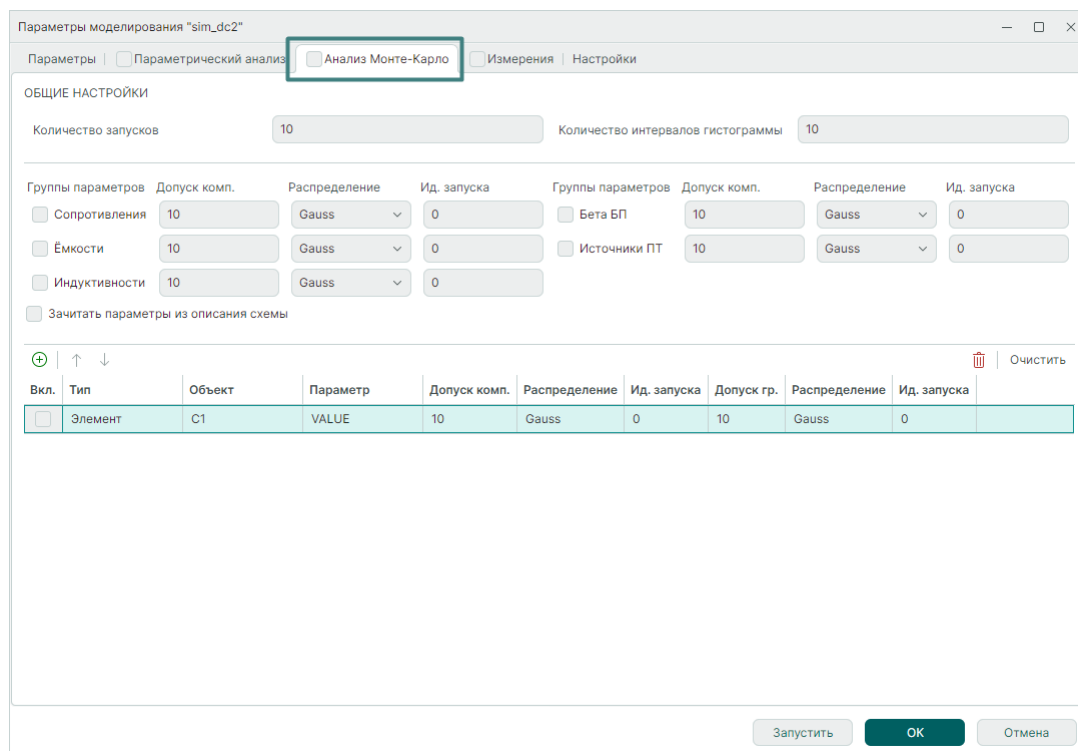
.MC 100 tran V(out) I(Rn) Vmax Imax

.MC 10 ac db(V(Rn)) Band1

.MC 100 dc I(Rn) Imax

6.11.4.1 Настройки вкладки «Анализ Монте-Карло»

Окно формы настройки параметров анализа Монте-Карло выглядит следующим образом, см. [Рис. 156](#).



Параметры моделирования "sim_dc2"

Параметры | ☐ Параметрический анализ | ☒ Анализ Монте-Карло | ☐ Измерения | Настройки

ОБЩИЕ НАСТРОЙКИ

Количество запусков: 10 | Количество интервалов гистограммы: 10

Группы параметров	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска	Группы параметров	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска
☐ Сопротивления	10	Gauss	0	☐ Бета БП	10	Gauss	0
☐ Ёмкости	10	Gauss	0	☐ Источники ПТ	10	Gauss	0
☐ Индуктивности	10	Gauss	0				

☐ Зачитать параметры из описания схемы

Вкл.	Тип	Объект	Параметр	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска	Допуск гр.	Распределение	Ид. запуска
☐	Элемент	C1	VALUE	10	Gauss	0	10	Gauss	0

Запустить | ОК | Отмена

Рис. 156 Окно формы настройки параметров анализа Монте-Карло

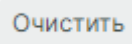
Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 44](#).

[Таблица 44](#) Описание параметров анализа Монте-Карло

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие настройки		
Количество запусков	Количество запусков указанных расчётов схемы при изменении параметров.	10
Количество интервалов гистограммы	Определяет число, на которое будут разбиты гистограммы. Если указан 0, то количество интервалов будет задано формулой: $1 + \log_2(\text{Количество запусков})$.	10
Групповое варьирование		
Тип группы	Для группового варьирования доступны следующие группы компонентов: • Сопротивления – сопротивление резистора. • Ёмкости – ёмкость конденсатора. • Индуктивности – индуктивность катушки. • Бета БП – коэффициент усиления по току для биполярных транзисторов (коэффициент бета). • Источники ПТ – позволяет варьировать независимые источники для статического режима: параметр VOLTAGE для источников напряжения и параметр CURRENT для источников тока.	Выкл.
Допуск комп.	Индивидуальный допуск для каждого компонента.	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.	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	- 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.	
Ид. запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность.	0
Зачитать параметры из схемы	При включённой опции происходит чтение значений всех варьируемых параметров, заданных с помощью полей LOT и DEV в описании их моделей.	Выкл.
Варьирование индивидуальных параметров		Выкл.
Тип	Выбор компонента варьирования: - Элемент. Одиночный элемент схемы. - Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный. - Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом. - Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM.	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра.	C1
Параметр	Имя варьируемого входного параметра.	VALUE
Допуск комп.	Индивидуальный допуск для каждого компонента. Допуски в процентах в том случае, если распределение uniform, gauss, wcase и в абсолютных (натуральных) единицах, если распределение auniform, agauss, awcase.	10%

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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
Ид. запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
Допуск. гр.	Групповой допуск применяется для таких компонентов, которым назначен одинаковый идентификатор запуска, отличный от 0. Групповой допуск позволяет определять коррелированные между собой компоненты.	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

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Ид. запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность.	0
Инструменты		
	Добавление компонента.	-
	Перемещение между компонентами.	-
	Удаление выделенного строки.	-
	Удаление всех переменных.	-



Примечание! Идентификатор запуска - это число от 0 до 65535. Каждое такое число представляет собой уникальную псевдослучайную последовательность. Нужно это для воспроизведения псевдослучайного процесса от запуска к запуску. Если значение 0, то номер псевдослучайной последовательности сам выбирается случайным способом от запуска к запуску.

Абсолютные единицы - это Фарады для ёмкостей, Омы для сопротивлений, Генри для индуктивностей и т.д.

Полный допуск вычисляется как среднее геометрическое допуска компонента и допуска группового.

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.

6.12 Настройки

[Окно формы параметров моделирования](#) всегда содержит вкладку «Настройки».

Вкладка «Настройки» содержит большое количество настроек для управления численными расчётами моделирования.

Для удобства использования эти настройки сгруппированы по типам анализа схемы, см. [Рис. 157](#).

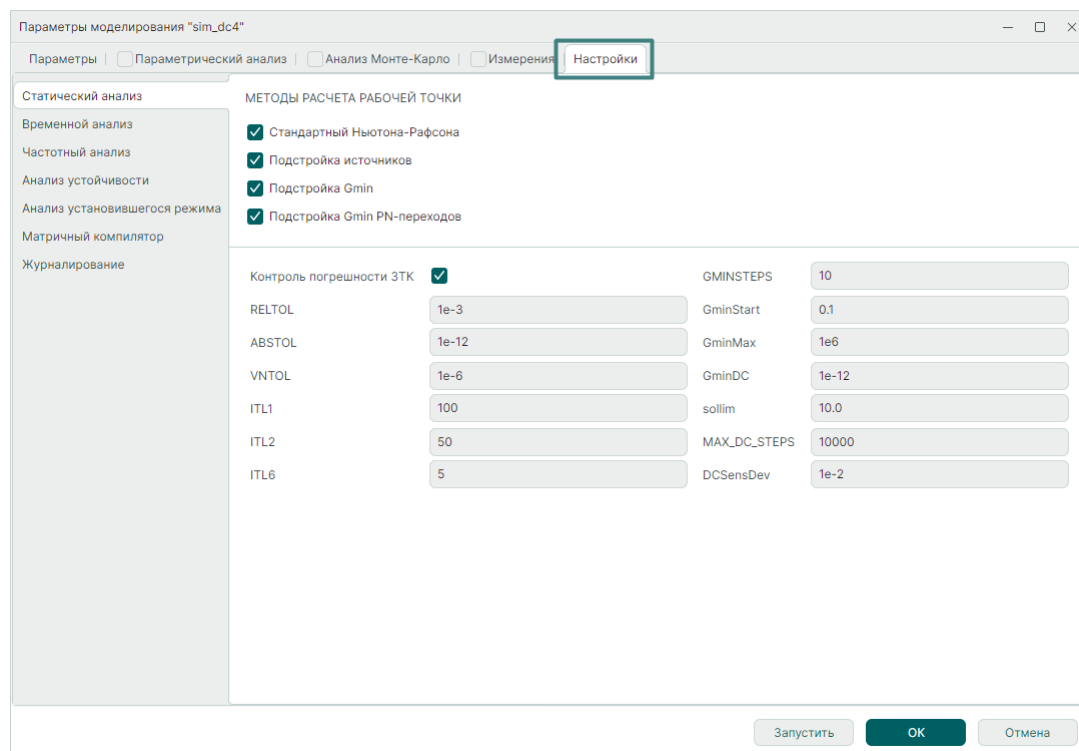


Рис. 157 Вкладка «Настройки» в окне формы моделирования

Подробнее параметры настроек описаны в [Табл. 45](#).

[Таблица 45](#) Параметры настроек моделирования

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Статистический анализ		
Методы расчёта рабочей точки	Выбор методов расчёта рабочей точки и очередности их запуска. Если текущий метод расчёта не смог сойтись к рабочей точке, то запускается следующий.	Вкл.
Контроль погрешности	В процессе нахождения рабочей точки схемы SimOne позволяет контролировать выполнение	Вкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
ЗТК	закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это необходимо для защиты от ложной сходимости итерационных методов.	
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 А
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
Временной анализ		

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Метод интегрирования	Метод интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих поведение схемы во времени.	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.	0.001
LTEABSTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта токов на шаге интегрирования.	1e-6 А
LTEVNTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта напряжений на шаге интегрирования.	1e-6 В
CHGTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта зарядов и потокоцеплений 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: $h_{init} = TRINIT * h_{max}$.	0.1
TRMIN	TRMIN – коэффициент для вычисления минимального шага интегрирования: $h_{min} = TRMIN * h_{init}$.	1e-15
ITL3	Минимальное число итераций на шаге интегрирования при выборе $LVTIM = 1$.	3
ITL4	Максимальное число итераций на шаге интегрирования.	10
ITL5	Максимальное число итераций временного анализа. 0 – выкл.	0
LVTIM	Тип алгоритма выбора шага интегрирования. Доступны следующие алгоритмы: • итерационный: $LVTIM = 1$; • по оценке локальной погрешности на шаге интегрирования: $LVTIM = 2$.	2

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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_Reduce Breaks	Выбор метода обработки кусочно-линейных сигналов: • true - оригинальный метод, контролирующий наклон функции; • false - стандартный метод.	Вкл.
PWL_BPREL TOL	Допустимая относительная величина изменения наклона кусочно-линейной функции.	1
PWL_BPABS TOL	Допустимая абсолютная величина изменения наклона кусочно-линейной функции.	1e-6
Частотный анализ		
FREQ_MIN	Минимальная частота при построении частотных характеристик схемы, если выбран логарифмический способ её изменения.	0.1 Гц
Rin	Нормировочное входное сопротивление, для данных, загружаемых из touchstone файлов для случая, когда данные о нормировочном сопротивлении в touchstone файле не объявлены.	50
Rout	Нормировочное выходное сопротивление, для данных, загружаемых из touchstone файлов для случая, когда данные о нормировочном сопротивлении в touchstone файле не объявлены.	50
Анализ 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

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
ChekToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней полинома годографа Михайлова.	Выкл.
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.	1200
Locus PL Min	Минимальное значение частоты при построении годографа Михайлова в ручном режиме, если выбран логарифмический способ её изменения.	1e-3
EigenFreqTOL 1	Относительная погрешность нахождения корня характеристического полинома.	1e-6
EigenFreqTOL 2	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
EFChekToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней характеристического полинома.	Выкл.
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
Анализ установившегося режима		
PSS_NStab	Количество периодов, через которое определяется совпадение с начальными значениями токов и напряжений схемы	1
PSS_MaxIter	Определяет максимальное число итераций пристрелочного метода Ньютона	5
PSS_RelTol	Определяет точность совпадения токов и напряжений со своими начальными значениями	1e-3
GMRES MaxSubspace Size	Максимальная размерность вектора подпространства Крылова в алгоритме GMRES, %	6

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
GMRES NumberOfRes tarts	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: • Auto. Производит автоматический выбор алгоритма из списка, исходя из размерности схемы и типа запускаемого анализа. • Classic – оригинальный вариант алгоритма Sparse 1.3. • Block – оригинальный вариант алгоритма KLU. • BBDF – оригинальный вариант алгоритма BBDF. • BBDFLU – оригинальный вариант алгоритма BBDF с LU-разложением.	Auto
Matrix Compiler	Выбор технологии проведения матричных операций. Доступны следующие технологии: • No code. Разложение матрицы проводится каждый раз заново на каждой итерации расчёта. • Code Matrix Processor – оригинальная программная технология SimOne – Кодовый Матричный Процессор. • Objective code – оригинальный вариант технологии SPICE3f5.	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.	Submatrix

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	- Column – выбор ведущего элемента из столбца подматрицы. - Preorder – используется алгоритм предварительной перестановки строк и столбцов.	
PIVREL	Минимальная относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента.	1e-3
PIVTOL	Минимальная абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента.	1e-13
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: <code>PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatioDC</code> .	1e3
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: <code>PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatio</code> .	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: <code>PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatioStab</code> .	100
MAX_CACHE_S	Определяет максимальный размер буфера хранения данных при использовании матричной технологии «Кодовый матричный процессор».	10
MAX_CACHE_S_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 методов её разложения: KLU, BBDF, BBDFLU.	10
MaxThreadsNumber	Задаётся количество потоков для разбиения главной матрицы линейной системы на блоки и,	1

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	в блочном режиме, её разложения и решения системы.	
Журналирование		
PrintLogDC	Вывод отладочной информации в окно сообщений для статических анализов схемы.	Выкл.
PrintLogAC	Вывод отладочной информации в окно сообщений для частотного анализа схемы.	Выкл.
PrintLogTransient	Вывод отладочной информации в окно сообщений для анализа переходных процессов схемы.	Выкл.
PrintLogPSS	Вывод отладочной информации в окно сообщений для расчёта периодических режимов схемы.	Выкл.
PrintLogStability	Вывод отладочной информации в окно сообщений при анализе устойчивости схемы.	Выкл.

7 Просмотр и обработка результатов моделирования

После запуска выбранного моделирования (симуляции) при активной вкладки с результатами моделирования в главное меню «SimOne» отображается обновленный список команды, см. [Рис. 158](#).

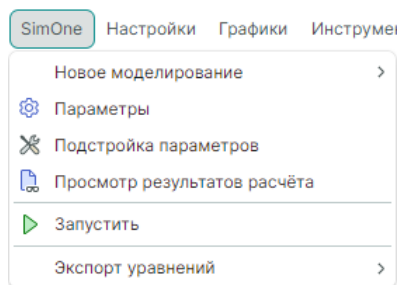


Рис. 158 Список команд в главном меню «SimOne» при активной вкладки с результатами моделирования

В [Табл. 46](#) описаны команды доступные при работе с модулем SimOne после запуска моделирования при активной вкладки с результатами моделирования.

[Таблица 46](#) Команды SimOne из главного меню при активной вкладки с результатами моделирования

Команда	Способ реализации
Новое моделирование	Выбор анализа схемы для создание нового моделирования.
Параметры	Открывается окно для просмотра и изменения параметров текущего моделирования.
Подстройка параметров	Открывается панель «Моделирование: Подстройка параметров».
Просмотр результатов расчета	Открывается окно «Результаты расчета» для просмотра
Запустить	Запускается симуляция и открывается окно просмотра графиков результатов текущей симуляции.
Экспорт уравнений	Выбор формата для экспорта уравнений: • численные уравнения схемы; • символьные уравнения схемы.

7.1 Общие сведения

После запуска выбранного моделирования (симуляции) для отображения и обработки её результатов программа открывает вкладку с именем проекта и выполняемой симуляции, см. [Рис. 159](#).



Рис. 159 Пример общего вида вкладки с результатами моделирования в графическом виде

Результаты проведённого моделирования схемы в разделе модуля SimOne могут быть представлены:

- в графическом виде;
- в табличном виде;
- в текстовом виде.



Примечание! Результаты расчета в текстовом виде отображаются при вызове команды из главного меню «SimOne» → «[Просмотр результатов расчётов](#)».

Модуль SimOne позволяет:

- отображать результаты моделирования;
- использовать функции курсоров для измерения параметров кривых;
- рассчитывать и отображать коэффициенты ряда Фурье выбранных графиков;
- производить измерения широкого набора параметров графиков.

Модуль SimOne содержит:

- Окно графиков, которое позволяет отображать любое количество графиков. Каждый расчёт может иметь произвольное количество окон графиков, каждое окно графиков может иметь произвольное количество полей для отображения диаграмм, каждая диаграмма может отображать произвольное количество графиков.
- [Панель графиков](#), которая содержит список отображаемых графиков.
- [Панель измерений](#), которая отображает численные значения измерений, проведённых по результатам моделирования.
- [Панель курсоров](#), которая отображает текущие координаты курсоров, а также соотношения между ними.
- [Окно добавления новых измерений](#).
- [Окно добавления графика результата быстрого преобразования Фурье](#).

Графики, представленные в модуле SimOne, могут быть [сохранены в форматах](#):

- Файлы MatLab (*.m);
- Файлы Maple (*.mw);
- Текстовый файлы (*.txt);
- Файлы CSV (*.csv);
- Звуковые файлы (*.wav);
- Файлы TouchStone (*.snp);
- PWL файлы (*.pwl);
- Freq файлы (*.frq).



Примечание! Графики сохраняются в файлы форматов TouchStone (*.snp) и Freq (*.frq) после проведения моделирования «Частотный анализ».

7.2 Работа с графиками

После запуска выбранного моделирования в главном меню отображается пункт «Графики» с подменю содержащее команды доступные при работе с графиками, см. [Рис. 160](#).

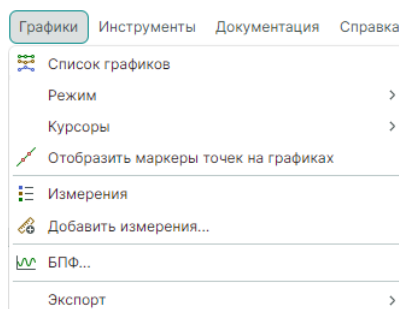


Рис. 160 Открытия списка команд для работы с графиками

В [Табл. 47](#) описаны инструменты и команды доступные при работе с графиками.

[Таблица 47](#) Инструменты и команды работы с графиками

Инструмент/Команда	Способ реализации
Инструменты для работы с графиками	
Приблизить график	Установить курсор на область графика и прокрутить колесо мыши от себя.
Отдалить график	Установить курсор на область графика и прокрутить колесо мыши к себе.
Приблизить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Установить курсор на область оси абсциссы графика и прокрутить колесо мыши от себя при совместном нажатии клавиши Ctrl.
Отдалить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Установить курсор на область оси абсциссы графика и прокрутить колесо мыши к себе при совместном нажатии клавиши Ctrl.
Приблизить график по вертикальной оси – оси ординат	Установить курсор на область оси ординат графика и прокрутить колесо мыши от себя при совместном нажатии клавиши Ctrl.
Отдалить график по вертикальной оси – оси ординат	Установить курсор на область оси ординат графика и прокрутить колесо мыши к себе при совместном нажатии клавиши Ctrl.

Инструмент/Команда	Способ реализации
Перемещение графика	При условии, что масштаб графика был изменен, установить курсор на область графика и при нажатой правой кнопки мыши переместить график.
Увеличить область графика	Установить курсор на область графика, которую необходимо увеличить, и при совместном нажатии кнопки мыши и клавиши Shift переместить курсор в новую точку области, в результате выделенная цветом область увеличится.
Вернуть отображение графиков в исходное состояние	При условии, что масштаб графика был изменен, установить курсор на область графика и при двойной клике на левую кнопку мыши вернуть отображение графика в исходное состояние.
Команды для работы с графиками	
Список графиков	Отображается панель «Моделирование: Графики» .
Режим	Выбор режима отображения осей координат: • Логарифмировать ось X. • Логарифмировать ось Y. • Полярные координаты. • Диаграмма Смита.
Курсоры	Отображается панель «Моделирование: Курсоры» для работы с курсором .
Отобразить маркеры точек на графике	Включает/отключает режим отображения маркеров расчетных точек на графике.
Измерения	Отображается панель «Моделирование: Измерения» для оценки качества выходных характеристик схемы.

Инструмент/Команда	Способ реализации
Добавить измерения	Отображается окно формы « Редактировать измерения ».
БПФ	Отображается окно формы «БПФ» . С помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ) определяются гармоники разложения в ряд Фурье выходных характеристик схемы.
Экспорт графиков	Выбор формата файла для сохранения результатов моделирования.

7.3 Панель «Моделирование: Графики»

На панели «Моделирование: Графики» отображаются доступные графики текущего окна и вкладки результатов для выбранной симуляции.

Отображение панели «Моделирование: Графики» включается с помощью главного меню «Графики» → «Список графиков», см. [Рис. 161](#).

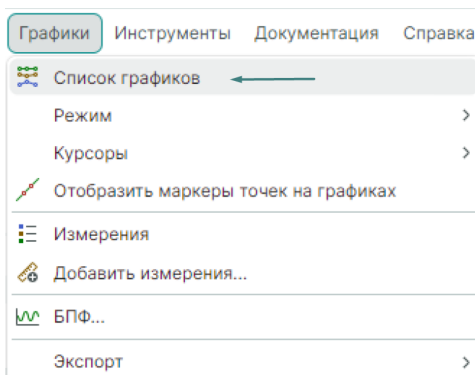


Рис. 161 Вызов панели «Моделирование: Графики»

По умолчанию панель «Моделирование: Графики» выключена.

Панель содержит информацию об именах графиков, их цветовом представлении и номерах групп в текущем окне графика, см. [Рис. 162](#).



Рис. 162 Пример панели «Моделирование: Графики»

Панель «Моделирование: Графики» позволяет:

- изменить группу расположения графика;
- изменить цвет и толщину линии графика;
- отключить/включить отображение графика;
- удалить график;
- установка курсора по условиям.

Для изменения группы расположения графика следует вызвать контекстное меню с выбранного графика, выбрать пункт «Переместить в группу» и выбрать номер группы из выпадающего списка, см. [Рис. 163](#).

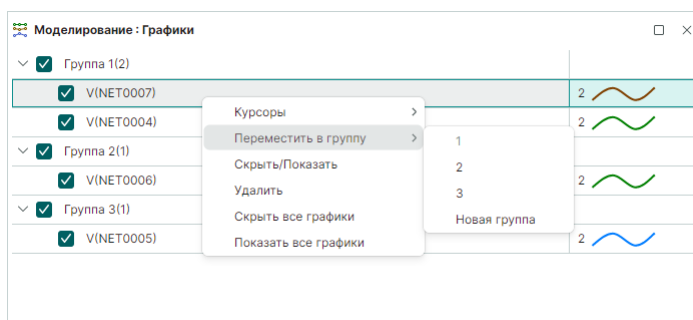


Рис. 163 Изменение расположения графика

Для изменения цвета и толщины линии следует нажать на область  в строке с выбранным графиком, см. [Рис. 164](#).

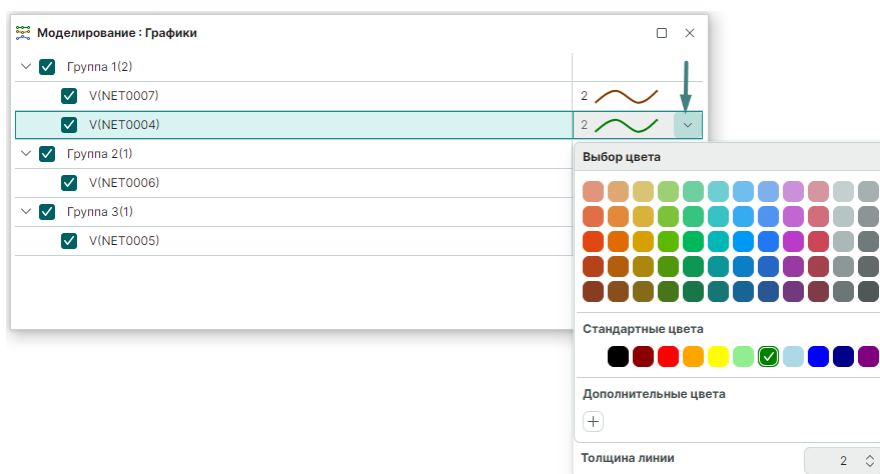


Рис. 164 Выбор цвета и толщины линии графика

Для отключения отображения графика или включения его отображения, необходимо снять/установить флаг в чек-боксе ☐ / ☒ , расположенном в строке с выбранным графиком. Или с помощью контекстного меню, вызванного из строки с выбранным графиком, выбрав пункт «Скрыть/Показать».

Для отключения отображения всех графиков группы следует снять флаг в чек-боксе, расположенном в строке с выбранной группой.

Для отключения/включения отображения всех графиков симуляции следует вызвать контекстное меню с любой точки панели «Моделирование: Графики» и выбрать соответствующий пункт «Скрыть все графики/Показать все графики».

Для удаления выбранного графика необходимо вызвать контекстное меню с выбранного графика и выбрать пункт «Удалить».

Для выбора условия по установке курсора на графике следует вызвать контекстное меню с выбранного графика, выбрать пункт «Курсоры» и выбрать условие установки курсора из выпадающего списка, см. [Рис. 165](#).

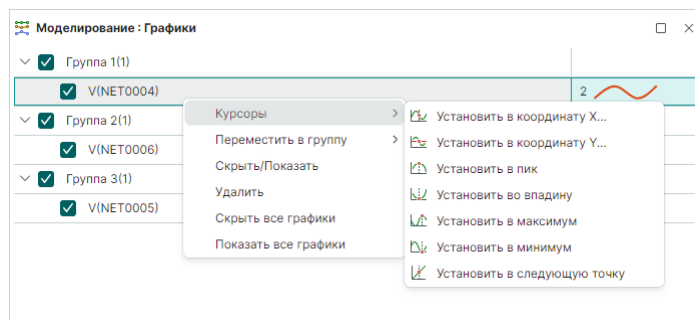


Рис. 165 Выбор условия установки курсора

7.4 Режимы

Для лучшего анализа экспоненциально зависящих величин оси X и Y надо прологарифмировать. График экспоненты отобразится на логарифмической оси, он будет выглядеть как линейный и следовательно, его удобнее анализировать в таком виде.

Модуль SimOne предоставляет возможность устанавливать режим отображения осей координат активного графика, см. [Рис. 166](#).

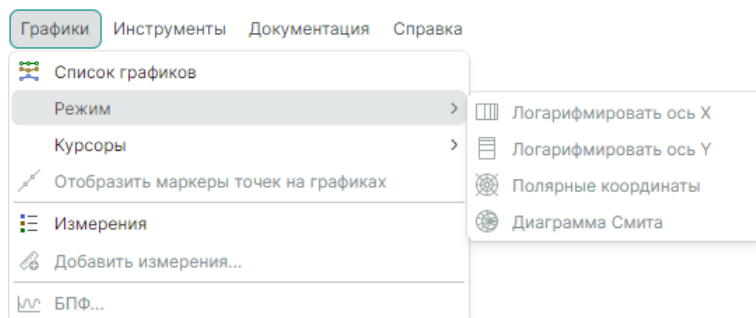


Рис. 166 Выбор режима отображения осей координат

При выборе режима:

- «Логарифмировать ось X» – ось X логарифмируется;
- «Логарифмировать ось Y» – ось Y логарифмируется;
- «Полярные координаты» – отображение графика на комплексной плоскости;
- «Диаграмма Смита» – отображение графика на диаграмме Вольперта-Смита.

Команды выбора режима продублированы на панели инструментов «SimOne Graphics», см. [Рис. 167](#).

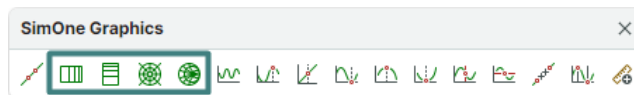


Рис. 167 Выбор режима отображения осей координат из панели инструментов «SimOne Graphics»

7.5 Работа с курсорами

Курсоры позволяют пользователю найти интересующую его точку на графике, а также производить измерения различных параметров графика.

Для включения курсоров на графиках выбрать в главном меню «Графики» → «Курсоры» → «Отобразить курсоры», см. [Рис. 168](#).

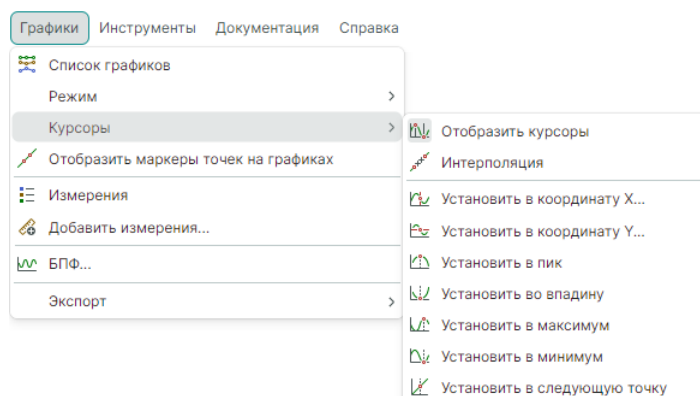


Рис. 168 Команды работы с курсорами

В результате на графиках отображаются курсоры и [панель «Моделирование: Курсоры»](#).

На каждой группе графиков можно использовать одну пару курсоров, маркировка которых отображается в виде цифры рядом с осью:

- курсор  – первый курсор;
- курсор  – второй курсор.

Инструменты и команды работы с курсорами перечислены в [Табл. 48](#).

[Таблица 48](#) Инструменты и команды для работы с курсорами

Инструменты/Команды	Способ задания
Инструменты для работы с курсором	
Переместить курсор в заданную точку на графике	Навести курсор мыши на курсор и при нажатии левой кнопки мыши (ЛКМ) переместить его в нужную точку графика.
Сделать курсор активным	Нажать левую кнопку на нужном курсоре.
Переставить первый курсор в позицию курсора мыши	Установить курсор мыши на нужную точку графика и нажать совместно Ctrl+ЛКМ.
Переставить второй курсор в позицию курсора мыши	Установить курсор мыши на нужную точку графика и нажать совместно Ctrl+ПКМ (правая кнопка мыши).
Команды для работы с курсором	

Инструменты/Команды	Способ задания
Отобразить курсоры	Включает/отключает отображение на графиках курсоры. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Отобразить курсоры», иконка  .
Интерполяция	Включает/отключает режим интерполяции данных при работе с курсорами. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Интерполяция», иконка  .
Установить в координату X	Установить активный курсор в точку со значением X по оси абсцисс графика. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в координату X...», иконка  .
Установить в координату Y	Установить активный курсор в точку со значением Y по оси ординат графика. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в координату Y...», иконка  .
Установить в пик	Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному максимуму графика. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в пик», иконка  .
Установить во впадину	Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному минимуму графика. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить во впадину», иконка  .
Установить в максимум	Установить активный курсор в точку, соответствующую максимуму графика. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в максимум», иконка  .
Установить в минимум	Установить активный курсор в точку, соответствующую минимуму графика.

Инструменты/Команды	Способ задания
	Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в минимум», иконка
Установить в следующую точку	Установить активный курсор в следующую точку. Панель инструментов «SimOne Graphics» → «Установить в следующую точку», иконка

Если курсоры устанавливаются в точки графика с помощью измерения различных параметров графика, они устанавливаются по измерениям параметров на активном графике группы – на том, на области которого был сделан последний клик мышью.

Команды выбора курсора продублированы на панели инструментов «SimOne Graphics», см. [Рис. 169](#).



Рис. 169 Выбор курсора из панели инструментов «SimOne Graphics»

7.5.1 Панель «Моделирование: Курсоры»

На панели «Моделирование: «Курсоры» отображаются текущие координаты курсоров по всем группам графиков, а также различные соотношения их координат.

Отображение панели «Моделирование: «Курсоры» включается вместе с отображением самих курсоров с помощью:

- главного меню «Графики» → «Курсоры» → «Отобразить курсоры»;
- панели инструментов «SimOne Graphics» → «Отобразить курсоры», иконка

Панель «Моделирование: Курсоры» имеет следующий вид, см. [Рис. 170](#).

Моделирование: Курсоры								
Имя графика	X1	Y1	X2	Y2	ΔX	ΔY	$\Delta Y/\Delta X$	$1/\Delta X$
Группа 1(1)								
Db(I(V1))	1Meg	-89.556	100Meg	-89.556	99Meg	-555.86...	-5.615p	10.101n
Группа 2(1)								
Ph(I(V1))	1Meg	-177.988	100Meg	-180.015	99Meg	-2.028	-20.48n	10.101n

Рис. 170 Пример отображения панели «Моделирование: Курсоры»

Список полей панели приведён в [Табл. 49](#).

Таблица 49 Поля панели курсоров

Поле	Описание
X1	Координата первого курсора по оси абсцисс.
Y1	Координата первого курсора по оси ординат.
X2	Координата второго курсора по оси абсцисс.
Y2	Координата второго курсора по оси ординат.
ΔX	Разность координат по оси абсцисс первого и второго курсора: $\Delta X = X1 - X2$.
ΔY	Разность координат по оси ординат первого и второго курсора: $\Delta Y = Y1 - Y2$.
$\Delta Y/\Delta X$	Отношение разности координат по оси ординат первого и второго курсора к разности координат по оси абсцисс первого и второго курсора $\Delta Y/\Delta X = (Y1 - Y2) / (X1 - X2)$.
$1/\Delta X$	Величина, обратная разности координат по оси абсцисс первого и второго курсора: $1/\Delta X = 1 / (X1 - X2)$.

При вызове контекстного меню со строки с выбранным графиком можно указать команду для активного в текущий момент курсора выбранного графика, для отображения его на выбранном графике, см. [Рис. 171](#).

Моделирование: Курсоры								
Имя графика	X1	Y1	X2	Y2	ΔX	ΔY	$\Delta Y/\Delta X$	1/ ΔX
Группа 1(1)								
V(NETO...	0	230.399				4.77	476.984K	100K
Группа 2(1)								
V(NETO...	0					-4.765	-476.48K	100K
Группа 3(1)								
V(NETO...	0	822.155				-1.166	-116.616K	100K
Группа 4(1)								
V(NETO...	0	150.03				823.047m	82.305K	100K

Рис. 171 Контекстное меню для выбора курсора из панели «Моделирование: Курсоры»

7.6 Экспорт графиков

Модуль SimOne предоставляет возможность экспортировать графики в форматах:

- Текстовые файлы (*.txt);
- Файлы CSV (*.csv);
- Файлы Maple (*.mw);
- Файлы MatLab (*.m);
- PWL-файлы (*.pwl);
- Звуковые файлы WAV (*.wav);
- Файлы TouchStone (*.snp);
- Freq-файлы (*.frq).



Примечание! Графики сохраняются в файлы форматов TouchStone (*.snp) и Freq (*.frq) после проведения моделирования «Частотный анализ».

Переход к экспорту осуществляется командой главного меню «Графики» → «Экспорт...», см. [Рис. 172](#).

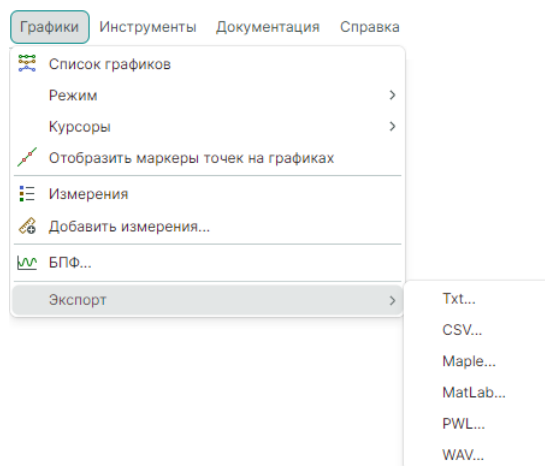


Рис. 172 Переход к экспорту графиков

В окне проводника следует указать расположение файла экспорта и присвоить ему имя, см. [Рис. 173](#).

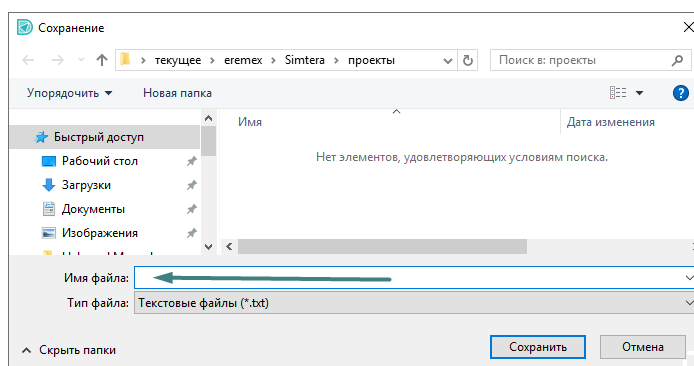


Рис. 173 Выбор расположения и имени экспортируемого файла

В окне «Экспорт» выбрать необходимые для экспорта графики с помощью установки/снятия флагов в чек-боксах напротив наименований и нажать «ОК», см. [Рис. 174](#).

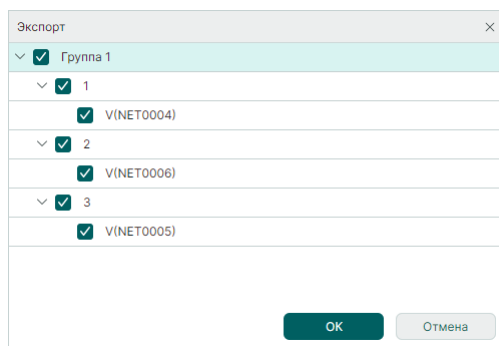


Рис. 174 Выбор графиков для экспорта



Примечание! В один файл формата кусочно-линейного сигнала *.pwl может быть экспортирован только один график.

При экспорте графика в звуковой файл формата *.wav появляется дополнительное окно, в котором можно выбрать настройки сохранения, см. [Рис. 175](#).

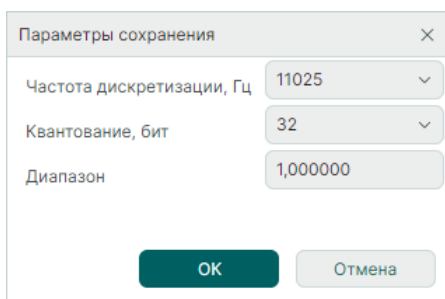


Рис. 175 Окно настроек сохранения в звуковой файл

По завершении экспорта будет отображено информационное сообщение, см. [Рис. 176](#).

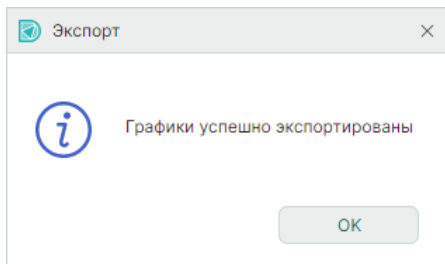
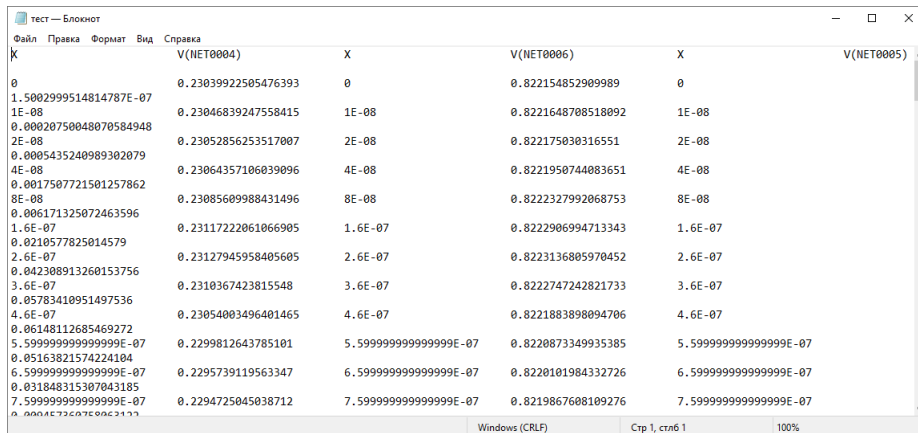


Рис. 176 Информационное окно об успешном экспорте графиков

Пример файла с данными экспортированных графиков представлен на [Рис. 177](#).



	V(NET0004)	X	V(NET0006)	X	V(NET0005)
0	0.23039922505476393	0	0.822154852909989	0	
1.5002999514814787E-07	0.23046839247558415	1E-08	0.8221648708518092	1E-08	
0.00020750048070584948	0.23052856253517007	2E-08	0.822175030316551	2E-08	
0.0005435240989302079	0.23064357106039096	4E-08	0.8221950744083651	4E-08	
0.0017507721501257862	0.23085609988431496	8E-08	0.8222327992068753	8E-08	
0.006171325072463596	0.23117222061066905	1.6E-07	0.8222906994713343	1.6E-07	
0.0210577825814579	0.23127945958405605	2.6E-07	0.8223136805970452	2.6E-07	
0.042308913260153756	0.2310367423815548	3.6E-07	0.8222747242821733	3.6E-07	
0.05783418951497536	0.23054003496401465	4.6E-07	0.822188389094706	4.6E-07	
0.06148112685469272	0.2299812643785101	5.599999999999999E-07	0.8220873349935385	5.599999999999999E-07	
0.05163821574224104	0.2295739119563347	6.599999999999999E-07	0.8220101984332726	6.599999999999999E-07	
0.031848315307043185	0.2294725045038712	7.599999999999999E-07	0.8219867608109276	7.599999999999999E-07	

Рис. 177 Пример файла формата .txt

Примечание! Проверку экспортированных данных для файлов .txt можно произвести визуально.

Для этого необходимо:

- применить команду «Графики» → «Отобразить маркеры точек на графиках»;
- увеличить выбранный участок графика;
- открыть полученный после экспорта текстовый файл;
- произвести сравнение выборочных точек.



Проверка данных для файлов Matlab (*.m), Maple (*.mw), TouchStone (*.snp), Freq (*.frq) не предусмотрена.

Проверка данных для звуковых файлов (.wav) и PWL-файлов (.pwl) возможна с помощью использования в качестве сигнала источника напряжения или тока.

- для источника напряжения или тока примените команду «Задать сигнал»;
- выбрать файл, полученный при экспорте, как файл сигнала.

8 Измерения

Для оценки качества выходных характеристик схемы в SimOne используется механизм Измерений.

Измерения позволяют определять различные параметры графиков, полученных в результате моделирования.

Результатом расчёта функции измерения является числовое значение, если при заданных параметрах измерение не может быть вычислено, результатом будет NAN.

8.1 Настройки вкладки «Измерения»

Измерения могут быть заданы на этапе создания общего задания на моделирование в окне формы параметров моделирования на вкладке «Измерения». Пример задания измерений приведён на [Рис. 178](#).

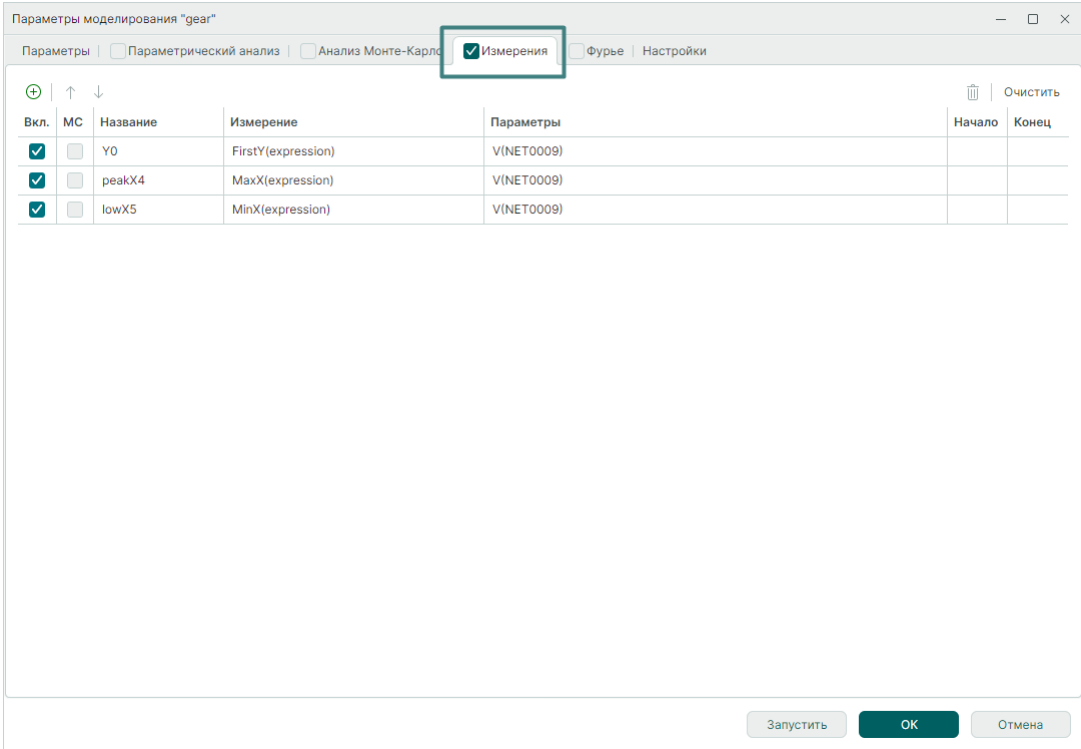
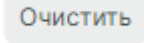


Рис. 178 Пример задания измерений с помощью вкладки «Измерения»

Описание инструментов и параметров приведено в [Табл. 50](#).

[Таблица 50](#) Параметры задаваемых измерений

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Вкл./Выкл.	Включение/Выключение вычисления указанного измерения.	Вкл.
МС	Построение гистограммы указанного измерения при проведении многовариантного расчета Монте-Карло .	Выкл.
Название	Ввод имени измерения.	-

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Измерение	Выбор измерения из списка доступных измерений .	-
Параметры	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала.	-
Начало	Начальное значение диапазона вычисления измерения.	-
Конец	Конечное значение диапазона вычисления измерения.	-
Инструменты		
	Добавление пустой строки для ввода нового измерения. Подробнее см. раздел «Добавление нового измерения» .	-
	Перемещение между строками.	-
	Удаление выделенной строки.	-
	Удаление всех строк.	-

Для редактирования существующего параметра измерения необходимо в строке выбранного измерения нажать в столбце «Параметры» на область  и в открывшемся окне «Выражение» выбрать параметр и/или функцию для редактирования этого параметра, см. [Рис. 179](#).

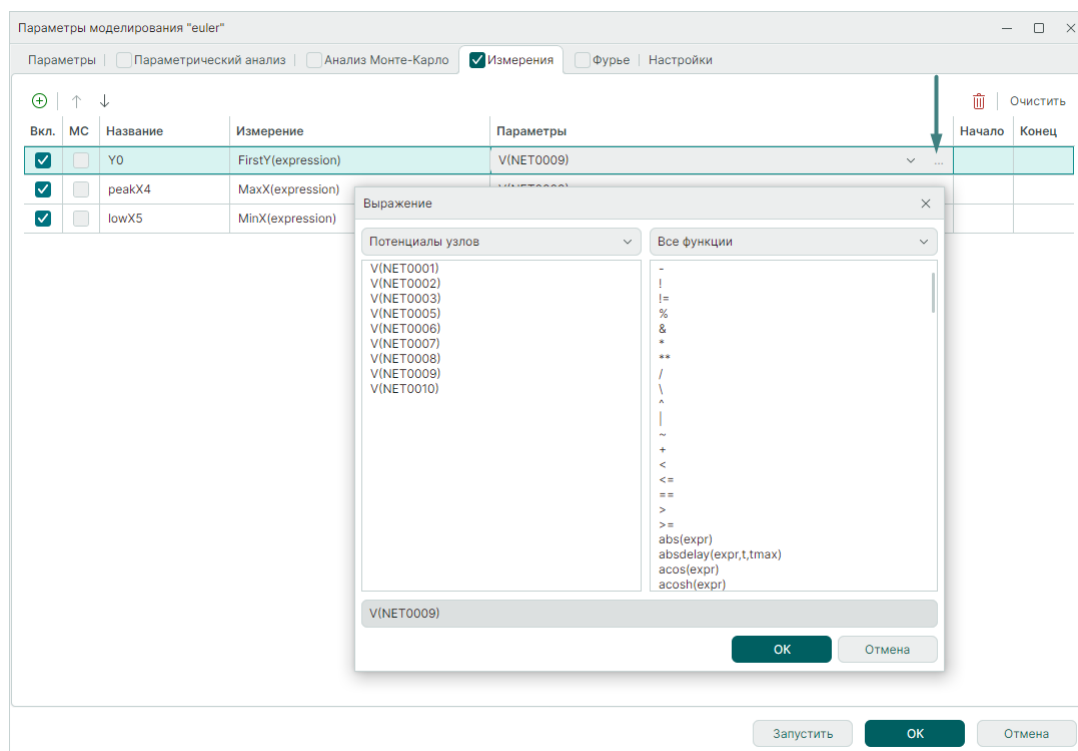


Рис. 179 Редактирование существующего параметра

8.2 Добавление нового измерения

Новые измерения добавляют:

- инструментом  [на вкладке «Измерения»](#);
- из главного меню: «Графики» → «Добавить измерения...»;
- из панели инструментов «SimOne Graphics» → «Добавить измерения...», инструмент .

После выбора команды «Добавить измерения...» отображается окно «Редактировать измерения», см. [Рис. 180](#).

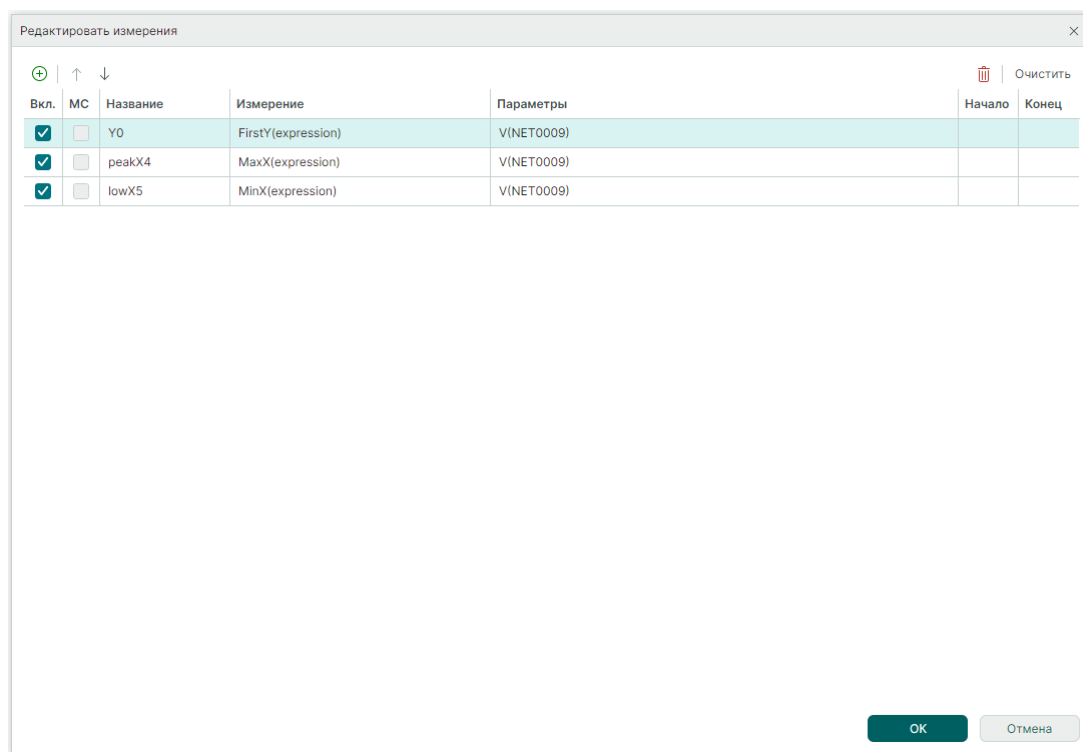


Рис. 180 Окно редактирования измерений

Управление в окне «Редактировать измерения» аналогично управлению в окне формы параметров симуляции на [вкладке «Измерения»](#).

Для создания нового измерения необходимо нажать инструмент , в результате внизу [таблицы](#) добавится пустая строка.

В столбце «Название» при необходимости указать название измерения.

В столбце «Измерения» выбрать тип измерения из выпадающего списка.

В столбце «Параметры» для ввода нового параметра необходимо нажать на область  и в открывшемся [окне «Выражение»](#) выбрать параметр и/или функцию для создания нового параметра, см. [Рис. 181](#).

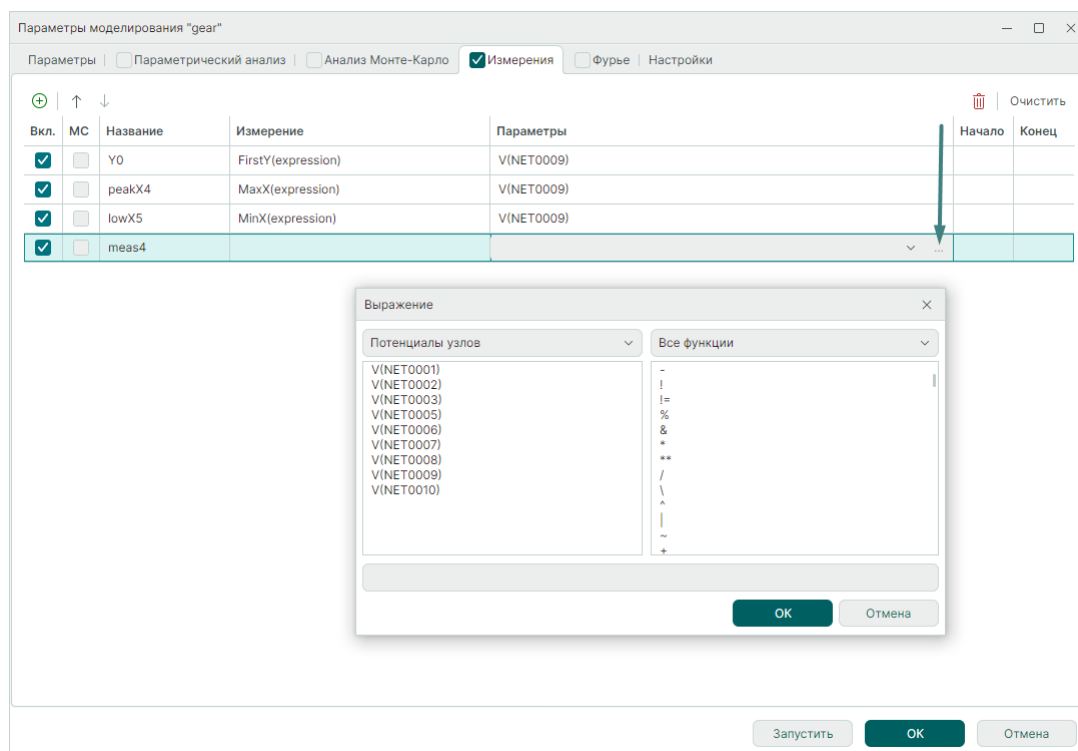


Рис. 181 Вызов окна «Выражение»

Указать в столбцах «Начало» и «Конец» диапазон по оси абсцисс, если измерение необходимо произвести на определённом интервале.

После нажатия на «ОК» введённые измерения будут вычислены и добавлены в список измерений в группу измерений, соответствующую имени симуляции.

Примечание! В качестве переменных доступны:



- «Графики» – выбранные переменные схемы, значения которых были рассчитаны и сохранены для анализа в ходе выполнения расчета;
- «Независимая переменная» – независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- «Потенциалы узлов» – числовые значения рассчитанных измерений симуляции;
- «Измерения» – созданные ранее измерения;
- «Константы» – константы (TRUE, FALSE, I, J, PI, E).

8.3 Список функций измерений

Синтаксис измерений SimOne

Измерения в текстовом формате SimOne задаются командами:

```
.meas[ure] [<тип анализа схемы>] <имя измерения> <функция 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> <функция измерения>
+ <выражение> [<параметр1>,<параметр2>...]
+ [<TRIG AT>[=] <константное выражение1>]
+ [<TARG AT>[=] <константное выражение2>]

.meas[ure] [<тип анализа схемы>] <имя измерения> <функция измерения>
+ <выражение> [<параметр1>,<параметр2>...]
+ [<FROM>[=] <константное выражение1>]
+ [<TO>[=] <константное выражение2>]

```

<тип анализа схемы> – указывается ключевое слово, соответствующее типу запускаемого анализа схемы.

Доступны следующие типы анализа схем:

- <op> – расчет рабочей точки (.op);
- <dc> – статический анализ (.dc);
- <dcs> – расчет чувствительности по постоянному току (.dcs);
- <tr> – анализ переходных процессов (.tran);
- <pss> – анализ периодических режимов (.pss);
- <acr> – анализ гармонического режима (.acr);
- <ac> – частотный анализ (.ac);
- <st> – анализ устойчивости (.st).

Если <тип анализа схемы> не указан, данное измерение будет вычисляться для всех типов симуляций.

<имя измерения> – обозначение измерения для того, чтобы его можно было использовать в качестве переменной в выражениях.

<функция измерения> – математическая функция измерения, используемые для выполнения расчёта измерений.

Если <функция измерения> не задана, измерение возвращает только величину рассчитанного интервала.

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение; записывается через пробел после <тип измерения>.

<параметр1>, <параметр2>... – список параметров, записывается через пробел после <выражение>.

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> и <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.

8.3.1 Bandwidth <выражение> [<level>]

Ширина полосы пропускания

Синтаксис:

Bandwidth <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<level> – уровень в децибелах. По умолчанию = 3.

Описание:

Ширина полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика Y_{max} .
- Рассчитывается пороговый уровень: $Y0 = Y_{max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется нижняя граница полосы пропускания $X_{bandleft}$: ближайшая точка по уровню $Y0$ слева от максимума на подъёме графика.
- Определяется верхняя граница полосы пропускания $X_{bandright}$: ближайшая точка по уровню $Y0$ справа от максимума на спуске графика.
- Вычисляется их разность $X_{bandright} - X_{bandleft}$.

8.3.2 CenterFrequency <выражение> [<level>]

Центральная частота

Синтаксис:

CenterFrequency <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<level> – уровень в децибелах. По умолчанию = 3.

Описание:

Центральная частота полосы пропускания уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика Y_{max} .
- Вычисляется пороговый уровень: $Y_0 = Y_{max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется нижняя граница полосы пропускания $X_{bandleft}$: ближайшая точка по уровню Y_0 слева от максимума на подъёме графика.
- Определяется верхняя граница полосы пропускания $X_{bandright}$: ближайшая точка по уровню Y_0 справа от максимума на спуске графика.
- Вычисляется центральная частота полосы пропускания: $(X_{bandright} + X_{bandleft})/2$.

8.3.3 Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]

Верхняя граница полосы пропускания

Синтаксис:

Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<level> – уровень в децибелах. По умолчанию = 3.

Описание:

Верхняя граница полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика Y_{max} .

- Вычисляется пороговый уровень: $Y0 = Y_{\max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется ближайшая точка по уровню $Y0$ справа от максимума на спуске графика.

8.3.4 Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]

Нижняя граница полосы пропускания

Синтаксис:

Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<level> – уровень в децибелах. По умолчанию = 3.

Описание:

Нижняя граница полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика $Y_{\max}$.
- Вычисляется пороговый уровень: $Y0 = Y_{\max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется ближайшая точка по уровню $Y0$ слева от максимума на подъёме графика.

8.3.5 DeltaX <выражение> <Yfirst> <Ylast> [<number>]

Расстояние между двумя точками по оси абсцисс

Синтаксис:

DeltaX <выражение> <y_first> <y_last> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<y_first> – ордината первой точки.

<y_last> – ордината последней точки.

<number> – порядковый номер измерения. По умолчанию = 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <y_first> и точкой с ординатой <y_last>, встречающимися в <number> раз.

Определяется следующим образом:

- По `<number>` значению `<y_first>` определяется абсцисса `Xfirst`.
- По значению `<y_last>` определяется ближайшая большая `Xfirst` абсцисса `Xlast`.
- Вычисляется разность `Xlast – Xfirst`.

8.3.6 DeltaY `<выражение>` `<Xfirst>` `<Xlast>`

Расстояние между двумя точками по оси ординат

Синтаксис:

DeltaY `<выражение>` `<x_first>` `<x_last>`

`<выражение>` – выражение, для которого рассчитывается измерение.

`<x_first>` – абсцисса первой точки.

`<x_last>` – абсцисса последней точки.

Описание:

Расстояние по оси ординат между точкой с абсциссой `<x_first>` и точкой с абсциссой `<x_last>`.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение `Yfirst` в точке `<x_first>`.
- Ищется значение `Ylast` в точке `<x_last>`.
- Вычисляется разность `Ylast – Yfirst`.

8.3.7 FallTime `<выражение>` `<ymin>` `<ymax>` [`<number>`]

Длина спуска

Синтаксис:

FallTime `<выражение>` `<ymin>` `<ymax>` [`<number>`]

`<выражение>` – выражение, для которого рассчитывается измерение.

`<ymin>` – ордината первой точки.

`<ymax>` – ордината последней точки.

`<number>` – порядковый номер измерения. По умолчанию = 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <y_{max}> и точкой с ординатой <y_{min}> на <number> спуске.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение <y_{max}> на требуемом спуске (<number> спуске); определяется её абсцисса X_{max}.
- Ищется значение <y_{min}> на требуемом спуске (<number> спуске); определяется её абсцисса X_{min}.
- Вычисляется разность X_{min} – X_{max}.

8.3.8 FirstY <выражение>

Первое значение выражения

Синтаксис:

FirstY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в первой точке графика.

8.3.9 Frequency <выражение> <y_{fixed}> [<number>]

Частота

Синтаксис:

Frequency <выражение> <y_{fixed}> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<y_{fixed}> – значение <выражение>, по которому будет определяться частота.

<number> – порядковый номер измерения. По умолчанию = 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 <number> раз по счёту.

Определяется следующим образом:

- Ищутся пары соседних значений <выражения>, равных <y_fixed> и имеющих одинаковый знак производной.
- Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению <number>.
- Для этой пары находятся соответствующие <y_fixed> значения по оси абсцисс Xleft, Xright.
- Определяется частота: $1/(X_{right} - X_{left})$.

8.3.10 Inflection <выражение> [<number>]

Точка перегиба

Синтаксис:

Inflection <выражение> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<number> – порядковый номер перегиба. По умолчанию = 1.

Описание:

Возвращает абсциссу точки <number> по счёту перегиба графика.

Определяется следующим образом:

- Ищутся точки перегиба кривой.
- Определяется точка, соответствующая по порядковому номеру значению <number>.
- Определяется её абсцисса Xinflect.

8.3.11 LastY <выражение>

Последнее значение выражения

Синтаксис:

LastY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в последней точке графика.

8.3.12 MaxY <выражение>

Максимальное значение

Синтаксис:

MaxY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает максимальное значение графика (ординату точки максимума).

8.3.13 MaxX <выражение>

Координата максимального значения

Синтаксис:

MaxX <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает максимальное значение.

8.3.14 MinY <выражение>

Минимальное значение

Синтаксис:

MinY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает минимальное значение графика (ординату точки).

8.3.15 MinX <выражение>

Координата минимального значения

Синтаксис:

MinX <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает минимальное значение.

8.3.16 NX <выражение> [<number>]

Абсцисса точки графика

Синтаксис:

NX <выражение> <[N=1]>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу N-ой точки выражения.

8.3.17 NY <выражение> [<number>]

Ордината точки графика

Синтаксис:

NY <выражение> <[N=1]>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение выражения в N-ой точке.

8.3.18 PeakX <выражение> [<number>]

Координата локального максимума функции

Синтаксис:

PeakX <выражение> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<number> – порядковый номер локального максимума. По умолчанию =1.

Описание:

Возвращает абсциссу точки локального максимума функции, имеющей порядковый номер <number>.

8.3.19 PeakY <выражение> [<number>]**Значение функции в локально максимуме****Синтаксис:**

PeakY <выражение> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<number> – порядковый номер локального максимума. По умолчанию =1.

Описание:

Возвращает значение функции в её локальном максимуме, имеющем порядковый номер <number>.

8.3.20 Period <выражение> <y_fixed> [<number>]**Период****Синтаксис:**

Period <выражение> <y_fixed> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<y_fixed> – значение <выражение>, по которому будет определяться частота.

<number> – порядковый номер локального максимума. По умолчанию =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 <number> раз.

Определяется следующим образом:

- Ищутся пары ближайших значений `<выражение>`, равных `<y_fixed>` и имеющих одинаковый знак производной.
- Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению `<number>`.
- Для этой пары на графике находятся соответствующие `<y_fixed>` абсциссы `Xleft` и `Xright`.
- Определяется период: $Xright - Xleft$.

8.3.21 Q_Bandpass `<выражение>` [`<level>`]

Добротность

Синтаксис:

Q_Bandpass `<выражение>` [`<level>`]

`<выражение>` – выражение, для которого рассчитывается измерение.

`<level>` – уровень в децибелах для расчета полосы пропускания.
По умолчанию =3.

Описание:

Добротность вычисляется как отношение значения [центральной частоты](#) к [ширине полосы пропускания](#).

8.3.22 RangeY `<выражение>` `<xfirst>` `<xlast>`

Перепад

Синтаксис:

RangeY `<выражение>` `<x_first>` `<x_last>`

`<выражение>` – выражение, для которого рассчитывается измерение.

`<x_first>` – значение первой точки по оси ординат.

`<x_last>` – значение последней точки по оси ординат.

Описание:

Максимальный перепад на интервале от `<x_first>` до `<x_last>`.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимальное значение на $Y_{\max}$ интервале от x_{first} до x_{last} .
- Ищется минимальное значение на $Y_{\min}$ интервале от x_{first} до x_{last} .
- Вычисляется разность $Y_{\max} - Y_{\min}$.

8.3.23 RiseTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]

Длина подъема

Синтаксис:

RiseTime <выражение> <y_min> <y_max> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<y_min> – минимальное значение <выражение>.

<y_max> – максимальное значение <выражение>.

<number> – порядковый номер подъема от <y_min> до <y_max>.

По умолчанию = 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <y_min> и точкой с ординатой <y_max> на <number> подъёме.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение <y_min> на требуемом подъёме (<number> подъёме); определяется её абсцисса $X_{\min}$.
- Ищется значение <y_max> на требуемом подъёме (<number> подъёме); определяется её абсцисса $X_{\max}$.
- Вычисляется разность $X_{\max} - X_{\min}$.

8.3.24 Slope <выражение> <x_fixed>

Наклон

Синтаксис:

Slope <выражение> <x_fixed>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<x_fixed> – точка, в которой вычисляется наклон графика.

Описание:

Возвращает тангенс угла наклона в <x_fixed>.

8.3.25 SlopeX <выражение> <slope> [<number>]**Абсцисса наклона графика****Синтаксис:**

SlopeX <выражение> <slope> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<slope> – значение величины наклона.

<number> – порядковый номер наклона графика со значением равным <slope>. По умолчанию = 1.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой тангенс угла наклона равен <slope> и встречается с порядковым номером <number>.

8.3.26 ValleyX <выражение> [<number>]**Координата локального минимума функции****Синтаксис:**

ValleyX <выражение> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

<number> – порядковый номер локального минимума. По умолчанию = 1.

Описание:

Возвращает абсциссу локального минимума функции, имеющего порядковый номер <number>.

8.3.27 ValleyY <выражение> [<number>]**Значение функции в локальном минимуме****Синтаксис:**

ValleyY <выражение> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<number> – порядковый номер локального минимума. По умолчанию = 1.

Описание:

Возвращает значение функции в локальном минимуме, имеющем порядковый номер <number>.

8.3.28 Width <выражение> <y_fixed> [<number>]**Интервал по горизонтали****Синтаксис:**

Width <выражение> <y_fixed> [<number>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<y_fixed> – значение <выражение>, по которому будет определяться частота.
<number> – порядковый номер измерения. По умолчанию = 1.

Описание:

Расстояние по оси абсцисс между двумя ближайшими точками с ординатой <y_fixed>, встретившейся в <number> раз.

Определяется следующим образом:

- Находятся пары ближайших значений <выражение>, равных <y_fixed>
- Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению <number>.
- Для этой пары находятся соответствующие <y_fixed> точки с абсциссами Xleft и Xright.
- Определяется разность: Xright – Xleft.

8.3.29 XatY <выражение> <y_fixed> [<number>] [<type>]**Абсцисса точки****Синтаксис:**

XatY <выражение> <y_fixed> [<number>] [<type>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.
<y_fixed> – значение <выражение>, по которому будет определяться абсцисса.
<number> – порядковый номер <y_fixed>. По умолчанию = 1.
<type> – тип определения <y_fixed>.

Существуют три типа:

- <number> – любое значение <выражение>, равное <y_fixed>.
- <number> – равенство <выражение> <y_fixed>, выполняемое на подъёме графика.
- <number> – равенство <выражение> <y_fixed>, выполняемое на спуске графика.

Описание:

Возвращает абсциссу точки на графике с ординатой, равной <y_fixed> и встреченной <number> раз на требуемом участке: подъёме функции, спуске или простом пересечении.

Определяется следующим образом:

- Ищутся значения <выражение>, равные <y_fixed>
- Определяется значение, соответствующее порядковому номеру значения <number>, определённого по заданному условию <type>.
- Определяется абсцисса найденной точки: Xlevel.

8.3.30 YatX <выражение> <x_fixed>

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 <выражение> в точке <x_fixed>.

8.4 Панель «Моделирование: Измерения»

Числовые результаты измерений (measure) отображаются в панели «Моделирование: Измерения».

Для отображения панели «Моделирование: Измерения» надо выбрать из главного меню «Графики» → «Измерения».

Панель «Моделирование: Измерения» имеет вид, см. [Рис. 182](#).



Название измерения	Результат измерения
☒ Y0	5.168
☒ peakX4	98n
☒ lowX5	403n

Рис. 182 Пример отображения панели измерений

Список полей панели «Моделирование: Измерения» приведён в [Табл. 51](#).

[Таблица 51](#) Поля панели «Моделирование: Измерения»

Поле	Описание
☒	Включение/Отключение режима пересчитывания измерения при перезапуске симуляции.
Название измерения	Поле, содержащее имя измерения.
Результат измерения	Поле с численным значением измерения.

Вызов контекстного меню на выбранном измерении дает доступ к следующим командам, см. [Рис. 183](#).

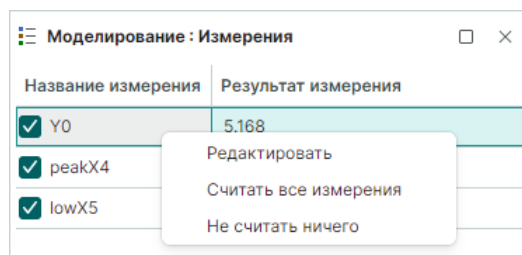


Рис. 183 Доступные действия с измерением из контекстного меню

- «Редактировать» – открытие окна «[Редактировать измерения](#)».

- «Считать все измерения» – включение режима пересчитывания измерения при перезапуске симуляции.
- «Не считать ничего» – отключение режима пересчитывания измерения при перезапуске симуляции.

9 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:

- с помощью [вкладки «Фурье»](#) в окне задания на симуляцию;
- с помощью [окна БПФ \(преобразования Фурье\)](#) в постпроцессной обработке.

Функция преобразований Фурье вычисляется только после завершения расчёта - тогда уже известны все абсциссы и ординаты переменных электрической цепи и к ним может быть применена одна из функций указанных типов. И вот этот результат измерения может быть построен в виде графика.

9.1 Вкладка преобразования Фурье

Вкладка преобразования Фурье, см. [Рис. 184](#), доступна при следующих видах анализа схемы:

- Анализ переходных процессов.
- Расчет периодических режимов.
- Частотный анализ.

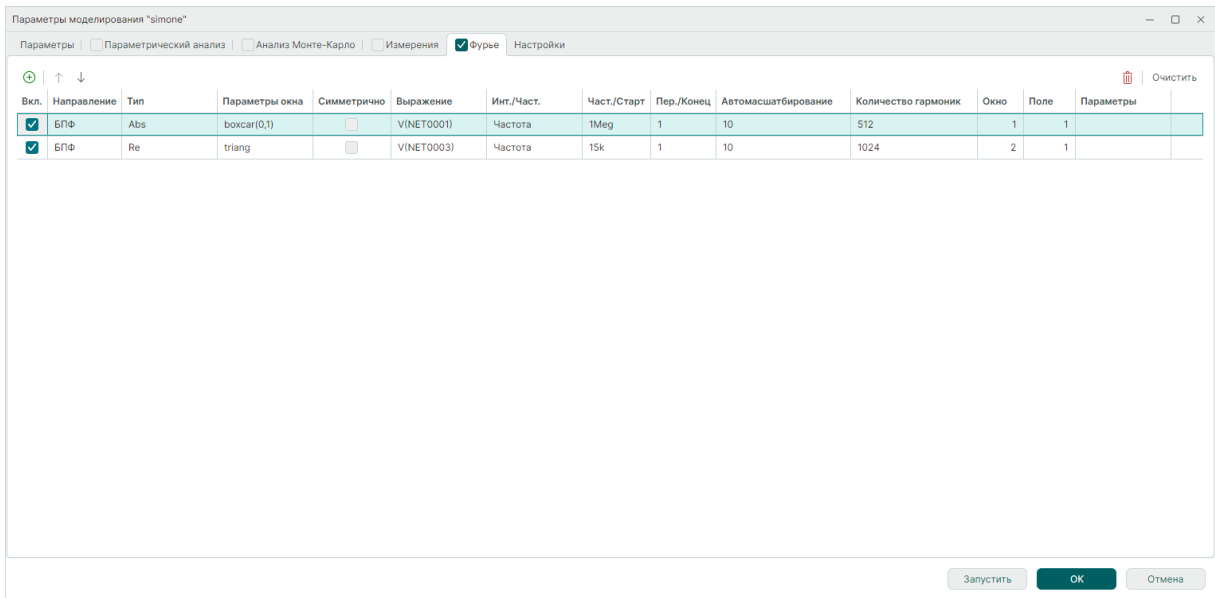


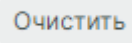
Рис. 184 Пример вкладки «Фурье»

Подробнее описание полей и инструментов вкладки приведено в [Табл. 52](#).

[Таблица 52](#) Вкладка «Фурье»

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Описание полей		
Вкл.	Включение/Отключение расчета преобразования «Фурье» для выбранного выражения.	Вкл.
Направление	Выбор направления преобразования: - БПФ – прямое преобразование Фурье; - ОБПФ – обратное преобразование Фурье.	БПФ ОБПФ – для частотного анализа.
Тип	Выбор 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;	Abs

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	Im – выводить на график мнимую комплексных значений БПФ.	
Параметры окна	Выбор оконной функции , с которой будет произведена свертка спектра сигнала и установка параметров окна.	boxcar(0, 1)
Симметрично	Выбор типа расположения окон.	Выкл.
Выражение	Выражение задается строкой и может быть сконструировано с помощью вспомогательного окна, вызываемого с области ***.	-
Инт./Част.	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.	1Meg
Пер./Конец		1
Автомасштабирование	Количество гармоник автомасштабирования при выводе графика.	10
Количество гармоник	Число точек входных данных преобразования.	1024
Окно	Номер вкладки с координатной плоскостью, в которое будет выведен график.	1
Поле	Номер поля для размещения графика в окне	1
Параметр	Цвет и стиль графика	-
Инструменты		
	Добавление строки для ввода нового выражения.	-
	Перемещение между строками.	-
	Удаление выделенной строки.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	Удаление всех строк.	-



Примечание! Подробное описание [оконных функций](#) и соответствия числовых индексов представлено в разделе [Математические функции](#).

9.2 Окно преобразования Фурье

Окно преобразования Фурье, см. [Рис. 185](#), вызывают:

- из главного меню: «Графики» → «БПФ»;
- из панели инструментов «SimOne Graphics» → «БПФ», инструмент 

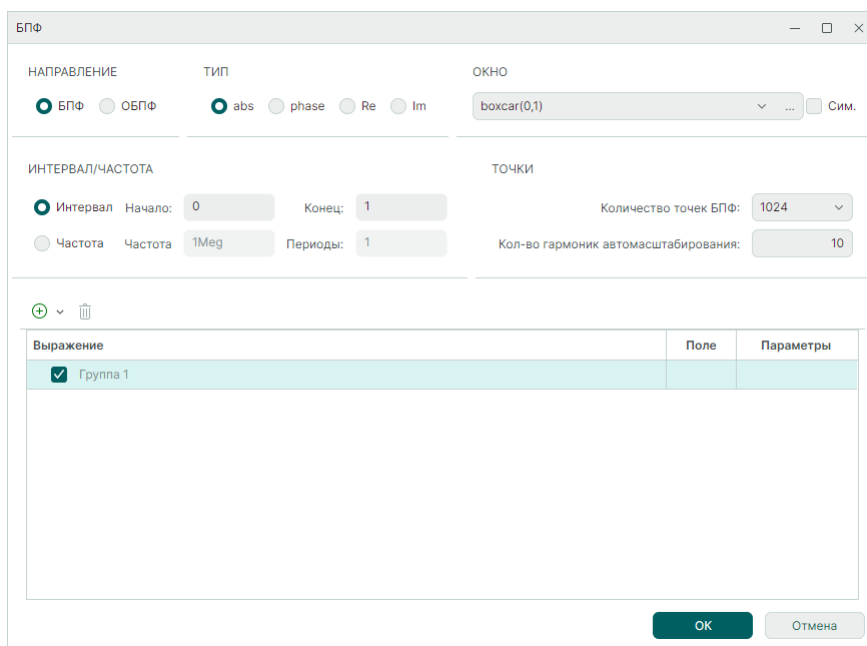


Рис. 185 Окно преобразования Фурье (БПФ)

Подробнее описание полей и инструментов в окне «БПФ» приведено в [Табл. 53](#).

[Таблица 53](#) Окно «БПФ»

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Описание полей		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Направление	Выбор типа преобразования, которое будет применено к введенным выражениям: - БПФ – прямое быстрое преобразование Фурье; - ОБПФ – обратное преобразование Фурье.	БПФ ОБПФ – для частотного анализа.
Тип	Выбор 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.	Abs
Окно	Выбор оконной функции , с которой будет произведена свертка спектра сигнала и установка параметров окна.	boxcar(0, 1)
Симметрично	Выбор типа расположения окон.	Выкл.
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.	Интервал
Начало/Конец	Задается начала и конец диапазона интервала, при выборе «Интервал».	0/1
Частота/Периоды	Задается частота и период, при выборе «Частота».	1Meg/1
Количество точек	Задается число точек, используемых в алгоритме БПФ.	1024

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Количество гармоник автомасштабирования	Задается число гармоник, которые будут выведены в видимую область графика. Остальные гармоники можно будет увидеть на графике, используя его масштабирование.	10
Выражение	Выражение задается строкой и может быть сконструировано с помощью окна «Выражения», вызываемого с области ***.	-
Поле	Номер поля размещения графика.	1
Параметр	Толщина и цвет графика.	-
Инструменты		
	Добавление строки для ввода новой группы или нового выражения.	-
	Удаление выделенной строки.	-



Примечание! Для изменения толщины и цвета графика необходимо нажать на область внутри поля «Параметры» в соответствующей строчке и в выпадающем окне выбрать цвет и толщину линии графика.

Фундаментальная частота преобразования будет считаться равной обратной величине интервала.

Полный список доступных математических функций с их описанием приведён в разделе [Математические функции](#).



Примечание! Созданные в постпроцессной 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.

10 Выражения

10.1 Общие сведения

Значения математических функций измерения можно использовать как выражения, см. [Рис. 186](#).



Рис. 186 Окно «Выражение»

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 и сигналов;
- для построения графиков выходных переменных схемы.

Математические функции измерения вычисляются только после завершения расчёта - тогда уже известны все абсциссы и ординаты переменных электрической цепи и к ним может быть применена одна из функций указанных типов. И вот этот результат измерения может быть построен в виде графика.

10.2 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. [Табл. 54](#). Пример: 50m=50E-3=0.005, 1.2K=1k2=1.2E3=1200.

Таблица 54 Буквенные обозначения приставок

f(F)	p(P)	n(N)	u(U)	m(M)	K(k)	MEG (meg)	G(g)	T(t)
фем то	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 $\pi = 3,14159265358979323846$;
- E – число $e = 2,718281828459045$;
- I – мнимая единица $\sqrt{-1}$;
- TRUE – логическая единица;
- FALSE – логический ноль.

10.3 Переменные

В выражениях могут быть использованные следующие переменные:

- $V(<имя узла1>)$ – 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;
- [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.



Примечание! Расчётные параметры моделей компонентов могут использоваться только в выражениях для построения графиков.

10.4 Расчётные параметры моделей компонентов

Параметры моделей компонентов, доступные для использования в качестве переменных в Выражениях, и их обозначения приведены в [Табл. 55](#).

[Таблица 55](#) Обозначения параметров моделей компонентов

Компонент	Напряжения/ Потенциалы	Ток	Ёмкости/ Индуктивности	Заряд/ Потоко сцепле ние	Мощно сть	Энерги я	Другое
Резистор R	V	I	-	-	PD	ED	-
Ёмкость C	V	I	C	Q	PS	ES	-
Индуктивнос ть L	V	I	L	X	PS	ES	-
Длинная линия T	V1,V2	I1, I2	-	-	-	-	-
Ключи S,W	V	I	-	-	PD	ED	R - сопротивлени е ключа
Независимы е источники V,I	V	I	-	-	PG	EG	-
Управляемы е и функционал ьные источники	V	I	-	-	-	-	H - передаточная функция Лапласа/ импульсная характеристи ка

Компонент	Напряжения/ Потенциалы	Ток	Ёмкости/ Индуктивности	Заряд/ Потоко- сцепле- ние	Мощно- сть	Энерги- я	Другое
Диод D	V	I	C	Q	PD,PS	ED,ES	-
Биполярный транзистор Q	VB,VC, VE, VS,VBC , VBE, VBS,VC E, VSE,VS C	IB, IC, IE, IS	CBC, CBE, CSC	QBC,QB E, QSC	PD,PS	ED,ES	-
Полевой транзистор J	VG,VD, VS, VGD,VG S, VDS	IG, ID, IS	CGD, CGS	QGD,Q GS	PD,PS	ED,ES	-
МОП- транзистор M	VB,VG, VD, VS,VGB , VGD,VG S, VDS,VB D, VBS	IG, ID, IS	CGB,CG D, CGS,CBD , CBS	QGB,Q GD, QGS,QB D, QBS	PD,PS	ED,ES	-

Для обращения к расчетному параметру компонента необходимо указать его обозначение согласно таблице 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.

10.5 Символьные переменные

Символьные переменные схемы – это глобальные параметры, определённые с помощью команд .PARAM.

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

10.6 Переменные состояния схемы

Переменные состояния схемы – это напряжения и токи схемы, с помощью которых определяется состояние схемы в любой заданный момент времени.

В модуле 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 $I(<имя источника напряжения>)$.

10.7 Математические операторы и функции

Модуль SimOne реализует вычисление большого спектра разных математических операций и функций. Их описание приведено в разделах ниже.

10.7.1 Арифметические операторы



Примечание! Операнды, названные **expr** или **expression**, могут являться выражениями, в то время как операнды с другими именами не могут быть выражениями и должны представлять собой числовые константы.

- Оператор: +

Название: Сложение

Операнды: $expr1$, $expr2$ — комплексное, где $expr1$, $expr2$ — выражение

Пример: $V(net1) + V(net2)$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: -

Название: Вычитание

Операнды: $expr1$, $expr2$ — комплексное, где $expr1$, $expr2$ — выражение

Пример: $V(net1) - V(net2)$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: %

Название: Остаток от деления

Операнды: expr1 — действительное, expr2 — действительное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) - V(\text{net2})$, комплексное

Синоним: **mod**

Раздел: Арифметические

- Оператор: *

Название: Умножение

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) * V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: **

Название: Возведение в степень

Операнды: expr1 — комплексное, expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) ** V(\text{net2})$, комплексное

Синонимы: **^**, **pow**

Раздел: Арифметические

- Оператор: ^

Название: Возведение в степень

Операнды: expr1 — комплексное, expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) ^ V(\text{net2})$, комплексное

Синонимы: ******, **pow**

Раздел: Арифметические

- Оператор: /

Название: Деление

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) / V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: \

Название: Деление нацело

Операнды: expr1 — действительное, expr2 — действительное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \setminus V(\text{net2})$, целое

Синоним: **div**

Раздел: Арифметические

10.7.2 Булевы операторы

- Оператор: !

Название: НЕ (отрицание)

Операнд: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $! V(\text{net1})$, логическое

Синоним: $\sim$

Раздел: Булевы

- Оператор: !=

Название: Проверка неравенства

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \neq V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **&**

Название: И (конъюнкция)

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \& V(\text{net2})$, логическое

Синоним: **and**

Раздел: Булевы

- Оператор: **|**

Название: ИЛИ (дизъюнкция)

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) | V(\text{net2})$, логическое

Синоним: **or**

Раздел: Булевы

- Оператор: **~**

Название: НЕ (отрицание)

Операнд: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\sim V(\text{net1})$, логическое

Синоним: **!**

Раздел: Булевы

- Оператор: **<**

Название: Меньше

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) < V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **<=**

Название: Меньше или равно

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \leq V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **==**

Название: Проверка равенства

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) == V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **>**

Название: Больше

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) > V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **>=**

Название: Больше или равно

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \geq V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **and**

Название: И (конъюнкция)

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \text{ and } V(\text{net2})$, логическое

Синоним: **&**

Раздел: Булевы

- Оператор: **nand**

Название: И-НЕ

Операнды: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1*, *expr2* — выражение

Пример: *V(net1) nand V(net2)*, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **nor**

Название: ИЛИ-НЕ

Операнды: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1*, *expr2* — выражение

Пример: *V(net1) nor V(net2)*, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **or**

Название: ИЛИ (дизъюнкция)

Операнды: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1*, *expr2* — выражение

Пример: *V(net1) or V(net2)*, логическое

Синоним: |

Раздел: Булевы

- Оператор: **xor**

Название: Исключающее ИЛИ (проверка неравенства)

Операнды: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1*, *expr2* — выражение

Пример: *V(net1) xor V(net2)*, логическое

Раздел: Булевы

10.7.3 Арифметические функции



Примечание! Параметры, названные **expr** или **expression**, могут являться выражениями, в то время как параметры с другими именами не могут быть выражениями и должны представлять собой числовые константы.

10.7.3.1 abs

Функция: **abs(expr)**

Название: Модуль

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: abs(V(out)), действительное

Синонимы: **m**, **mag**

Раздел: Арифметические

10.7.3.2 ceil

Функция: **ceil(expr)**

Название: Округление в большую сторону

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: ceil(V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.3 fact

Функция: **fact(expr)**

Название: Факториал

Аргумент: expr — неотрицательное целое, где expr — выражение

Пример: fact(3), натуральное

Раздел: Арифметические

10.7.3.4 floor

Функция: **floor(expr)**

Название: Округление в меньшую сторону

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: floor(V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.5 int

Функция: **int(expr)**

Название: Сокращение до целого

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: int(V(out)), комплексное

Синоним: **trunc**

Раздел: Арифметические

10.7.3.6 JN



Примечание! Параметры в квадратных скобках не являются обязательными, если значение такого параметра не определено пользователем при вызове функции, то используется значение по умолчанию.

Функция: **JN([n,] expr)**

Название: Функция Бесселя 1-го рода порядка n

Аргументы: n — целое, expr — комплексное, где n - порядок функции Бесселя, expr - комплексный аргумент функции Бесселя

Значение аргументов по умолчанию: n=0

Пример: JN(V(out)), JN(2, V(out)), JN(-1, V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.7 nint

Функция: **nint(expr)**

Название: Математическое округление

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: nint(V(out)), комплексное

Синоним: **round**

Раздел: Арифметические

10.7.3.8 sqrt

Функция: **sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: sqrt(V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.9 YN

Функция: **YN([n,] expr)**

Название: Функция Бесселя 2-го рода порядка n

Аргументы: n — целое, expr — комплексное, где n - порядок функции Бесселя, expr - комплексный аргумент функции Бесселя

Значение аргументов по умолчанию: $n=0$

Пример: $YN(V(out))$, $YN(2, V(out))$, $YN(-1, V(out))$, комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.4 Булевы функции

10.7.4.1 buf

Функция: **buf(expr)**

Название: Повторитель по уровню 0.5

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $buf(V(net1))$, логическое

Раздел: Булевы

10.7.4.2 inv

Функция: **inv(expr)**

Название: Инвертор по уровню 0.5

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $inv(V(net1))$, логическое

Раздел: Булевы

10.7.5 Гиперболические функции

10.7.5.1 Acosh

Функция: **Acosh(expr)**

Название: Гиперболический ареакосинус

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $acosh(V(net1))$, комплексное

Синонимы: **arcosh**, **arch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.2 Acoth

Функция: **Acoth(expr)**

Название: Гиперболический ареакотангенс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $acoth(V(net1))$, комплексное

Синонимы: **arcoth**, **arcth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.3 Acsch

Функция: **Acsch(expr)**

Название: Гиперболический ареакосеканс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `acsch(V(net1))`, комплексное

Синоним: **arcsch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.4 Asech

Функция: **Asech(expr)**

Название: Гиперболический ареасеканс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `asech(V(net1))`, комплексное

Синоним: **arsech**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.5 Asinh

Функция: **Asinh(expr)**

Название: Гиперболический ареасинус

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `asinh(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arsinh**, **arsh**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.6 Atanh

Функция: **Atanh(expr)**

Название: Гиперболический ареатангенс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `atanh(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **artanh**, **arth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.7 Cosh

Функция: **Cosh(expr)**

Название: Гиперболический косинус

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $\cosh(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **ch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.8 Coth

Функция: **Coth(expr)**

Название: Гиперболический котангенс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $\coth(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **cth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.9 Csch

Функция: **Csch(expr)**

Название: Гиперболический косеканс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $\operatorname{csch}(V(\text{net1}))$, комплексное

Раздел: Гиперболические

10.7.5.10 Sech

Функция: **Sech(expr)**

Название: Гиперболический секанс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: $\operatorname{sech}(V(\text{net1}))$, комплексное

Раздел: Гиперболические

10.7.5.11 Sinh

Функция: **Sinh(expr)**

Название: Гиперболический синус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: sinh(V(net1)), комплексное

Синоним: **sh**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.12 Tanh

Функция: **Tanh(expr)**

Название: Гиперболический тангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: tanh(V(net1)), комплексное

Синоним: **th**

Раздел: Гиперболические

10.7.6 Измерения



Примечание! Функции измерения графиков вычисляются по завершении расчёта. Поэтому выражения, содержащие функции измерений, будут рассчитаны также по завершении расчёта, и соответствующий график выражения будет представлять собой константу.

10.7.6.1 Bandwidth

Функция: **Bandwidth(expression [, level])**

Название: Ширина полосы пропускания по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение (АЧХ), level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: Bandwidth(db(V(out)/V(input)), 3.1), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.2 CenterFrequency

Функция: **CenterFrequency(expression [, level])**

Название: Центральная частота сигнала

Аргументы: *expression* — действительное, *level* — действительное, где *expression* — выражение (АЧХ), *level* — уровень

Значение аргументов по умолчанию: *level* = 3

Пример: `CenterFrequency(db(V(out)/V(input)), 6)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.3 CutOff_Highpass

Функция: **CutOff_Highpass(*expression* [, *level*])**

Название: Верхняя граничная частота полосы пропускания

Аргументы: *expression* — действительное, *level* — действительное, где *expression* — выражение (АЧХ), *level* — уровень

Значение аргументов по умолчанию: *level* = 3

Пример: `CutOff_Heighpass(db(V(out)/V(input)), 6)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.4 Cutoff_Lowpass

Функция: **Cutoff_Lowpass(*expression* [, *level*])**

Название: Нижняя граничная частота полосы пропускания

Аргументы: *expression* — действительное, *level* — действительное, где *expression* — выражение (АЧХ), *level* — уровень

Значение аргументов по умолчанию: *level* = 3

Пример: `CutOff_Lowpass(db(V(out)/V(input)), 6)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.5 DeltaX

Функция: **DeltaX(*expression*, *y_first*, *y_last*, *number*)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами

Аргументы: *expression* — действительное, *y_first* — действительное, *y_second* — действительное, *number* — неотрицательное целое, где *expression* — выражение, *y_first* — ордината первой точки, *y_last* — ордината второй точки, *number* — номер пересечения выражением указанных ординат (0 — последняя)

Значение аргументов по умолчанию: *number* = 1

Пример: `DeltaX(V(out), 1.3, 10.4 , 1)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.6 DeltaY

Функция: **DeltaY(expression, x_first, x_second)**

Название: Разность ординат для точек с указанными абсциссами

Аргументы: expression — действительное, y_first — действительное, y_second — действительное, где expression — выражение, x_first — абсцисса первой точки, x_second — абсцисса второй точки

Пример: DeltaY(V(in), 10m, 24m), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.7 FallTime

Функция: **FallTime(expression, y_min, y_max, number)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами на спаде сигнала

Аргументы: expression — действительное, y_min — действительное, y_max — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, y_min — ордината точки минимума, y_max — ордината точки максимума, number — номер спада сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: FallTime(V(out), 1.5, 3.7, 10), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.8 FirstY

Функция: **FirstY(expression)**

Название: Ордината первой точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: FirstY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.9 Frequency

Функция: **Frequency(expression, level, number)**

Название: Частота сигнала по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень измерения, number — номер периода сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Frequency(V(out), 0.5, 2), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.10 Inflection

Функция: **Inflection(expression, number)**

Название: Абсцисса заданной точки перегиба

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер точки перегиба (0 — последняя)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Inflection(V(in), 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.11 LastY

Функция: **LastY(expression)**

Название: Ордината последней точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: LastY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.12 MaxX

Функция: **MaxX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.13 MaxY

Функция: **MaxY(expression)**

Название: Ордината точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.14 MinX

Функция: **MinX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.15 MinY

Функция: **MinY(expression)**

Название: Ордината точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.16 NX

Функция: **NX(expression, number)**

Название: Абсцисса указанной вычисленной точки

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, pointNum — номер вычисленной точки

Пример: NX(db(V(out)/V(in)), 52), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.17 NY

Функция: **NY(expression, number)**

Название: Ордината указанной вычисленной точки

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, pointNum — номер вычисленной точки

Пример: NY(db(V(out)/V(in)), 18), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.18 PeakX

Функция: **PeakX(expression, number)**

Название: Абсцисса локального максимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального максимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: PeakX(V(out) , 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.19 PeakY

Функция: **PeakY(expression, number)**

Название: Ордината локального максимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального максимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: PeakY(V(out), 5), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.20 Period

Функция: **Period(expression, level, number)**

Название: Период сигнала по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень измерения, number — номер периода сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Period(V(out), 0.3 , 10), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.21 Q_Bandpass

Функция: **Q_Bandpass(expression [,level])**

Название: Добротность в полосе пропускания по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение, level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: Q_Bandpass(db(V(out)/V(in)) ,6), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.22 RangeY

Функция: **RangeY(expression, x_first, x_last)**

Название: Диапазон изменения сигнала на заданном отрезке

Аргументы: expression — действительное, x_first — действительное, x_last — действительное, где expression — выражение, x_first — абсцисса первой точки отрезка, x_last — абсцисса последней точки отрезка

Пример: RangeY(V(out), 1.3e-3, 5e-3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.23 RiseTime

Функция: **RiseTime(expression, y_min, y_max, number)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами на подъёме сигнала

Аргументы: expression — действительное, y_min — действительное, y_max — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, y_min — ордината точки минимума, y_max — ордината точки максимума, number — номер подъёма сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: RiseTime(V(out), 1.5, 3.7, 10), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.24 Slope

Функция: **Slope(expression, x_fixed)**

Название: Наклон сигнала в заданной точке

Аргументы: expression — действительное, x_fixed — действительное, где expression — выражение, x_fixed — абсцисса точки измерения

Пример: Slope(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.25 SlopeX

Функция: **SlopeX(expression, slope, number)**

Название: Абсцисса точки с заданным наклоном

Аргументы: expression — действительное, slope — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, slope — коэффициент наклона (производная), number — номер подходящего наклона (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: SlopeX(V(Vout), 1e5, 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.26 ValleyX

Функция: **ValleyX(expression, number)**

Название: Абсцисса локального минимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального минимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: ValleyX(V(out), 4), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.27 ValleyY

Функция: **ValleyY(expression, number)**

Название: Ордината локального минимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального минимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: ValleyY(V(out), 5), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.28 Width

Функция: **Width(expression, level, number)**

Название: Ширина сигнала по указанному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень, number — номер отрезка (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Width(V(out), 0.5, 4), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.29 XatY

Функция: **XatY(expression, level, number [, type])**

Название: Абсцисса точки с указанной ординатой

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, доп. type — действительное (по умолчанию 0), где expression — выражение, level — уровень, number — номер пресечения

выражением заданного уровня (0 — последний), type — тип пересечения (-1 — спад, 1 — нарастание, 0 — любой)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1, type = 0

Пример: XatY(V(out), 3, 4, -1), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.30 YatX

Функция: **YatX(expression, x_fixed)**

Название: Ордината точки с указанной абсциссой

Аргументы: expression — действительное, x_fixed — действительное, где expression — выражение, x_fixed — абсцисса точки измерения

Пример: YatX(V(out), 5e-2), действительное

Раздел: Измерения

10.7.7 Интегральные функции

10.7.7.1 Avg

Функция: **Avg(expr [, x_start])**

Название: Скользящее среднее по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=0

Пример: Avg(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.2 DD

Функция: **DD(expr [, x_start])**

Название: Численная производная по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=левая граница диапазона

Пример: DD(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.3 DDT

Функция: **DDT(expr)**

Название: Численная производная по времени

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: DDT(V(out)), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.4 DDX

Функция: **DDX(expr(x), X)**

Название: Вычисленная символьная производная по переменной состояния

Аргументы: expr(x) — строка, X — строка, где expr(x) — выражение от переменных состояния, X — одна из переменных состояния

Пример: DDX(time*V(1)^2, V(1)), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.5 IDT

Функция: **IDT(expr [, base [, condition]])**

Название: Численный интеграл по времени

Аргументы: expr — действительное, base — действительное, condition — логическое, где expr — выражение, base — начальное значение, condition — логическое выражение или неравенство, интегрирование выполняется только при значении false

Значение аргументов по умолчанию: base = 0, condition = FALSE

Пример: IDT(V(out), 3, V(1) > 300m), действительное

Синоним: **SDT**

Раздел: Интегральные

10.7.7.6 IDTMod

Функция: **IDTMod(expr [, base [, module [, offset]]])**

Название: Численный интеграл с циклическим результатом

Аргументы: expr — действительное, base — действительное, module — действительное, offset — действительное, где expr — выражение, base — начальное значение, module — модуль результата, при достижении которого результат принимает начальное значение, offset — смещение результата

Значение аргументов по умолчанию: base = 0, module = ∞ , offset = 0

Пример: IDTMod(V(out), 5, 10, 1), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.7 RMS

Функция: **RMS(expr [, x_start])**

Название: Скользящее среднее квадратическое по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=0

Пример: RMS(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.8 RunMax

Функция: **RunMax(expr [, x_start])**

Название: Скользящий максимум по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=0

Пример: RunMax(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.9 RunMin

Функция: **RunMin(expr [, x_start])**

Название: Скользящий минимум по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=0

Пример: RunMin(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.10 SD

Функция: **SD(expr [, x_start])**

Название: Численный интеграл по независимой переменной

Аргументы: `expr` — действительное, `x_start` — действительное, где `expr` — выражение, `x_start` — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Пример: `SD(V(out), 1e-3)`, действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.11 SDT

Функция: **SDT**(`expr` [, `base` [, `condition`]])

Название: Численный интеграл по времени

Аргументы: `expr` — действительное, `base` — действительное, `condition` — логическое, где `expr` — выражение, `base` — начальное значение, `condition` — логическое выражение или неравенство, интегрирование выполняется только при значении `false`

Значение аргументов по умолчанию: `base = 0`, `condition = FALSE`

Пример: `SDT(V(out), 3, V(1)>300m)`, действительное

Синоним: **IDT**

Раздел: Интегральные

10.7.8 Комплексные функции

10.7.8.1 Abs

Функция: **Abs**(`expr`)

Название: Модуль или магнитуда

Аргументы: `expr` — комплексное, где `expr` — выражение

Пример: `Abs(V(out))`, действительное

Синонимы: **m**, **mag**

Раздел: Комплексные

10.7.8.2 GD

Функция: **GD**(`expr`)

Название: Групповая задержка

Аргументы: `expr` — комплексное, где `expr` — выражение

Пример: `GD(V(out))`, действительное

Раздел: Комплексные

10.7.8.3 Im

Функция: **Im(expr)**

Название: Мнимая часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Im(V(out)), действительное

Синонимы: **img, imag**

Раздел: Комплексные

10.7.8.4 Mag

Функция: **Mag(expr)**

Название: Магнитуда или модуль

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Mag(V(out)), действительное

Синонимы: **m, abs**

Раздел: Комплексные

10.7.8.5 Re

Функция: **Re(expr)**

Название: Действительная часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Re(V(out)), действительное

Синоним: **real**

Раздел: Комплексные

10.7.8.6 Ph

Функция: **Ph(expr)**

Название: Фаза

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Ph(V(out)), действительное

Синонимы: **phase, p, arg**

Раздел: Комплексные

10.7.9 Логарифмы и экспоненты

10.7.9.1 Db

Функция: **Db(expr [, base])**

Название: Децибелы

Аргументы: *expr* — комплексное, *base* — действительное, где *expr* — выражение (обычно используют отношение измеряемой величины к базовому уровню), *base* — базовый уровень, относительно которого вычисляются децибелы (обычно используют, если выражение не является отношением)

Значение аргументов по умолчанию: *base* = 1

Пример: Db(V(out)*I(R1), 1e-3), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.2 Exp

Функция: **Exp(expr)**

Название: Экспонента

Аргументы: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: Exp(V(out)), комплексное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.3 ExpL

Функция: **ExpL(expr, x_linear)**

Название: Экспонента, переходящая в линейную функцию

Аргументы: *expr*, *x_linear* — комплексное, где *expr* — выражение, *x_linear* — абсцисса точки, начиная с которой функция становится линейной

Пример: ExpL(V(out), 10), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.4 Lg

Функция: **Lg(expr)**

Название: Логарифм по основанию 10

Аргументы: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: Lg(V(out)), комплексное

Синоним: **log10**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.5 LimExp

Функция: **LimExp(expr)**

Название: Экспонента с ограничением аргумента на приращение

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение,

Примечание: функция запоминает абсциссу x_0 предыдущей точки и возвращает значение для текущей точки $\exp(\min(x, 2 \cdot x_0))$

Пример: LimExp(V(out)), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.6 Ln

Функция: **Ln(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Ln(V(out)), комплексное

Синоним: **log**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.7 Log

Функция: **Log(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log(V(out)), комплексное

Синоним: **ln**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.8 Log10

Функция: **Log10(expr)**

Название: Логарифм по основанию 10

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log10(V(out)), комплексное

Синоним: **lg**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.9 Pow

Функция: **Pow(expr1, expr2)**

Название: Возведение в степень

Аргументы: expr1, expr2 — комплексное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Pow(V(out), 2), комплексное

Синонимы: ^, **

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.10 Pwr

Функция: **Pwr(expr1, expr2)**

Название: Возведение модуля основания в степень

Аргументы: expr1, expr2 — действительное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Pwr(V(out), 2), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.11 PwrS

Функция: **PwrS(expr1, expr2)**

Название: Возведение в степень с сохранением знака

Аргументы: expr1, expr2 — действительное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Pwrs(V(out), 2), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.12 Sqrt

Функция: **Sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Sqrt(V(out)), комплексное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.10 Остальные функции

10.7.10.1 AbsDelay

Функция: **AbsDelay(expr, t, t_max)**

Название: Ограниченное запаздывание по времени

Аргументы: *expr*, *t*, *t_max* — действительное, где *expr* — выражение, *t* — задержка, *t_max* — максимальная задержка

Пример: `AbsDelay(V(out), V(sin), 10)`

Раздел: Остальные

10.7.10.2 Delay

Функция: **Delay(*expr*, *t*)**

Название: Запаздывающее на время *t* значение

Аргументы: *expr*, *t* — действительное, где *expr* — выражение, *t* — запаздывание

Пример: `Delay(V(out), 1e-3)`, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.3 Hypot

Функция: **Hypot(*expr1*, *expr2*)**

Название: Длина гипотенузы (корень из суммы квадратов)

Аргументы: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1* — выражение (первый катет), *expr2* — выражение (второй катет)

Пример: `Hypot(2, 3)`, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.4 If

Функция: **If(*condition*, *expr1*, *expr2*)**

Название: Выражение по условию

Аргументы: *condition* — логическое, *expr1*, *expr2* — комплексное, где *condition* — логическое выражение, *expr1* — выражение для истинного результата логического выражения, *expr2* — выражение для ложного результата логического выражения

Пример: `If(V(out)>3.3, V(n1), V(n2))`, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.5 Impulse

Функция: **Impulse(*x*)**

Название: Импульс с заданной амплитудой и единичной площадью

Аргументы: *x* — действительное, где *x* — амплитуда импульса

Пример: `Impulse(3)`, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.6 Limit

Функция: **Limit(expr, x1, x2)**

Название: Ограничение значения выражения

Аргументы: expr — комплексное, x1, x2 — комплексное, где expr — выражение, x1 — нижний предел действительной и мнимой частей, x2 — верхний предел действительной и мнимой частей

Пример: Limit(V(out), -2, 2), комплексное

Раздел: Остальные



Примечание! Границы могут быть заданы и в другом порядке, и даже в смешанном виде действительные и мнимые части, так как они определяются как $[\min(\text{Re}(x1), \text{Re}(x2)), \max(\text{Re}(x1), \text{Re}(x2))]$ — действительная, и $[\min(\text{Im}(x1), \text{Im}(x2)), \max(\text{Im}(x1), \text{Im}(x2))]$ — мнимая.

Например, при Limit(expr, 5 + i, 8 - i) границы будут $[5, 8] + i*[-1, 1]$

10.7.10.7 Max

Функция: **Max(expr1, expr2)**

Название: Максимум мнимых и действительных частей

Аргументы: expr1, expr2 — комплексное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Max(V(out1), V(out2)), комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.8 Min

Функция: **Min(expr1, expr2)**

Название: Минимум мнимых и действительных частей

Аргументы: expr1, expr2 — комплексное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Min(V(out1), V(out2)), комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.9 Poly

Функция: **Poly(dimension) list factors**

Название: Полином в формате SPICE

Аргументы: dimension — натуральное, list — строковые выражения через запятую, factors — действительные числа через запятую, где dimension — размерность полинома, list — перечень переменных полинома (число)

переменных должно быть равно размерности), factors — коэффициенты полинома

Пример: Poly(2) V(net1), V(net2) 0, 1.2, 1.5, 0, 3.4, 5.8, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.10 PWL

Функция: **PWL(expr, x1, y1, ..., xn, yn)**

Название: Кусочно-линейная функция с интерполяцией промежуточных значений

Аргументы: expr, x1, y1, xn, yn — действительное, где expr — выражение, определяющее абсциссу точки, в которой вычисляется функция, x1 — абсцисса первой точки, y1 — ордината первой точки, xn — абсцисса последней точки, yn — ордината последней точки

Пример: PWL(V(out), 0, 1, 2, 4, 3, 10)

Синоним: **table**

Раздел: Остальные

10.7.10.11 Schedule

Функция: **Schedule(x1, y1, ..., xn, yn)**

Название: Кусочно-постоянная функция

Аргументы: x1, y1, xn, yn — действительное, где x1 — абсцисса первой точки, y1 — ордината первой точки, xn — абсцисса последней точки, yn — ордината последней точки

Пример: Schedule(0, 1, 2, 4, 3, 10)

Раздел: Остальные

10.7.10.12 Sgn

Функция: **Sgn(expr)**

Название: Сигнум

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: Sgn(V(out)), действительное

Синоним: **signum**

Раздел: Остальные

10.7.10.13 Slew

Функция: **Slew(expr, rise, fall)**

Название: Ограничение наклона выражения

Аргументы: expr — действительное, rise — неотрицательное, fall — неположительное, где expr — выражение, rise — предельный наклон возрастания (передний фронт), fall — предельный наклон убывания (задний фронт)

Пример: Slew(V(out), 10, 5), действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.14 Stp

Функция: **Stp(expr)**

Название: Единичная ступенька

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: Stp(V(out)), действительное

Синоним: **u**

Раздел: Остальные

10.7.10.15 Table

Функция: **Table(expr, x1, y1, ... xn, yn)**

Название: Кусочно-линейная функция с интерполяцией промежуточных значений

Аргументы: expr, x1, y1, xn, yn — действительное, где expr — выражение, определяющее абсциссу точки, в которой вычисляется функция, x1 — абсцисса первой точки, y1 — ордината первой точки, xn — абсцисса последней точки, yn — ордината последней точки

Пример: Table(V(out), -10, 0, 10, 1), действительное

Синоним: **pwl**

Раздел: Остальные

10.7.10.16 U

Функция: **U(expr)**

Название: Единичная ступенька (функция Хевисайда)

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: U(V(out)), действительное

Синоним: **stp**

Раздел: Остальные

10.7.10.17 URamp

Функция: **URamp(expr)**

Название: Положительная часть выражения

Аргументы: **expr** — действительное, где **expr** — выражение

Пример: URamp(V(out), 5), действительное

Раздел: Остальные

10.7.11 Случайные функции

10.7.11.1 AGaussRnd

Функция: **AGaussRnd(mean, sigma_nom, sigma_den)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: **mean** — действительное, **sigma_nom** — действительное, **sigma_den** — действительное, не ноль, где **mean** — среднее, **sigma_nom** — числитель стандартного отклонения, **sigma_den** — знаменатель стандартного отклонения

Пример: AGaussRnd(10, 2, 3), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.2 AUnifRnd

Функция: **AUnifRnd(mean, radius)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: **mean** — действительное, **radius** — действительное, где **mean** — математическое ожидание, **radius** — радиус диапазона

Пример: AUnifRnd(10, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.3 BimodRnd

Функция: **BimodRnd(mean1, mean2, sigma1, sigma2)**

Название: Бимодально распределённая случайная величина

Аргументы: **mean1**, **mean2**, **sigma1**, **sigma2** — действительное, где **mean1** — первое математическое ожидание, **mean2** — второе математическое ожидание, **sigma1** — первое стандартное отклонение, **sigma2** — второе стандартное отклонение

Пример: BimodRnd(-10, 10, 5, 5), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.4 BinomRnd

Функция: **BinomRnd(n, p)**

Название: Биноминально распределённая дискретная случайная величина

Аргументы: n — натуральное, p — действительное, где n — число испытаний, p — вероятность успеха одного испытания

Пример: BinomRnd(100, 0.5), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.5 DbExpRnd

Функция: **DbExpRnd(mean, base)**

Название: Случайная величина с двойным экспоненциальным распределением

Аргументы: $mean$ — действительное, $base$ — действительное, где $mean$ — математическое ожидание, $base$ — базис стандартного отклонения

Пример: DbExpRnd(1, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.6 ExpRnd

Функция: **ExpRnd(rate)**

Название: Экспоненциально распределённая случайная величина

Аргументы: $rate$ — действительное, не ноль, где $rate$ — интенсивность

Пример: ExpRnd(1), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.7 GammaRnd

Функция: **GammaRnd(k, theta)**

Название: Случайная величина с гамма-распределением

Аргументы: k , $theta$ — действительное, где k — параметр формы, $theta$ — масштабный параметр

Пример: GammaRnd(3.0, 2.0), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.8 GaussRnd

Функция: **GaussRnd(mean, sigma_nom_factor, sigma_den)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: mean — действительное, sigma_nom_factor — действительное, sigma_den — действительное, не ноль, где mean — среднее, sigma_nom_factor — отношение числителя стандартного отклонения к среднему, sigma_den — знаменатель стандартного отклонения

Пример: GaussRnd(5, 0.4, 3), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.9 NormalRnd

Функция: **NormalRnd(mean, sigma)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: mean, sigma — действительное, где mean — математическое ожидание, sigma — стандартное отклонение

Пример: NormalRnd(2.5, 1.1), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.10 PoissRnd

Функция: **PoissRnd(mean)**

Название: Распределённая по Пуассону случайная величина

Аргументы: mean — действительное, где mean — математическое ожидание

Пример: PoissRnd(2.5), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.11 Rnd

Функция: **Rnd()**

Название: Равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: Rnd(), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.12 Rndc

Функция: **Rndc()**

Название: Однократно вычисляемая равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: Rndc(), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.13 UnifRnd

Функция: **UnifRnd(mean, radius_factor)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: mean, radius_factor — действительное, где mean — середина диапазона, radius_factor — отношение радиуса диапазона к его середине

Пример: UnifRnd(1, 1), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.14 URnd

Функция: **URnd(a, b)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: a, b — действительное, где a — первая граница диапазона, b — вторая граница диапазона

Пример: URnd(1, 10), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.15 WeibRnd

Функция: **WeibRnd(k, lambda)**

Название: Распределённая по Вейбуллу случайная величина

Аргументы: k, lambda — действительное, где k — параметр формы, lambda — масштабный параметр

Пример: WeibRnd(3, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.12 Тригонометрические функции

10.7.12.1 Acos

Функция: **Acos(expr)**

Название: Арккосинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acos(V(out)), комплексное

Синоним: **arccos**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.2 Acot

Функция: **Acot(expr)**

Название: Арккотангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acot(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccot, arcctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.3 Acsc

Функция: **Acsc(expr)**

Название: Арккосеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acsc(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccsc, arccosec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.4 Asec

Функция: **Asec(expr)**

Название: Арксеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Asec(V(out)), комплексное

Синонимы: **arcsec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.5 Asin

Функция: **Asin(expr)**

Название: Арксинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Asin(V(out)), комплексное

Синонимы: **arcsin**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.6 Atan

Функция: **Atan(expr)**

Название: Арктангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Atan(V(out)), комплексное

Синонимы: **atn, arctan, arctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.7 Atan2

Функция: **Atan2(expr1, expr2)**

Название: Арктангенс отношения expr2/expr1

Аргументы: expr1, expr2 — комплексное, где expr1 — выражение делитель, expr2 — выражение делимое

Пример: Atan2(V(in), V(out)), комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.8 Cos

Функция: **Cos(expr)**

Название: Косинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Cos(2*pi*time), комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.9 Cot

Функция: **Cot(expr)**

Название: Котангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Cot}(V(\text{out}))$, комплексное

Синоним: **ctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.10 Csc

Функция: **Csc(expr)**

Название: Косеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Csc}(V(\text{out}))$, комплексное

Синоним: **cosec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.11 Sec

Функция: **Sec(expr)**

Название: Секанс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Sec}(V(\text{out}))$, комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.12 Sin

Функция: **Sin(expr)**

Название: Синус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Sin}(5 \cdot \pi \cdot \text{time})$, комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.13 Tan

Функция: **Tan(expr)**

Название: Тангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Tan}(0.45 \cdot \pi \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \text{time}))$, комплексное

Синоним: **tg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.13 Функциональные преобразования

10.7.13.1 Freq_db

Функция: **Freq_db(signal, w1, db1, deg1, ... wN, dbN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, deg1, wn, dbn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), deg1 — фаза первой точки (градус), ..., wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_db(V(net0001), 98.4, -136.694, 80.848, 99.6, -76.234, 52.998, 100, -6.021, -360.004, 100.4, -76.061, -772.848, 101.6, -136.01, -800.702), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.2 Freq_db_deg

Функция: **Freq_db_deg(signal, w1, db1, deg1, ... wN, dbN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, deg1, wn, dbn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), deg1 — фаза первой точки (градус), ..., wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_db_deg(V(net0001), 98.4, -136.694, 80.848, 99.6, -76.234, 52.998, 100, -6.021, -360.004, 100.4, -76.061, -772.848, 101.6, -136.01, -800.702), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.3 Freq_db_rad

Функция: **Freq_db_rad(signal, w1, db1, rad1, ... wN, dbN, radN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, rad1, wn, dbn, radn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), rad1 — фаза первой точки (радиан), wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), radN — фаза последней точки (радиан)

Пример: Freq_db_rad(V(net0001), 98.4, -136.694, 1.4110638, 99.6, -76.234, 0.9249896, 100, -6.021, -6.2832551, 100.4, -76.061, -13.488742, 101.6, -136.01, -13.974886), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.4 Freq_ma

Функция: **Freq_ma(signal, w1, mag1, deg1, ... wN, magN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, deg1, wn, magn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), deg1 — фаза первой точки (градус), wN — частота последней точки (герц), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_ma(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 80.848, 99.6, 1.543E-04, 52.998, 100, 5.000E-01, -360.004, 100.4, 1.574E-04, -772.848, 101.6, 1.583E-07, 1.583E-07), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.5 Freq_ma_deg

Функция: **Freq_ma_deg(signal, w1, mag1, deg1, ... wN, magN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, deg1, wn, magn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (2π радиан/секунда), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), deg1 — фаза первой точки (градус), wN — частота последней точки (радиан/секунда), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_ma_deg(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 80.848, 99.6, 1.543E-04, 52.998, 100, 5.000E-01, -360.004, 100.4, 1.574E-04, -772.848, 101.6, 1.583E-07, 1.583E-07), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.6 Freq_ma_rad

Функция: **Freq_ma_rad(signal, w1, mag1, rad1, ... wN, magN, radN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, rad1, wn, magn, radn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (2π радиан/секунда), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), rad1 — фаза первой точки (радиан), wN — частота

последней точки (радиан/секунда), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), radN — фаза последней точки (радиан)

Пример: `Freq_ma_rad(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 1.4110638, 99.6, 1.543E-04, 0.9249896, 100, 5.000E-01, -6.2832551, 100.4, 1.574E-04, -13.488742, 101.6, 1.583E-07, -13.974886)`, действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.7 Freq_ri

Функция: **Freq_ri(signal, w1, real1, imag1, ... wN, realN, imagN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: `signal` — комплексное, `w1`, `real1`, `imag1`, `wn`, `realn`, `imagn` — действительное, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `w1` — частота первой точки (2π радиан/секунда), `real1` — действительная часть первой точки (единица измерения выражения), `imag1` — мнимая часть первой точки (единица измерения выражения), `wN` — частота последней точки (радиан/секунда), `realN` — действительная часть последней точки (единица измерения выражения), `imagN` — мнимая часть последней точки (единица измерения выражения)

Пример: `freq_ri(V(net0001), 98.4, 23.238n, 144.272n, 99.6, 92.888u, 123.236u, 100, 498.344m, -37.185u, 100.4, 95.088u, -125.472u, 101.6, 25.576n, -156.223n)`, действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.8 Laplace

Функция: **Laplace(signal, function)**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом SimOne

Аргументы: `signal` — комплексное, `function` — строка, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `function` — заданная в s-области функция

Пример: `laplace(V(out), 1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3))`

Синоним: **Laplace_smn**

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.9 Laplace_euler

Функция: **Laplace_euler(signal, function[, min_tolerance])**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом Эйлера

Аргументы: `signal` — действительное, `function` — строка, `min_tolerance` — неотрицательное, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `function` — заданная в s-области функция, `min_tolerance` — порог нулевого значения абсолютного значения сигнала

Значения аргументов по умолчанию: `min_tolerance = 0.0`

Пример: `Laplace_euler(V(out), 1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3), 1e-3)`

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.10 Laplace_ift

Функция: **Laplace_ift**(**signal**, **function** [, **window** = **val_w**] [, **nfft** = **val_n**] [, **mtol** = **val_t**] [, **maxf** | **fmax** = **val_m**])

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом Фурье

Аргументы: **signal** — комплексное, **function** — строка, **val_w** — неотрицательное, **val_n** — натуральное, степень 2, **val_t** — неотрицательное, **val_m** — положительное, где **signal** — сигнал или выражение от сигнала, **function** — заданная в s-области функция, **val_w** — ширина окна свёртки, **val_n** — число гармоник в преобразовании Фурье, **val_t** — порог нулевого значения абсолютного значения сигнала, **val_m** — максимальная учитываемая частота

Значения аргументов по умолчанию: `mtol = 0.0`, `nfft = 8192`, `fmax = nfft / (2*tend)`

Пример: `Laplace_ift(V(out), 1/(1+s), window= 0.005, maxf = 100, nfft = 1024, mtol = 1e-3)`

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.11 Laplace_nd

Функция: **Laplace_nd**(**signal**, {**num**}, {**den**})

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и знаменателе

Аргументы: **signal** — комплексное, **num**, **den** — действительные через запятую, где **signal** — сигнал или выражение от сигнала, **num** — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, **den** — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней

Пример: `Laplace_nd(V(out), {2, 1}, {1, 0.1, 1})` // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.12 Laplace_np

Функция: **Laplace_np**(**signal**, {**num**}, {**pole1** [, **pole2**, ... **poleN**]})

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и полюсами в знаменателе

Аргументы: **signal** — комплексное, **num** — действительные через запятую, **pole1**, **pole2**, **poleN** — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, где **signal** — сигнал или выражение от сигнала, **num** — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, **pole** — полюса в комплексном пространстве

Пример: Laplace_np(V(out), {2, 1}, {-0.05004, 0.9987,-0.05004, -0.9987}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.13 Laplace_smn

Функция: **Laplace_smn(signal, function)**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом SimOne

Аргументы: signal — комплексное, function — строка, где signal — сигнал или выражение от сигнала, function — заданная в s-области функция

Пример: Laplace_smn(V(out), 1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3))

Синоним: **Laplace**

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.14 Laplace_zd

Функция: **Laplace_zd(signal, {zero1[, zero2, ... zeroN]}, {den})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области нулями в числителе и полиномиальными коэффициентами в знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, zero1, zero2, zeroN — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, den — действительные через запятую, где signal — сигнал или выражение от сигнала, zero — нули в комплексном пространстве, den — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней

Пример: Laplace_zd(V(out), {-2, 0}, {1, 0.1, 1.0}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.15 Laplace_zp

Функция: **Laplace_zp(signal, {zero1[, zero2, ... zeroM]}, {pole1[,pole2, ... poleN]})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области нулями в числителе и полюсами в знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, zero1, zero2, zeroM — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, pole1, pole2, poleN — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, где signal — сигнал или выражение от сигнала, zero — нули в комплексном пространстве, pole — полюса в комплексном пространстве

Пример: Laplace_zp(V(out), {-2, 0}, {-0.05004, 0.9987,-0.05004, -0.9987}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.16 ZTrans

Функция: **ZTrans(signal, {num}, {den} [, window = val_w] [, nfft = val_n] [, mtol = val_t] [, maxf | fmax = val_m])**

Название: Z-преобразование с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, num, den — действительные через запятую, val_w — неотрицательное, val_n — натуральное, степень 2, val_t — неотрицательное, val_m — положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, num — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, den — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней, val_w — ширина окна свёртки, val_n — число гармоник в преобразовании Фурье, val_t — порог нулевого значения

Значения аргументов по умолчанию: mtol = 0.0, nfft = 8192, fmax = nfft / (2*tend)

Пример: ZTrans(V(out), {2, 1}, {1, 0.1, 1}, window= 0.005, maxf = 100, nfft = 1024, mtol = 1e-3)

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.14 Фурье анализ

10.7.14.1 Fft

Функция: **Fft(signal [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Быстрое преобразование Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fft(V(net0001), 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ



Примечание! Параметр wnd_list_index может принимать значения от 0 до 23, если значение не определено, то оно принимается равным -1 по умолчанию.

10.7.14.2 Fftn

Функция: **Fftn(signal [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Нормированное по первой гармонике быстрое преобразование Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fftn(V(net0001), 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.3 Fourier

Функция: **Fourier(signal [, nr [, np [, frequency [, wnd_list_index]]]])**

Название: Сумма заданного числа членов ряда Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, nr, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, nr — число членов ряда Фурье для суммирования, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: nr=np, np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fourier((V(net0001), 10, 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.4 Harm

Функция: **Harm(signal [, point_num [, np [, frequency [, wnd_list_index]]]])**

Название: Значение заданной гармоники

Аргументы: signal — комплексное, point_num, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, point_num — номер целевой гармоники, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: point_num=1, np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Harm(v(net0001), 1, 1024, 5)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.5 Thd

Функция: **Thd(signal, [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Коэффициент гармонических искажений

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота (герц), wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Thd(v(net0001), 0 , 1024, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.6 Thd_r

Функция: **Thd_r(signal, [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Коэффициент нелинейных искажений

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота (герц), wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Thd_r(v(net0001), 0 , 1024, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.7 Оконные функции

Оконные функции и их описание представлены в [Табл. 56](#).

[Таблица 56](#) Оконные функции

Название оконной функции	Индекс оконной функции	Описание
none	-1	Прямоугольное окно
boxcar	0	Прямоугольное окно
triang	1	Треугольное окно
bartlett	2	Окно Бартлетта
parzen	3	Окно Парзена
welch	4	Окно Уэлча

Название оконной функции	Индекс оконной функции	Описание
sine	5	Синусное окно
bohman	6	Окно Бохмена
hann	7	Окно Хэнна
hamming	8	Окно Хэмминга
bartlettthann	9	Модифицированное окно Бартлетта-Хэнна
blackman	10	Окно Блэкмена
nuttall	11	Минимальное 4-членное окно Блэкмана-Харриса, определяемое по Наттолли
blackmannuttall	12	Окно Блэкмена-Нуттала
blackmanharris	13	Окно Блэкмена-Харриса
flattop	14	Взвешенное окно с плоским верхом
lanczos	15	Окно Ланцоша
gauss	16	Окно Гаусса
tukey	17	Окно Тьюки (взвешенный косинус)
plancktaper	18	Конусное окно Планка
kaiser	19	Окно Кайзера
planckbessel	20	Окно Планка-Беллеля
chebyshev	21	Окно Чебышева
poisson	22	Окно Пуассона
hannpoisson	23	Окно Хэнна-Пуассона



Примечание! Значение по умолчанию обрабатывается boxcar.

11 Дополнительные возможности

11.1 Щуп

Щуп представляет собой графический объект и является альтернативным способом задания графиков как результатов моделирования без ручного ввода их параметров. Удобство также состоит в том, что графики добавятся сразу во все виды симуляций, которые их поддерживают:

- статический анализ (DC);
- анализ переходных процессов (TR);
- анализ периодических режимов (PSS);
- частотный анализ (AC).

Щуп может устанавливаться либо на участок цепи и измерять напряжение, либо на компонент схемы и измерять один из параметров на выбор.

Вызов инструмента «Щуп» осуществляется из главного меню «SimOne» → «Щуп», см. [Рис. 187](#).

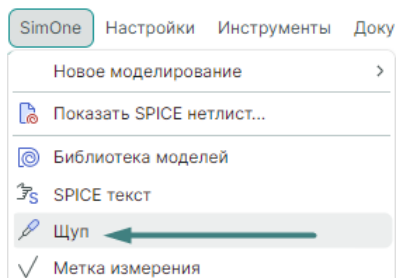


Рис. 187 Вызов инструмента «Щуп»

11.1.1 Работа инструмента

Для размещения щупа выполните следующие действия:



Пример! Применение щупа на примере проекта «BAT» из «Все проекты» → «Примеры» → «Моделирование».

1. Откройте схему и разместите два щупа: один - на индуктивность L1, второй - на цепь NET0002, см. [Рис. 188](#):

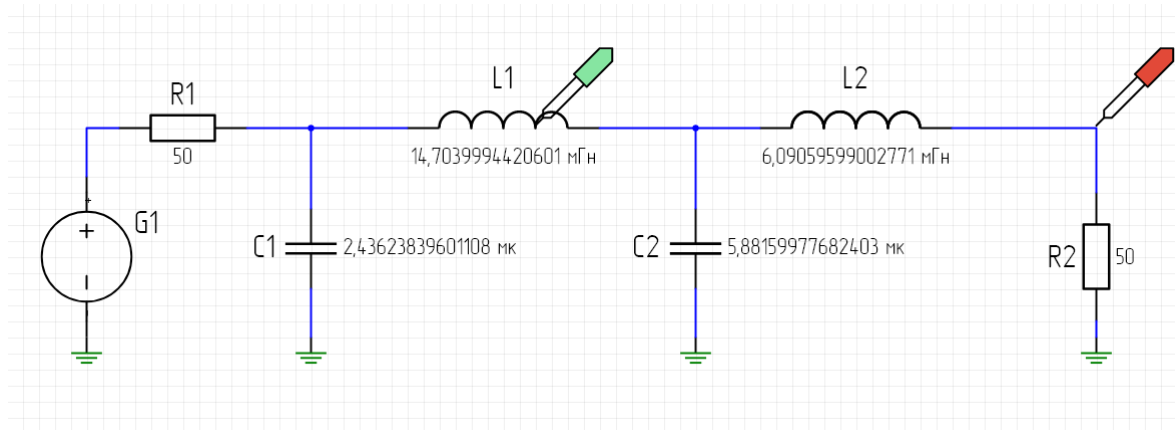


Рис. 188 Пример размещения щупов

На индуктивности L1 измерьте, например, ток I, см. [Рис. 189](#):

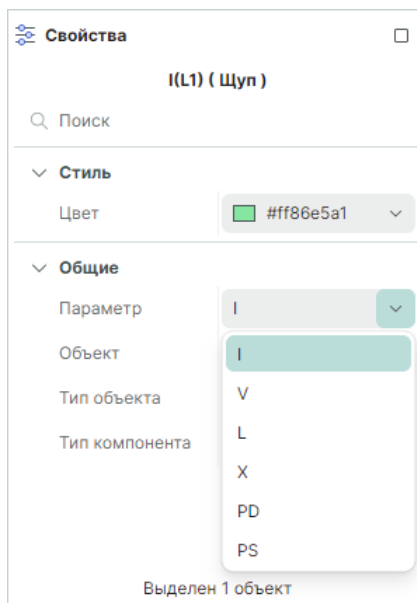


Рис. 189 Выбор измеряемого параметра на L1

А на цепи NET0002 - напряжение U, см. [Рис. 190](#):

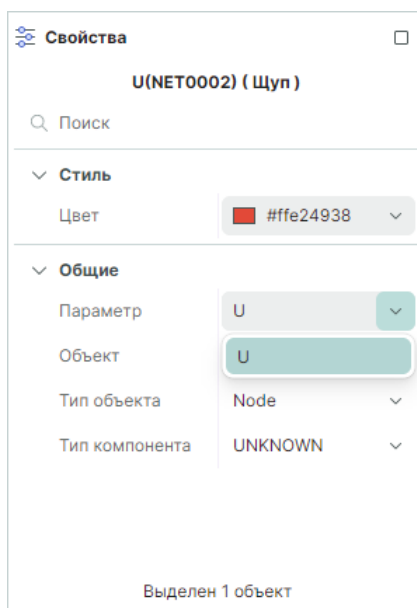


Рис. 190 Выбор измеряемого параметра на цепи NET0002

2. Сохраните и запустите симуляцию sim_ac1 выбрав в контекстном меню команду «Запустить», см. [Рис. <%HMFIGURECOUNTER%>](#).

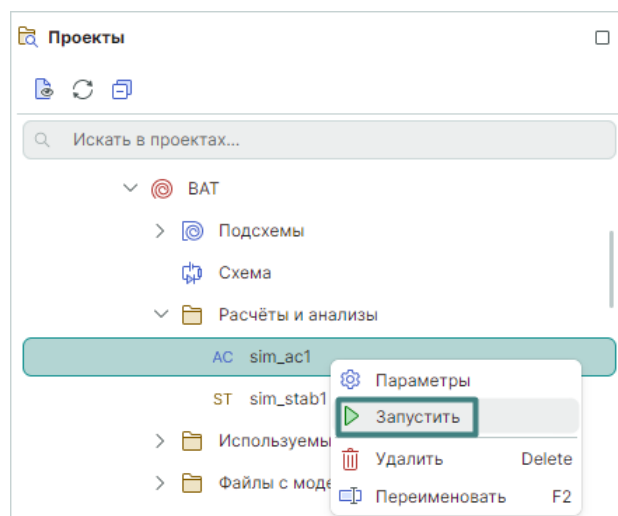


Рис. 190 Запуск симуляции *sim_ac1* из контекстного меню

3. На вкладке «Щупы» отображены графики результатов моделирования $I(L1)$ и $V(NET0002)$, см. [Рис. 191](#).

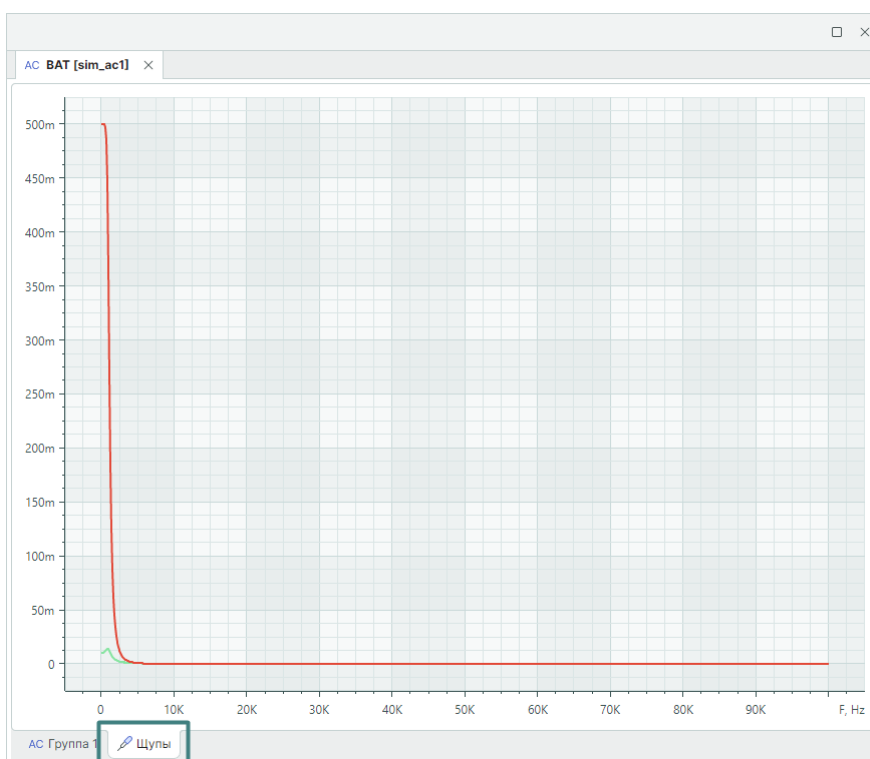


Рис. 191 Отображение графиков результатов моделирования на вкладке «Щуп»

11.2 Метка измерения

Метка измерения – инструмент, позволяющий отобразить на схеме значения потенциалов узлов и номиналы токов, текущих через компоненты, после выполнения следующих анализов схемы:

- рабочая точка (OP);
- статический анализ (DC);
- анализ гармонического режима (ACP);
- анализ переходных процессов (TR);
- анализ периодических режимов (PSS);
- частотный анализ (AC).

Метка измерения может прикрепляться к цепи или компоненту схемы, автоматически отображая, соответственно, значение потенциала узла или тока, проходящего через компонент.

Установка метки на свободном месте листа схемы позволяет выбрать параметр из выпадающего списка, содержащего все цепи и компоненты схемы, в панели «Свойства».

Вызов инструмента «Метка измерения» осуществляется из главного меню «SimOne» → «Метка измерения», см. [Рис. 192](#).

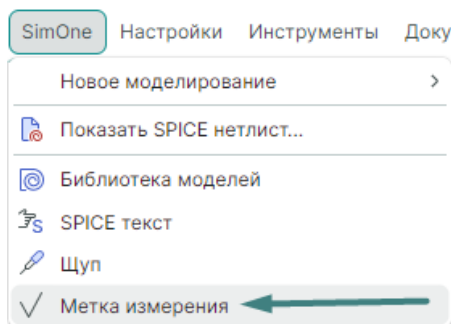


Рис. 192 Вызов инструмента «Метка измерения»

11.2.1 Работа инструмента

Для размещения метки измерения выполните следующие действия:



Пример! Применение метки измерения на примере проекта «Split Time-Constant RC Circuit (RC)» из «Все проекты» → «Примеры» → «Моделирование».

1. Откройте схему и добавьте несколько меток измерения, см. [Рис. 193](#).

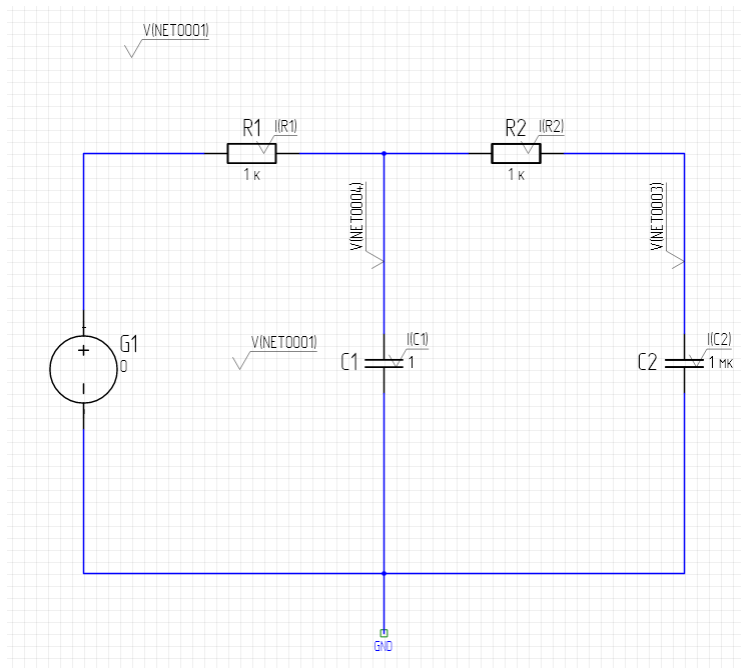


Рис. 193 Добавление меток измерения на схему

Шести размещенным на схеме меткам измерения, прикрепленным к конкретным цепям и компонентам, присвоены параметры, отображаемые на метке и в панели «Свойства» при выборе соответствующей метки, см. [Рис. 194](#).

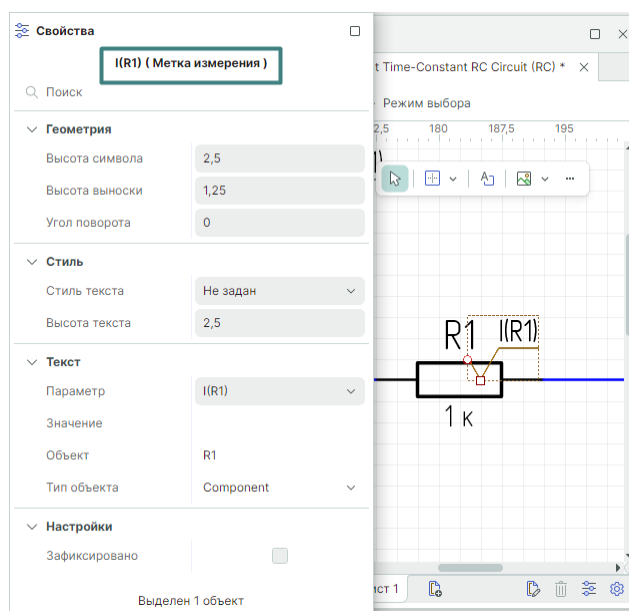


Рис. 194 Отображение параметра метки измерения

Две метки были добавлены на схему без привязки к компоненту или цепи. По умолчанию они будут отображать значение потенциала узла цепи NET0001.

- Измените у одной из меток, размещенных без привязки к цепи или компоненту, в панели «Свойства» параметр с заданного по умолчанию на $I(V1)$, чтобы после запуска моделирования увидеть значение тока на батарее G1, см. [Рис. 195](#).

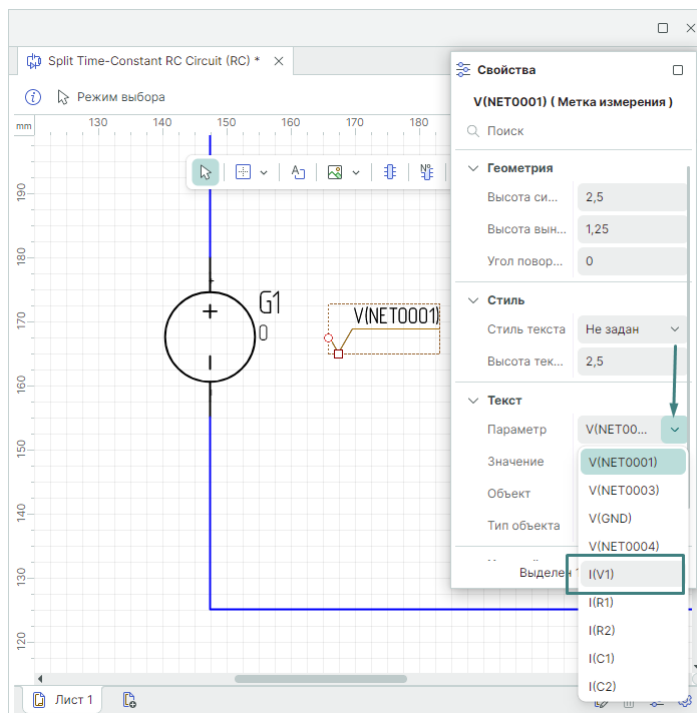


Рис. 195 Выбор метки измерения для замены параметра

Значение параметра метки будет изменено на выбранное из списка в панели «Свойства», см. [Рис. 196](#).

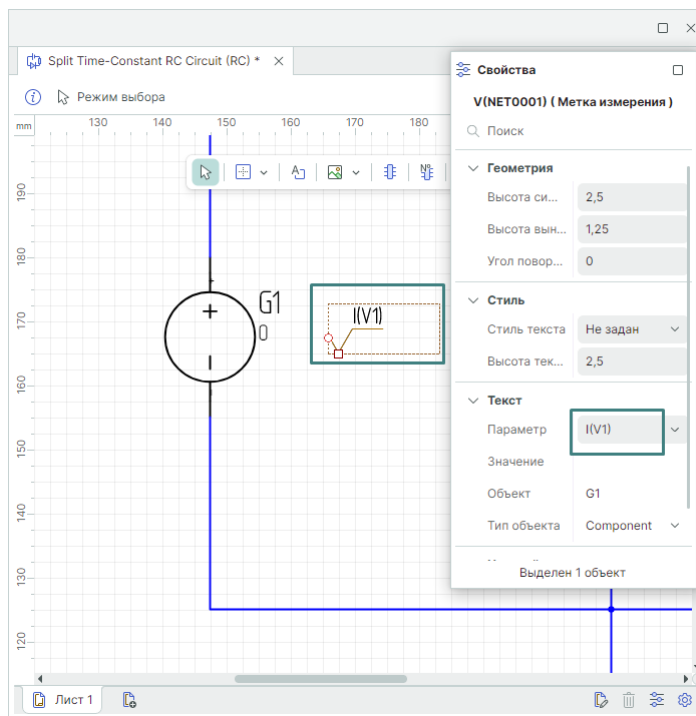


Рис. 196 Изменение параметра метки

3. Сохраните проект и запустите анализ переходных процессов euler.

По окончании анализа снова перейдите на схему. Рядом с метками измерений будут отображены соответствующие тексту в метках значения параметров, полученные в результате проведенного моделирования, см. [Рис. 197](#).

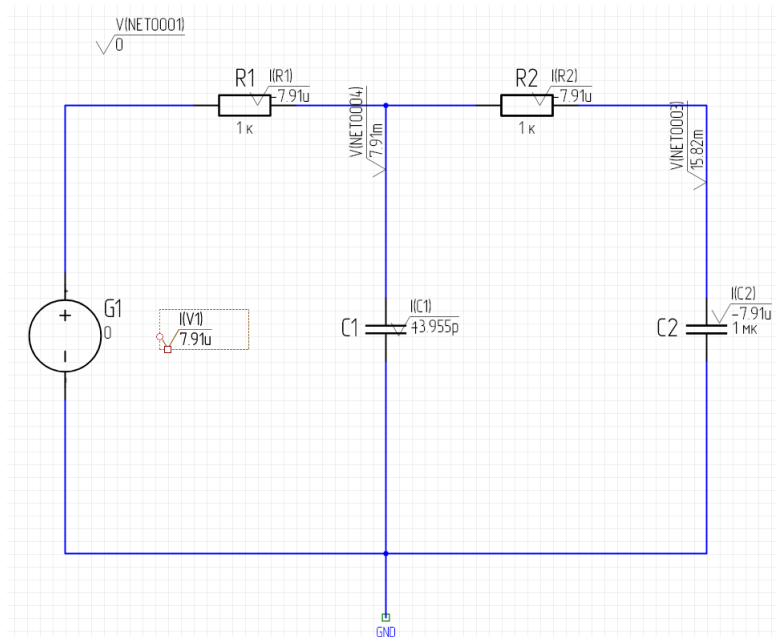


Рис. 197 Отображение рассчитанных значений параметров

4. Запустите анализ переходных процессов gear.

По окончании анализа снова перейдите на схему. Рядом с метками измерений будут отображены соответствующие тексту в метках (измененные) значения параметров, полученные в результате проведенного моделирования, см. [Рис. 198](#).

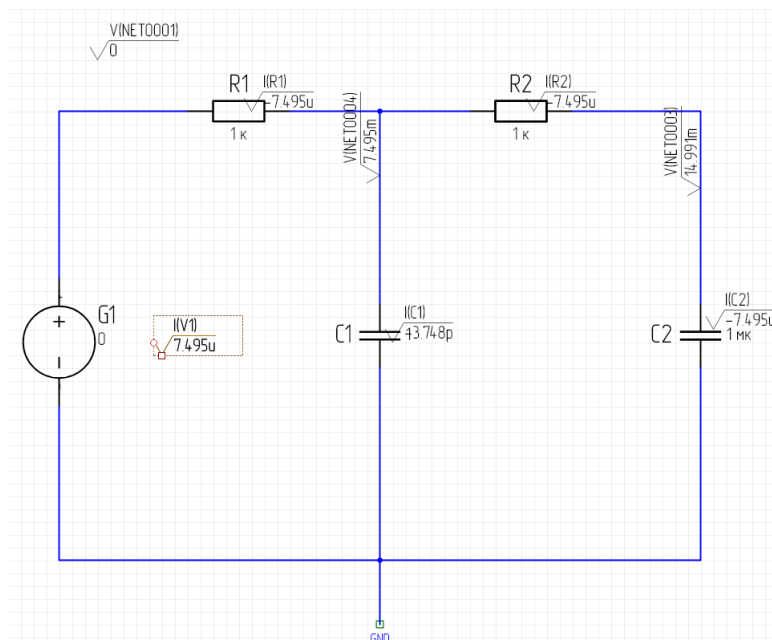


Рис. 198 Отображение рассчитанных значений параметров

В дальнейшем при повторном открытии схемы метки изменений будут расставлены как в последней сессии работы со схемой, однако метки будут отображены без посчитанных ранее параметров.

Значения параметров берутся из результатов текущего активного моделирования.



Примечание! При импорте проект также будет сохранен и выгружен без значений параметров меток измерения. Расположение и принадлежность меток измерений цепи или компоненту (при наличии таковой принадлежности) будет сохранено.

11.3 Просмотр результатов расчета

Delta Design SimOne в момент его окончания для последнего значения независимой переменной рассчитывает:

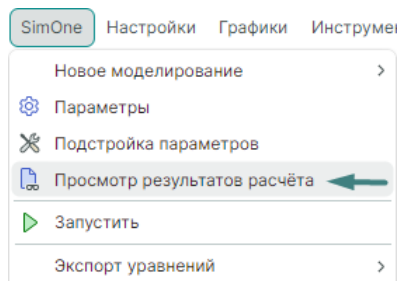
- переменные состояния схемы (напряжения и токи схемы, с помощью которых определяется состояние схемы в любой заданный момент времени);
- все выходные параметры всех компонентов схемы.

Просмотр всех вышеуказанных значений доступен в окне «Результаты расчета».



Примечание! Вызов окна доступен при активном окне симуляции. Отображаемые в окне параметры относятся именно к активной (открытой) симуляции.

Окно «Результаты расчета» вызывается из главного меню: «SimOne» → «Просмотр результатов расчета», см. [Рис. 199](#).



*Рис. 199 Вызов команды
«Просмотр результатов
расчета»*



Примечание! В окне «Результаты расчета» отображаются глобальные параметры. Это параметры, которые могут входить в выражения, используемые для задания параметров элементов схемы, моделей, сигналов. Определяются с помощью команды .PARAM через SPICE-блоки.

Окно «Результаты расчета» вызывается из главного меню: «SimOne» → «Просмотр результатов расчета», см. [Рис. 200](#).

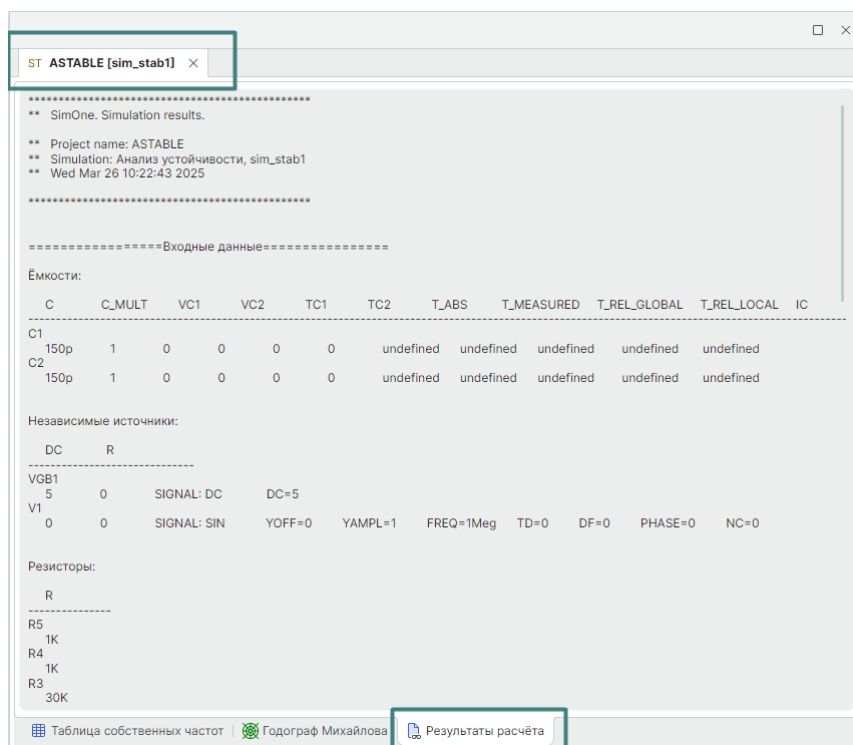


Рис. 200 Пример окна «Результаты расчёта»

11.4 Панель «Моделирование: 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 вводит или изменяет значение варьируемого параметра схемы и перезапускает текущую симуляцию схемы, отображая интересующие пользователя результаты на графиках и в таблицах.

Отображение панели «Моделирование: Подстройка параметров» включается при активной вкладке с результатами моделирования с помощью главного меню «SimOne» → «Подстройка параметров», см. [Рис. 201](#).

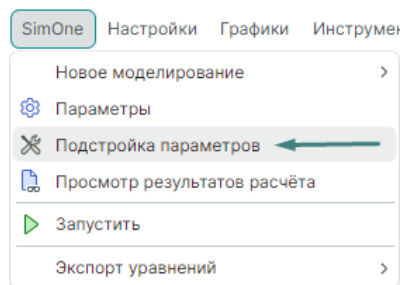


Рис. 201 Вызов панели «Моделирование: Подстройка параметров»

На панели «Моделирование: Подстройка параметров» отображается форма для выбора значений подстройки параметров текущей симуляции, см. [Рис. 202](#).

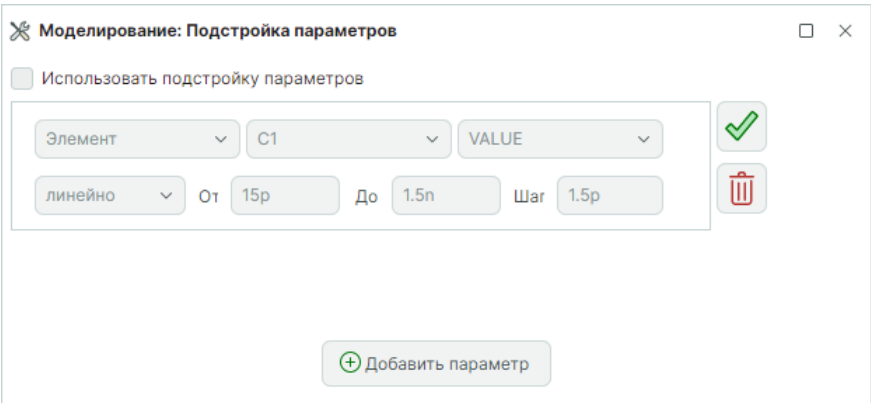


Рис. 202 Панель «Моделирование: Подстройка параметров»

В [Табл. 57](#) описаны инструменты и поля, доступные при подстройке параметров.

[Таблица 57](#) Описание инструментов и полей, доступных при подстройке параметров

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Использовать подстройку параметров	Включение/Отключение режима подстройки параметров.	Выкл.
Параметры		
Тип	Выбор компонента варьирования: • Элемент. Одиночный элемент схемы. • Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный. • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом.	Элемент

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM.	
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра.	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала.	-
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
От	Начальная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	-
До	Конечная граница диапазона варьирования выбранного параметра.	-
Шаг	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.	-
Инструменты		
	Перезапускает симуляцию с выделенным подстроенным параметром.	-
	Удаление выделенной формы параметра.	-
 Добавить параметр	Добавление формы для ввода параметра.	-

Выход из режима подстройки параметров осуществляется закрытием панели «Моделирование: Подстройка параметров».

11.5 Экспорт уравнений

SimOne позволяет экспортировать уравнения схемы для дальнейшей работы с ними в математических пакетах, таких как:

- Matlab (*.m файл).

- Waterloo Maple (*.mw файл).
- Python (*.py).

Уравнения схемы могут быть экспортированы в численном или символьном виде.

Экспорт уравнений осуществляется командой из главного меню «SimOne» → «Экспорт уравнений», см. [Рис. 203](#).

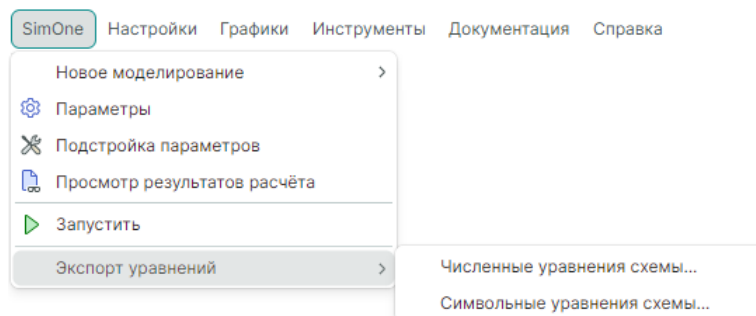


Рис. 203 Вызов команда для экспорта уравнений

При выборе вида уравнения вызывают окно проводника, в котором задаётся имя и тип экспортируемого файла.

12 Панель «Журналы»

После запуска моделирования (симуляции) в панели «Журналы» → «SimOne» отображается информация по запуску процесса моделирования, его завершению и итоговая информация по анализу.

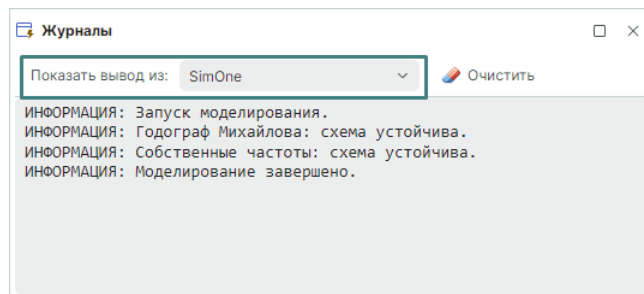


Рис. 203 Панель «Журналы»

Для удаления всех записей в журнале выберите инструмент «Очистить».

13 Приложение. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.

В данном приложении приводится синтаксис описания компонентов, которые могут быть использованы при создании пользовательских SPICE-моделей.

Модели перечислены в алфавитном порядке по возрастанию префикса. Формат SPICE регистро-независимый.

13.1 В. Функциональные источники напряжения и тока

LTSPICE\SimOne-формат

Синтаксис:

Функциональный источник напряжения:

V<имя> <плюс> <минус> V[ALUE]=<выражение>
[[LAPLACE=<выражение>] [METHOD=<simone>] [WINDOW=<time>]
[NFFT=<number>] [MTOL=<number>]]

Функциональный источник тока:

I<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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ 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. раздел [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
MTOL=0.01
B4 6 0 I=V(1)+v(1)*v(2) LAPLACE = exp(-s)

```

13.2 В. Арсенид-галлиевый полевой транзистор

SPICE-формат

Синтаксис:

B<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.

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току. Подробнее об использовании [OFF] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] см. раздел [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

B3 4 5 6 GASFET_DEFAULT_MODEL

.MODEL B1 GASFET (VTO=-2 .0 LAMBDA=1m)

.MODEL B2 GASFET (ALPHA=2.5 BETA=0.1m)

.MODEL GASFET_DEFAULT_MODEL GASFET (LEVEL=1)

Нетлист модели со всеми дефолтными параметрами:

```

.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 HFG2=0 IBD=0
IS=1e-14 KF=0 LAMBDA=0 LEVEL=1 LFGAM=0 LFG1=0 LFG2=0 M=0.5 MVST=0

```

MXI=0 N=1 ND=0 NG=0 P=2 Q=2 RD=0 RG=0 RS=0 TAU=0 TAUD=0 TAUG=0
 TRD1=0 TRG1=0 TRS1=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
 T_REL_GLOBAL=undefined VBD=1 VBI=1 VBITC=0.5 VDELTA=0.2 VMAX=0.5
 VST=0 VTO=-2.5 VTOTC=0 XC=0 XL=1000 XTI=0 Z=0.5)

Подробнее описание поддерживаемых моделей приведено в [Табл. 58](#).

[Таблица 58](#) 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:

Подробнее о параметрах модели арсенид-галлиевого полевого транзистора см. в [Табл. 59](#).

[Таблица 59](#) 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/B
B	Параметр легирования (LEVEL=2)	0,3	1/B
BETA	Коэффициент пропорциональности в выражении для тока стока	0,1	A/B ²
BETATCE	Температурный коэффициент BETA	0	%/°C
CDS	Ёмкость сток-исток при нулевом смещении	0	Ф

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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 р-п-перехода затвора	0,5	-
GAMMA	Параметр статической обратной связи (LEVEL=3,5)	0	-
IS	Ток насыщения р-п-перехода затвор-канал	1E-14	А
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 – ТОМ – модель TriQuint, 4 – модель Паркера-Скеллерна, 5 – ТОМ-2 – модель TriQuint	1	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
M	Коэффициент плавности р-п-перехода затвора (LEVEL=1..3)	0,5	-
N	Коэффициент эмиссии р-п-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
VBI	Контактная разность потенциалов р-п-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

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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	с
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	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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	A/B 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	B
DVTT	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	B
GAMMATC	Температурный коэффициент GAMMA	0	-
ND	Параметр крутизны проходной характеристики в субпороговом режиме	0	-
VBITC	Максимальное напряжение при расчёте ёмкости затвор-исток	0.5	B

13.3 С. Конденсатор

SPICE-формат

Синтаксис:

S<имя><плюс> <минус> [имя модели] [значение] + [IC=<начальное значение напряжения>]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-формат

S<имя><плюс> <минус> [C=]<выражение>

S<имя><плюс> <минус> [C=]'<выражение>'

S<имя><плюс> <минус> [C=](<выражение>)

S<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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

Синтаксис описания модели

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

Пример:

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)

Нетлист модели конденсатора со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL      CAP_DEFAULT_MODEL      CAP(C=1      VC1=undefined
VC2=undefined TC1=0 TC2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined)
```

Подробнее параметры модели конденсатора приведены в [Табл. 60](#).

[Таблица 60](#) 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 ёмкости	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	-	С
T_MEASURED	Температура измерений	-	С
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	С

13.4 D. Диод

SPICE-формат

Синтаксис:

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

AREA – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких диодов.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на диоде при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Пример:

D1 1 2 1N3208 OFF IC=0.001

.MODEL MOD_ D (BV=100 CJO=105.p IBV=100p)

Нетлист модели диода со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL D_DEFAULT_MODEL D(AF=1 BV=infinity CJO=0 EG=1.11 FC=0.5 IBV=1e-10 IBVL=0 IKF=infinity IS=1e-14 ISR=0 KF=0 M=0.5 N=1 NBV=1 NBVL=1 NR=2 RL=infinity RS=0 TBV1=0 TBV2=0 TIKF=0 TRS1=0 TRS2=0 TT=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined VJ=1 XTI=3)

Подробнее параметры модели диода приведены в [Табл. 61](#).

[Таблица 61](#) 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

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
IS	Ток насыщения при температуре 27°C	10^{-14}	A
ISR	Параметр тока рекомбинации	0	A
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
VJ	Контактная разность потенциалов	1	B

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
ХТІ	Температурный коэффициент тока насыщения IS	3	-

13.5 Е. Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)

Моделирует ИНУН, ИН с функцией Лапласа, функциональный ИН, ИНУН с функцией Лапласа.

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

Е<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+ <коэффициент передачи>

Е<имя> <плюс> <минус> POLY(<значения>)

+ <+управляющий узел> <-управляющий узел> <полиномиальные коэффициенты>

Е<имя> <плюс> <минус> V[ALUE] = <выражение>

Е<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+TABLE = <входное значение>, <выходное значение> ...

Е<имя> <плюс> <минус> TABLE(<выражение>) =

+ <входное значение>, <выходное значение> ...

Е<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+ LAPLACE = <передаточная функция Лапласа>

+ [[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

Е<имя> <плюс> <минус> LAPLACE (<выражение>) =

+ <передаточная функция Лапласа>

+ [[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

Е <имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>

+ freq = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I]

<<частота1>,<амплитуда1>,<фаза1> >, <<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2>
>...

$E_{\langle \text{имя} \rangle} \langle \text{плюс} \rangle \langle \text{минус} \rangle \text{FREQ} (\langle \text{выражение} \rangle) =$
 $+ [[\text{DB} | \text{MAG}] [\text{DEG} | \text{RAD}]] | [\text{R_I}] \langle \text{частота1} \rangle, \langle \text{амплитуда1} \rangle, \langle \text{фаза1} \rangle$
 $>, \langle \text{частота2} \rangle, \langle \text{амплитуда2} \rangle, \langle \text{фаза2} \rangle > \dots$

$\langle \text{выражение} \rangle$ 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 time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова π – число $\pi = 3,14159265358979323846$ 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. раздел [Выражения](#).

Описание параметров приведено в [Табл. 62](#).

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

Таблица 62 Параметры модели

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Коэффициент передачи (GAIN)	Коэффициент передачи	1	-
VALUE	Выражение	1	-
POLY	Функция POLY формата SPICE	-	-
TABLE	Табличная зависимость	-	-
LAPLACE	Передаточная функция Лапласа	$1/(s+1\text{Meg})$	-
NFFT	Количество отсчетов обратного преобразования Фурье	8192	-
MAXF	Максимальная частота для взятия обратного преобразования Фурье. Если не задана или 0, используется значение параметра WINDOW	0	Гц
FREQ	При запуске частотного анализа для компонентов схемы, в моделях которых заполнено поле FREQ, модельные параметры рассчитываются по заданному в нём выражению	-	-
WINDOW	Размер окна значений передаточной функции для взятия интеграла свертки. Если window не задан или ноль, то используется конец интервала расчета.	-	-
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	simone	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
	Euler – вычисление обратного преобразования Лапласа методом Эйлера		

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

- С помощью коэффициента усиления: $V = \text{GAIN} \cdot V_u$. Здесь V_u – 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 V_u , затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Для моделирования внутреннего сопротивления следует добавить соответствующий резистор, например:

R_E4 1 2 1G

E4 3 4 1 2 2

13.5.1 ИНУН с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

13.5.2 Функциональный ИН

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

- Выражением. Подробно о выражениях см. раздел [Выражения](#).

- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. раздел [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.

13.5.3 Функциональный ИН с функцией Лапласа

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. раздел [Математические функции](#).

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

13.6 F. Источник тока, управляемый током (ИТУТ)

Моделирует ИТУТ, ИТУТ с функцией Лапласа

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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ 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. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

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

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

- С помощью коэффициента усиления: $I = \text{GAIN} \cdot I_y$. Здесь I_y – ток управляемого источника.
- Таблично. Таблица берется от управляющего напряжения и задается 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 I_y , затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, и, наконец, с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

13.6.1 ИТУТ с функцией Лапласа

Передаточная на управляемом источнике тока функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

13.7 G. Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)

Моделирует ИТУН, ИТ с функцией Лапласа, функциональный ИТ, ИТУН с функцией Лапласа.

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

$G<имя> <плюс> <минус> <+управляющий\ узел> <-управляющий\ узел>$
 $<коэффициент\ передачи>$
 $G<имя> <плюс> <минус> POLY(<значение>)$
 $<+управляющий\ узел> <-управляющий\ узел> <полиномиальные\ коэффициенты>$ $G<имя> <плюс> <минус> VALUE = <выражение>$
 $+TABLE = <входное\ значение>, <выходное\ значение> \dots$
 $G<имя> <плюс> <минус> TABLE(<выражение>) =$
 $<входное\ значение>, <выходное\ значение> \dots$
 $G <имя> <плюс> <минус> <+управляющий\ узел> <-управляющий\ узел>$
 $LAPLACE = <передаточная\ функция\ Лапласа>$
 $[[METHOD=<simone>] \quad [WINDOW=<time>] \quad [NFFT=<number>]$
 $[MTOL=<number>]]$
 $G<имя> <плюс> <минус> LAPLACE (<выражение>) =$
 $<передаточная\ функция\ Лапласа>$
 $[[METHOD=<simone>] \quad [WINDOW=<время>] \quad [NFFT=<число>]$
 $[MTOL=<число>]]$
 $G <имя> <плюс> <минус> <+управляющий\ узел> <-управляющий\ узел>$
 $FREQ = [[DB \mid MAG] [DEG \mid RAD]] \mid [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>, <фаза1>>, <<частота2>, <амплитуда2>, <фаза2>> \dots$
 $G<имя> <плюс> <минус> FREQ (<выражение>) =$
 $[[DB \mid MAG] [DEG \mid RAD]] \mid [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>, <фаза1>>, <<частота2>, <амплитуда2>, <фаза2>> \dots$

<выражение> 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 time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.

- Ключевые слова π – число $\pi = 3,14159265358979323846$ 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. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

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

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

- С помощью коэффициента усиления: $I = \text{Gain} \cdot V_u$. Здесь V_u – 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 V_u , затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

13.7.1 ИТУН с функцией Лапласа

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. раздел [Математические функции](#).

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

13.7.2 Функциональный ИТ

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

- Создание Выражения. Подробно о выражениях см. раздел [Выражения](#).
- С помощью SPICE-функции POLY, подробнее см. раздел [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.

13.7.3 Функциональный ИТ с функцией Лапласа

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. раздел [Математические функции](#).

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

13.8 Н. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)

Моделирует ИТУТ, ИТУТ с функцией Лапласа

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

`N<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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ 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. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

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

- С помощью коэффициента усиления: $V = \text{Gain} \cdot I_y$. Здесь I_y – 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 I_y , затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

13.8.1 ИНУТ с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

13.9 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 (ACmagnitude) и фаза (ACphase, в градусах) источника гармонического сигнала. После ключевого слова STIMULUS указывается имя сигнала, созданного с помощью программы команды .STIMULUS. С помощью параметра Rpar можно определить резистор, подключенный параллельно источнику тока. 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)
```

Анализ схемы по постоянному току использует значения постоянного тока, заданные в поле DC.

Частотный анализ схемы использует значения амплитуды и фазы гармонического сигнала (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>.

Сигналы описаны подробно в разделе [Сигналы](#).

13.10 J. Полевой транзистор

Моделирует полевой транзистор N-типа и P-типа.

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.

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте

переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [OFF] и [IC] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Синтаксис описания 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 р-n-переходом описываются моделью Шихмана–Ходжеса.

Нетлисты моделей полевого транзистора N-типа со всеми дефолтными параметрами (совпадают с дефолтными параметрами для P-типа):

.MODEL NJF_DEFAULT_MODEL NJF(AF=1 ALPHA=0 BETA=1e-4
BETATCE=0 CGD=0 CGS=0 FC=0.5 IS=1e-14 ISR=0 KF=0 LAMBDA=0 M=0.5 N=1
NR=2 PB=1.0 RD=0 RS=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined VK=0 VTO=-2.0 VTOTC=0 XTI=3)

.MODEL PJF_DEFAULT_MODEL PJF(AF=1 ALPHA=0 BETA=1e-4
BETATCE=0 CGD=0 CGS=0 FC=0.5 IS=1e-14 ISR=0 KF=0 LAMBDA=0 M=0.5 N=1
NR=2 PB=1.0 RD=0 RS=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined VK=0 VTO=-2.0 VTOTC=0 XTI=3)

Подробно описание параметров модели полевого транзистора приведено в [Табл. 63](#).

[Таблица 63](#) Параметры модели полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
AF	Показатель степени, определяющий зависимость	1	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
	спектральной плотности фликкер-шума от тока		
ALPHA	Коэффициент ионизации	1	В
BETA	Коэффициент пропорциональности (удельная передаточная проводимость)	1E-4	A/B 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 р-п-перехода затвор-канал	1E-14	А
ISR	Параметр тока рекомбинации р-п 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 р-п-перехода затвор-канал	0,5	-
N	Коэффициент неидеальности р-п перехода затвор-канал	1	-
NR	Коэффициент эмиссии для тока ISR	2	-
PB	Контактная разность потенциалов р-п-перехода затвора	1	В
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RS	Объёмное сопротивление области истока	0	Ом
T_ABS	Абсолютная температура	-	С

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
T_MEASURED	Температура измерения	-	С
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	С
VK	Напряжение ионизации для перехода затвор-канал	0	В
VTO	Пороговое напряжение	-2	В
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	В/°С
XTI	Температурный коэффициент тока IS	3	-

13.11 К. Магнитно-связанная индуктивность

Моделирует взаимную индуктивность, двухобмоточный трансформатор.

SPICE-формат

Синтаксис:

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

Примеры:

L1 1 0 1mH

L2 1 2 2.2mH

L3 3 4 10uH

K1 L1 L2 L3 0.5

Подробно описание параметров модели взаимной индуктивности приведено в [Табл. 64](#).

[Таблица 64](#) 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.

$$M_{ij} = K \cdot \sqrt{L_i \cdot L_j}$$

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

Порядок перечисления имён индуктивностей в списке не имеет значения.

13.12 L. Индуктивность

SPICE-формат

Синтаксис:

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

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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции.

Подробнее о выражениях см. раздел [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)

Нетлист модели катушки индуктивности со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL IND_DEFAULT_MODEL IND(L=1 R=0 IL1=undefined
IL2=undefined TC1=0 TC2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined)
```

Подробнее описание параметров модели катушки индуктивности приведено в [Табл. 65](#).

Таблица 65 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

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

13.13 М. Полевой транзистор с изолированным затвором

Моделирует МОП-транзистор N-типа, DN-типа, P-типа и DP-типа.

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 одностипных транзисторов. Значение по умолчанию 1.

[L] и [W] – длина и ширина канала соответственно.

[AD] и [AS] – диффузионные площади стока и истока соответственно.

[PD] и [PS] – диффузионные площади стока и истока соответственно.

[NRD], [NRS], [NRG] и [NRB] – скалярные множители, с помощью которых вычисляются значения сопротивлений стока, истока, затвора и подложки, соответственно, если они не заданы явно:

$RD = NRD * RSH$, $RS = NRS * RSH$,

$RG = NRG * RSH$, $RS = NRB * RSH$.

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

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] и [OFF] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Для моделирования резисторов DN- и DP-типа следует подключить в одну цепь <исток> и <подложку>.

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 ; МОП-транзистор N-типа

M2 4 5 6 0 M2 M=2 ; МОП-транзистор P-типа

M7 8 7 9 9 NMOS_DEFAULT_MODEL ; МОП-транзистор DN-типа

M9 2 3 5 5 PMOS_DEFAULT_MODEL ; МОП-транзистор DP-типа

.MODEL M1 NMOS (KP=1e-6 GAMMA=0.5)

.MODEL M2 PMOS (KP=1.2E-6 LAMBDA=1m)

.MODEL NMOS_DEFAULT_MODEL NMOS (LEVEL=1)

.MODEL PMOS_DEFAULT_MODEL PMOS (LEVEL=1)

Нетлист модели МОП-транзистора P-типа со всеми дефолтными параметрами (совпадают с дефолтными параметрами для N-типа):

```
.MODEL PMOS_DEFAULT_MODEL PMOS(AF=1 CBD=0 CBS=0 CGBO=0
CGDO=0 CGSO=0 CJ=0 CJSW=0 DELTA=0 ETA=0 FC=0.5 GAMMA=0 GDSNOI=1
IS=1e-14 JS=0 JSSW=0 KAPPA=0.2 KF=0 KP=2e-5 LAMBDA=0.0 LEVEL=1
LD=0.0 MJ=0.5 MJSW=0.33 N=1 NEFF=1.0 NFS=0.0 NLEV=2 NSS=undefined
NSUB=undefined PB=0.8 PBSW=PB PHI=0.6 RB=0 RD=0 RDS=infinity RG=0 RS=0
RSH=0 THETA=0.0 TOX=undefined TPG=1 TT=0 T_ABS=undefined
T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined UCRIT=1.0e4 UEXP=0.0
UO=600 UTRA=0.0 VMAX=0 VTO=0 WD=0 XJ=0 XQC=1)
```

Подробнее описание поддерживаемых моделей приведено в [Табл. 66](#).

[Таблица 66](#) Поддерживаемые модели

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

В [Табл. 67](#) представлено описание параметров модели МОП-транзистора.

[Таблица 67](#) Параметры модели МОП-транзистора

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
LEVEL		Индекс уровня модели	1	-
L	1–3	Длина канала	DEFL	М
W	1–3	Ширина канала	DEFW	М
LD	1–3	Глубина области боковой диффузии	0	М
WD	1–3	Ширина области боковой диффузии	0	М
VTO	1–3	Пороговое напряжение при нулевом смещении	1	В
KP	1–3	Параметр удельной крутизны	2E–5	A/B^2
GAMMA	1–3	Коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение	0	$B^{1/2}$

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
PHI	1–3	Поверхностный потенциал сильной инверсии	0,6	В
LAMBD A	1–3	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 р-п-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 р-п-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 р-п-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода)	0	Ф/м ²

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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 плавность донной части перехода подложка-сток (исток)	0,5	-
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 р-п-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	1	-

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
		того же типа, как и для подложки; – 1 – примесью противоположного типа; 0 – металл)		
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
GDSNO I	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	-

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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

13.14 Q. Биполярный транзистор

Моделирует биполярный транзистор N-типа, биполярный транзистор N-типа с подложкой, биполярный транзистор P-типа, биполярный транзистор P-типа с подложкой.

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.

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] и [OFF] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Синтаксис описания модели

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

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

Примеры:

```

Q1 1 2 3 Q1 1 OFF IC=0.65, 0.35
Q2 1 2 3 4 Q2 3.0
Q3 26 25 27 PNP_DEFAULT_MODEL
Q2 21 20 23 22 NPN_DEFAULT_MODEL
.MODEL Q1 NPN (IS=1e-15 BF=45 TR=.5N)
.MODEL Q2 PNP (IS=5E-15 BF=245 VAR=50)
.MODEL NPN_DEFAULT_MODEL NPN ()
.MODEL PNP_DEFAULT_MODEL PNP ()

```

Нетлист модели биполярного транзистора N-типа со всеми дефолтными параметрами (за исключением CN и D совпадают с дефолтными параметрами для P-типа):

```

.MODEL NPN_DEFAULT_MODEL NPN(AF=1 BF=100 BR=1 CJC=0 CJE=0
CJS=0 CN=2.42 D=0.87 EG=1.11 FC=0.5 GAMMA=1e-11 IKF=infinity IKR=infinity
IRB=infinity IS=1e-16 ISC=0 ISE=0 ISS=0 ITF=0 KF=0 MJC=0.33 MJE=0.33 MJS=0
NC=2 NE=1.5 NF=1 NK=0.5 NR=1 NS=1 PTF=0 QCO=0 QUASIMOD=0 RB=0
RBM=RB RC=0 RCO=0 RE=0 TF=0 TR=0 TRB1=0 TRB2=0 TRC1=0 TRC2=0
TRE1=0 TRE2=0 TRM1=0 TRM2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined VAF=infinity VAR=infinity VG=1.206 VJC=0.75
VJE=0.75 VJS=0.75 VO=10 VTF=undefined XCJC=1 XCJC2=1 XCJS=0 XTB=0
XTF=0 XTI=3)

```

Описание параметров модели биполярного транзистора приведено в [Табл. 68](#).

[Таблица 68](#) 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 режиме в схеме с ОЭ (без учёта токов утечки)	100	-
BR	Максимальный коэффициент усиления тока в инверсном режиме в схеме с ОЭ	1	-
CJC	Ёмкость коллекторного перехода при нулевом смещении	0	Ф

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
CJE	Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	0	Ф
CJS (CCS)	Ёмкость перехода коллектор-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CN	Температурный коэффициент квазионасыщения для подвижности дырок	2.42 для NPN 2.2 для PNP	-
D	Температурный коэффициент квазионасыщения для подвижности разрозненных дырок	0.87 для NPN 0.52 для PNP	-
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	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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 $f_{гр} = 1/(2\pi \cdot TF)$	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	С ⁻¹
TRB2	Квадратичный температурный коэффициент RB	0	С ⁻²

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
TRC1	Линейный температурный коэффициент RC	0	С ⁻¹
TRC2	Квадратичный температурный коэффициент RC	0	С ⁻²
TRE1	Линейный температурный коэффициент RE	0	С ⁻¹
TRE2	Квадратичный температурный коэффициент RE	0	С ⁻²
TRM1	Линейный температурный коэффициент RBM	0	С ⁻¹
TRM2	Квадратичный температурный коэффициент RBM	0	С ⁻²
T_ABS	Абсолютная температура	-	°C
T_MEASURED	Температура измерений	-	°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	°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	-	В
XCJC	Коэффициент расщепления барьерной ёмкости база-коллектор CJC	1	-
XCJC2	Коэффициент расщепления барьерной ёмкости база-коллектор CJC	1	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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.

13.15 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=<tc1>[,<tc2>]] – 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).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции

Подробнее о выражениях см. раздел [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)

Нетлист модели резистора со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL RES_DEFAULT_MODEL RES(R=1 TCE=0 T_ABS=undefined
T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined)

Описание параметров модели резистора приведено в [Табл. 69](#).

[Таблица 69](#) Параметры модели резистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
Номинал\Выражение	Номинал резистора или выражение для сопротивления	100	Ом
R	Масштабный множитель сопротивления	1	-
TC1	Линейный температурный коэффициент сопротивления	0	°C ⁻¹
TC2	Квадратичный температурный коэффициент сопротивления	0	°C ⁻²
TCE	Экспоненциальный температурный коэффициент сопротивления	0	%/ °C ²
TOLERANCE	Допуск	0	%
T_ABS	Абсолютная температура	-	°C
T_MEASURED	Температура измерений	-	°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	°C

Значение масштабного множителя сопротивления может быть положительным, отрицательным или нулевым.

13.16 S. Переключатель, 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)

Нетлист модели переключателя, управляемого напряжением, со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL VSWITCH_DEFAULT_MODEL VSWITCH(ROFF=1e6 RON=1
VH=undefined VOFF=0 VON=1 VT=undefined)

Описание параметров модели ключа, управляемого напряжением, приведено в [Табл. 70](#).

[Таблица 70](#) 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

Модель предусматривает два режима работы ключа:

- режим плавного переключения
- гистерезисный режим.

13.16.1 Режим плавного переключения

В этом режиме должны быть заданы напряжение замыкания ключа V_{ON} и напряжение размыкания ключа V_{OFF} и не определены параметры V_T и V_H .

Если $V_{ON} > V_{OFF}$, то ключ замкнут при управляющем напряжении $V_y > V_{ON}$ и разомкнут при $V_y < V_{OFF}$.

На интервале $V_{OFF} < V_y < V_{ON}$ сопротивление ключа плавно уменьшается от значения R_{OFF} до R_{ON} . Если $V_{ON} < V_{OFF}$, то ключ замкнут при $V_y < V_{ON}$ и разомкнут при $V_y > V_{OFF}$.

На интервале $V_{ON} < V_y < V_{OFF}$ сопротивление ключа плавно увеличивается от значения R_{ON} до R_{OFF} . V_y – разность потенциалов узлов управления.

13.16.2 Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговое напряжение V_T и величина гистерезиса V_H .

Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от R_{OFF} до R_{ON} при превышении управляющим напряжением значения $V_T + V_H$ и увеличивается резким скачком от R_{ON} до R_{OFF} при уменьшении управляющего напряжения ниже значения $V_T - V_H$.

В таком режиме работы ключа могут возникнуть проблемы со сходимостью численных методов.

Также не рекомендуется делать слишком малое различие в переключаемых напряжениях V_T и V_H из-за вызываемого этим слишком малого шага расчёта.

13.17 Т. Длинная линия

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

T3 2 3 4 5 TLMOD

.MODEL TIMOD TRN(Z0=50 TD=10ns)

Нетлист модели длинной линии со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL TRN_DEFAULT_MODEL TRN(F=2 FADING=1 NL=0.2 TD=undefined Z0=50)

Описание параметров модели длинной линии приведено в [Табл. 71](#).

[Таблица 71](#) 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	-	-

13.18 V. Независимый источник напряжения

Моделирует независимый источник напряжения и независимый источник постоянного напряжения – батарею.

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 АС задаются модуль (ACmagnitude) и фаза (ACphase, 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:

```
V1 1 0 DC 0 AC 1 0 SIN 0 1 1K 100NS 1E6 0
```

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

Анализ схемы по постоянному току использует значения постоянного напряжения заданные в поле DC.

Частотный анализ схемы использует значения амплитуды и фазы гармонического сигнала (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>. Более подробно см. раздел [Сигналы](#).

13.19 W. Переключатель (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>)

Примеры:

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)

Нетлист модели переключателя, управляемого током, со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL ISWITCH_DEFAULT_MODEL ISWITCH(IH=undefined IOFF=0 ION=1m IT=undefined ROFF=1e6 RON=1)

Описание параметров модели ключа, управляемого током приведено в [Табл. 72](#).

[Таблица 72](#) Параметры модели ключа, управляемого током

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

В качестве управляющих токов I_u могут использоваться токи индуктивностей, источников напряжения.

Модель предусматривает два режима работы ключа:

- режим плавного переключения
- гистерезисный режим.

13.19.1 Режим плавного переключения

В этом режиме должны быть заданы ток замыкания ключа I_{ON} и ток размыкания ключа I_{OFF} , а параметры I_T и I_H должны быть не определены.

Если $I_{ON} > I_{OFF}$, то ключ замкнут при управляющем токе $I_y > I_{ON}$ и разомкнут при $I_y < I_{OFF}$. На интервале $I_{OFF} < I_y < I_{ON}$ сопротивление ключа плавно уменьшается от значения R_{OFF} до R_{ON} .

Если $I_{ON} < I_{OFF}$, то ключ замкнут при $I_y < I_{ON}$ и разомкнут при $I_y > I_{OFF}$. На интервале $I_{ON} < I_y < I_{OFF}$ сопротивление ключа плавно растёт от значения R_{ON} до R_{OFF} .

13.19.2 Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговый ток I_T и величина гистерезиса I_H .

Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от R_{OFF} до R_{ON} при превышении управляющим током значения $I_T + I_H$ и увеличивается резким скачком от R_{ON} до R_{OFF} при уменьшении управляющего тока ниже значения $I_T - I_H$.

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 I_T и I_H из-за вызываемого этим слишком малого шага расчёта.

13.20 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

Внешние выводы подсхемы указываются пользователем после ключевого слова .SUBCKT. Входные параметры схемы объявляются в описании после ключевого слова .PARAMS.



Цель компании ЭРЕМЕКС – создание эффективной и удобной в эксплуатации отечественной системы, реализующей сквозной цикл автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

Система Delta Design – это обобщение мирового опыта в области автоматизации проектирования, а также разработка оригинальных моделей и алгоритмов на основе нетрадиционных подходов к решению сложных задач.

Компания ЭРЕМЕКС благодарит Вас за интерес, проявленный к системе Delta Design, и надеется на долговременное и плодотворное сотрудничество.