



Комплексная среда сквозного проектирования
электронных устройств

Руководство пользователя
Система аналогового моделирования SimOne

Май, 2026



Руководство пользователя

Внимание!

Права на данный документ в полном объёме 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.

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, ТопоR, 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, ТопоR, 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	Термины и определения	12
2	Общие сведения о SimOne	13
3	Интерфейс	13
3.1	Меню «SimOne»	13
4	Создание проекта	14
4.1	Создание проекта моделирования	14
4.2	Текстовый проект моделирования	16
4.3	Создание проекта платы Delta Design	20
4.4	Работа со SPICE-моделями	22
4.4.1	Общие сведения о работе со SPICE-моделями	22
4.4.2	Добавление SPICE-модели к библиотечному компоненту	22
4.4.3	Добавление SPICE-модели к компоненту, расположенному на схеме	31
4.4.4	Компилированный шаблон	39
4.4.5	Замена SPICE-модели	41
4.4.6	Изменение параметров и назначения выводов модели	41
4.4.7	Удаление SPICE-модели	42
4.5	Отчет по SPICE-моделям	43
4.6	Панель «Менеджер проекта». Сведения о SPICE-моделях проекта.	45
5	Панели инструментов	47
5.1	Общие сведения о панелях инструментов	47
5.2	Панель инструментов «Запуск/Отладка»	48
5.3	Панель инструментов «SimOne Graphics»	49
6	Подсхемы	50
6.1	Общие сведения о подсхемах	50
6.2	Создание графической подсхемы	51
7	SPICE-текст	52
7.1	Добавление объекта SPICE-текст на схему	52

7.2	Редактирование объектов SPICE-текст	53
8	Библиотека компонентов	55
8.1	Общие сведения о библиотеке компонентов	55
8.2	Примитивы	58
8.2.1	Общие сведения о примитивах	58
8.2.2	Добавление примитивов на схему	61
8.2.3	Выбор УГО	63
8.2.4	Параметры модели компонента	64
8.2.5	Активные компоненты	67
8.2.6	Источники	83
8.2.7	Многополюсники	99
8.2.8	Пассивные элементы	113
8.3	Библиотеки	134
8.3.1	Предустановленная библиотека	134
8.3.2	Пользовательские SPICE-библиотеки	136
8.3.3	Файлы описания модели	137
9	Сигналы	143
9.1	Общие сведения о сигналах	143
9.2	Экспоненциальный сигнал (EXP)	146
9.3	Последовательность прямоугольных импульсов (PULSE)	148
9.4	Кусочно-линейный сигнал (PWL)	149
9.5	Синусоидальный сигнал (SIN)	151
9.6	Частотно-модулированный синусоидой сигнал (SFFM)	153
9.7	Шумовой сигнал (NOISE)	155
9.8	Гауссов импульс (GAUSSIAN)	156
9.9	Амплитудно-модулированный сигнал (AM)	157
9.10	Сигнал в аудиоформате (WAV)	159
9.10.1	Способы определения сигнала	159

9.10.2	С помощью окна «Сигналы»	159
9.10.3	Явное определение параметров	161
9.10.4	С помощью директивы .STIMULUS	162
9.11	Линейно-частотно-модулированный сигнал (SLFM)	166
10	Моделирование	167
10.1	Общие сведения о моделировании	167
10.2	Окно параметров моделирования	170
10.3	Рабочая точка	173
10.3.1	Общие сведения о расчете рабочей точки	173
10.3.2	Интерфейс расчёта рабочей точки	173
10.3.3	Методы расчёта рабочей точки	175
10.3.4	Задание начальных условий .IC и .NODESET	177
10.4	Расчет чувствительности по постоянному току	178
10.4.1	Общие сведения о расчете чувствительности	178
10.4.2	Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току	179
10.5	Статический анализ	182
10.5.1	Общие сведения о статическом анализе	182
10.5.2	Интерфейс задания параметров моделирования	183
10.6	Анализ гармонического режима схемы	187
10.6.1	Общие сведения об анализе гармонического режима схемы	188
10.6.2	Интерфейс анализа гармонического режима схемы	188
10.7	Частотный анализ	191
10.7.1	Общие сведения о частотном анализе	191
10.7.2	Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы	192
10.8	Анализ переходных процессов	197
10.8.1	Общие сведения об анализе переходных процессов	197
10.8.2	Интерфейс расчёта переходных процессов схемы	198
10.9	Анализ периодических режимов	200
10.9.1	Общие сведения об анализе периодических режимов	200
10.9.2	Интерфейс расчёта периодических режимов схемы	201

10.10	Анализ устойчивости схемы	206
10.10.1	Общие сведения об анализе устойчивости схемы	206
10.10.2	Критерий собственных частот схемы	207
10.10.3	Критерий Михайлова	207
10.10.4	Интерфейс анализа устойчивости схемы	208
10.11	Многовариантные типы анализа схем	212
10.11.1	Общие сведения о многовариантных типах анализа	212
10.11.2	Температурный расчёт схемы	213
10.11.3	Параметрический анализ схемы	214
10.11.4	Настройки вкладки «Параметрический анализ»	215
10.11.5	Анализ Монте-Карло и наихудшего случая	217
10.11.6	Настройки вкладки «Анализ Монте-Карло»	219
10.12	Настройки	224
11	Просмотр и обработка результатов моделирования	232
11.1	Общие сведения о результатах моделирования	232
11.2	Работа с графиками	235
11.3	Панель «Моделирование: Графики»	237
11.4	Режимы	240
11.5	Работа с курсорами	241
11.6	Панель «Моделирование: Курсоры»	243
11.7	Экспорт графиков	245
12	Измерения	248
12.1	Общие сведения об измерениях	248
12.2	Настройки вкладки «Измерения»	249
12.3	Добавление нового измерения	251
12.4	Список функций измерений	253
12.4.1	Синтаксис измерений SimOne	253
12.4.2	Bandwidth <выражение> [<level>]	256
12.4.3	CenterFrequency <выражение> [<level>]	256
12.4.4	Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]	257

12.4.5	Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]	258
12.4.6	DeltaX <выражение> <Yfirst> <Ylast> [<number>]	258
12.4.7	DeltaY <выражение> <Xfirst> <Xlast>	259
12.4.8	FallTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	259
12.4.9	FirstY <выражение>	260
12.4.10	Frequency <выражение> <y_fixed> [<number>]	260
12.4.11	Inflection <выражение> [<number>]	261
12.4.12	LastY <выражение>	262
12.4.13	MaxY <выражение>	262
12.4.14	MaxX <выражение>	262
12.4.15	MinY <выражение>	263
12.4.16	MinX <выражение>	263
12.4.17	NX <выражение> [<number>]	263
12.4.18	NY <выражение> [<number>]	264
12.4.19	PeakX <выражение> [<number>]	264
12.4.20	PeakY <выражение> [<number>]	264
12.4.21	Period <выражение> <y_fixed> [<number>]	265
12.4.22	Q_Bandpass <выражение> [<level>]	265
12.4.23	RangeY <выражение> <xfirst> <xlast>	266
12.4.24	RiseTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	266
12.4.25	Slope <выражение> <x_fixed>	267
12.4.26	SlopeX <выражение> <slope> [<number>]	267
12.4.27	ValleyX <выражение> [<number>]	268
12.4.28	ValleyY <выражение> [<number>]	268
12.4.29	Width <выражение> <y_fixed> [<number>]	269
12.4.30	XatY <выражение> <y_fixed> [<number>] [<type>]	269
12.4.31	YatX <выражение> <x_fixed>	270
12.5	Панель «Моделирование: Измерения»	270
13	Преобразование Фурье	272
14	Вкладка преобразования Фурье	272
15	Окно преобразования Фурье	274

16	Выражения	277
16.1	Общие сведения о выражениях	277
16.2	Числа и константы	278
16.3	Переменные	279
16.4	Расчётные параметры моделей компонентов	279
16.5	Символьные переменные	281
16.6	Переменные состояния схемы	282
16.7	Математические операторы и функции	282
16.7.1	Арифметические операторы	282
16.7.2	Булевы операторы	284
16.7.3	Арифметические функции	287
16.7.4	Булевы функции	289
16.7.5	Гиперболические функции	290
16.7.6	Измерения	293
16.7.7	Интегральные функции	300
16.7.8	Комплексные функции	303
16.7.9	Логарифмы и экспоненты	305
16.7.10	Остальные функции	308
16.7.11	Случайные функции	312
16.7.12	Тригонометрические функции	316
16.7.13	Функциональные преобразования	319
16.7.14	Фурье анализ	324
17	Дополнительные возможности	327
17.1	Щуп	327
17.2	Метка измерения	331
17.3	Просмотр результатов расчета	335
17.4	Панель «Моделирование: Подстройка параметров»	337
17.5	Экспорт уравнений	340
18	Панель «Журналы»	340
19	Приложение А. Описание моделей примитивов	341

19.1	Операционный усилитель	341
19.2	Транзистор биполярный NPN	341
19.3	Транзистор биполярный NPN с выводом от подложки	342
19.4	Транзистор биполярный PNP	343
19.5	Транзистор биполярный PNP с выводом от подложки	343
19.6	Транзистор МОП с каналом N-типа	344
19.7	Транзистор МОП с каналом N-типа и выводом от подложки	353
19.8	Транзистор МОП с каналом P-типа	362
19.9	Транзистор МОП с каналом P-типа и выводом от подложки	371
19.10	Транзистор полевой арсенид-галлиевый	380
19.11	Транзистор полевой с каналом N-типа	380
19.12	Транзистор полевой с каналом P-типа	381
19.13	Батарея	381
19.14	Независимый источник напряжения	382
19.15	Независимый источник тока	382
19.16	Источник напряжения, управляемый напряжением	382
19.17	Источник напряжения, управляемый током	382
19.18	Источник тока, управляемый напряжением	382
19.19	Источник тока, управляемый током	382
19.20	Функциональный источник напряжения	383
19.21	Функциональный источник тока	383
19.22	Двухполюсник	383
19.23	Четырехполюсник	383
19.24	Шестиполюсник	383
19.25	Восьмиполюсник	384
19.26	Взаимная (магнитосвязная) индуктивность	384
19.27	Двухобмоточный трансформатор	384
19.28	Диод	385

19.29	Длинная линия	385
19.30	Индуктивность	385
19.31	Конденсатор	385
19.32	Магнитный сердечник	386
19.33	Переключатель, управляемый напряжением	386
19.34	Переключатель, управляемый током	386
19.35	Резистор	386
19.36	Резистор-потенциометр с линейной зависимостью	386
19.37	Резистор-потенциометр со степенной зависимостью	387
19.38	Резистор-потенциометр с логарифмической зависимостью	387
19.39	Резистор-потенциометр с обратной логарифмической зависимостью	388
20	Приложение Б. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.	388
20.1	Общие сведения о приложении	388
20.2	В. Функциональные источники напряжения и тока	388
20.3	В. Арсенид-галлиевый полевой транзистор	389
20.4	С. Конденсатор	395
20.5	Д. Диод	397
20.6	Е. Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)	400
20.7	Ф. Источник тока, управляемый током (ИТУТ)	404
20.8	Г. Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)	407
20.9	Н. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	410
20.10	І. Независимый источник тока	412
20.11	Ј. Полевой транзистор	413
20.12	К. Магнитно-связанная индуктивность	415
20.13	Л. Индуктивность	416
20.14	М. Полевой транзистор с изолированным затвором	418
20.15	Q. Биполярный транзистор	424
20.16	Р. Резистор	429

20.17	S. Переключатель, управляемый напряжением	431
20.18	T. Длинная линия	433
20.19	V. Независимый источник напряжения	434
20.20	W. Переключатель (ключ), управляемый током	435
20.21	X. Подсхема	437

1 Термины и определения

В настоящем документе используется термины и определения, представленные в [Табл. 1](#).

[Таблица 1](#) Термины и определения

Термин	Определение
SPICE	Программа моделирования электронных схем общего назначения, разработанная в Университете Беркли США
Нетлист	Текстовый файл, содержащие список соединений схемы и задание на моделирование в форматах SPICE, PSPICE, HSPICE, LTSPICE, NGSPICE
Примитив	Виртуальный электронный компонент графической схемы с параметрами моделей, заданными по умолчанию, которые предназначены для редактирования пользователем
Проводники	Соединения, предназначенные для обозначения наличия гальванической связи между элементами схемы

В настоящем документе используется перечень сокращений, представленный в таблице, см. [Табл. 2](#).

[Таблица 2](#) Перечень сокращений

Сокращение	Значение
SPICE	Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis
УГО	Условное графическое отображение
ИНУН	Источник напряжения, управляемый напряжением
ИНУТ	Источник напряжения, управляемый током
ИТУН	Источник тока, управляемый напряжением
ИТУТ	Источник тока, управляемый током

2 Общие сведения о SimOne

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.

3 Интерфейс

3.1 Меню «SimOne»

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

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

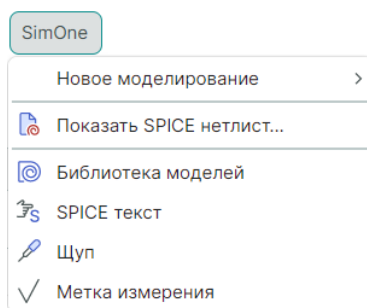


Рис. 1 Команды «SimOne» из главного меню



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

Описание доступных команд раздела главного меню «SimOne» представлен в [Табл. 3](#).

[Таблица 3](#) 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 по активной схеме проекта моделирования.
	Библиотека моделей...	Активирование панели библиотеки моделей.

Символ	Команда	Описание
	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.

4 Создание проекта

4.1 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».

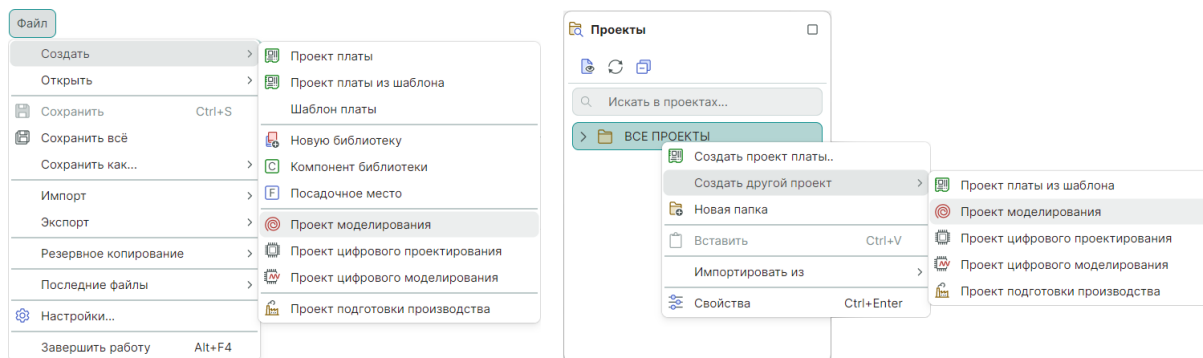


Рис. 2 Создание проекта моделирования



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](#).

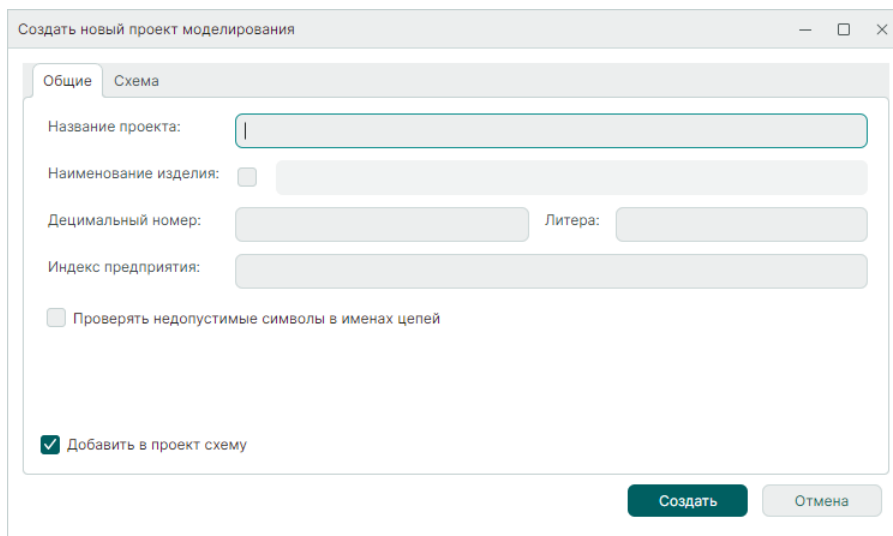


Рис. 3 Окно «Создать новый проект моделирования»

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.

Для проверки имен цепей на наличие недопустимых символов установите флаг в чек-бокс «Проверять недопустимые символы в именах цепей», по умолчанию флаг снят. Настройка может быть включена/отключена после создания проекта в панели «Свойства» для листа схемы, подробнее см. Руководство пользователя [Электрические схемы](#).



Совет! Включение настройки рекомендуется, т.к. при наличии в именах цепей недопустимых символов запуск симулятора SimOne может выполняться некорректно.



Примечание! К недопустимым символам в именах цепей относятся: «//», «{», «}», «(», «)», «,», «'», «"», «;», «[», «]», « » (пробел). При использовании символов, вводимых с помощью Alt-кодов (ОС Windows), или специальных символов и знаков корректная проверка не гарантируется.

При включенной настройке при вводе имени цепи в окне «Переименование цепи» будет получено предупреждение об использовании недопустимых символов, а изменение имени будет недоступно, подробнее см. [Руководство пользователя Электрические схемы](#).

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. Руководство пользователя [Проекты](#).

4.2 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, при необходимости установите флаг «Проверять недопустимые символы в именах цепей» и нажмите «ОК», см. [Рис. 4](#).

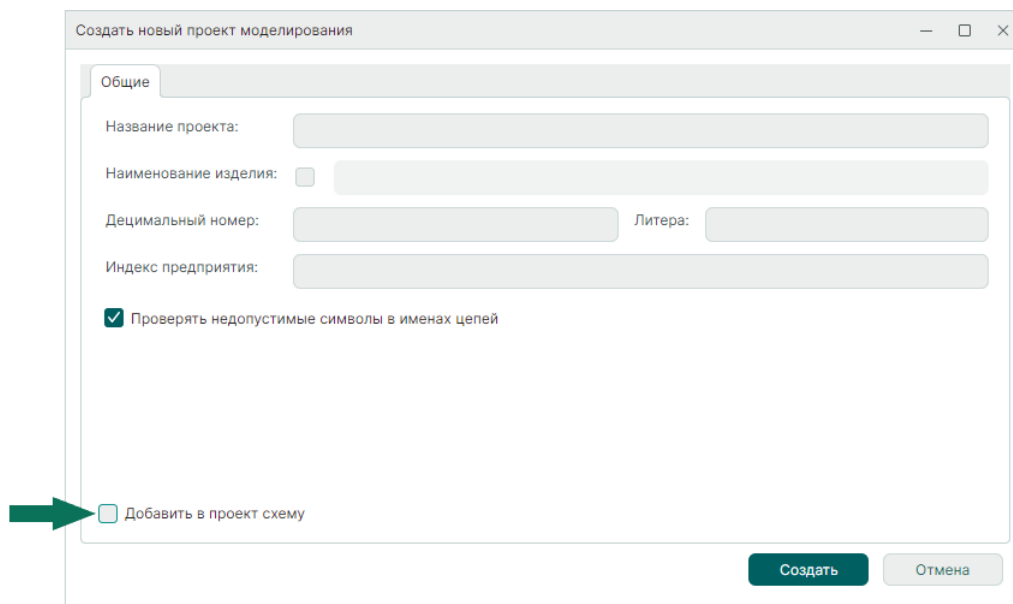


Рис. 4 Создание текстового проекта моделирования

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](#).

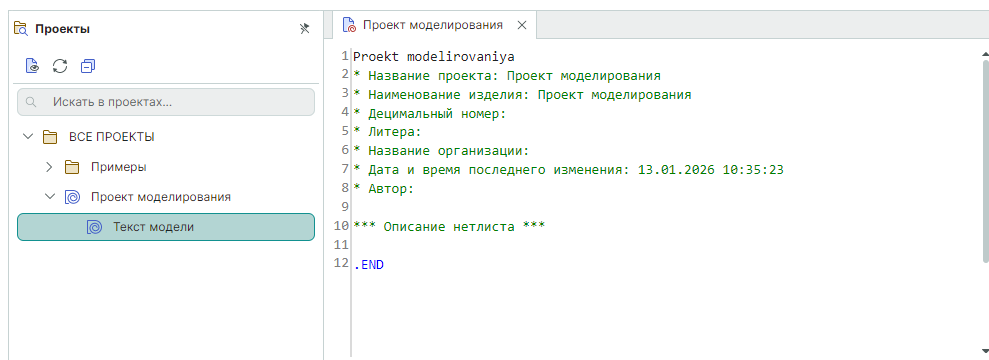


Рис. 5 Пример текстового проекта моделирования и его шаблон в текстовом редакторе

Проверка текстового проекта моделирования осуществляется с помощью панели «Общие» → «Проверка текста модели», см. [Рис. 6](#).

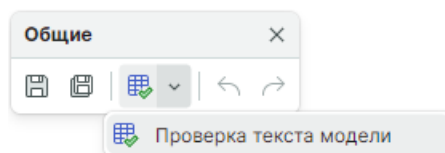


Рис. 6 Проверка текста модели

В случае обнаружения ошибок текста модели, в том числе и наличие недопустимых символов в именах цепей при включенной настройке, они будут представлены в панели «Список ошибок» с указанием строки, в которой найдено нарушение, см. [Рис. 7](#).

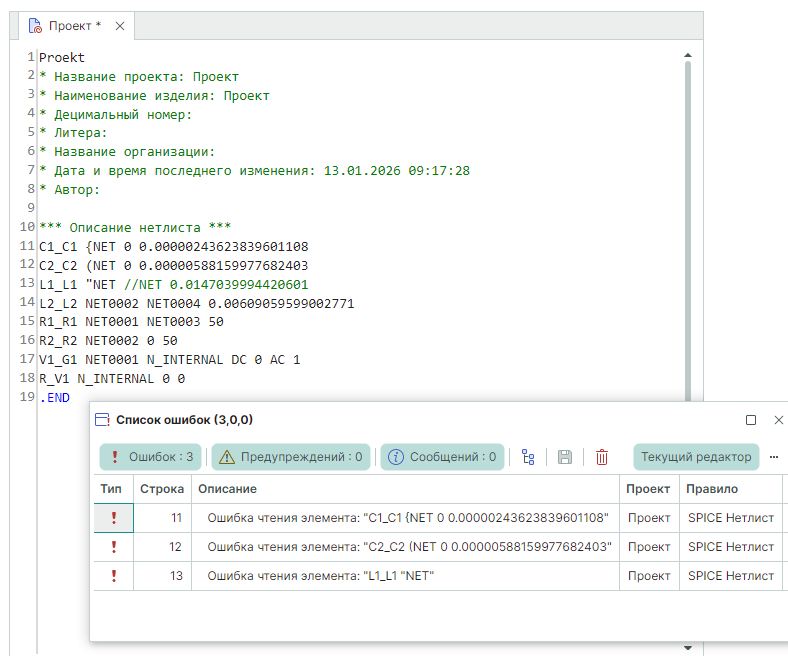


Рис. 7 Список ошибок текстового проекта

Успешное прохождение проверки завершается сообщением об отсутствии ошибок текстового проекта моделирования, см. [Рис. 8](#).

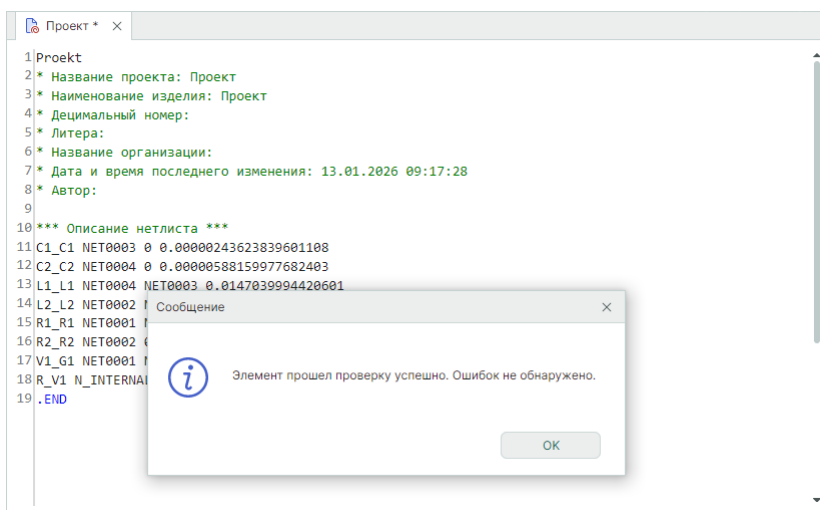


Рис. 8 Уведомление об успешной проверке

Для проектов со схемой, что бы посмотреть его текстовую часть, необходимо из главного меню выбрать «SimOne» → «Показать SPICE нетлист», см. [Рис. 9](#).

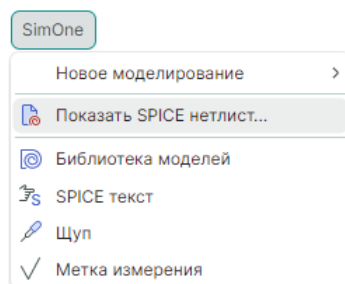


Рис. 9 Открытие текста модели текущей схемы

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. 10](#).

```

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 0.00000000015
10 C2 NET0006 NET0007 0.00000000015
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. 10 Пример описания схемы в виде списка цепей и описания моделей электронных компонентов в текстовом редакторе проекта

Принципиальная схема приведенного выше примера представлена на [Рис. 11](#).

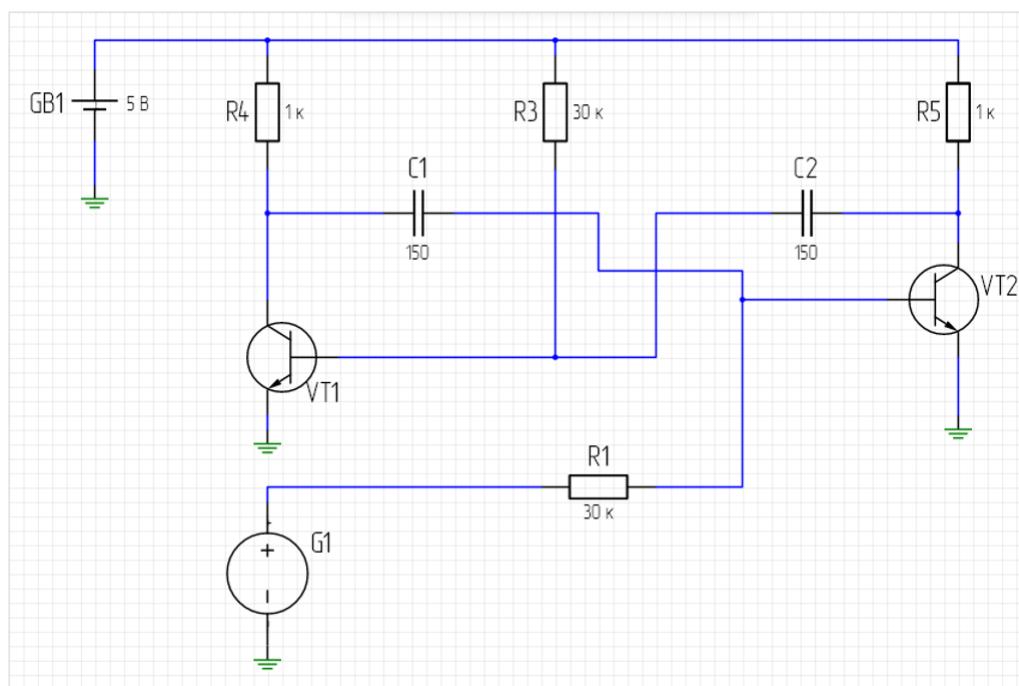


Рис. 11 Принципиальная схема

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](#).

4.3 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. 12](#):

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

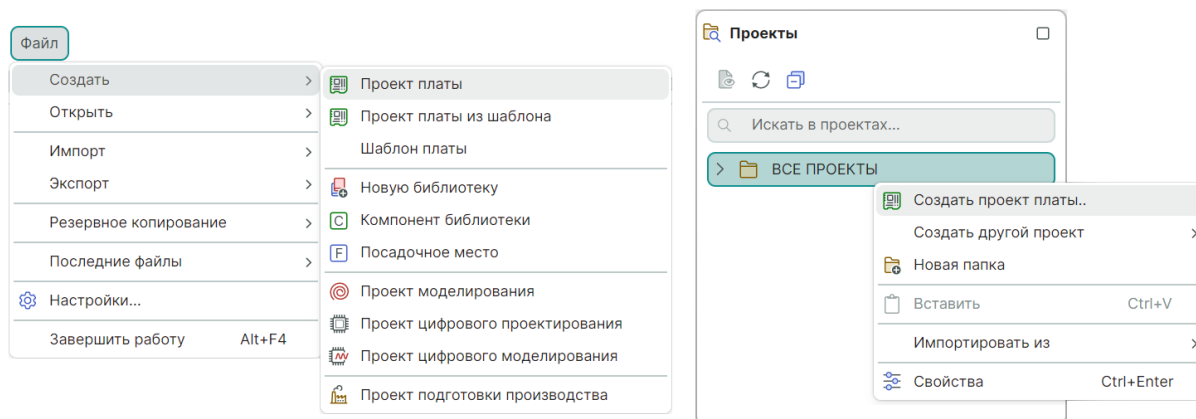


Рис. 12 Создание проекта платы

Подробнее о работе с проектами Delta Design см. Руководство пользователя [Проекты](#).



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 см. 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».

4.4 Работа со SPICE-моделями

4.4.1 Общие сведения о работе со SPICE-моделями

Работа со SPICE-моделями в системе аналогового моделирования SimOne предполагает возможность:

- Добавления моделей [к компонентам в библиотеке](#) и [компонентам, расположенным на схеме](#);
- [Замены моделей](#);
- [Изменения параметров назначения моделей](#);
- [Удаления моделей](#).

4.4.2 Добавление SPICE-модели к библиотечному компоненту

К библиотечному компоненту могут быть добавлены:

- Внутренние модели симулятора соответствующего типа;
- SPICE-модели путем загрузки сторонних файлов.

Для добавления внутренней SPICE-модели симулятора:

1. Откройте редактор компонента, см. [Рис. 13](#).

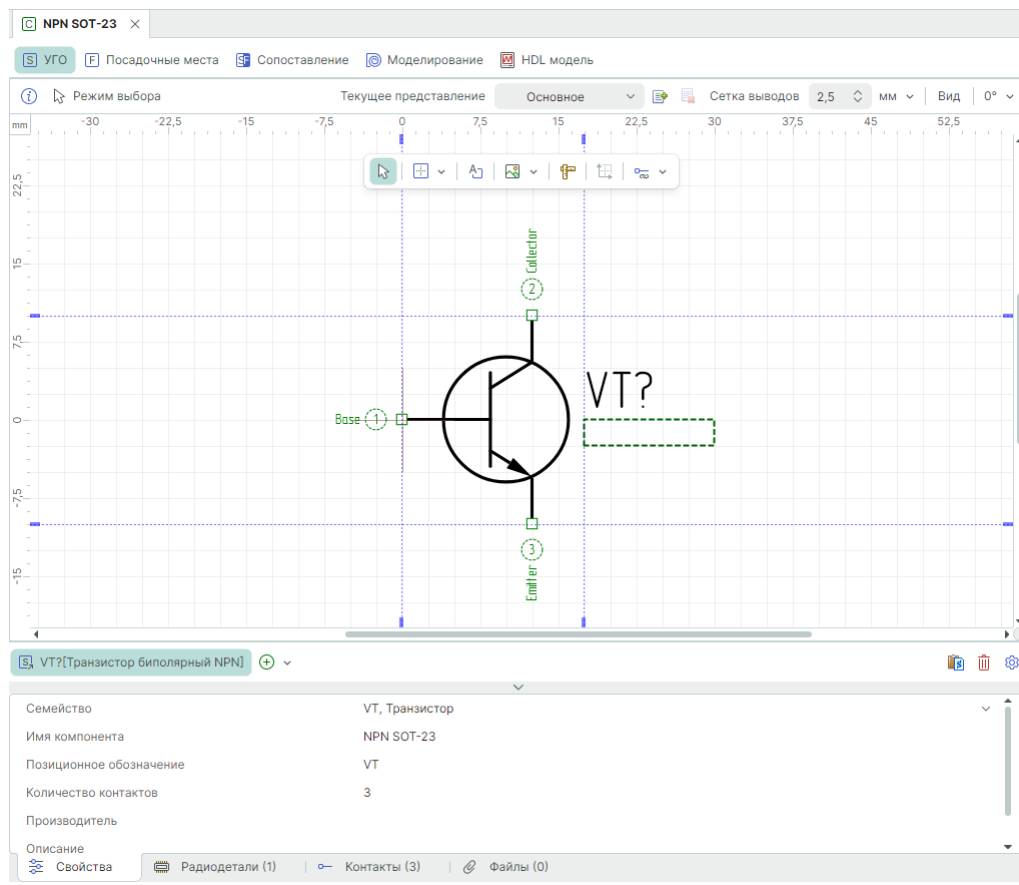


Рис. 13 Редактор компонента

2. Перейдите на вкладку «Моделирование», обозначенную кнопкой  Моделирование для добавления SPICE-модели, см. [Рис. 14](#).

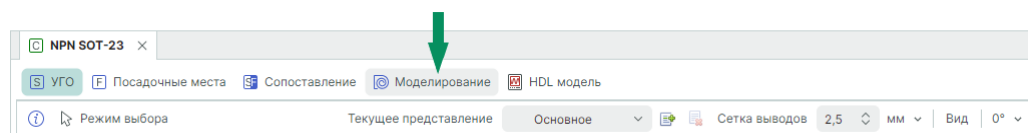


Рис. 14 Переход на вкладку «Моделирование»

3. Нажмите «Добавить SPICE-модель», см. [Рис. 15](#).

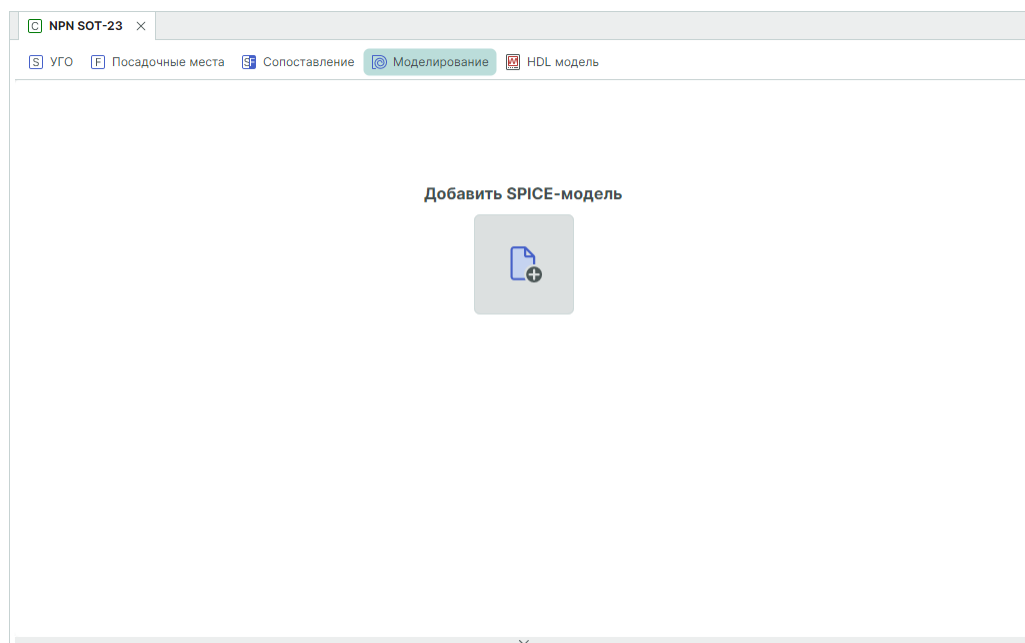


Рис. 15 Переход к добавлению SPICE-модели

4. Выберите категорию модели из выпадающего списка «Категория», см. [Рис. 16](#).

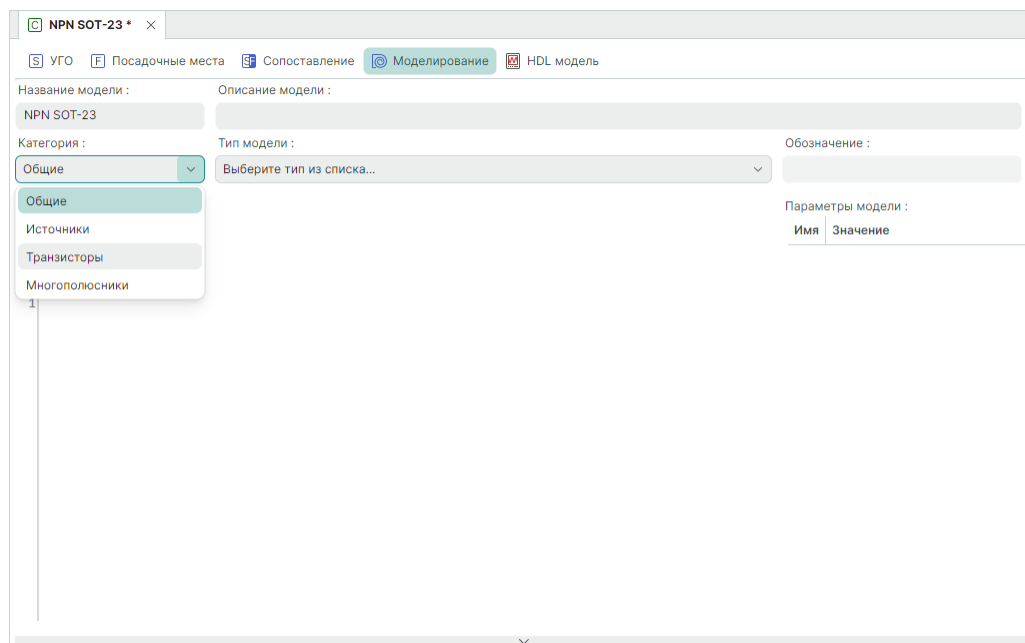


Рис. 16 Выбор категории модели

5. Из выпадающего списка «Тип модели» выберите соответствующий тип модели, см. [Рис. 17](#).

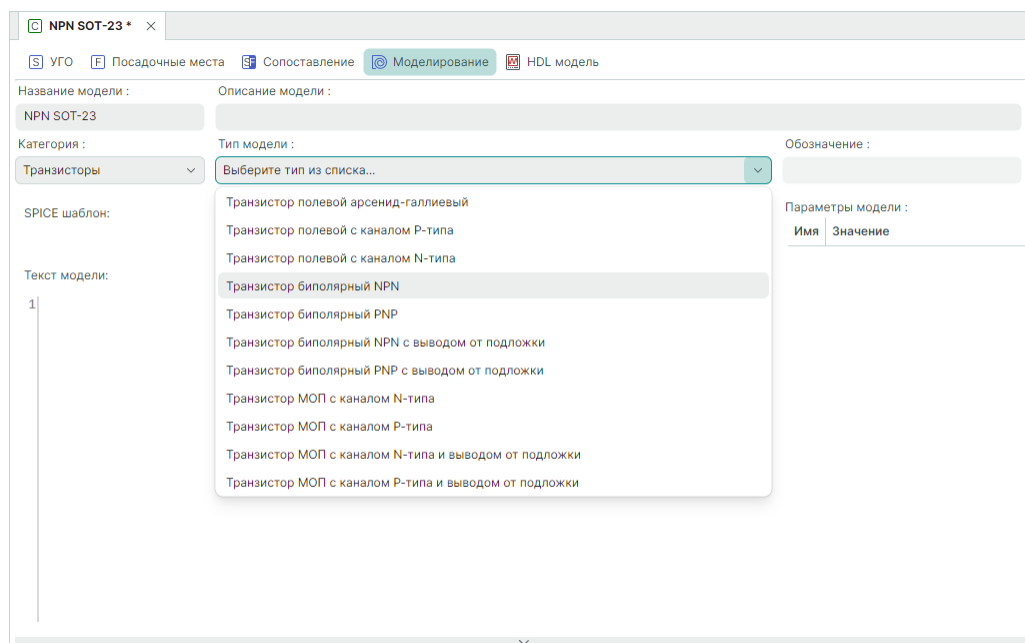


Рис. 17 Выбор типа модели

В полях «SPICE шаблон» и «Текст модели» будут отображены шаблон и текст модели выбранной системной библиотечной SPICE-модели (при наличии), см. [Рис. 18](#).

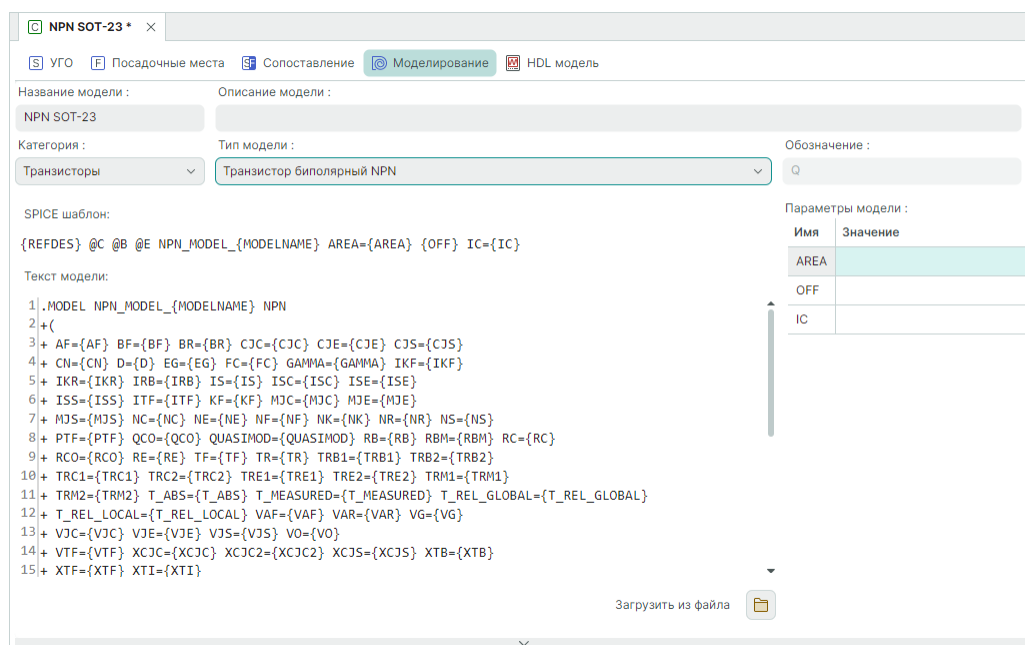


Рис. 18 Заполнение SPICE-шаблона и текста модели

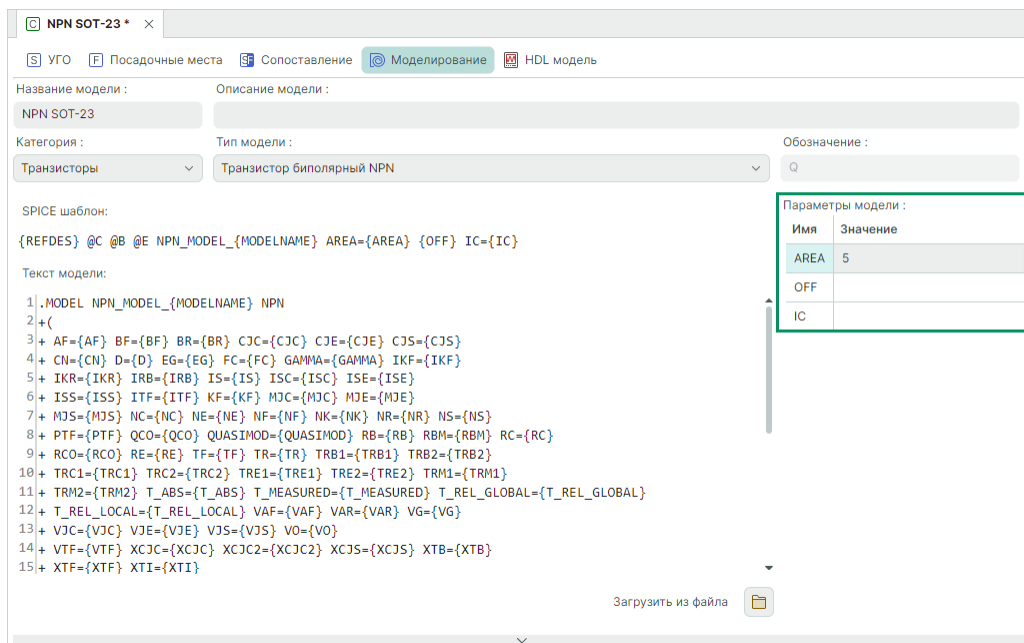
Поле «SPICE шаблон» предназначено для ознакомления со SPICE-шаблоном модели, помогает корректно сопоставить местозаполнители (начинающиеся с символа «@») выводов модели при их неоднозначном именовании.

Поле «Текст модели» позволяет просмотреть текст модели, дает возможность идентификации модели по её тексту, что важно в случае существования моделей с одинаковыми названиями, но разным содержанием.



Примечание! Если нетлист добавляемой модели является подсхемой (.subckt), следует выбрать тип «Блок». При выборе типа «Блок» доступен ручной ввод текста модели.

6. При наличии параметров и необходимости их назначения укажите нужные значения в таблице «Параметры модели», см. [Рис. 19](#).



SPICE шаблон:

```
{REFDES} @C @B @E NPN_MODEL_{MODELNAME} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}
```

Текст модели:

```
1 .MODEL NPN_MODEL_{MODELNAME} NPN
2 +
3 + AF={AF} BF={BF} BR={BR} CJC={CJC} CJE={CJE} CJS={CJS}
4 + CH={CH} D={D} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA} IKF={IKF}
5 + IKR={IKR} IRB={IRB} IS={IS} ISC={ISC} ISE={ISE}
6 + ISS={ISS} ITF={ITF} KF={KF} MJC={MJC} MJE={MJE}
7 + MJS={MJS} NC={NC} NE={NE} NF={NF} NK={NK} NR={NR} NS={NS}
8 + PTF={PTF} QCO={QCO} QUASIMOD={QUASIMOD} RB={RB} RBM={RBM} RC={RC}
9 + RCO={RCO} RE={RE} TF={TF} TR={TR} TRB1={TRB1} TRB2={TRB2}
10 + TRC1={TRC1} TRC2={TRC2} TRE1={TRE1} TRE2={TRE2} TRM1={TRM1}
11 + TRM2={TRM2} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED} T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
12 + T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VAF={VAF} VAR={VAR} VG={VG}
13 + VJC={VJC} VJE={VJE} VJS={VJS} VO={VO}
14 + VTF={VTF} XCJC={XCJC} XCJC2={XCJC2} XCJS={XCJS} XTB={XTB}
15 + XTF={XTF} XTI={XTI}
```

Параметры модели:

Имя	Значение
AREA	5
OFF	
IC	

Рис. 19 Назначение параметров модели

7. Перейдите на вкладку «Контакты» и сопоставьте контакты УГО с выводами SPICE-модели, см. [Рис. 20](#).

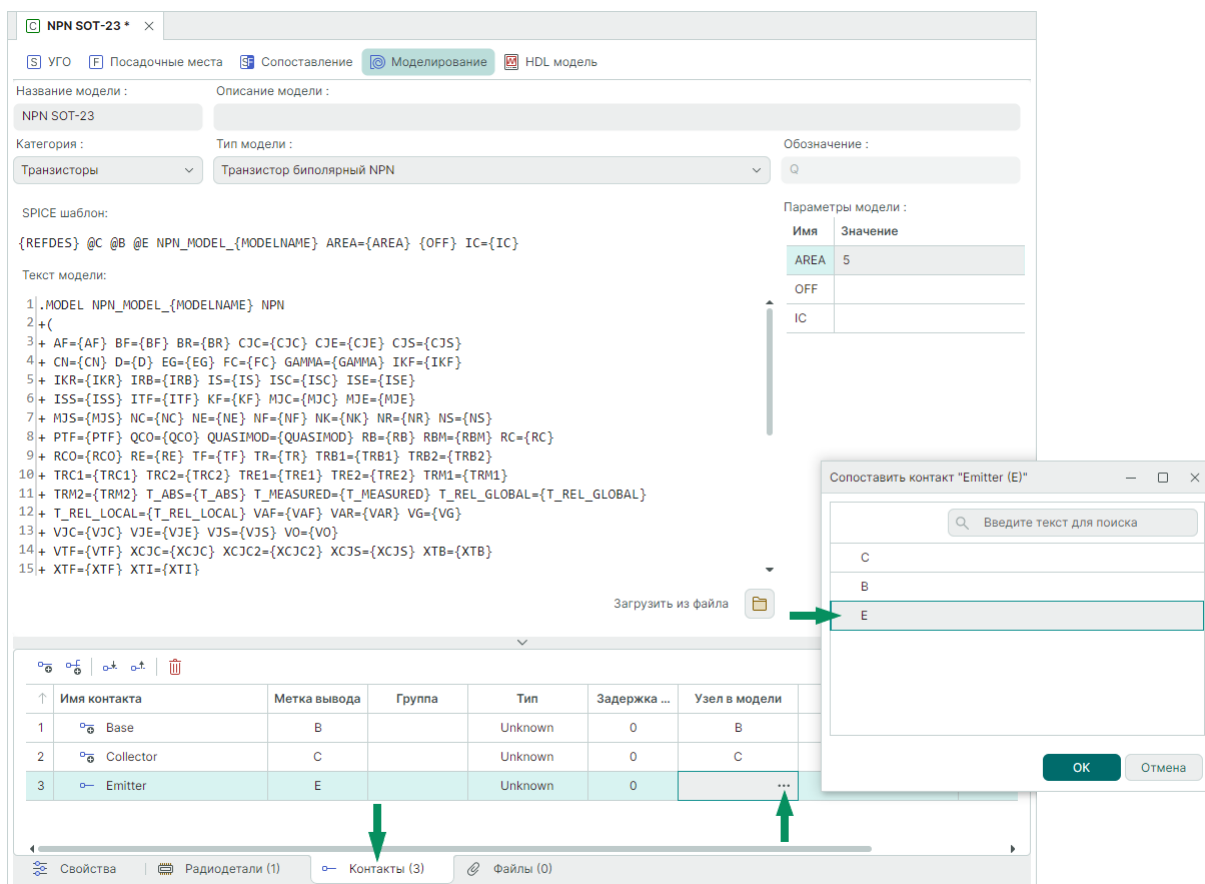


Рис. 20 Сопоставление контактов УГО с выводами SPICE-модели

8. Выполните проверку компонента, см. [Рис. 21](#).

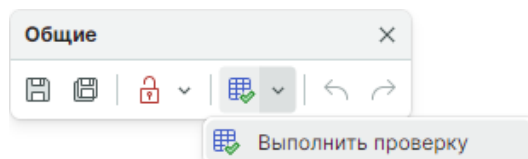


Рис. 21 Запуск проверки компонента

Компонент может использоваться в моделировании, если проверка прошла успешно.

Для добавления SPICE-модели путем загрузки стороннего файла:

1. Откройте редактор компонента.

2. Перейдите на вкладку «Моделирование», обозначенную кнопкой  **Моделирование** для добавления SPICE-модели и нажмите «Добавить SPICE-модель».

3. В форме «Тип модели» выберите соответствующий тип загружаемой модели.

4. Нажмите  «Загрузить из файла», см. [Рис. 22](#).

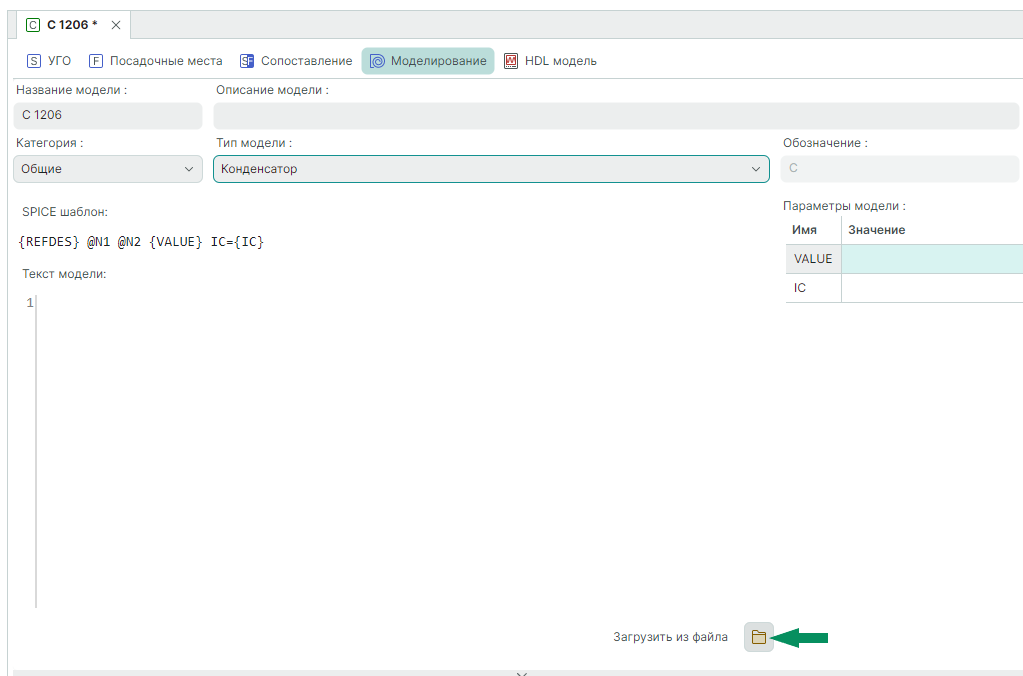


Рис. 22 Переход к загрузке файла SPICE-модели

5. В окне проводника выберите и откройте нужный файл SPICE-модели, см. [Рис. 23](#).

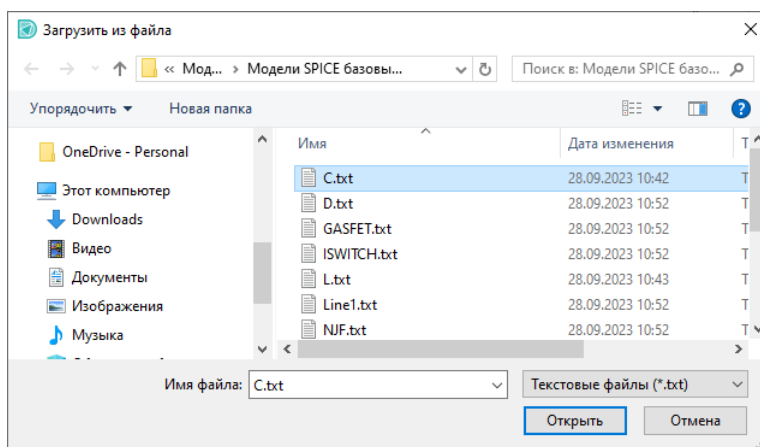


Рис. 23 Выбор файла SPICE-модели



Примечание! По умолчанию для загрузки файлов моделей производится фильтрация файлов с расширениями *.lib и *.txt. Для загрузки файлов моделей с другими расширениями введите в окне проводника в поле

«Имя файла» символ «*» и нажмите «Enter», для выбора станут доступны все файлы выбранной директории, см. [Рис. 24](#).

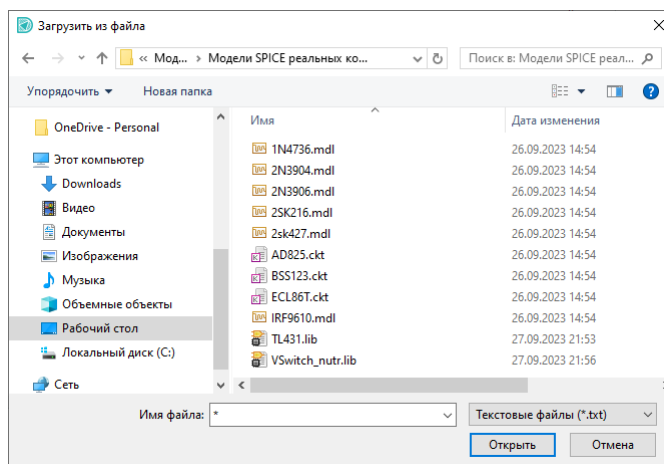


Рис. 24 Отображение файлов директории

6. В поле «Текст модели» будет отображено текстовое описание модели из выбранного файла. В разделе «SPICE шаблон» удостоверьтесь, что программа корректно «прочитала» модель и сгенерировала шаблон, см. [Рис. 25](#).

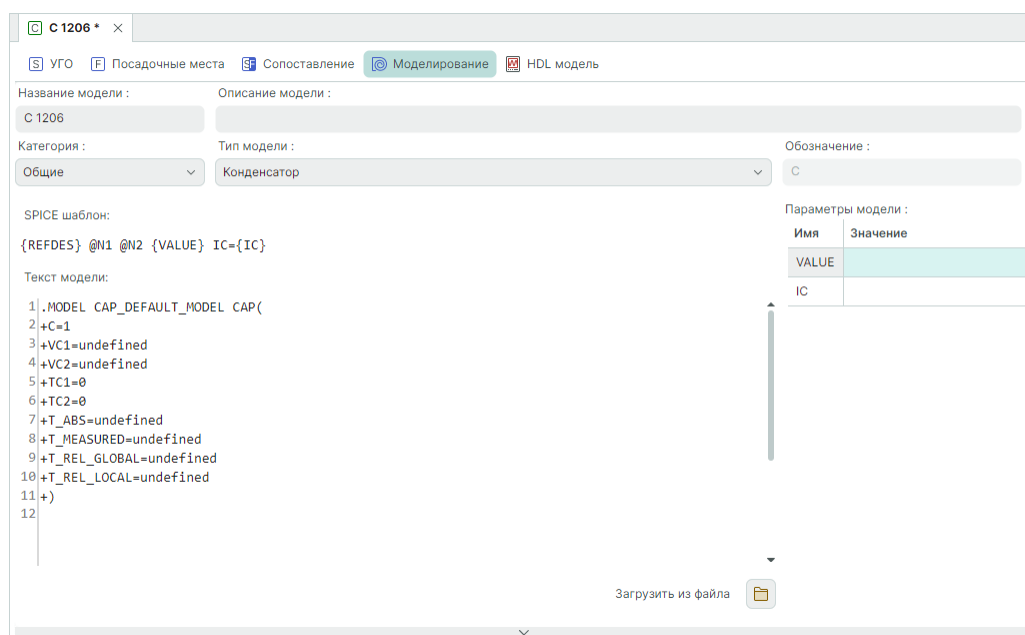


Рис. 25 Отображение текста и шаблона модели

В случае, если файл содержит ошибки, не содержит описание модели известного типа или вовсе не является файлом SPICE-модели, будет получено уведомление об отказе загрузки описания модели из файла, см. [Рис. 26](#).

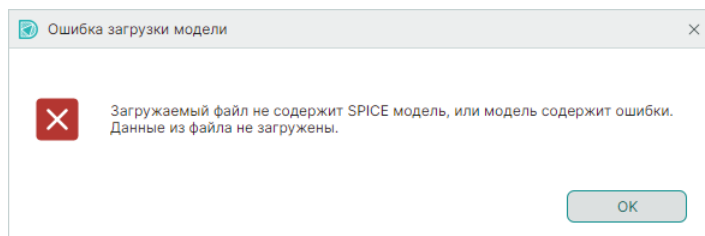


Рис. 26 Ошибка загрузки модели

7. При наличии параметров и необходимости их назначения укажите нужные значения в таблице «Параметры модели».

8. Сопоставьте контакты УГО с выводами SPICE-модели на вкладке «Контакты».

9. Выполните проверку компонента.

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

```

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

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

4.4.3 Добавление SPICE-модели к компоненту, расположенному на схеме

К компоненту, расположенному на схеме могут быть добавлены:

- Внутренние модели симулятора соответствующего типа;
- SPICE-модели путем загрузки сторонних файлов.

Для добавления SPICE-модели к компоненту внутренней модели:

1. Выберите команду «Задать аналоговую модель» из контекстного меню для компонента или перейдите «Свойства» → «SPICE» → «Модель» и нажмите кнопку , см. [Рис. 27](#).

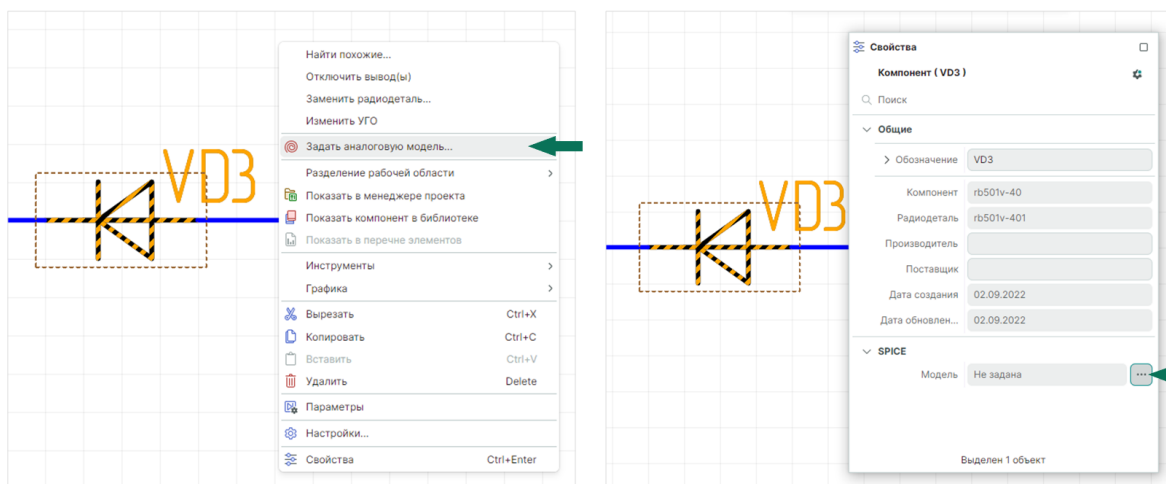


Рис. 27 Добавление SPICE-модели

2. Для добавления SPICE-модели к компоненту активируется окно «Задать модель компонента», см. [Рис. 28](#).

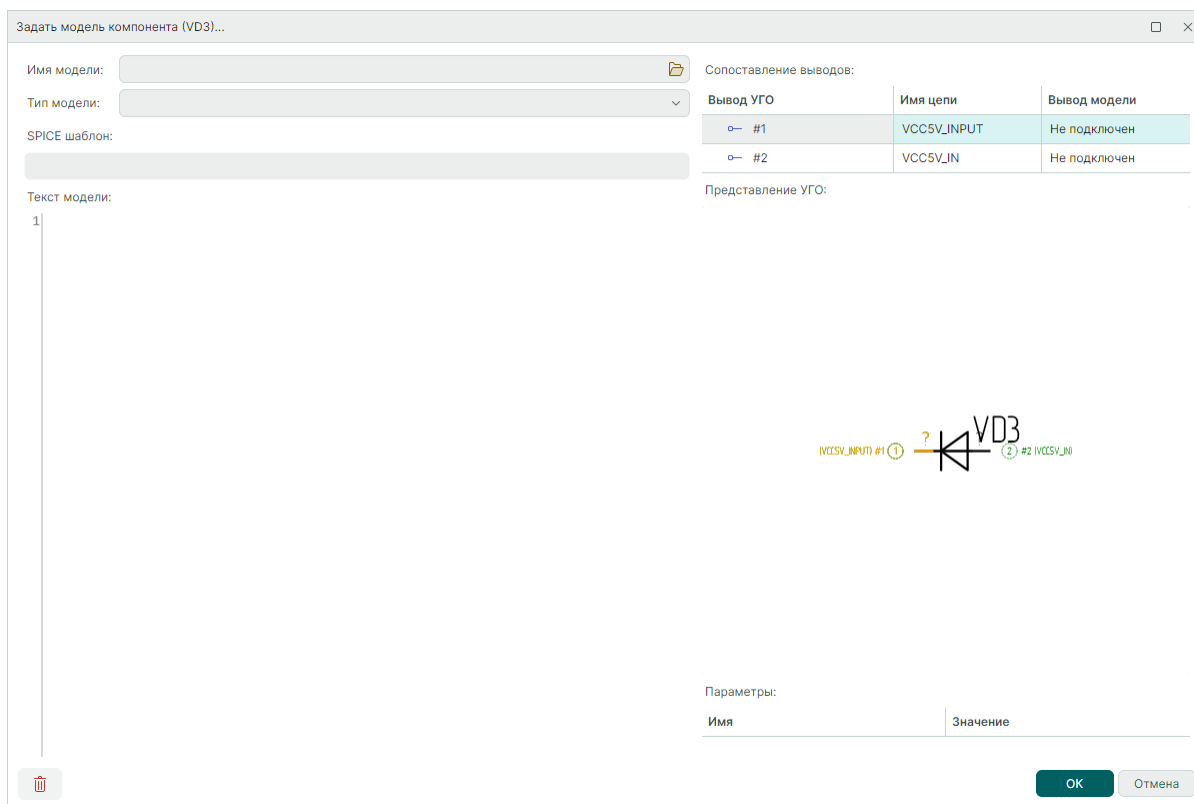


Рис. 28 Окно «Задать модель компонента»

3. Для добавления модели из внутренней библиотеки в поле «Тип модели» выберите из выпадающего списка необходимый тип модели, см. [Рис. 29](#).

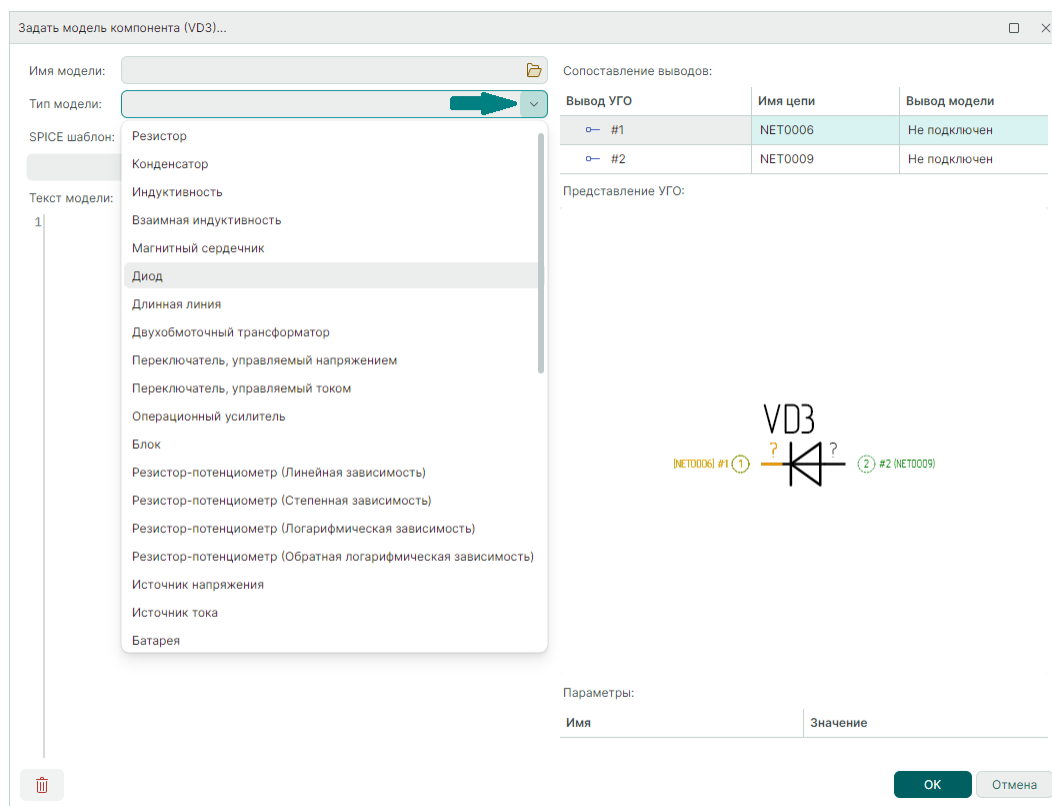


Рис. 29 Выбор типа модели



Примечание! Если нетлист добавляемой модели является подсхемой (.subckt), следует выбрать тип «Блок». При выборе типа «Блок» доступен ручной ввод текста модели.

В полях «SPICE шаблон» и «Текст модели» будут отображены шаблон и текст модели выбранной системной библиотечной SPICE-модели (при наличии), см. [Рис. 30](#).

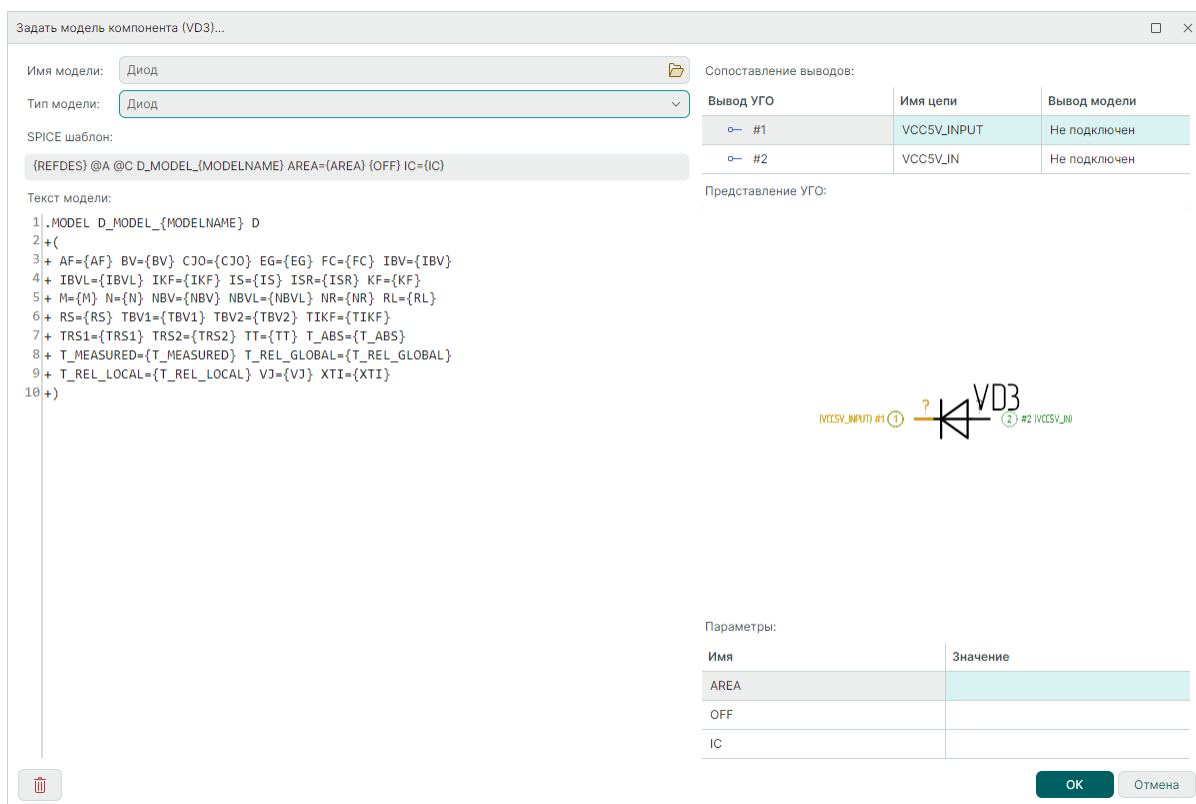


Рис. 30 Отображение шаблона и текста модели

Поле «SPICE шаблон» предназначено для ознакомления со SPICE-шаблоном модели, помогает корректно сопоставить местозаполнители (начинающиеся с символа «@») выводов модели при их неоднозначном именовании.

Поле «Текст модели» позволяет просмотреть текст модели, дает возможность идентификации модели по её тексту, что важно в случае существования моделей с одинаковым названием, но разным содержанием.

4. Сопоставьте выводы УГО и модели в таблице «Сопоставление выводов», выбрав из выпадающего списка соответствующий вывод модели для каждого вывода УГО, см. [Рис. 31](#).

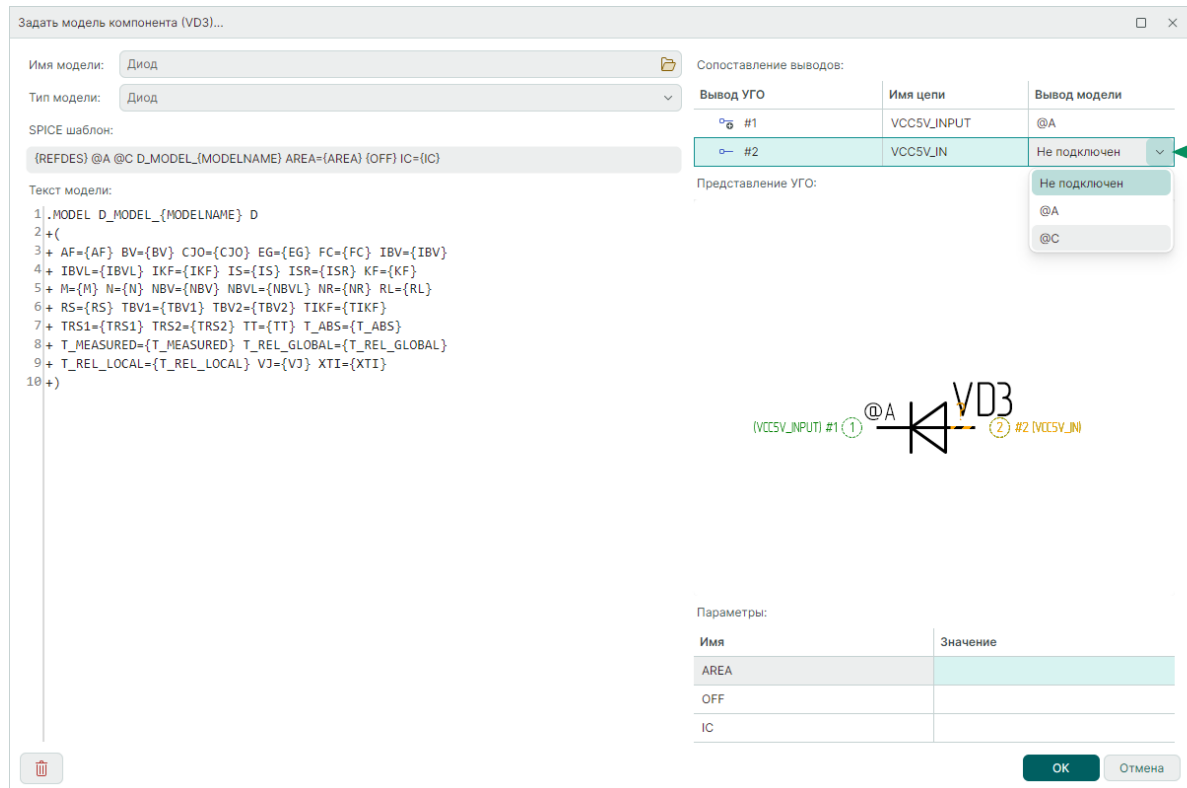


Рис. 31 Сопоставление выводов

5. При наличии параметров и необходимости их назначения укажите нужные значения в таблице «Параметры», см. [Рис. 32](#).

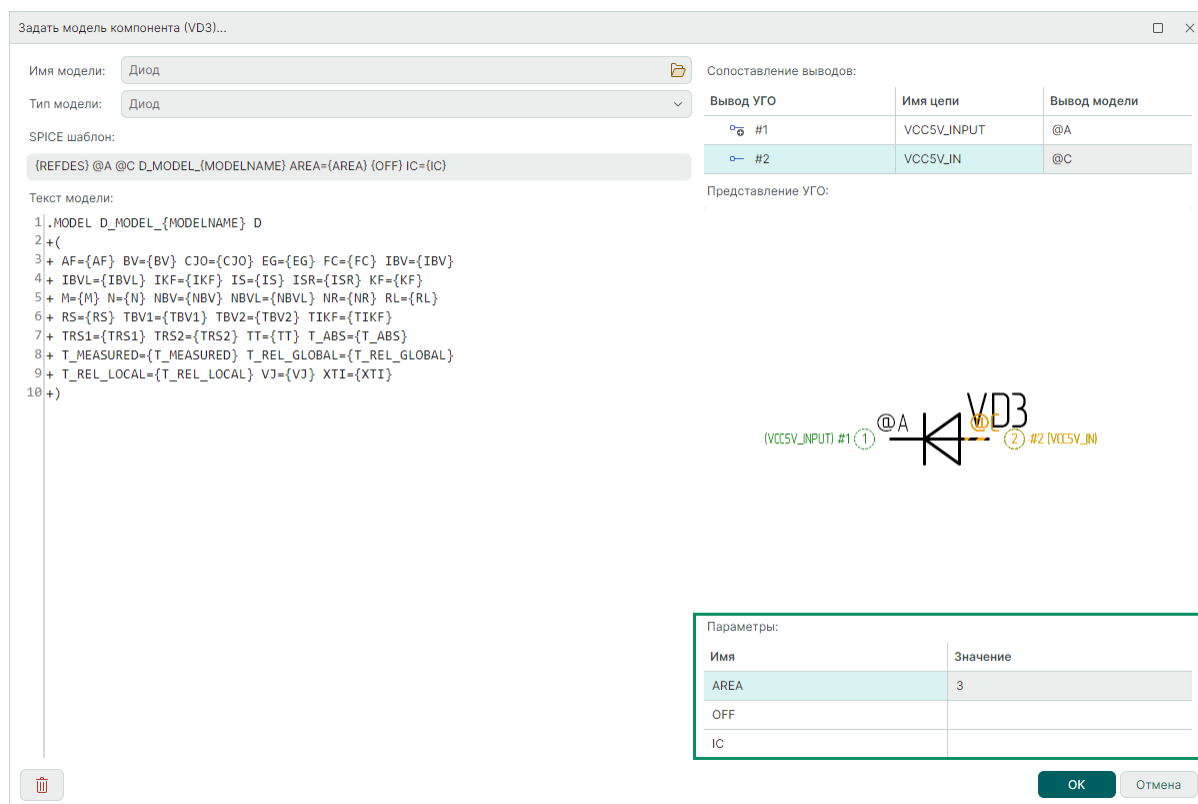


Рис. 32 Назначение параметров модели

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

Для добавления SPICE-модели к компоненту модели из стороннего файла:

1. Выберите команду «Задать аналоговую модель» из контекстного меню для компонента или перейдите «Свойства» → «SPICE» → «Модель» и нажмите кнопку . Для добавления SPICE-модели к компоненту активируется окно «Задать модель компонента».

2. В поле «Имя модели» нажмите кнопку , см. [Рис. 33](#).

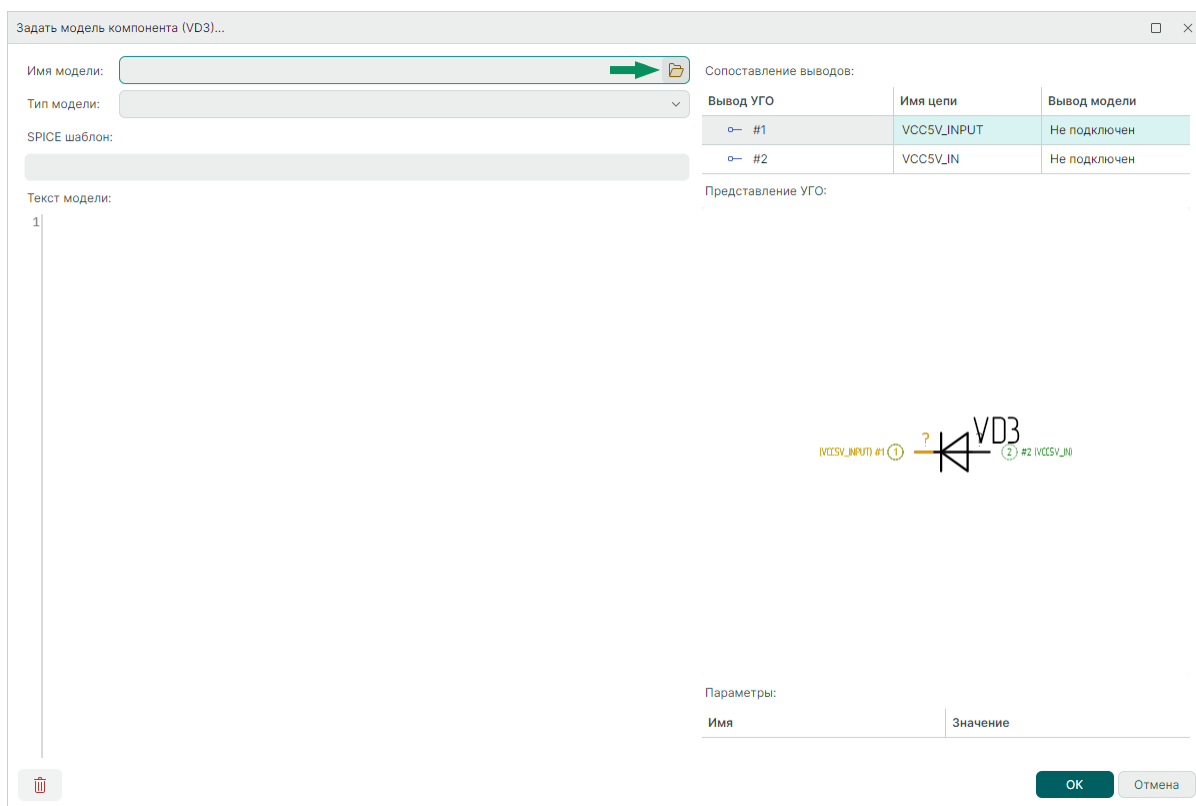


Рис. 33 Переход к выбору файла модели

3. В окне проводника выберите и откройте нужный файл SPICE-модели, см. [Рис. 34](#).

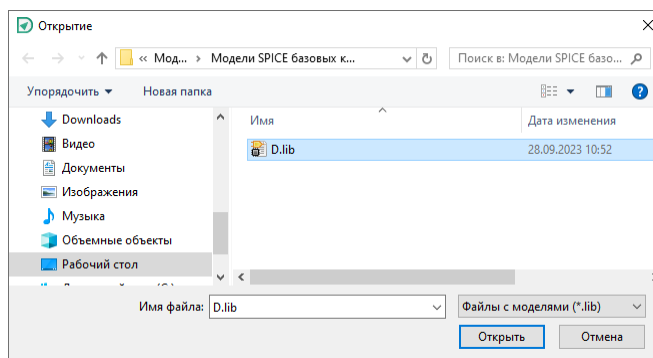


Рис. 34 Выбор файла SPICE-модели

В поле «Текст модели» будет отображено текстовое описание модели из выбранного файла. В разделе «SPICE шаблон» удостоверьтесь, что программа корректно «прочитала» модель и сгенерировала шаблон, см. [Рис. 35](#).

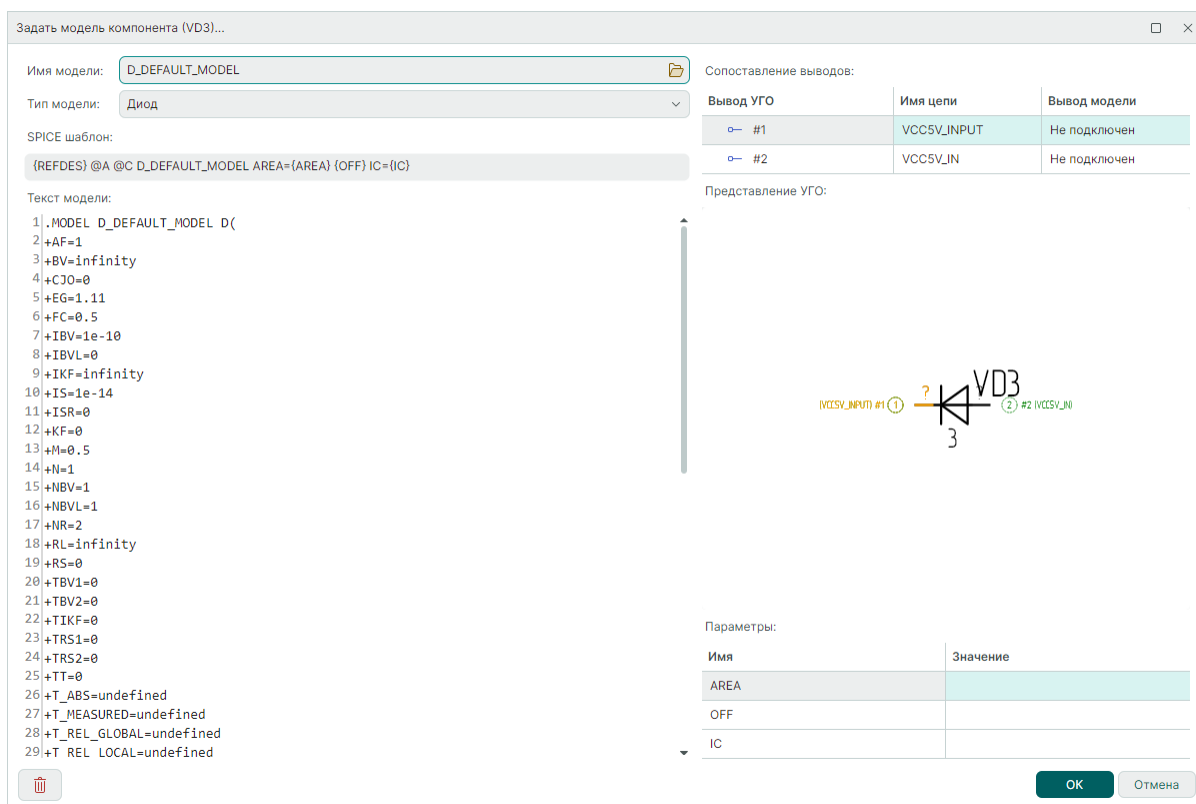


Рис. 35 Отображение шаблона и текста модели

Примечание! По умолчанию для загрузки файлов моделей производится фильтрация файлов с расширением *.lib. Для загрузки файлов моделей с другими расширениями введите в окне проводника в поле «Имя файла» символ «*» и нажмите «Enter», для выбора станут доступны все файлы выбранной директории, см. [Рис. 36](#).

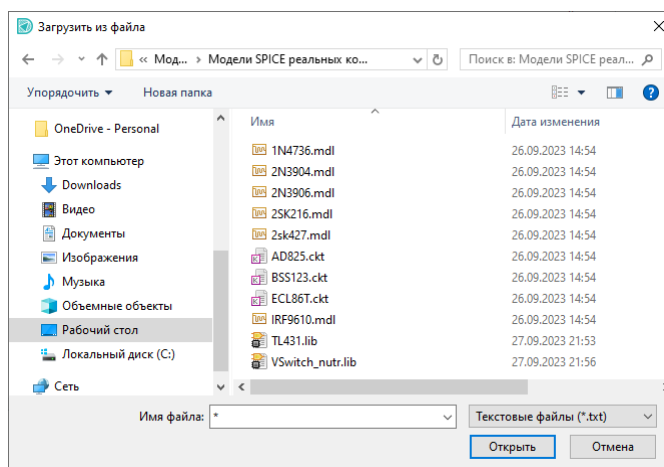


Рис. 36 Отображение файлов директории

В случае, если файл содержит ошибки, не содержит описание модели известного типа или вовсе не является файлом SPICE-модели, будет получено уведомление об отказе загрузки описания модели из файла, см. [Рис. 37](#).

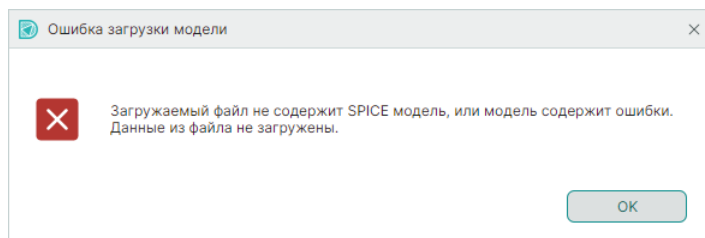


Рис. 37 Ошибка загрузки модели

4. Сопоставьте выводы УГО и модели в таблице «Сопоставление выводов», выбрав из выпадающего списка соответствующий вывод модели для каждого вывода УГО.

5. При наличии параметров и необходимости их назначения укажите нужные значения в таблице «Параметры».

6. Нажмите «ОК» для сохранения настроек и закрытия окна «Задать модель компонента».

После добавления модели к компоненту поле «Свойства» → «SPICE» → «Модель» отображает информацию по SPICE-модели для текущего компонента, см. [Рис. 38](#).

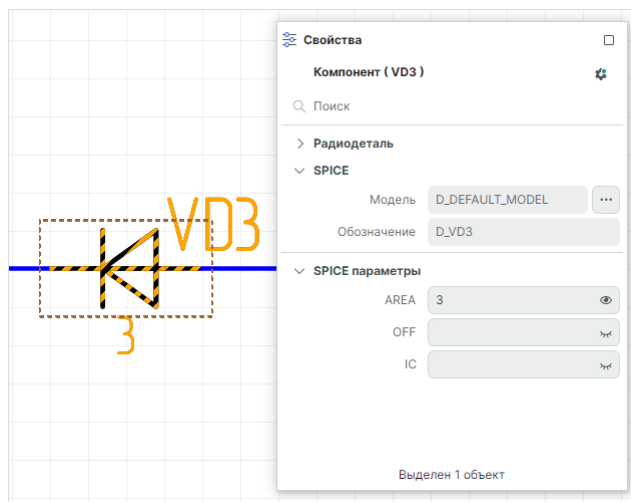


Рис. 38 Назначенная SPICE-модель у компонента

4.4.4 Компилированный шаблон

После назначения SPICE-модели компоненту, расположенному на схеме, или применения библиотечного компонента с назначенной SPICE-моделью для

наглядного отображения вхождения компонента в нетлист электрической цепи будет создан компилированный SPICE-шаблон.

Компилированный шаблон представляет собой SPICE-шаблон модели с выполненными подстановками обозначения компонента, имен узлов, имени модели-прототипа и параметров экземпляра модели.

Просмотр компилированного шаблона доступен в поле «Текст в нетлисте» в окне «Задать модель компонента», см. [Рис. 39](#).

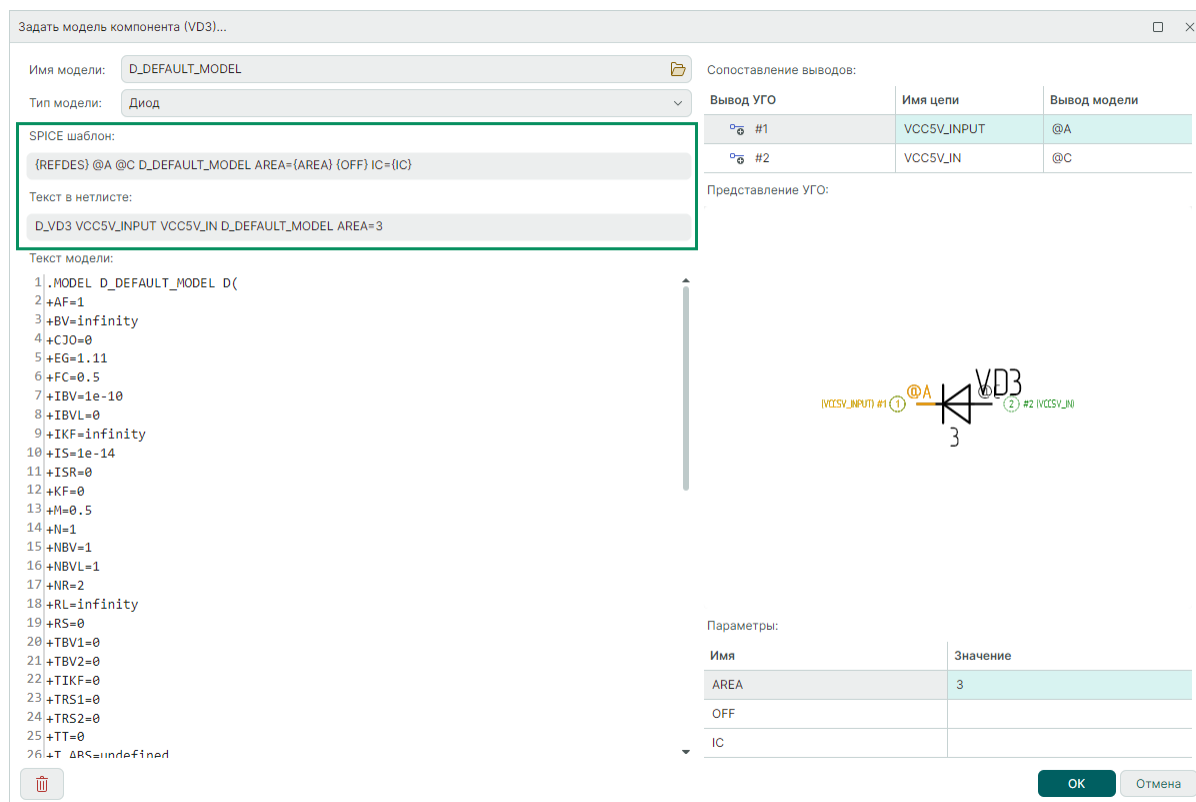


Рис. 39 SPICE-шаблон и компилированный шаблон

Компилированный шаблон обычно формируется из следующих атрибутов ([Рис. 40](#)):

- Внутренний параметр REFDES приобретает значение индивидуального обозначения компонента на схеме;
- Местозаполнители для имён узлов, начинающиеся с символа «@», заполняются именами цепей, подключенных к компоненту;
- Имя модели-прототипа, описываемого в строках .model и .subckt;
- Параметры экземпляра модели приобретают установленные значения.

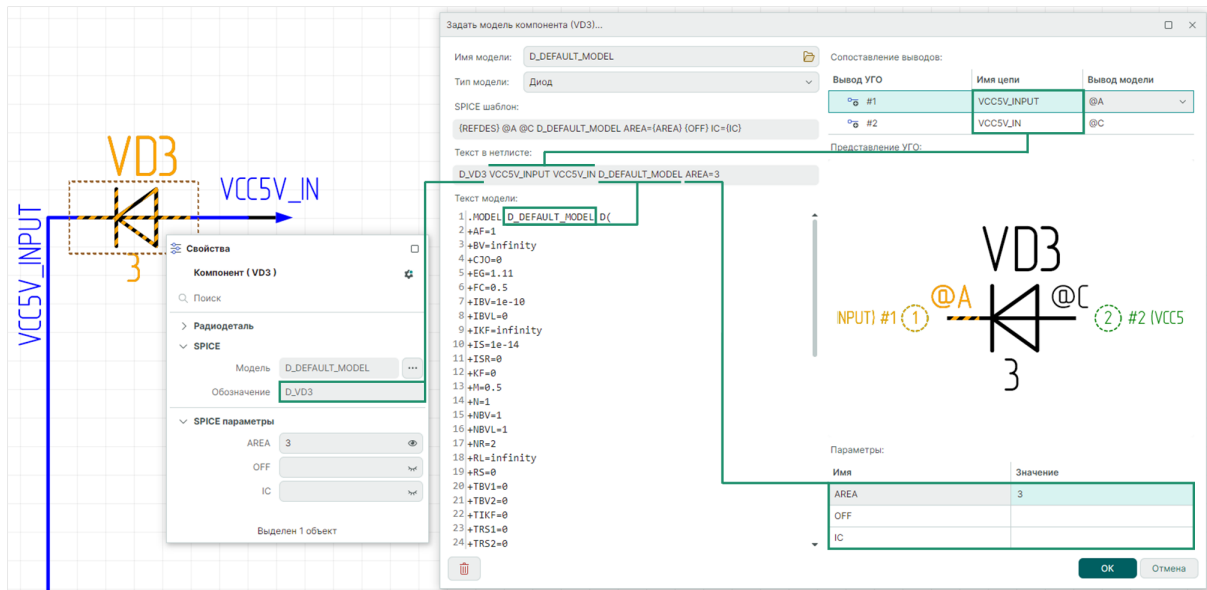


Рис. 40 Шаблон вхождения экземпляра модели в нетлист



Примечание! При раскрытии шаблона и подстановке имён узлов узел электрической цепи с именем «GND» на схеме транслируется в нетлист как узел с обозначением «0». Сопоставление «GND» → «0» является системно-запрограммированной функцией.

4.4.5 Замена SPICE-модели

Замена SPICE-модели у библиотечного компонента или компонента, расположенного на схеме производится аналогично добавлению модели и не требует предварительного удаления текущей модели. Подробнее см. [Добавление SPICE-модели к библиотечному компоненту](#) и [Добавление SPICE-модели к компоненту, расположенному на схеме](#).

4.4.6 Изменение параметров и назначения выводов модели

При изменении назначения выводов модели и значений параметров в окне «Задать модель компонента» система автоматически актуализирует скомпилированный шаблон в поле «Текст в нетлисте», см. [Рис. 41](#).

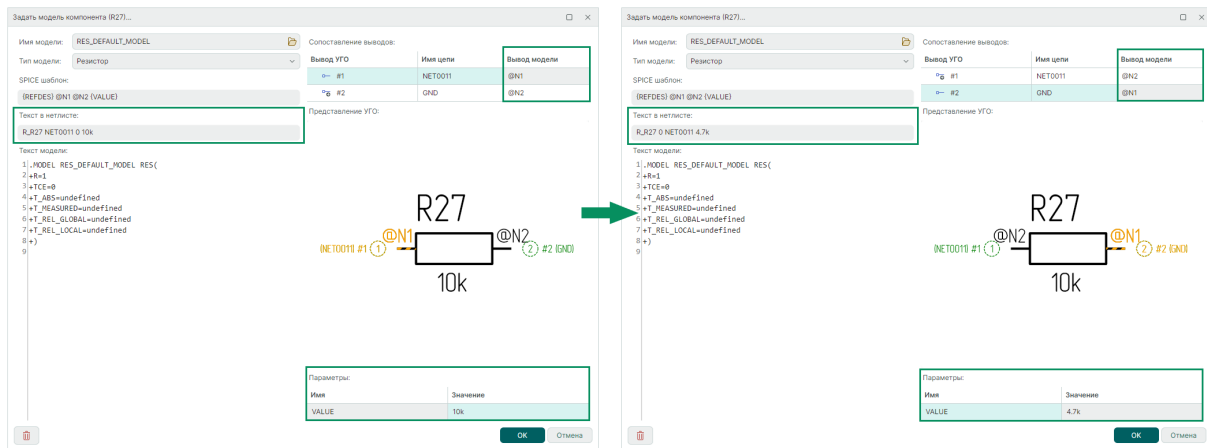


Рис. 41 Изменение параметров и назначения выводов модели

4.4.7 Удаление SPICE-модели

Удаление модели, назначенной библиотечному компоненту, производится в редакторе компонента на вкладке «Моделирование» с помощью иконки , см. [Рис. 42](#).

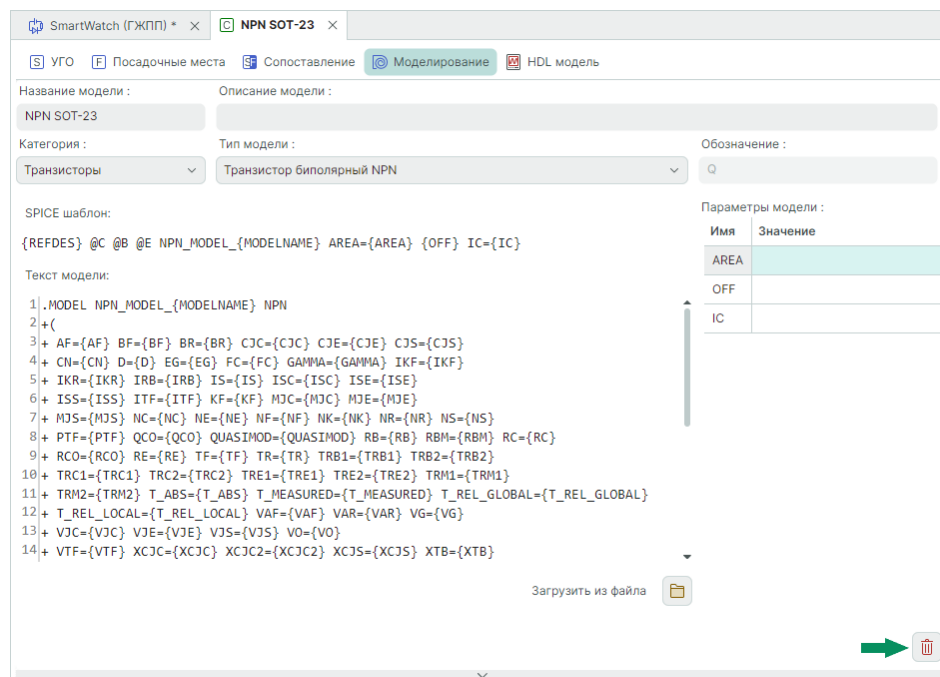


Рис. 42 Удаление модели, назначенной библиотечному компоненту

Для удаления модели компонента, расположенного на схеме, перейдите в окно «Задать модель компонента» и воспользуйтесь аналогичной иконкой , см. [Рис. 43](#).

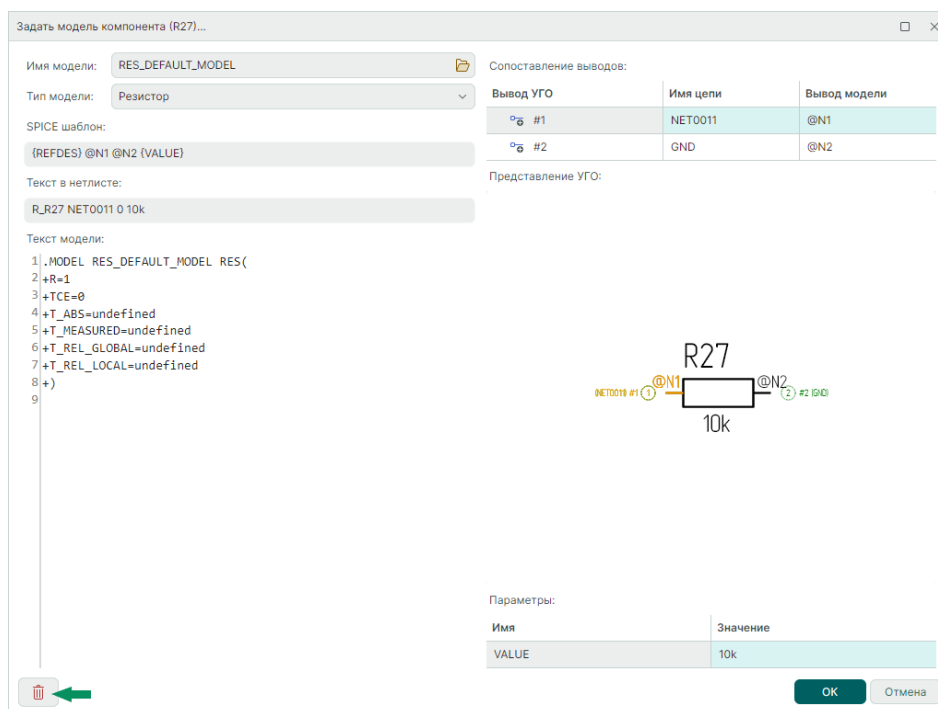


Рис. 43 Удаление модели компонента, расположенного на схеме

4.5 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. 44](#).

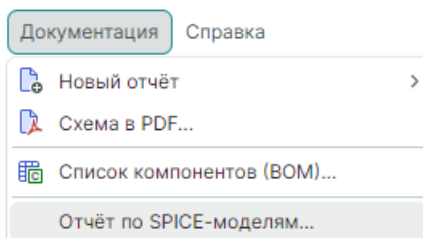


Рис. 44 Вызов команды «Отчет по SPICE-моделям»

В окне «Отчёт по SPICE-моделям» отображаются две вкладки «Типы моделей» и «Модели в проекте», см. [Рис. 45](#).

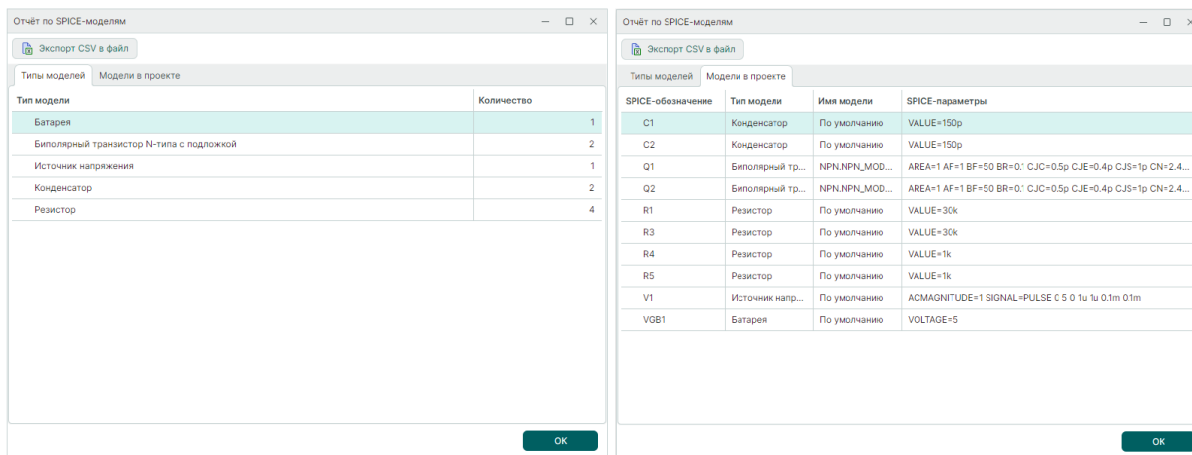


Рис. 45 Вид окна «Отчет по SPICE-моделям»

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».

4.6 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. 46](#).

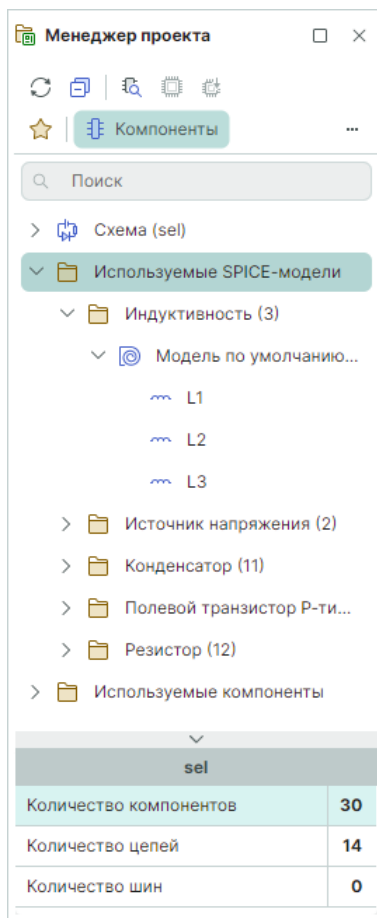


Рис. 46 Пример иерархии
«Используемые
SPICE-модели»

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. 47](#).

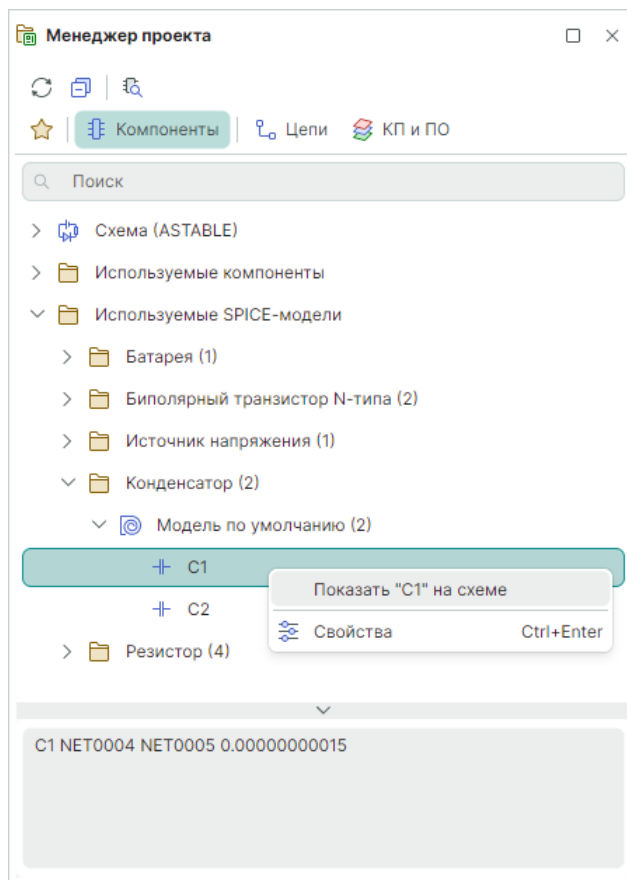


Рис. 47 Вызов контекстного меню с элемента иерархии «Используемые SPICE-модели»

5 Панели инструментов

5.1 Общие сведения о панелях 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»](#).

5.2 Панель инструментов «Запуск/Отладка»

Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активной схеме представлена в следующем виде, см. [Рис. 48](#).

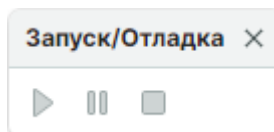


Рис. 48 Панель инструментов «Запуск/Отладка»

Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активном SPICE-нетлисте представлена в следующем виде, см. [Рис. 49](#).

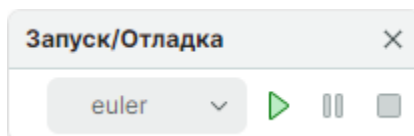


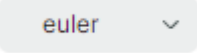
Рис. 49 Панель инструментов «Запуск/Отладка» при активном SPICE-нетлисте



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

В [Табл. 4](#) приведено описание панели инструментов «Запуск/Отладка».

[Таблица 4](#) 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).

5.3 Панель инструментов «SimOne Graphics»

Панель инструментов «SimOne Graphics» представлена в следующем виде, см. [Рис. 50](#).



Рис. 50 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. 5](#) приведено описание панели инструментов «SimOne Graphics».

[Таблица 5](#) 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.

6 Подсхемы

6.1 Общие сведения о подсхемах

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 схемотехнического 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.

6.2 Создание графической подсхемы

Для создания подсхемы в дереве проекта моделирования:

1. Вызовите контекстное меню для узла «Подсхемы» → «Создать блок», см. [Рис. 51](#).

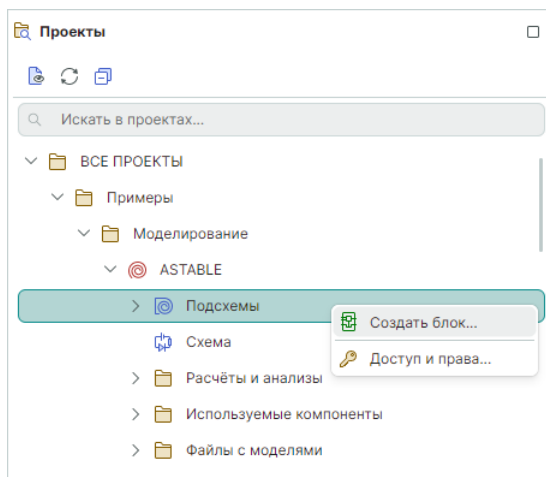


Рис. 51 Создание подсхемы

2. В окне «Создание блока» введите название и при необходимости установите флаг в поле «Децимальный номер», после чего введите децимальный номер, см. [Рис. 52](#).

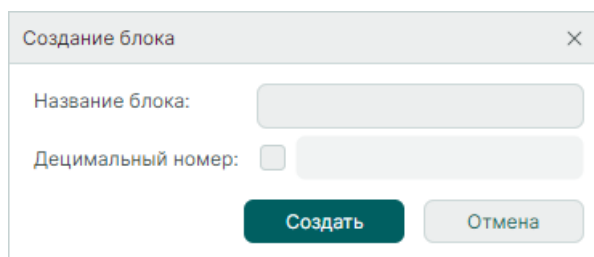


Рис. 52 Окно «Создание блока»

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

7 SPICE-текст

7.1 Добавление объекта SPICE-текст на схему

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.

Добавление на схему текстового объекта доступно несколькими способами:

1. С помощью главного меню «SimOne» → «SPICE-текст», см. [Рис. 53](#).

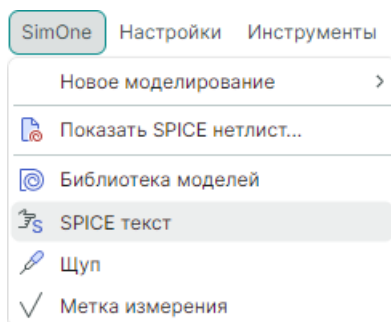


Рис. 53 Добавление объекта SPICE-текст

2. При помощи инструмента «Разместить SPICE-текст», расположенного на панели инструментов «Схема», см. [Рис. 54](#).



Рис. 54 Добавление объекта SPICE-текст с помощью панели инструментов «Схема»

3. Через вызов контекстного меню на схеме → «Инструменты» → «Разместить SPICE-текст», см. [Рис. 55](#).

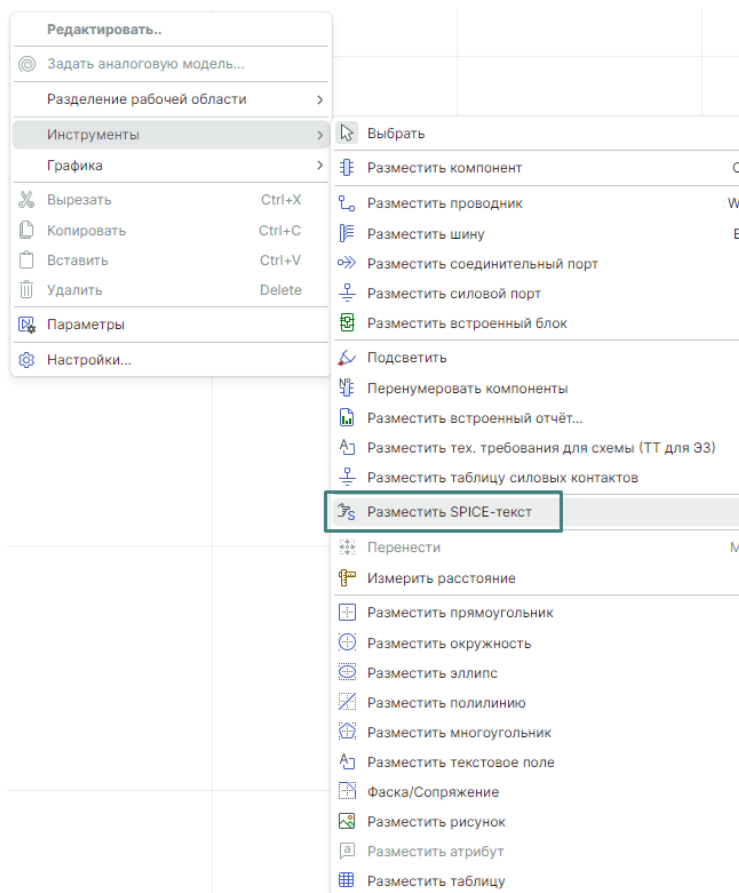


Рис. 55 Добавление объекта SPICE-текст с помощью контекстного меню

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

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

7.2 Редактирование объектов SPICE-текст

Для редактирования SPICE-текста используйте любой из способов ([Рис. 56](#)):

1. Выделите объект и выберите пункт контекстного меню «Редактировать»;
2. Выделите объект и нажмите кнопку «F2».

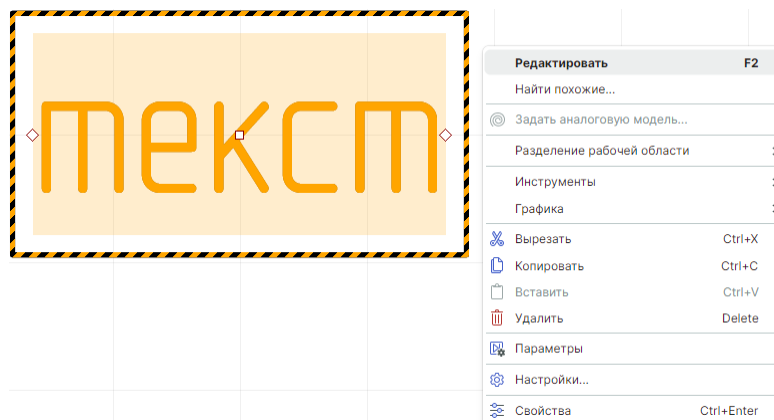


Рис. 56 Редактирование объекта SPICE-текст

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.

С помощью SPICE-текста могут быть определены глобальные параметры, которые в дальнейшем можно использовать в выражениях.

На [Рис. 57](#) 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.

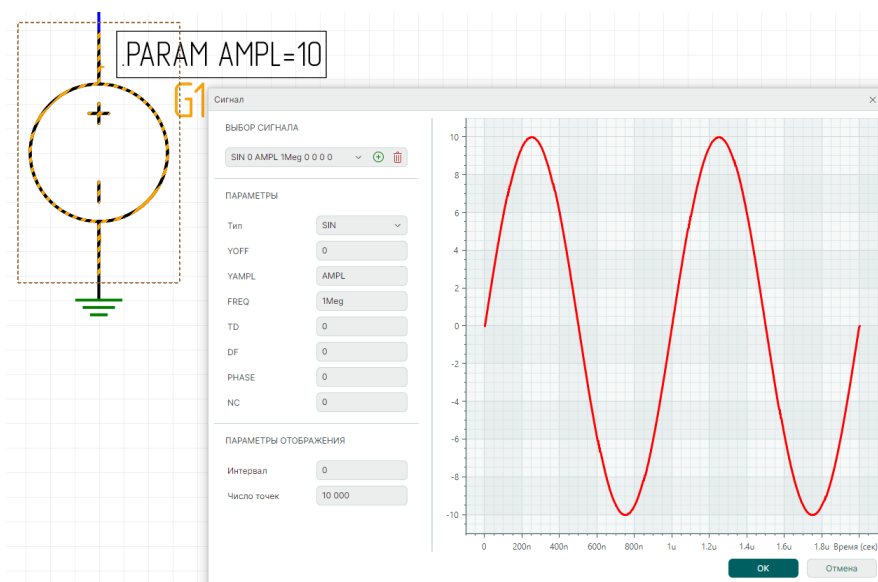


Рис. 57 Использование объекта SPICE-текст для задания глобального параметра

8 Библиотека компонентов

8.1 Общие сведения о библиотеке 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.

Библиотека компонентов содержит следующие основные каталоги:

- Прimitives – набор компонентов, имеющих определённые модели по умолчанию.
- Библиотеки – в первую очередь, это база компонентов SimOne, входящая 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 доступно подключение для работы и любых других SPICE-библиотек – 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. 58](#), то библиотека «Libs» будет доступна в библиотеке моделей «Модели» → «Библиотеки».

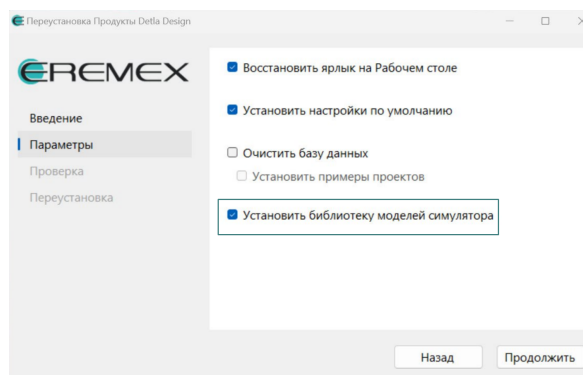


Рис. 58 Вид установочного окна на этапе «Параметры»

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. 59](#).

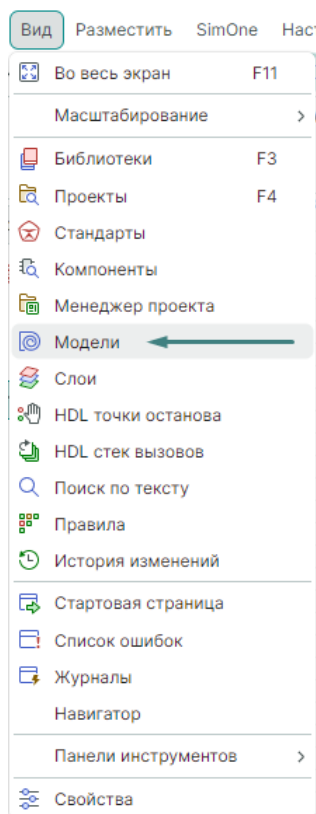


*Рис. 59 Вызов панели
«Модели» из главного
меню «Вид»*

2. Через главное меню «SimOne» → «Библиотека моделей», см. [Рис. 60](#).

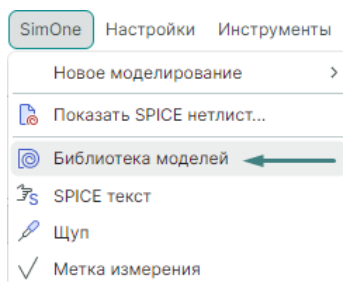


*Рис. 60 Вызов панели
«Модели» из главного
меню «SimOne»*

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. 61](#).

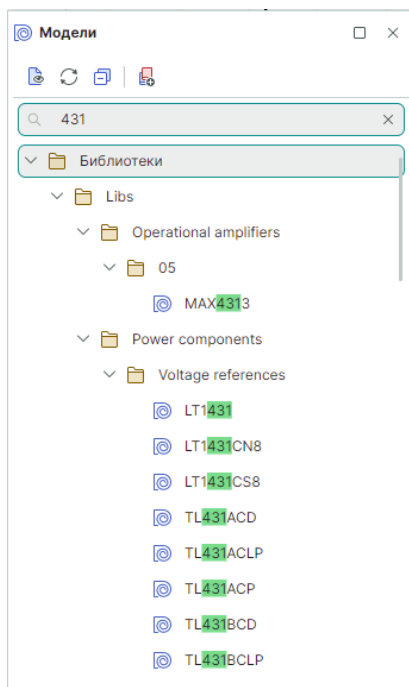


Рис. 61 Поиск компонентов в панели «Модели»



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. 62](#).

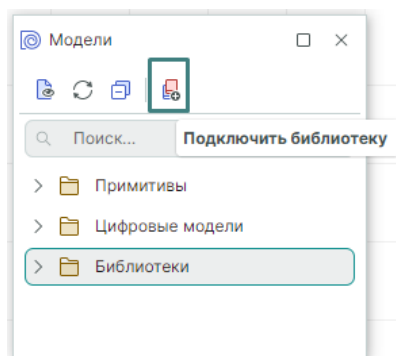


Рис. 62 Добавление базы компонентов SimOne или SPICE-библиотеки

Если библиотека больше не нужна для работы, ее можно отключить, нажав «Отключить» в контекстном меню, см. [Рис. 63](#).

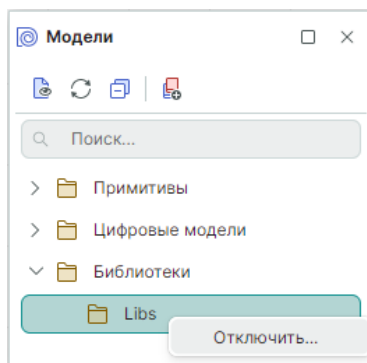


Рис. 63 Отключение библиотеки

8.2 Примитивы

8.2.1 Общие сведения о примитивах

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

В [Табл. 6](#) приведен список поддерживаемых примитивов.

[Таблица 6](#) Поддерживаемые примитивы

Символ	Наименование инструмента
Активные компоненты	
	Операционный усилитель
	Транзистор биполярный NPN
	Транзистор биполярный NPN с выводом от подложки
	Транзистор биполярный PNP
	Транзистор биполярный PNP с выводом от подложки
	Транзистор МОП с каналом N-типа
	Транзистор МОП с каналом N-типа и выводом от подложки
	Транзистор МОП с каналом P-типа

Символ	Наименование инструмента
	Транзистор МОП с каналом Р-типа и выводом от подложки
	Транзистор полевой арсенид-галлиевый
	Транзистор полевой с каналом N-типа
	Транзистор полевой с каналом Р-типа
Источники	
Независимые источники	
	Батарея
	Источник напряжения
	Источник тока
Управляемые источники	
	Источник напряжения, управляемый напряжением
	Источник напряжения, управляемый током
	Источник тока, управляемый напряжением
	Источник тока, управляемый током
Функциональные источники	
	Функциональный источник напряжения
	Функциональный источник тока
Многополюсники	
	Восьмиполюсник
	Двухполюсник

Символ	Наименование инструмента
	Четырехполюсник
	Шестиполюсник
Пассивные элементы	
	Взаимная индуктивность
	Двухобмоточный трансформатор
	Диод
	Длинная линия
	Индуктивность
	Конденсатор
	Магнитный сердечник
	Переключатель, управляемый напряжением
	Переключатель, управляемый током
	Резистор
	Резистор-потенциометр (линейная зависимость)
	Резистор-потенциометр (степенная зависимость)
	Резистор-потенциометр (логарифмическая зависимость)
	Резистор-потенциометр (обратная логарифмическая зависимость)

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.

8.2.2 Добавление примитивов на схему

Размещение примитива на схеме доступно тремя способами:

1. В панели «Модели» вызвать контекстное меню выбранного объекта, нажать «Разместить» ([Рис. 64](#)) и разместить объект на схеме.

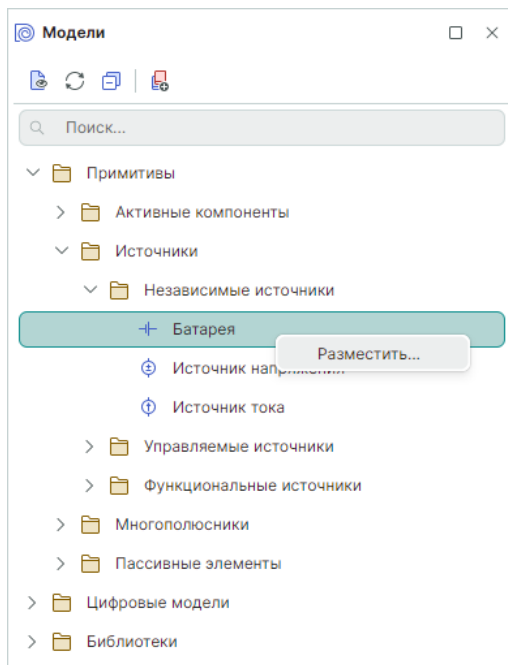


Рис. 64 Добавление элемента на схему

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. 65](#).

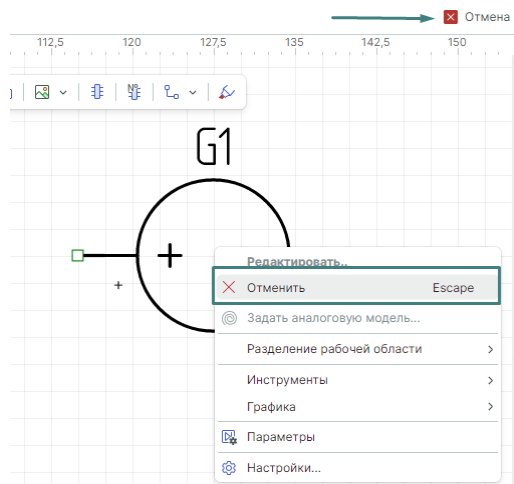


Рис. 65 Выход из инструмента
«Разместить»

Если при размещении объект пересекается с уже имеющимися на схеме объектами, система подсветит размещаемый компонент красным цветом, см. [Рис. 66](#).

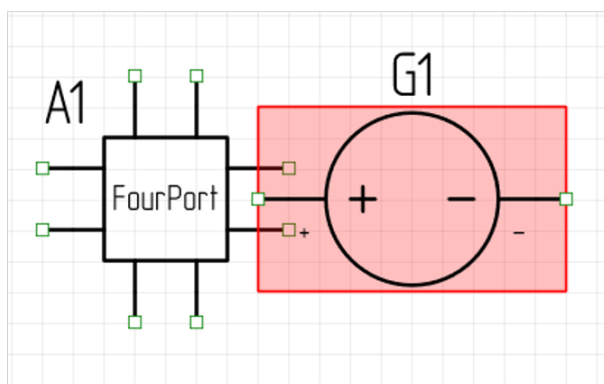


Рис. 66 Запрет на размещение

Разрешенное подключение обозначается зелеными квадратными метками, см. [Рис. 67](#).

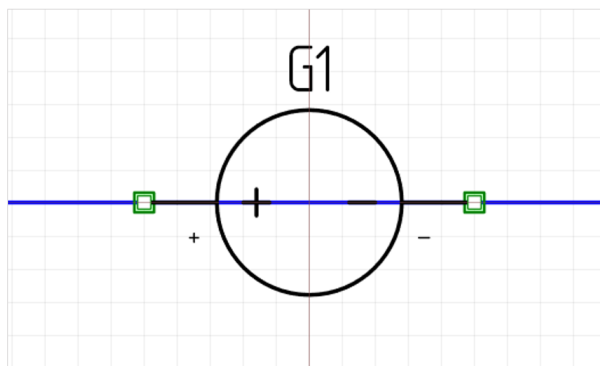


Рис. 67 Разрешенное размещение

8.2.3 Выбор УГО

При размещении на схеме для каждого примитива доступен выбор УГО между основным представлением (по умолчанию) и представлением ЕСКД.

Для просмотра и выбора представления УГО:

1. Вызовите контекстное меню для выбранного объекта и нажмите «Разместить», см. [Рис. 68](#).

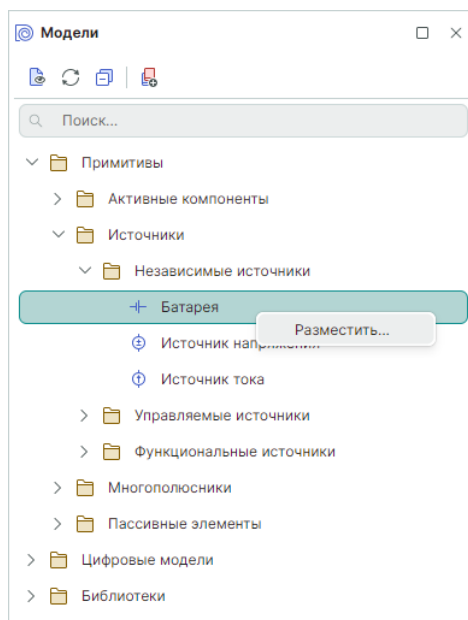


Рис. 68 Добавление элемента на схему

2. В панели «Свойства» вызовите форму выбора представления в группе свойств «Компонент» → «Секция».

3. Выберите необходимое представление с помощью выпадающего меню в правом верхнем углу формы, нажмите «Готово», см. [Рис. 69](#).

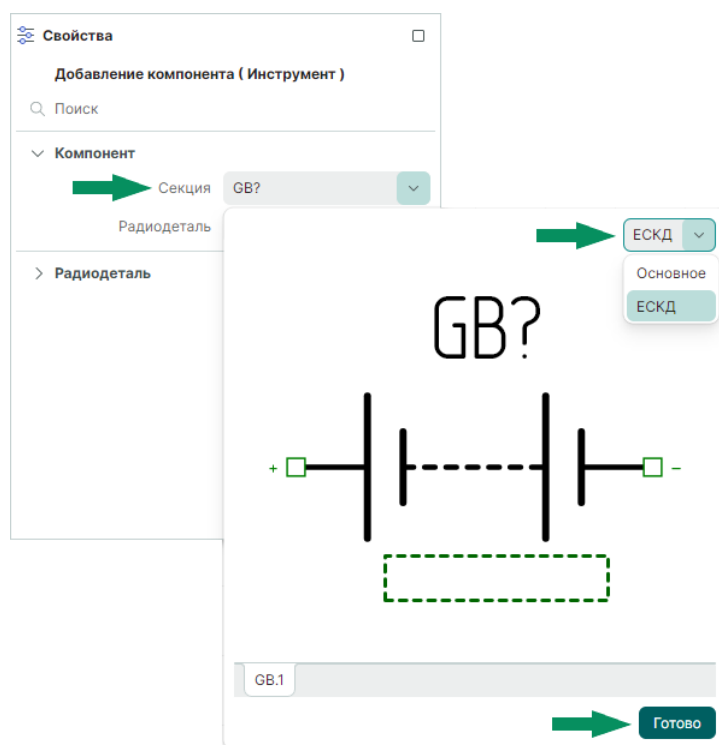


Рис. 69 Выбор представления УГО

4. Разместите компонент на схеме.

8.2.4 Параметры модели компонента

Параметры модели компонента отображаются в панели «Свойства», см. [Рис. 70](#).

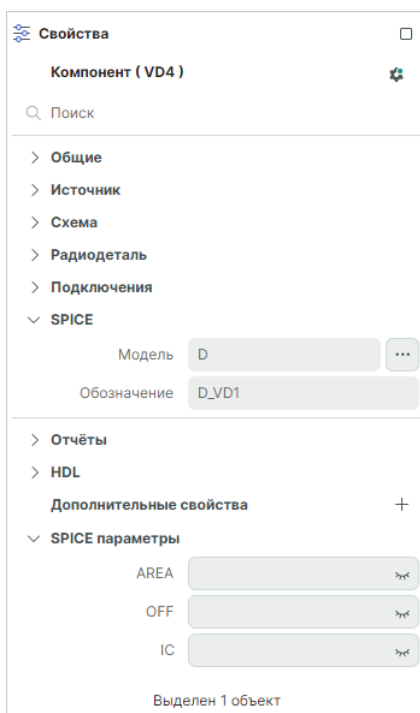


Рис. 70 Параметры модели компонента

Группа «SPICE»:

- «Модель» – имя модели примитива;
- «Обозначение» – обозначение SPICE-модели экземпляра компонента.

SPICE-обозначение модели соответствует внутреннему параметру REFDES. Параметр REFDES формируется из SPICE-префикса модели и схемного обозначения компонента: REFDES = <SPICE префикс> + «_» + <Текстовое обозначение компонента на схеме>.

Параметр REFDES используется в SPICE-шаблонах для подстановки SPICE-обозначения модели в текст нетлиста, см. [Рис. 71](#).

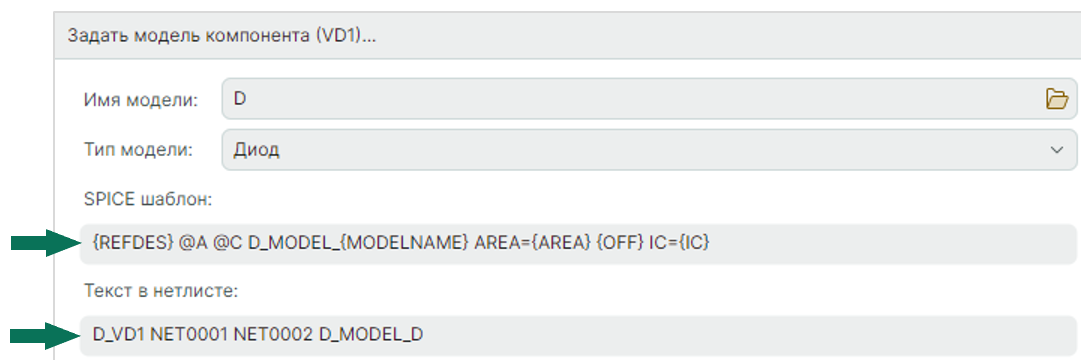


Рис. 71 Параметр REFDES в SPICE-шаблоне и тексте нетлиста

Доступные для редактирования входные параметры примитивов расположены в группе свойств «SPICE параметры», см. [Рис. 72](#).

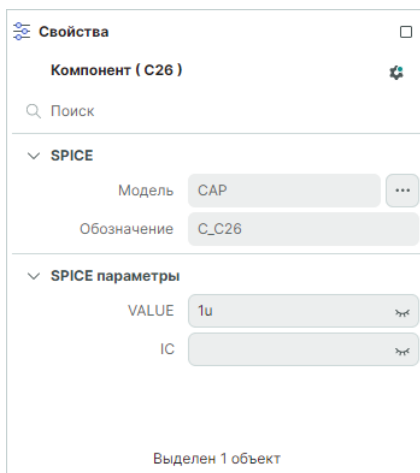


Рис. 72 SPICE-параметры компонента

Редактируемые SPICE-параметры могут быть отображены на схеме с помощью иконки  напротив нужного параметра. После включения отображения иконка изменит свой вид , нажмите на нее, чтобы скрыть параметр на схеме, см. [Рис. 73](#).

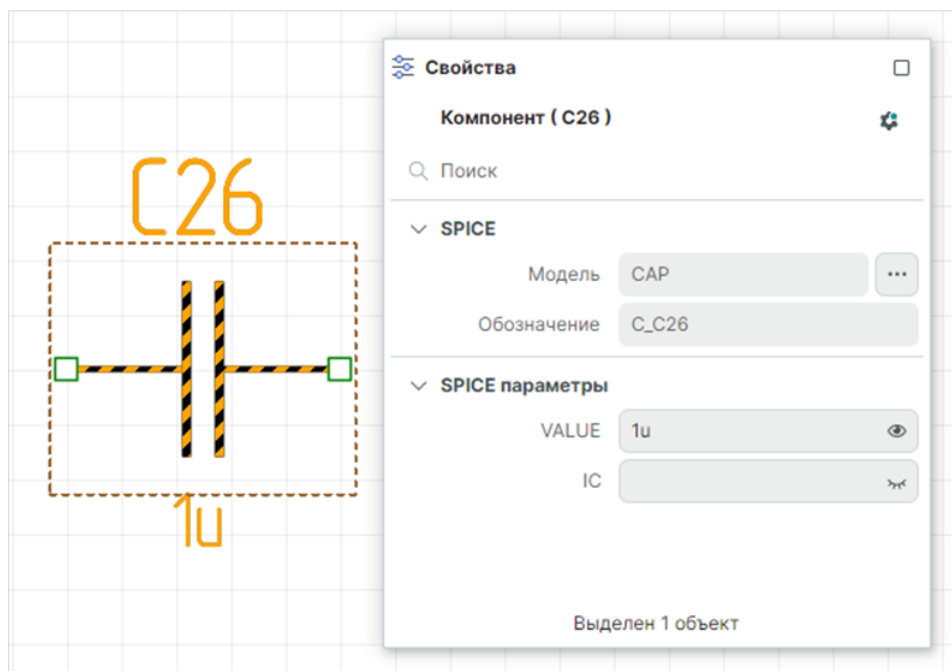


Рис. 73 Отображение SPICE-параметров на схеме

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](#).

8.2.5 Активные компоненты

8.2.5.1 Операционный усилитель

УГО компонента в основном представлении (DA1) и представлении ЕСКД (DA2) показаны на [Рис. 74](#).

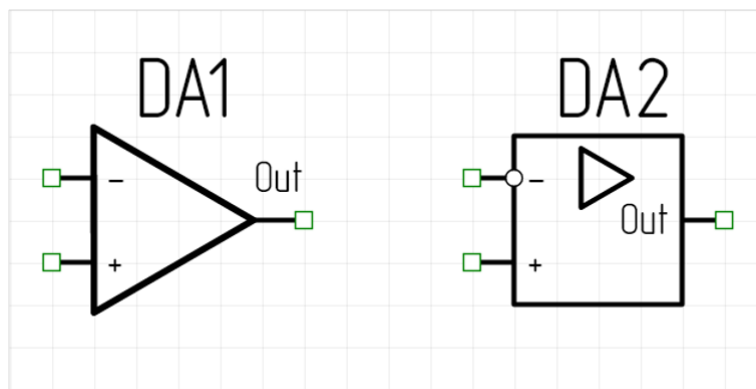


Рис. 74 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного УГО), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 7](#).

[Таблица 7](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	-	-	@minus	Инвертирующий вход
2	+	+	@plus	Неинвертирующий вход
3	Out	Out	@Out	Выход

Для операционного усилителя для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 75](#).

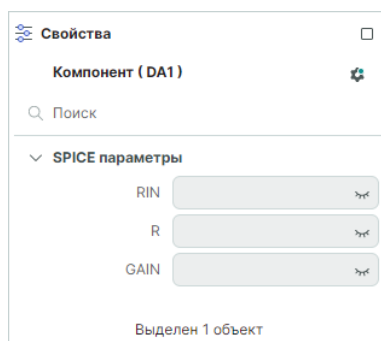


Рис. 75 Редактируемые параметры компонента

Подробнее о входных SPICE-параметрах операционного усилителя см. [Табл. 8](#).

[Таблица 8](#) Редактируемые параметры операционного усилителя

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
RIN	Входное дифференциальное сопротивление	10E6	Ом	Нет
R	Выходное сопротивление	0	Ом	Нет
GAIN	Коэффициент усиления	1E9	-	Нет



Примечание! Если параметры не определены, то применяются значения по умолчанию.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.2 Общие параметры биполярных транзисторов

Для биполярных транзисторов существуют общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 76](#).

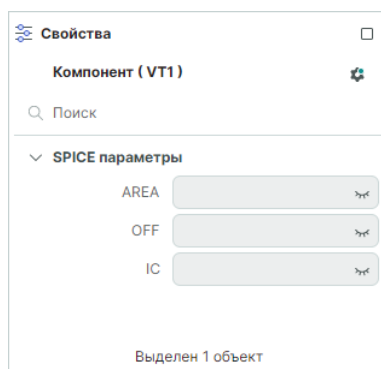


Рис. 76 Общие редактируемые SPICE-параметры биполярных транзисторов

Подробнее об общих входных SPICE-параметрах биполярных транзисторов см. [Табл. 9](#).

[Таблица 9](#) Редактируемые параметры биполярных транзисторов

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
AREA	Число параллельно соединённых транзисторов	-	-	Нет
OFF	Признак выключенного состояния в расчёте постоянного тока	-	-	Нет
IC	Начальные условия смещения внутренних цепей	-	Вольт	Нет

Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#), об использовании параметра IC — раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).



Примечание! Если параметры AREA, OFF, IC не определены, то их определения не формируются в нетлисте.

8.2.5.3 Транзистор биполярный NPN

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 77](#).

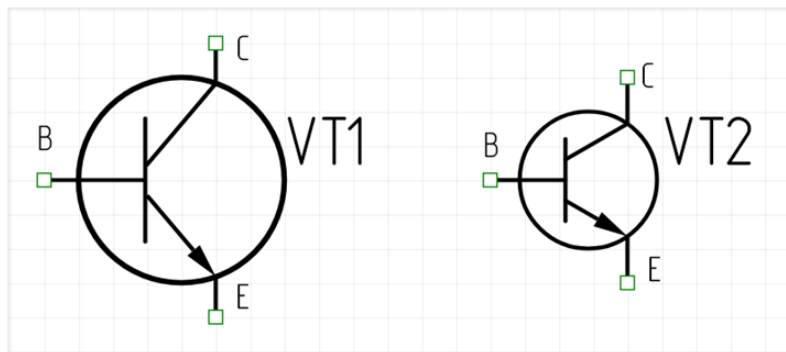


Рис. 77 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 10](#).

[Таблица 10](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	C	C	@C	Коллектор
2	B	B	@B	База
3	E	E	@E	Эмиттер

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.4 Транзистор биполярный NPN с выводом от подложки

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 78](#).

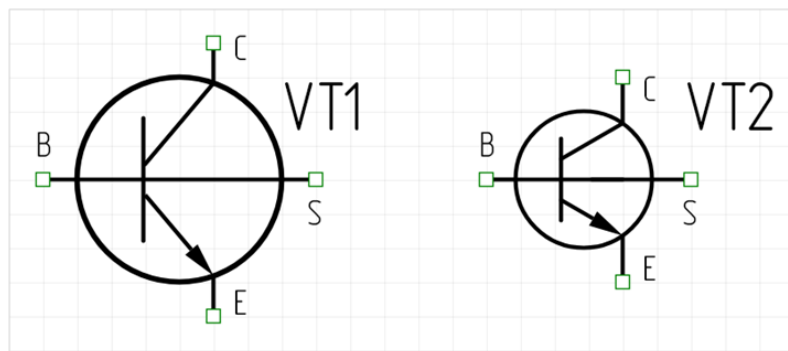


Рис. 78 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 11](#).

[Таблица 11](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	C	C	@C	Коллектор
2	B	B	@B	База
3	E	E	@E	Эмиттер
4	S	S	@S	Подложка

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.5 Транзистор биполярный PNP

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 79](#).

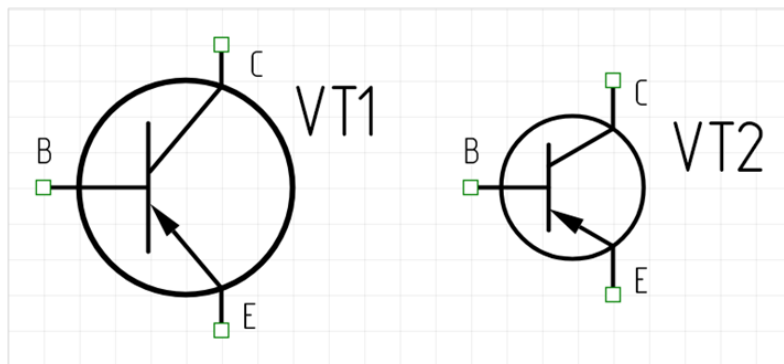


Рис. 79 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 12](#).

[Таблица 12](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	C	C	@C	Коллектор
2	B	B	@B	База
3	E	E	@E	Эмиттер

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.6 Транзистор биполярный PNP с выводом от подложки

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 80](#).

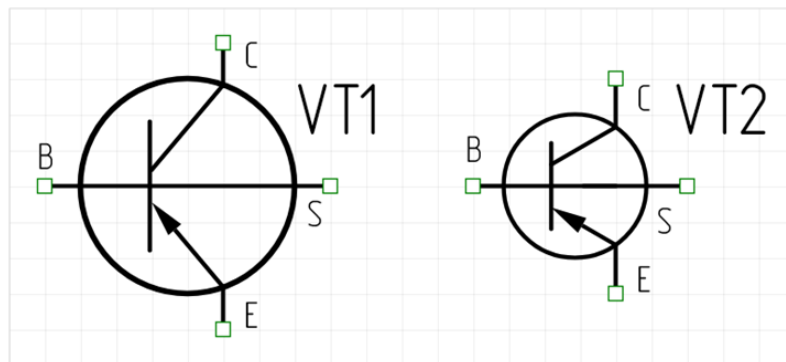


Рис. 80 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 13](#).

Таблица 13 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	C	C	@C	Коллектор
2	B	B	@B	База
3	E	E	@E	Эмиттер
4	S	S	@S	Подложка

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.7 Общие параметры МОП-транзисторов

Для МОП-транзисторов (полевых транзисторов с изолированным затвором) существуют общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 81](#).

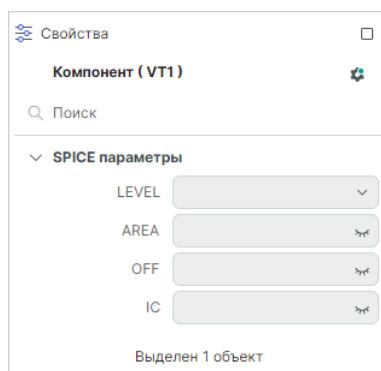


Рис. 81 Общие редактируемые SPICE-параметры МОП-транзисторов

Подробнее об общих входных SPICE-параметрах МОП-транзисторов см. [Табл. 14](#).

[Таблица 14](#) Редактируемые параметры МОП-транзисторов

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
LEVEL	Уровень модели транзистора	1	-	Нет
AREA	Число параллельно соединённых транзисторов	-	-	Нет
OFF	Признак выключенного состояния в расчёте постоянного тока	-	-	Нет
IC	Начальное смещение	-	Вольт	Нет

Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#), об использовании параметра IC — раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).



Примечание! Если параметры AREA, OFF, IC не определены, то их определения не формируются в нетлисте, если не определен параметр LEVEL, будет использован уровень 1 – Модель Шихмана–Ходжеса.

Выбор уровня модели транзистора (LEVEL) производится из выпадающего меню, подробнее см. [Табл. 15](#).

Таблица 15 Уровни модели транзистора

Параметр LEVEL	Имя модели
1	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

8.2.5.8 Транзистор МОП с каналом N-типа

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 82](#).

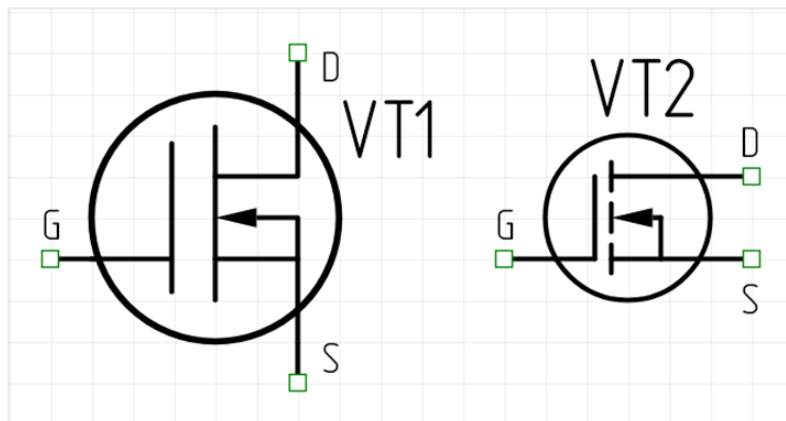


Рис. 82 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 16](#).

Таблица 16 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами МОП-транзисторов](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.9 Транзистор МОП с каналом N-типа и выводом от подложки

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 83](#).

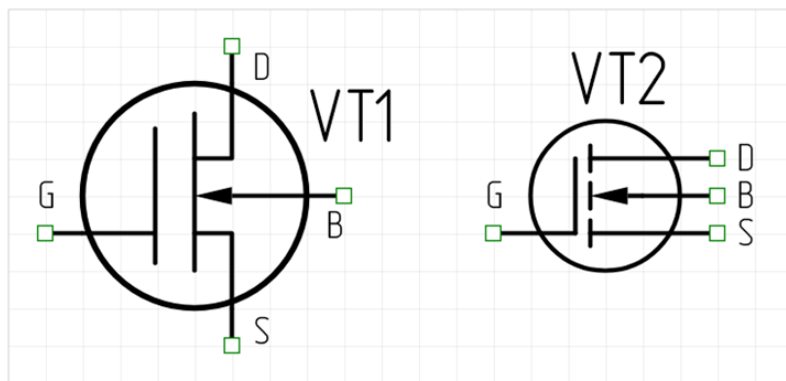


Рис. 83 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 17](#).

[Таблица 17](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток
4	B	B	@B	Подложка

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами МОП-транзисторов](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.10 Транзистор МОП с каналом Р-типа

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 84](#).

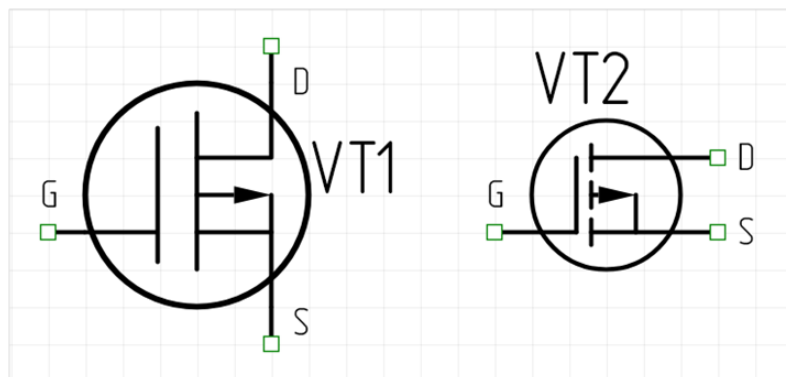


Рис. 84 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 18](#).

[Таблица 18](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами МОП-транзисторов](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.11 Транзистор МОП с каналом Р-типа и выводом от подложки

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 85](#).

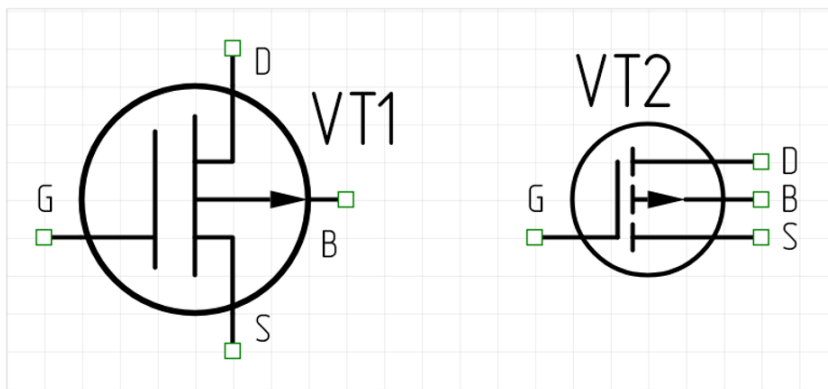


Рис. 85 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 19](#).

Таблица 19 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток
4	B	B	@B	Подложка

Доступные для редактирования параметры совпадают с [общими параметрами МОП-транзисторов](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.12 Транзистор полевой арсенид-галлиевый

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 86](#).

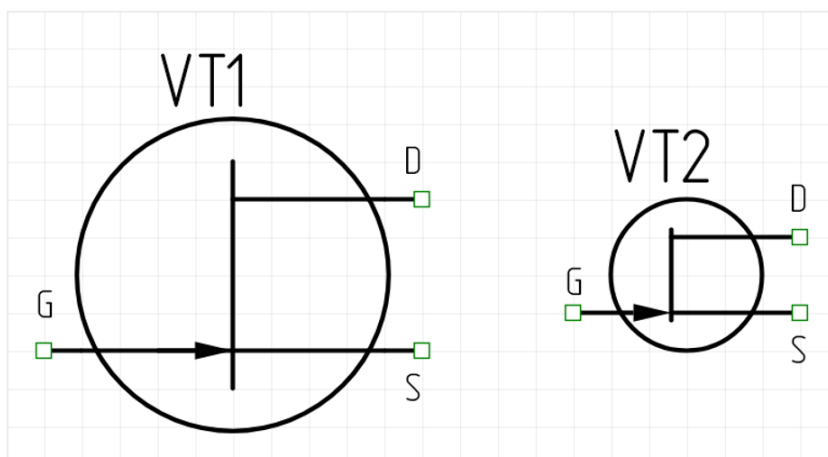


Рис. 86 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 20](#).

Таблица 20 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток

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

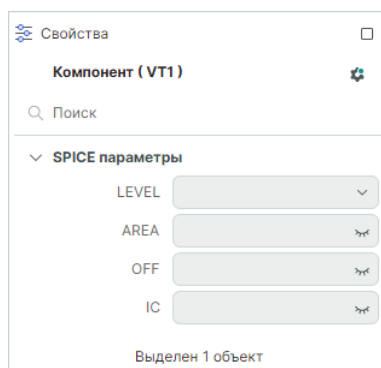


Рис. 87 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о входных SPICE-параметрах арсенид-галлиевого полевого транзистора см. [Табл. 21](#).

[Таблица 21](#) Редактируемые параметры арсенид-галлиевого полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
LEVEL	Уровень модели транзистора	1	-	Нет
AREA	Число параллельно соединённых транзисторов	-	-	Нет
OFF	Признак выключенного состояния в расчёте постоянного тока	-	-	Нет
IC	Начальное смещение	-	Вольт	Нет

Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#), об использовании параметра IC — раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).



Примечание! Если параметры AREA, OFF, IC не определены, то их определения не формируются в нетлисте, если не определен параметр LEVEL, будет использован уровень 1 – Модель Куртиса (Curtice).

Выбор уровня модели транзистора (LEVEL) производится из выпадающего меню, подробнее см. [Табл. 22](#).

[Таблица 22](#) Уровни модели транзистора

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.13 Транзистор полевой с каналом N-типа

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 88](#).

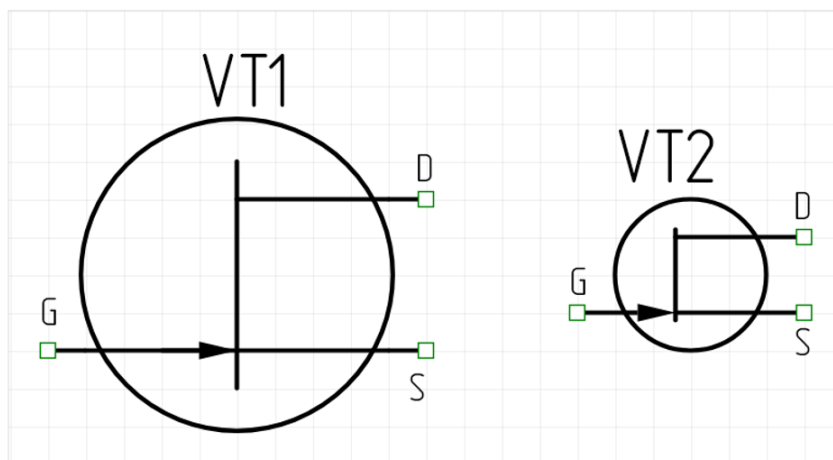


Рис. 88 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 23](#).

[Таблица 23](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток

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

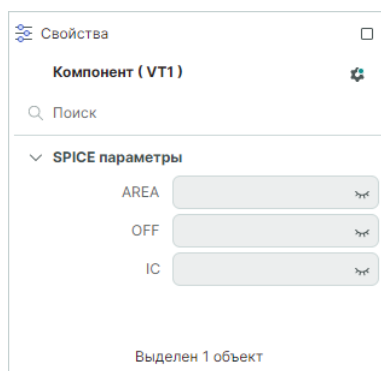


Рис. 89 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о входных SPICE-параметрах полевого транзистора с каналом N-типа см. [Табл. 24](#).

[Таблица 24](#) Редактируемые параметры полевого транзистора с каналом N-типа

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
AREA	Число параллельно соединённых транзисторов	-	-	Нет
OFF	Признак выключенного состояния в расчёте постоянного тока	-	-	Нет
IC	Начальное смещение	-	Вольт	Нет



Примечание! Если параметры AREA, OFF, IC не определены, то их определения не формируются в нетлисте.

Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#), об использовании параметра IC — раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.5.14 Транзистор полевой с каналом P-типа

УГО компонента в основном представлении (VT1) и представлении ЕСКД (VT2) показаны на [Рис. 90](#).

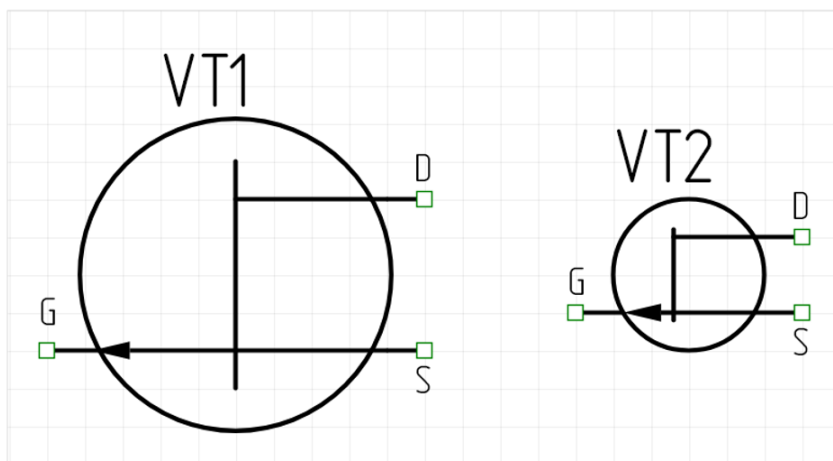


Рис. 90 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 25](#).

Таблица 25 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	D	D	@D	Сток
2	G	G	@G	Затвор
3	S	S	@S	Исток

Редактируемые параметры полевого транзистора с каналом Р-типа совпадают с параметрами транзистора N-типа, подробнее см. [Транзистор полевой N-типа](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6 Источники

8.2.6.1 Независимые источники

8.2.6.1.1 Батарея

УГО компонента в основном представлении (GB1) и представлении ЕСКД (GB2) показаны на [Рис. 91](#).

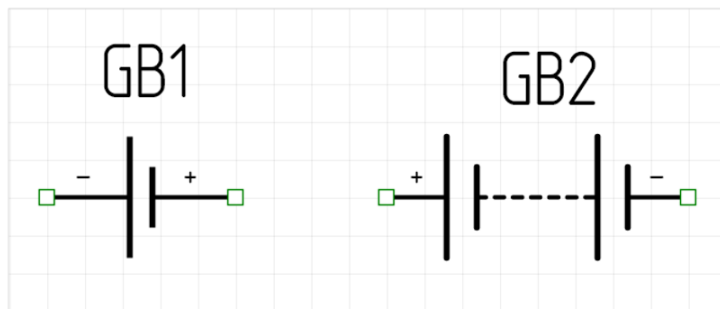


Рис. 91 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 26](#).

Таблица 26 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@N_plus	Вывод положительно й полярности
2	-	-	@N_minus	Вывод отрицательной полярности

Для редактирования доступен SPICE-параметр VOLTAGE, см. [Рис. 92](#).

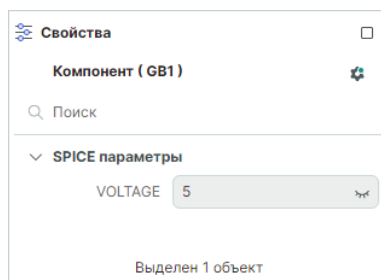


Рис. 92 SPICE-параметр VOLTAGE

Подробнее о SPICE-параметре VOLTAGE см. [Табл. 27](#).

[Таблица 27](#) Редактируемый SPICE-параметр VOLTAGE

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
VOLTAGE	Напряжение постоянного тока	5	Вольт	Нет



Примечание! Если параметр не определен, то модель по умолчанию использует значение 0.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.1.2 Источник напряжения

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 93](#).

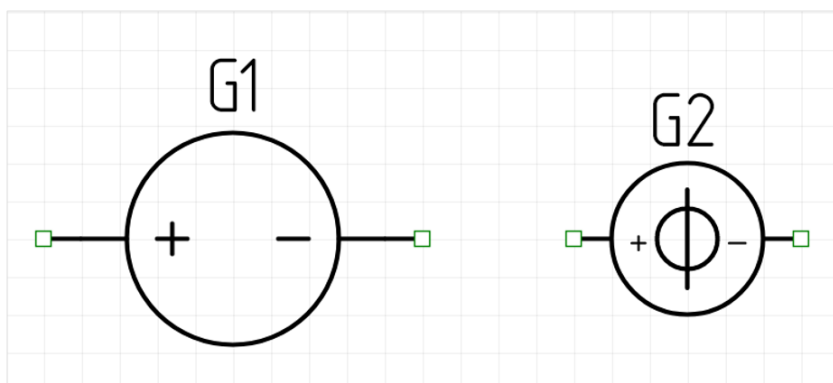


Рис. 93 УГО компонента

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 28](#).

[Таблица 28](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@N_plus	Вывод положительной полярности
2	-	-	@N_minus	Вывод отрицательной полярности

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

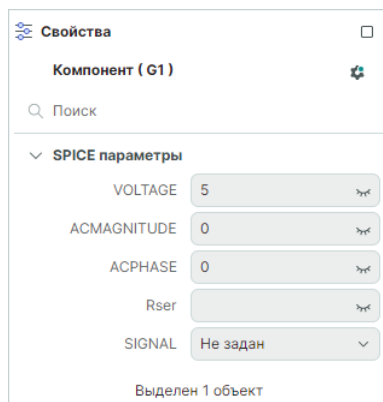


Рис. 94 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 29](#).

[Таблица 29](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
VOLTAGE	Напряжение постоянного тока	5	Вольт	Нет
ACMAGNITUDE	Амплитуда для частотного анализа	0	Вольт	Нет
ACPHASE	Начальная фаза для частотного анализа	0	Градус	Нет
Rser	Последовательное сопротивление	-	Ом	Нет
SIGNAL	Описание сигнала переходного процесса (см. раздел Сигналы)	Не задан	Вольт	Нет



Примечание!

Если параметр VOLTAGE не определен, то модель по умолчанию использует значение 0.

Если параметр ACMAGNITUDE не определен, то для частотного анализа используются значения амплитуды и фазы источника равные 0.

Если параметр ACMAGNITUDE определён, а параметр ACPHASE не определён, то для частотного анализа используется значение фазы источника равное 0.

Если значение Rser не определено, то модель использует значение последовательного сопротивления равное 0.

Если значение параметра SIGNAL не определено, то модель для расчёта переходного процесса использует значение постоянного напряжения.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.1.3 Источник тока

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 95](#).

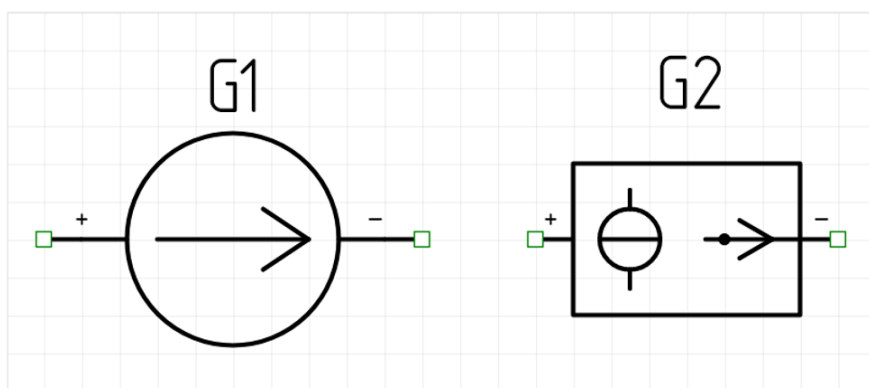


Рис. 95 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 30](#).

[Таблица 30](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@N_plus	Вывод втекания тока
2	-	-	@N_minus	Вывод истекания тока

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 96](#).

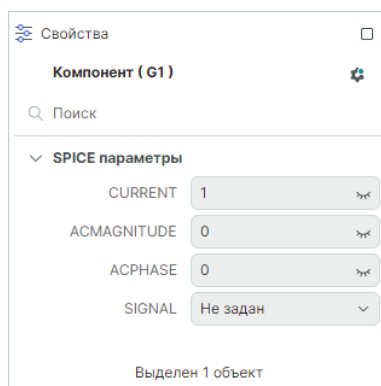


Рис. 96 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 31](#).

[Таблица 31](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
CURRENT	Напряжение постоянного тока	1	Ампер	Нет
ACMAGNITUDE	Амплитуда для частотного анализа	0	Ампер	Нет
ACPHASE	Начальная фаза для частотного анализа	0	Градус	Нет
SIGNAL	Описание сигнала переходного процесса (см. раздел Сигналы)	Не задан	Ампер	Нет

Примечание!

Если параметр VOLTAGE не определен, то модель по умолчанию использует значение 0.

Если параметр ACMAGNITUDE не определен, то для частотного анализа используются значения амплитуды и фазы источника равные 0. Если параметр ACMAGNITUDE определен, а параметр ACPHASE не определен, то для частотного анализа используется значение фазы источника равное 0.

Если значение параметра SIGNAL не определено, то модель для расчёта переходного процесса использует значение постоянного напряжения.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.2 Источник напряжения, управляемый напряжением

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 97](#).

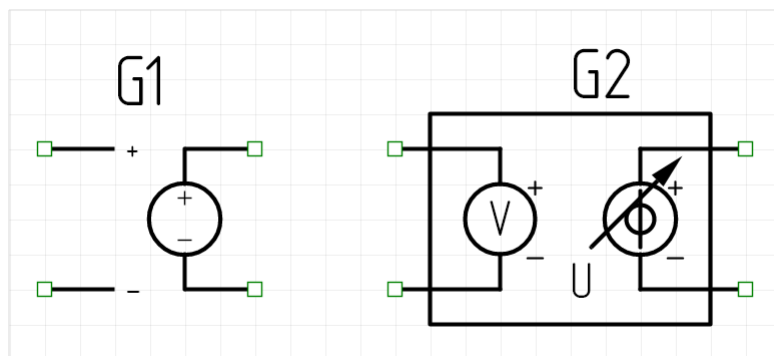


Рис. 97 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного УГО), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 32](#).

[Таблица 32](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	-	-	@minus	Управляемый вывод отрицательной полярности
2	+	+	@plus	Управляемый вывод положительной полярности
3	-ctrl	-	@ctrl_minus	Управляющий вывод отрицательной полярности
4	+ctrl	+	@ctrl_plus	Управляющий вывод положительной полярности

Для источника напряжения, управляемого напряжением для редактирования доступен SPICE-параметр GAIN, см. [Рис. 98](#).

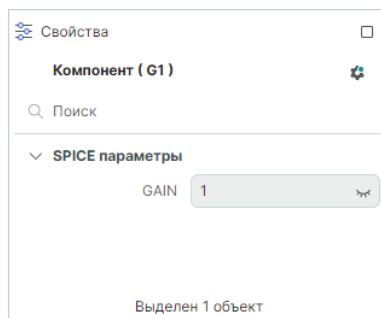


Рис. 98 SPICE-параметр GAIN

В источнике напряжения, управляемом напряжением, с помощью коэффициента передачи от входа к выходу 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.

Подробнее о редактируемом параметре см. [Табл. 33](#).

[Таблица 33](#) Редактируемый параметр источника напряжения, управляемого напряжением

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
GAIN	Коэффициент передачи от входа к выходу	1	Вольт/Вольт	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.3 Источник напряжения, управляемый током

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 99](#).

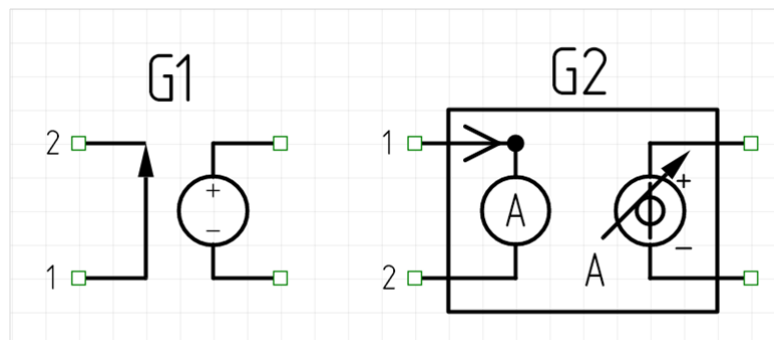


Рис. 99 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 34](#).

[Таблица 34](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	-	-	@minus	Вывод отрицательной полярности
2	+	+	@plus	Вывод положительной полярности
3	1	1	@ctrl_minus	Управляющий вывод втекания тока
4	2	2	@ctrl_plus	Управляющий вывод истекания тока

Для источника напряжения, управляемого током для редактирования, доступен SPICE-параметр GAIN, см. [Рис. 100](#).

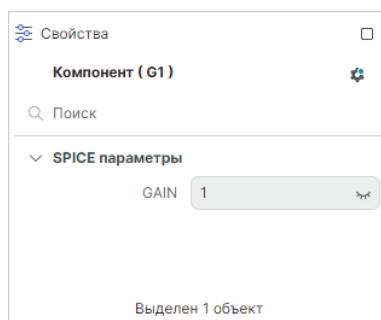


Рис. 100 SPICE-параметр
GAIN

В источнике напряжения, управляемом током, с помощью коэффициента передачи от входа к выходу можно задать зависимость выходного напряжения от управляющего тока:

$$V = \text{GAIN} \cdot I_y,$$

где I_y – управляющий ток.

Подробнее о редактируемом параметре см. [Табл. 35](#).

[Таблица 35](#) Редактируемый параметр источника напряжения, управляемого током

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
GAIN	Коэффициент передачи от входа к выходу	1	Вольт/Ампер	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.4 Источник тока, управляемый напряжением

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 101](#).

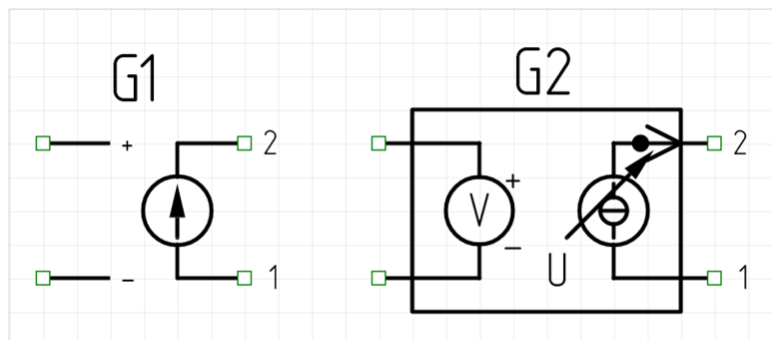


Рис. 101 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 36](#).

Таблица 36 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Управляемый вывод втекания тока
2	2	2	@2	Управляемый вывод истекания тока
3	ctrl-	-	@ctrl_minus	Управляющий вывод отрицательной полярности
4	ctrl+	+	@ctrl_plus	Управляющий вывод положительной полярности

Для источника тока, управляемого напряжением для редактирования, доступен SPICE-параметр GAIN, см. [Рис. 102](#).

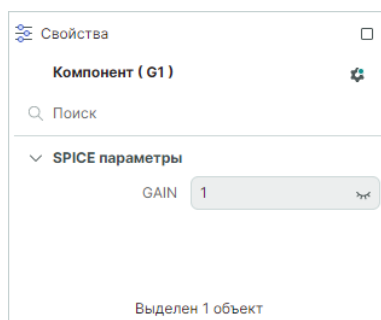


Рис. 102 SPICE-параметр
GAIN

В источнике тока, управляемом напряжением, с помощью коэффициента передачи от входа к выходу можно задать зависимость выходного тока от управляющего напряжения:

$$I = \text{GAIN} \cdot V_y,$$

где V_y – управляющее напряжение.

Подробнее о редактируемом параметре см. [Табл. 37](#).

[Таблица 37](#) Редактируемый параметр источника тока, управляемого напряжением

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
GAIN	Коэффициент передачи от входа к выходу	1	Ампер/Вольт	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.5 Источник тока, управляемый током

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 103](#).

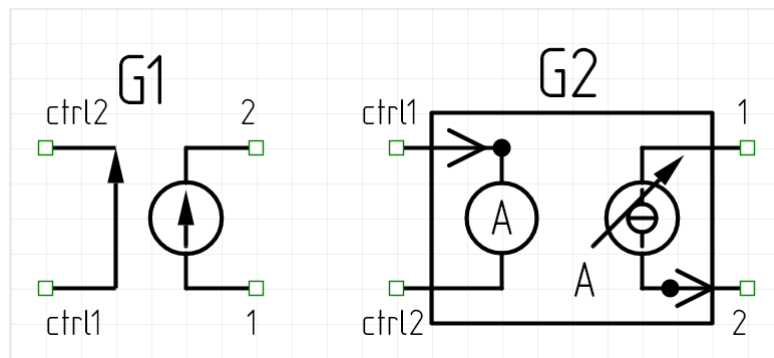


Рис. 103 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 38](#).

Таблица 38 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Управляемый вывод втекания тока
2	2	2	@2	Управляемый вывод истекания тока
3	ctrl1	ctrl1	@3	Управляющий вывод втекания тока
4	ctrl2	ctrl2	@4	Управляющий вывод истекания тока

Для источника тока, управляемого током, для редактирования доступен SPICE-параметр GAIN, см. [Рис. 104](#).

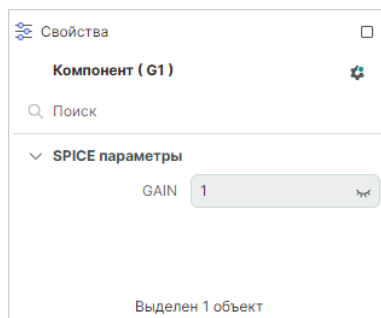


Рис. 104 SPICE-параметр
GAIN

В источнике тока, управляемом током, с помощью коэффициента передачи от входа к выходу можно задать зависимость выходного тока от управляющего:

$$I = \text{GAIN} * I_y,$$

где I_y – ток управляемого источника.

Подробнее о редактируемом параметре см. [Табл. 39](#).

[Таблица 39](#) Редактируемый параметр источника тока, управляемого током

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
GAIN	Коэффициент передачи от входа к выходу	1	Ампер/Ампер	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.6 Общий параметр функциональных источников

У функциональных источников для редактирования доступен SPICE-параметр Expression, см. [Рис. 105](#).

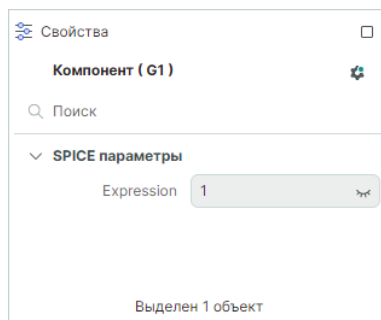


Рис. 105 SPICE-параметр Expression

Подробнее редактируем параметр функциональных источников см. [Табл. 40](#).

[Таблица 40](#) Редактируемый параметр функциональных источников

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
Expression	Выражение выходного напряжения (см. раздел Выражения)	1	Вольт	Да

8.2.6.7 Функциональный источник напряжения

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 106](#).

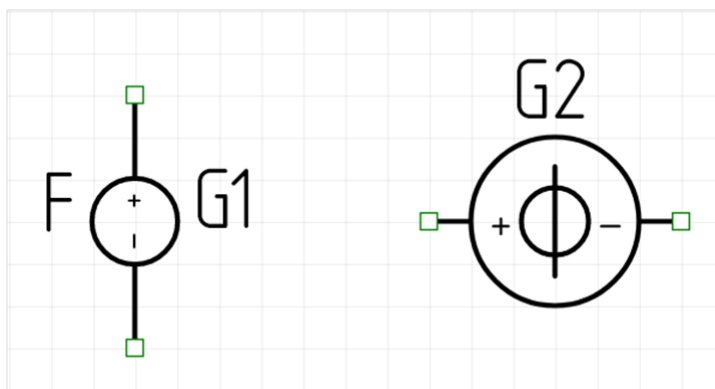


Рис. 106 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена ниже.

[Таблица 40](#) Описание выводов УГО в основном представлении и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	-	-	@minus	Вывод отрицательной полярности
2	+	+	@plus	Вывод положительной полярности

[Таблица 40](#) Описание выводов УГО в представлении ЕСКД и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@plus	Вывод положительной полярности
2	-	-	@minus	Вывод отрицательной полярности

Описание параметра, доступного для редактирования, представлено в разделе [Общий параметр функциональных источников](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.6.8 Функциональный источник тока

УГО компонента в основном представлении (G1) и представлении ЕСКД (G2) показаны на [Рис. 107](#).

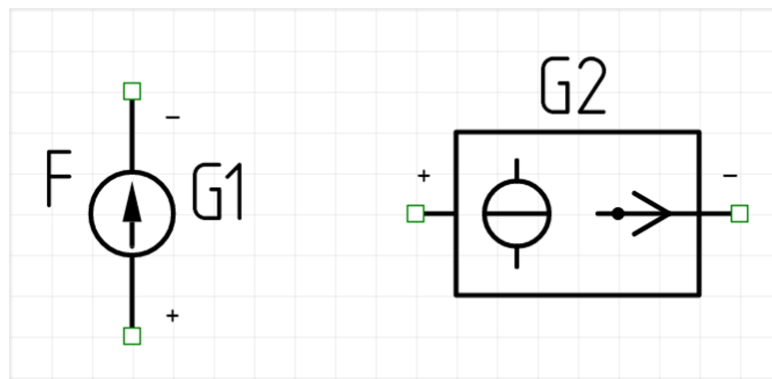


Рис. 107 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 41](#).

[Таблица 41](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@plus	Вывод втекания тока
2	-	-	@minus	Вывод истекания тока

Описание параметра, доступного для редактирования, представлено в разделе [Общий параметр функциональных источников](#).

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.7 Многополюсники

8.2.7.1 Двухполюсник

УГО компонента в основном представлении (A1) и представлении ЕСКД (A2) показаны на [Рис. 108](#).

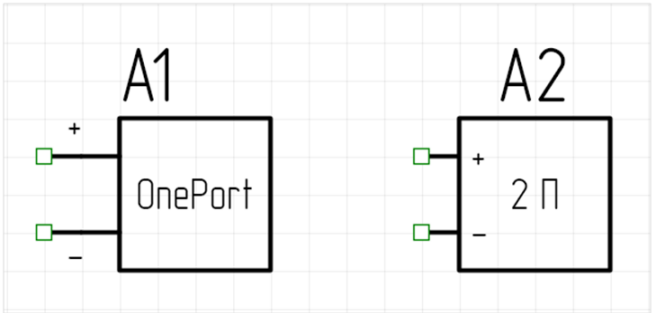


Рис. 108 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 42](#).

[Таблица 42](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+	+	@N1	Положительный вывод порта
2	-	-	@N2	Опорный вывод порта

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 109](#).

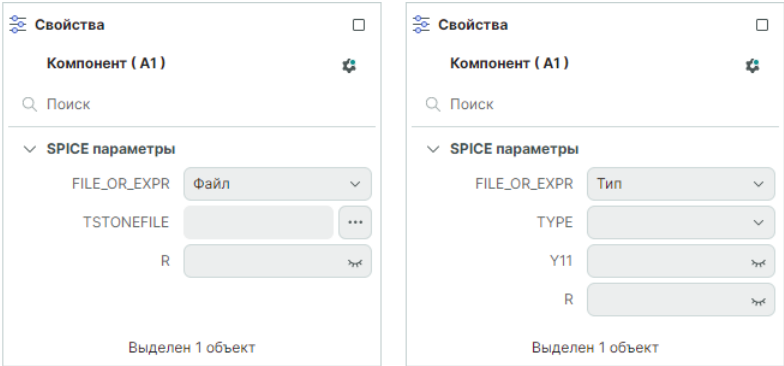


Рис. 109 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание! Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Файл», то становится доступен для определения параметр TSTONEFILE, а параметры TYPE, Y11 скрываются в панели «Свойства».

Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Тип», то становятся доступны для определения параметры TYPE, Y11, а параметр TSTONEFILE скрывается в панели «Свойства».

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 43](#).

[Таблица 43](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
FILE_OR_EXPR	Выбор способа описания многополюсника («Файл»/«Тип»)	Файл	-	Да
TSTONEFILE	Путь к файлу с расширением *.s1p, содержащего описание модели компонента в Touchstone-формате	-	-	Да
TYPE	Выбор типа параметров описания многополюсника (S-параметры, Y-параметры, Z-параметры)	-	-	Да
Y11	Параметр матрицы с индексами (1,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
R	Нормировочное сопротивление	-	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.7.2 Четырехполюсник

УГО компонента в основном представлении (A1) и представлении ЕСКД (A2) показаны на [Рис. 110](#).

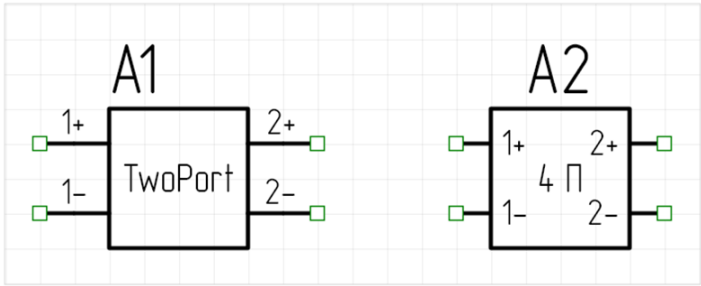


Рис. 110 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 44](#).

[Таблица 44](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1+	1+	@N1	Положительный вывод первого порта
2	1-	1-	@N2	Опорный вывод первого порта
3	2+	2+	@N3	Положительный вывод второго порта
4	2-	2-	@N4	Опорный вывод второго порта

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 111](#).

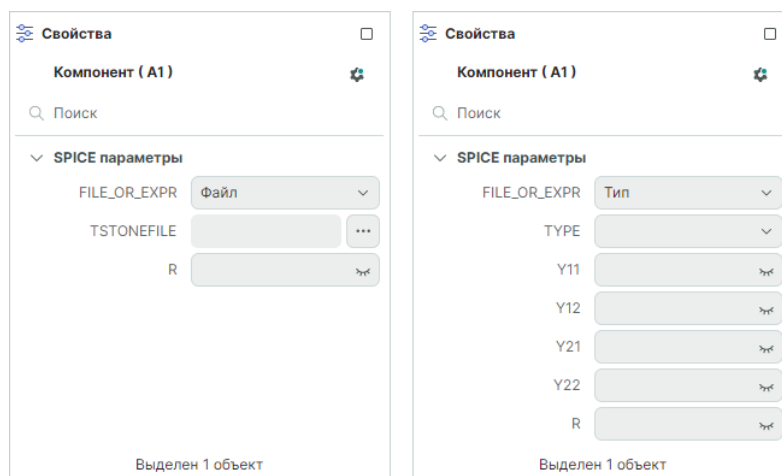


Рис. 111 Редактируемые SPICE-параметры

**Примечание!**

Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Файл», то становится доступен для определения параметр TSTONEFILE, а параметры TYPE, Y11-Y22 скрываются в панели «Свойства».

Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Тип», то становятся доступны для определения параметры TYPE, Y11-Y22, а параметр TSTONEFILE скрывается в панели «Свойства».

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 45](#).

Таблица 45 Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
FILE_OR_EXPR	Выбор способа описания многополюсника («Файл»/«Тип»)	Файл	-	Да
TSTONEFILE	Путь к файлу с расширением *.s2p, содержащего описание модели компонента в Touchstone-формате	-	-	Да
TYPE	Выбор типа параметров описания многополюсника (S-	-	-	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
	параметры, Y-параметры, Z-параметры)			
Y11	Параметр матрицы с индексами (1,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y12	Параметр матрицы с индексами (1,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y21	Параметр матрицы с индексами (2,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y22	Параметр матрицы с индексами (2,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
R	Нормировочное сопротивление	-	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.7.3 Шестиполюсник

УГО компонента в основном представлении (A1) и представлении ЕСКД (A2) показаны на [Рис. 112](#).

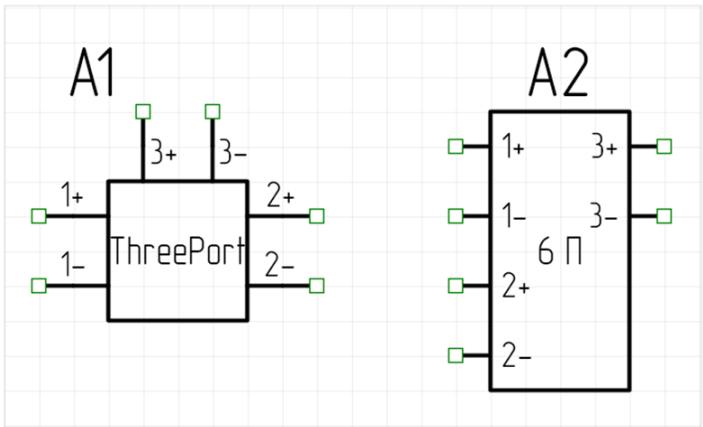


Рис. 112 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 46](#).

[Таблица 46](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1+	1+	@N1	Положительный вывод первого порта
2	1-	1-	@N2	Опорный вывод первого порта
3	2+	2+	@N3	Положительный вывод второго порта
4	2-	2-	@N4	Опорный вывод второго порта
5	3+	3+	@N5	Положительный вывод третьего порта
6	3-	3-	@N6	Опорный вывод

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
				третьего порта

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 113](#).

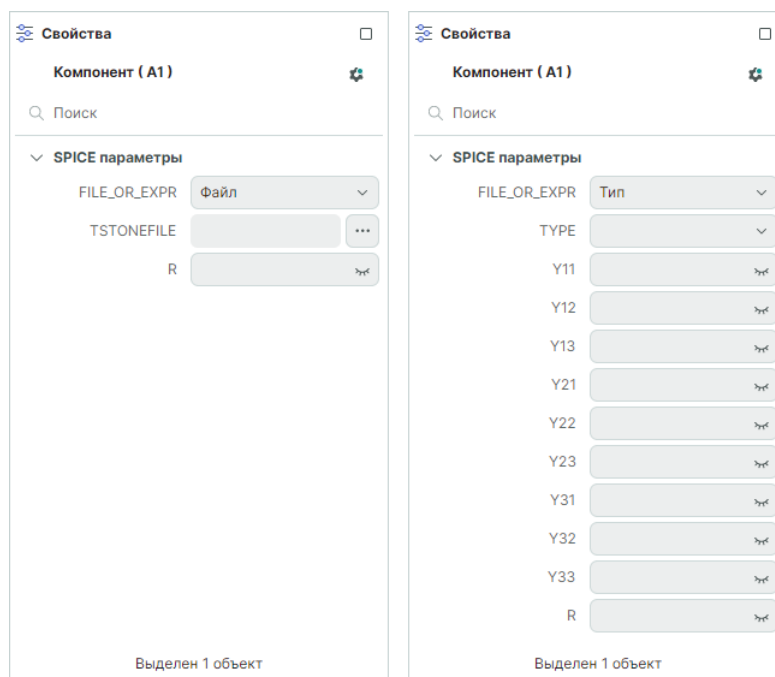


Рис. 113 Редактируемые SPICE-параметры

Примечание!



Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Файл», то становится доступен для определения параметр TSTONEFILE, а параметры TYPE, Y11-Y33 скрываются в панели «Свойства».

Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Тип», то становятся доступны для определения параметры TYPE, Y11-Y33, а параметр TSTONEFILE скрывается в панели «Свойства».

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 47](#).

[Таблица 47](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
FILE_OR_EXPR	Выбор способа описания многополюсника («Файл»/«Тип»)	Файл	-	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
TSTONEFILE	Путь к файлу с расширением *.s3p, содержащего описание модели компонента в Touchstone-формате	-	-	Да
TYPE	Выбор типа параметров описания многополюсника (S-параметры, Y-параметры, Z-параметры)	-	-	Да
Y11	Параметр матрицы с индексами (1,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y12	Параметр матрицы с индексами (1,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y21	Параметр матрицы с индексами (2,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y22	Параметр матрицы с индексами (2,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y23	Параметр матрицы с индексами (2,3)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y31	Параметр матрицы с индексами (3,1)	-	Зависит от значения	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
			параметра TYPE	
Y32	Параметр матрицы с индексами (3,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y33	Параметр матрицы с индексами (3,3)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
R	Нормировочное сопротивление	-	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.7.4 Восьмиполюсник

УГО компонента в основном представлении (A1) и представлении ЕСКД (A2) показаны на [Рис. 114](#).

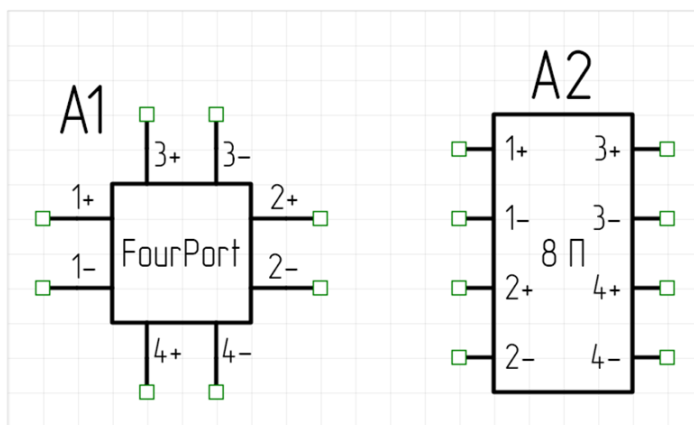


Рис. 114 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 48](#).

[Таблица 48](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1+	1+	@N1	Положительный вывод первого порта
2	1-	1-	@N2	Опорный вывод первого порта
3	2+	2+	@N3	Положительный вывод второго порта
4	2-	2-	@N4	Опорный вывод второго порта
5	3+	3+	@N5	Положительный вывод третьего порта
6	3-	3-	@N6	Опорный вывод третьего порта
7	4+	4+	@N7	Положительный вывод четвертого порта
8	4-	4-	@N8	Опорный вывод четвертого порта

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 115](#).

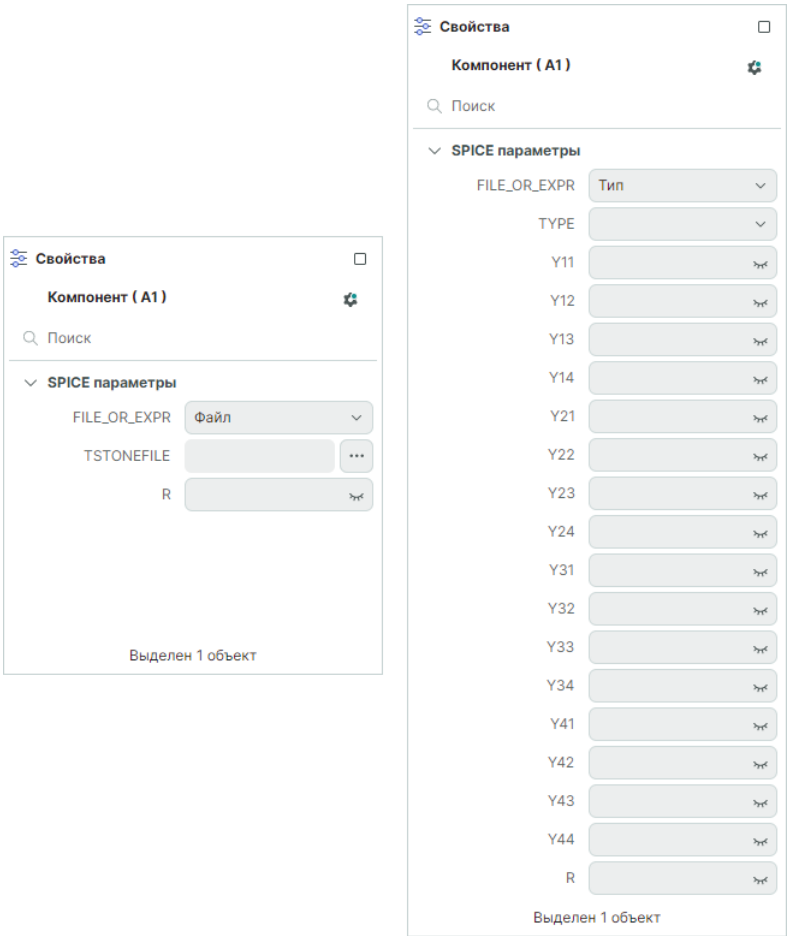


Рис. 115 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание!

Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Файл», то становится доступен для определения параметр TSTONEFILE, а параметры TYPE, Y11-Y44 скрываются в панели «Свойства». Если для параметра FILE_OR_EXPR определено значение «Тип», то становятся доступны для определения параметры TYPE, Y11-Y44, а параметр TSTONEFILE скрывается в панели «Свойства».

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 49](#).

[Таблица 49](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
FILE_OR_EXPR	Выбор способа описания многополюсника («Файл»/«Тип»)	Файл	-	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
TSTONEFILE	Путь к файлу с расширением *.s4p, содержащего описание модели компонента в Touchstone-формате	-	-	Да
TYPE	Выбор типа параметров описания многополюсника (S-параметры, Y-параметры, Z-параметры)	-	-	Да
Y11	Параметр матрицы с индексами (1,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y12	Параметр матрицы с индексами (1,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y21	Параметр матрицы с индексами (2,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y22	Параметр матрицы с индексами (2,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y23	Параметр матрицы с индексами (2,3)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y31	Параметр матрицы с индексами (3,1)	-	Зависит от значения	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
			параметра TYPE	
Y32	Параметр матрицы с индексами (3,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y33	Параметр матрицы с индексами (3,3)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y34	Параметр матрицы с индексами (3,4)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y41	Параметр матрицы с индексами (4,1)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y42	Параметр матрицы с индексами (4,2)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y43	Параметр матрицы с индексами (4,3)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
Y44	Параметр матрицы с индексами (4,4)	-	Зависит от значения параметра TYPE	Да
R	Нормировочное сопротивление	-	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8 Пассивные элементы

8.2.8.1 Взаимная (магнитосвязная) индуктивность

УГО компонента в основном представлении (L1) и представлении ЕСКД (L2) показаны на [Рис. 116](#).

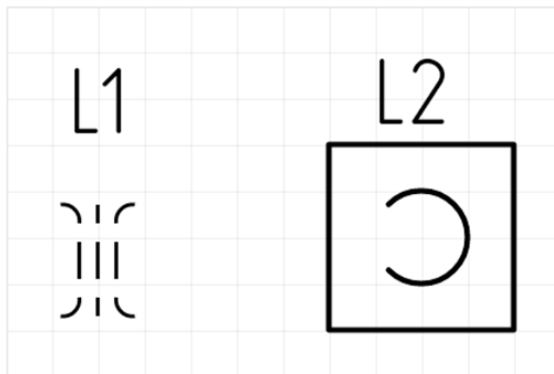


Рис. 116 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 117](#).

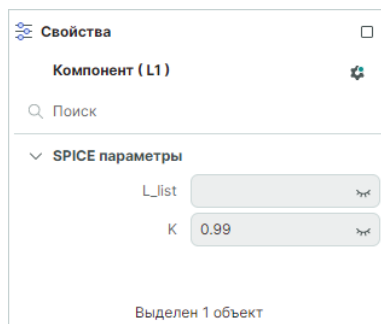


Рис. 117 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание! Заполнение параметра L_list производится путем перечисления SPICE-обозначений моделей катушек индуктивностей через символ пробела. SPICE-обозначение катушки индуктивности имеет вид: L_<обозначение катушки на схеме>.

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 50](#).

[Таблица 50](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
L_list	Перечисление взаимно связанных	-	-	Да

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
	катушек индуктивности			
К	Коэффициент взаимной индукции	0.99	-	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.2 Двухобмоточный трансформатор

УГО компонента в основном представлении (T1) и представлении ЕСКД (T2) показаны на [Рис. 118](#).

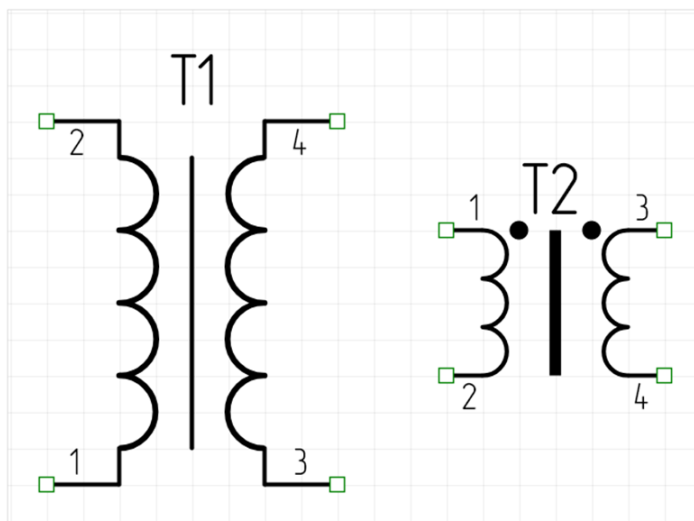


Рис. 118 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 51](#).

[Таблица 51](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Первый вывод первой обмотки

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
2	2	2	@2	Второй вывод первой обмотки
3	3	3	@3	Первый вывод второй обмотки
4	4	4	@4	Второй вывод второй обмотки

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 119](#).

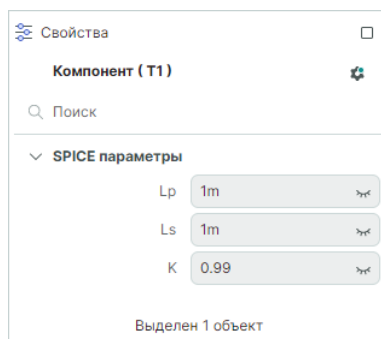


Рис. 119 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 52](#).

[Таблица 52](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
Lp	Индуктивность первой обмотки	1m	Генри	Нет
Ls	Индуктивность второй обмотки	1m	Генри	Нет
K	Коэффициент связи	0.99	-	Нет

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

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.3 Диод

УГО компонента (совпадает для основного представления и представления ЕСКД) показано на [Рис. 120](#).

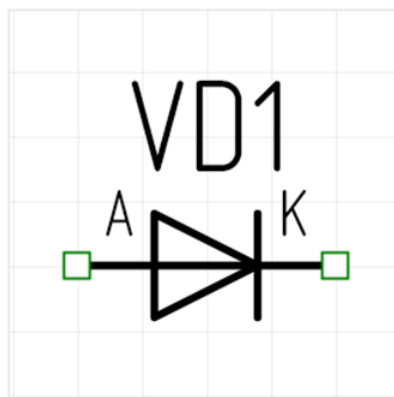


Рис. 120 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 53](#).

[Таблица 53](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	A	A	@A	Анод
2	K	K	@C	Катод

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 121](#).

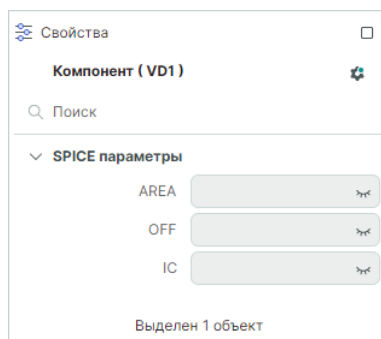


Рис. 121 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о входных SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 54](#).

[Таблица 54](#) Редактируемые параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
AREA	Число параллельно соединённых диодов	-	-	Нет
OFF	Признак выключенного состояния в расчёте постоянного тока	-	-	Нет
IC	Начальные условия смещения внутренних цепей	-	Вольт	Нет

Подробнее об использовании параметра OFF см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#), об использовании параметра IC — раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).



Примечание! Напряжение смещения требуется задавать как разницу потенциалов катода и анода.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.4 Длинная линия

УГО компонента в основном представлении (A1) и представлении ЕСКД (A2) показаны на [Рис. 122](#).

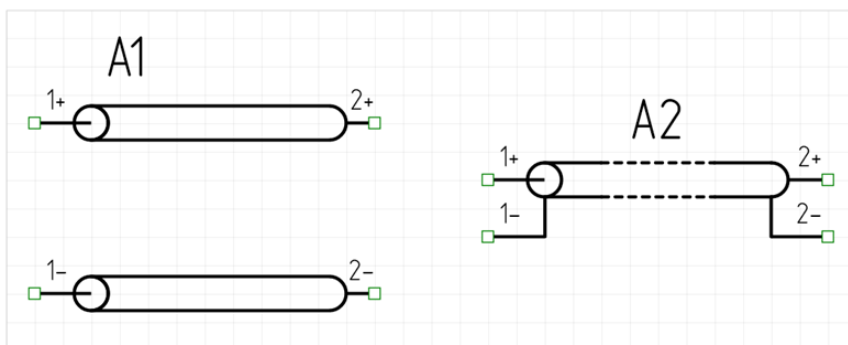


Рис. 122 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 55](#).

[Таблица 55](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1+	1+	@1	Первый контакт первого порта
2	1-	1-	@2	Второй контакт первого порта
3	2+	2+	@3	Первый контакт второго порта
4	2-	2-	@4	Второй контакт второго порта

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 123](#).

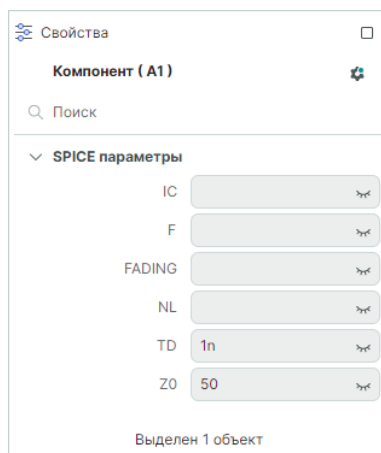


Рис. 123 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание! Задать длинную линию можно одной из двух групп параметров: первая группа - это параметры Z0, FADING, F, NL, вторая группа – это параметры Z0, FADING, TD. Если заданы обе группы параметров, то преимущество будет иметь группа параметров Z0, TD, FADING.

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 56](#).

[Таблица 56](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
IC	Начальные условия обоих портов (напряжение выводов первого порта, ток первого порта, напряжение выводов второго порта, ток второго порта)	-	Вольт, Ампер, Вольт, Ампер	Нет
F	Частота	-	Герц	Да
FADING	Коэффициент затухания	-	-	Да
NL	Относительная длина, выраженная в длине волны	-	-	Да
TD	Время задержки	1n	Секунда	Да
Z0	Импеданс	50	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.5 Индуктивность

УГО компонента в основном представлении (L1) и представлении ЕСКД (L2) показаны на [Рис. 124](#).

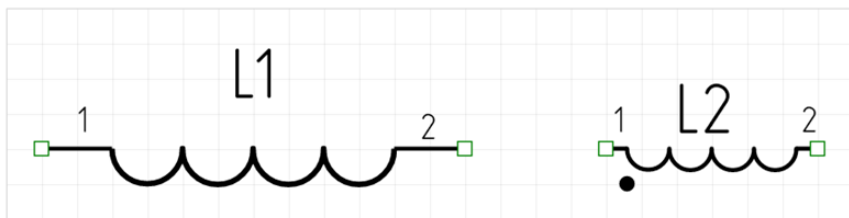


Рис. 124 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 57](#).

[Таблица 57](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@N1	Первый вывод
2	2	2	@N2	Второй вывод

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 125](#).

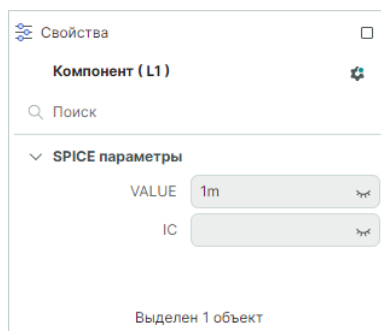


Рис. 125 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание! Ток, заданный начальными условиями, втекает в первый вывод и вытекает из второго, протекая через индуктивность.

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 58](#).

Таблица 58 Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
VALUE	Номинальная индуктивность	1m	Генри	Да
IC	Начальные условия	-	Ампер	Нет

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.6 Конденсатор

УГО компонента в основном представлении (C1) и представлении ЕСКД (C2) показаны на [Рис. 126](#).

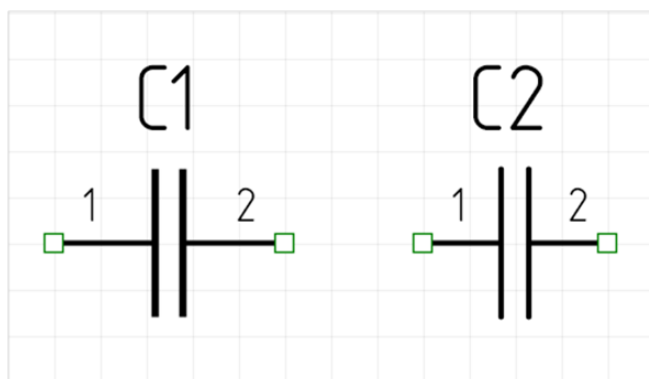


Рис. 126 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 59](#).

Таблица 59 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@N1	Первый вывод
2	2	2	@N2	Второй вывод

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 127](#).

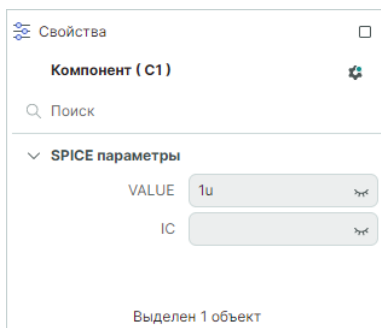


Рис. 127 Редактируемые SPICE-параметры



Примечание! Напряжение начальных условий задаёт разницу потенциалов между первым и вторым выводом.

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах компонента см. [Табл. 60](#).

[Таблица 60](#) Редактируемые SPICE-параметры компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
VALUE	Номинальная ёмкость	1u	Фарад	Да
IC	Начальные условия	-	Вольт	Нет

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.7 Магнитный сердечник

УГО модели примитива «Магнитный сердечник» в основном представлении (L1), в представлении ЕСКД1 (L2) и ЕСКД2 (L3) показаны на [Рис. 128](#).

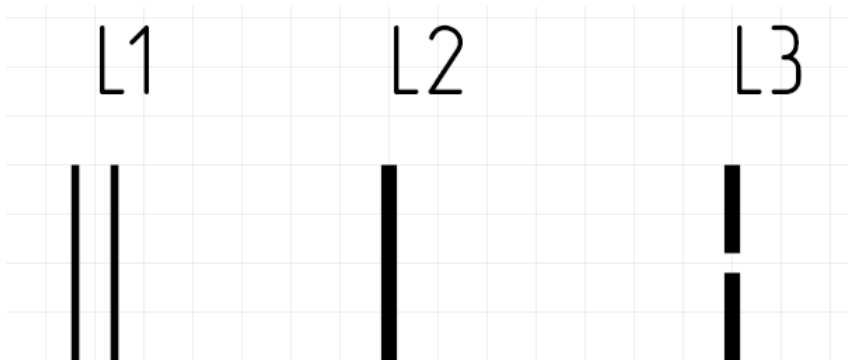


Рис. 128 УГО модели примитива «Магнитный сердечник»



Примечание! Вид представления примитива никак не влияет на модель примитива, это только визуализация УГО примитива магнитного сердечника на электрической схеме. Подробнее о выборе представления см. «[Выбор УГО](#)».

После размещения на электрической схеме магнитный сердечник необходимо связать с определенной катушкой индуктивности, см. [Рис. 129](#).

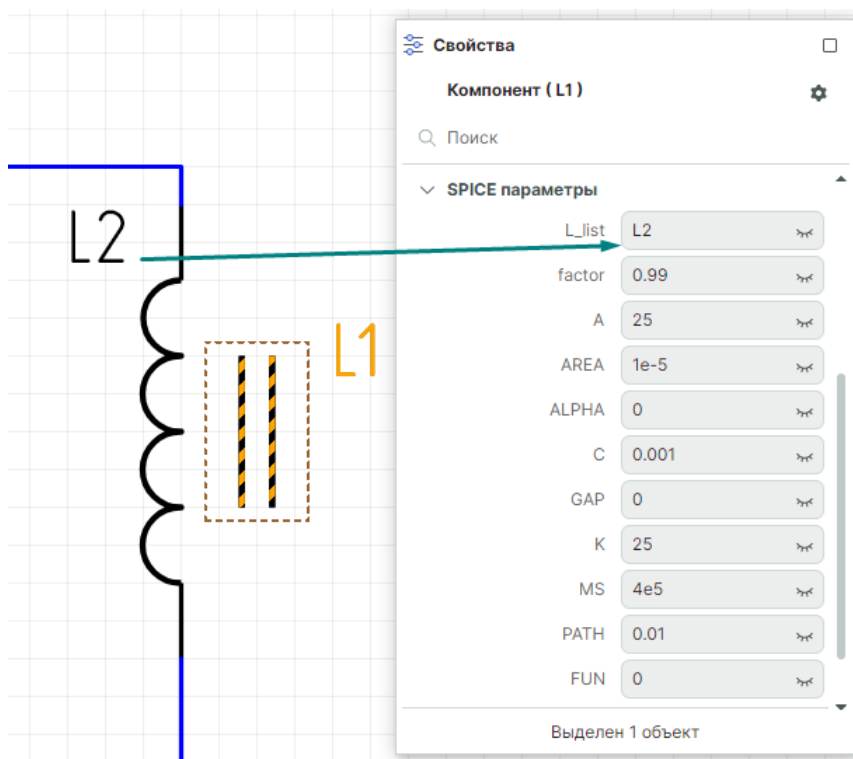


Рис. 129 Привязка сердечника к катушке

Для того чтобы отобразить на электрической схеме связь магнитного сердечника с конкретной катушкой переключите в поле «Свойства» → «SPICE параметры» → «L_list» иконку , в результате иконка изменится на  и рядом с УГО магнитного сердечника отобразится обозначение катушки, с которой сердечник связан, см. [Рис. 130](#).

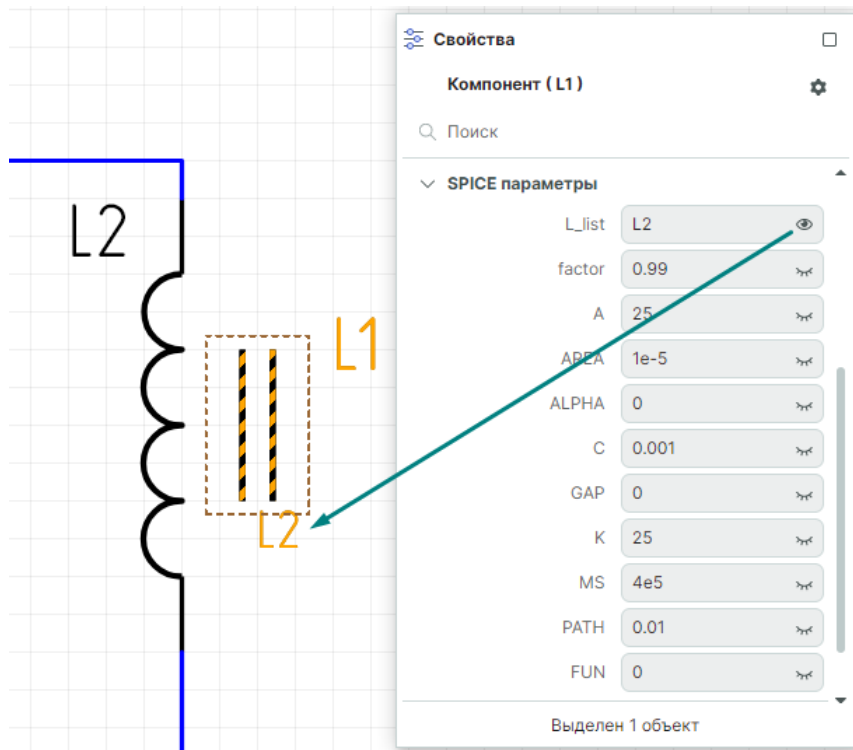


Рис. 130 Включение отображения связи между сердечником и катушкой

У модели примитива «Магнитный сердечник» для редактирования доступны следующие SPICE параметры, см. [Рис. 131](#).

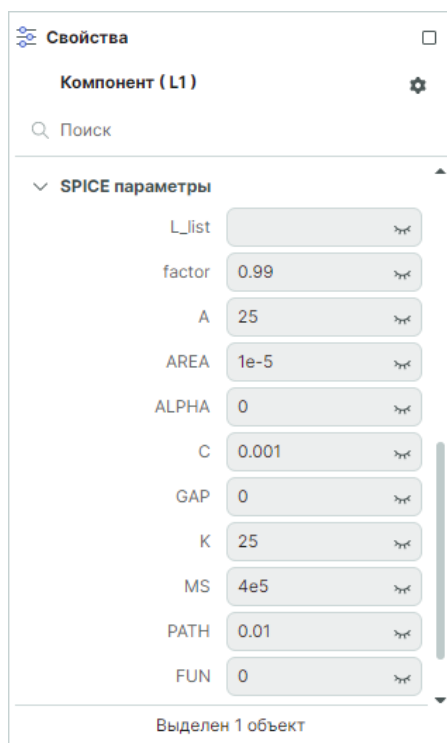


Рис. 131 Редактируемые SPICE параметры

Подробнее о редактируемых SPICE параметрах модели примитива «Магнитный сердечник» см. [Табл. 61](#).

[Таблица 61](#) Редактируемые SPICE параметры модели

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
L_list	Перечень позиционных обозначений намоток, связанных с магнитным сердечником	-	-	Да
factor	Коэффициент магнитной связи намоток с сердечником	1	-	Нет
A	Параметр формы безгистерезисной	25	А/м	Нет

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
	кривой намагничивания			
AREA	Площадь поперечного сечения магнитопровода	1e-5	м ²	Нет
ALPHA	Коэффициент связи магнитных доменов	0	-	Нет
C	Постоянная упругого смещения доменных границ	1e-3	-	Нет
GAP	Ширина воздушного зазора	0	м	Нет
K	Постоянная подвижности магнитных доменов	25	-	Нет
MS	Намагниченность насыщения	4e5	А/м	Нет
PATH	Средняя длина магнитной силовой линии магнитопровода	0,01	м	Нет
FUN	Флаг выбора функции, определяющей форму безгистерезисной кривой намагничивания (0 или 1): • 0 – функции Ланжевена; • 1 – упрощённой функции	0	-	Нет



Примечание! Связанная с сердечником намотка интерпретируются как "катушка индуктивности, сопряжённая с магнитным сердечником (намотка)". В этом случае значение катушки (параметр VALUE) определяет число витков, а не индуктивность.

Подробнее о модели примитива «Магнитный сердечник» см. [Описание моделей примитивов. Магнитный сердечник](#).

8.2.8.8 Переключатель, управляемый напряжением

УГО компонента в основном представлении (S1) и представлении ЕСКД (S2) показаны на [Рис. 132](#).

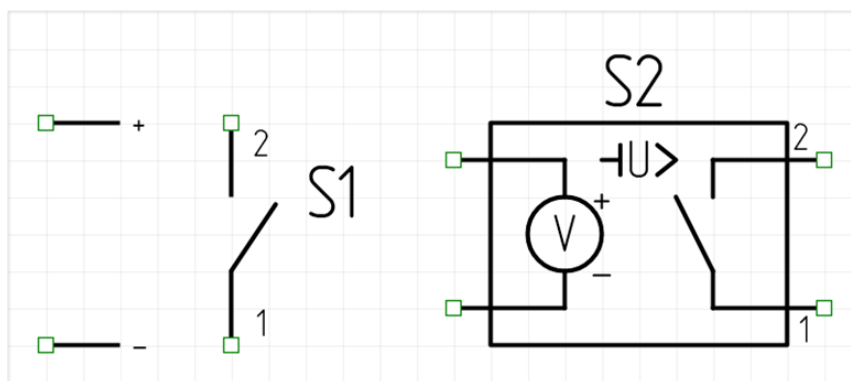


Рис. 132 УГО компонента



Примечание! По умолчанию некоторые метки выводов скрыты (в зависимости от выбранного представления), включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена ниже.

[Таблица 61](#) Описание выводов УГО в основном представлении и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Первый вывод ключа
2	2	2	@2	Второй вывод ключа
3	+ctrl	+	@ctrl_plus	Управляющий вывод положительно й полярности

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
4	-ctrl	-	@ctrl_minus	Управляющий вывод отрицательной полярности

[Таблица 61](#) Описание выводов УГО в представлении ЕСКД и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	+ctrl	+	@ctrl_plus	Управляющий вывод положительной полярности
2	-ctrl	-	@ctrl_minus	Управляющий вывод отрицательной полярности
3	1	1	@1	Первый вывод ключа
4	2	2	@2	Второй вывод ключа

Переключатель, управляемый напряжением, не имеет редактируемых параметров.

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.9 Переключатель, управляемый током

УГО компонента в основном представлении (S1) и представлении ЕСКД (S2) показаны на [Рис. 133](#).

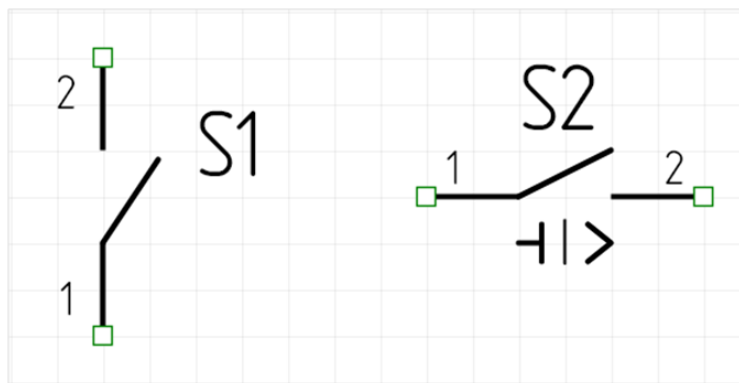


Рис. 133 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 62](#).

[Таблица 62](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Первый вывод ключа
2	2	2	@2	Второй вывод ключа

Для редактирования доступен параметр CTRL_ELEM, см. [Рис. 134](#).

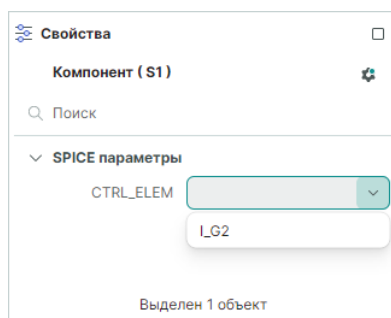


Рис. 134 SPICE-параметр CTRL_ELEM



Примечание! Параметр CTRL_ELEM должен задавать SPICE-обозначение независимого источника напряжения, используемого в качестве датчика тока.

Подробнее о редактируемом SPICE-парамetre компонента см. [Табл. 63](#).

[Таблица 63](#) Редактируемый SPICE-параметр компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
CTRL_ELEM	Обозначение независимого источника как управляющего элемента	-	-	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.10 Резистор

УГО компонента в основном представлении (R1) и представлении ЕСКД (R2) показаны на [Рис. 135](#).

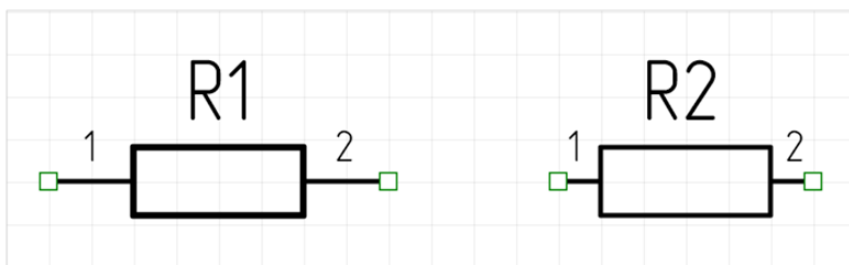


Рис. 135 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 64](#).

[Таблица 64](#) Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@N1	Первый вывод
2	2	2	@N2	Второй вывод

Для редактирования доступен SPICE-параметр VALUE, см. [Рис. 136](#).

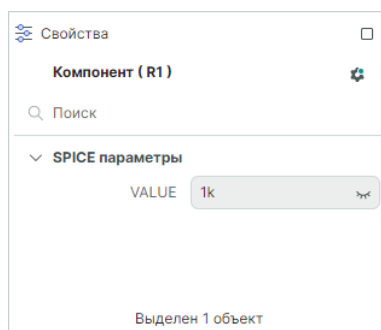


Рис. 136 SPICE-параметр
VALUE

Подробнее о редактируемом SPICE-парамetre компонента см. [Табл. 65](#).

[Таблица 65](#) Редактируемый SPICE-параметр компонента

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
VALUE	Номинальное сопротивление	1k	Ом	Да

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.11 Резистор-потенциометр

8.2.8.11.1 Общие сведения

УГО компонента в основном представлении (RP1) и представлении ЕСКД (RP2) показаны на [Рис. 137](#).

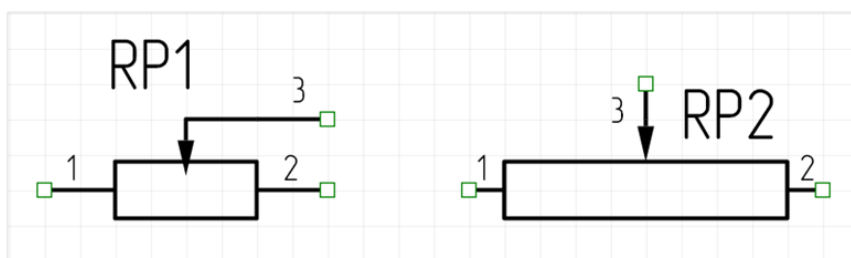


Рис. 137 УГО компонента



Примечание! По умолчанию метки выводов скрыты, включение отображения производится в панели «Свойства» для выбранного контакта.

Подробная информация о выводах УГО и выводах модели представлена в [Табл. 66](#).

Таблица 66 Описание выводов УГО и выводов модели

Номер вывода	Имя вывода	Метка вывода	Вывод модели	Описание вывода
1	1	1	@1	Первый вывод резистора
2	2	2	@2	Второй вывод резистора
3	3	3	@3	Скользящий контакт

В библиотеке примитивов реализованы резисторы-потенциометры со следующими зависимостями сопротивления:

- [линейная зависимость](#);
- [степенная зависимость](#);
- [логарифмическая зависимость](#);
- [обратная логарифмическая зависимость](#).

8.2.8.11.2 Линейная зависимость

Для резистора-потенциометра с линейной зависимостью для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 138](#).

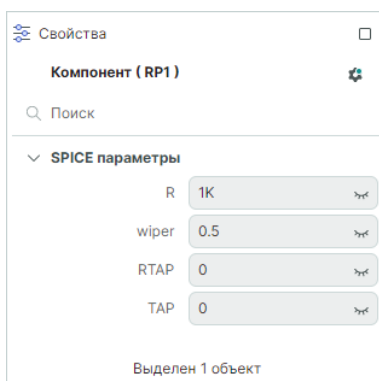


Рис. 138 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах резистора-потенциометра с линейной зависимостью, см. [Табл. 67](#).

Таблица 67 Редактируемые SPICE-параметры резистора-потенциометра с линейной зависимостью

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
R	Номинальное сопротивление	1k	Ом	Нет
wiper	Коэффициент положения скользящего контакта	0,5	-	Нет

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.2.8.11.3 Нелинейные зависимости

Для резисторов-потенциометров с нелинейными зависимостями (степенной, логарифмической и обратной логарифмической) SPICE-параметры, доступные для редактирования совпадают, см. [Рис. 139](#).

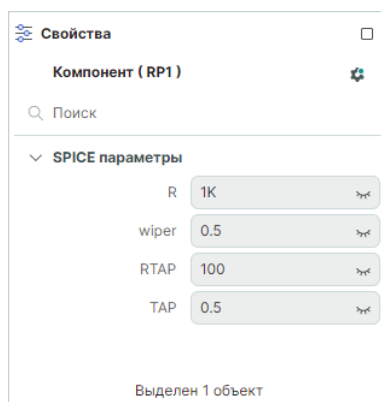


Рис. 139 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее о редактируемых SPICE-параметрах резисторов-потенциометров с нелинейными зависимостями см. [Табл. 68](#).

Таблица 68 Редактируемые SPICE-параметры резисторов-потенциометров с нелинейными зависимостями

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
R	Номинальное сопротивление	1k	Ом	Нет

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения	Обязательный параметр
wiper	Коэффициент положения скользящего контакта	0,5	-	Нет
RTAP	Сопротивление, достигаемое в позиции скользящего контакта при wiper=TAP	100	-	Нет
TAP	Позиция скользящего контакта wiper, при котором сопротивление между выводами 2 и 3 равно RTAP	0,5	-	Нет

Подробнее о модели компонента см. [Описание моделей примитивов](#).

8.3 Библиотеки

8.3.1 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. 140](#).

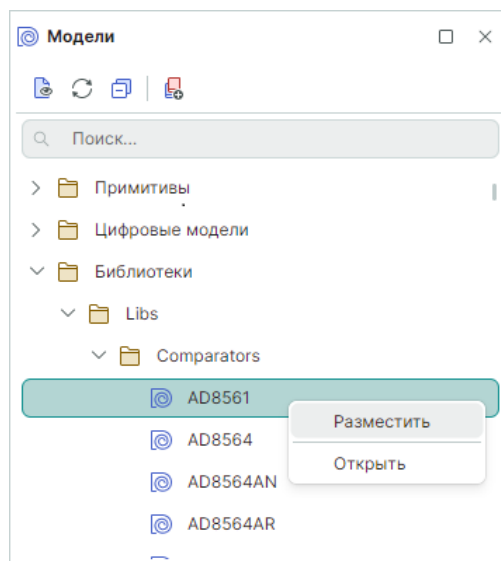


Рис. 140 Размещение компонента на схему из предустановленной библиотеки

Пункт «Открыть» контекстного меню (см. [Рис. 140](#)) раскрывает на вкладке «УГО» описание компонента, его УГО, таблицу контактов компонентов и на вкладке «Моделирование» → «Модель», текстовую модель и параметры модели компонента, см. [Рис. 141](#).

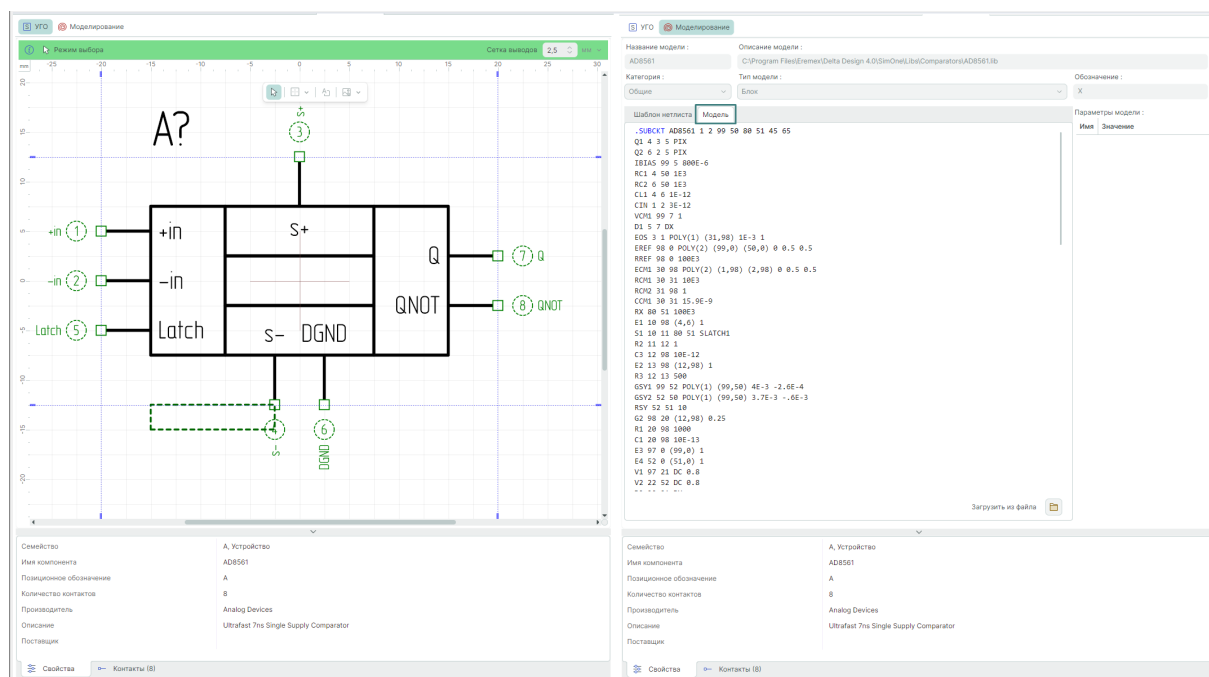


Рис. 141 Описание компонента, УГО, таблицы контактов, модель и параметры модели компонента

8.3.2 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. 142](#).

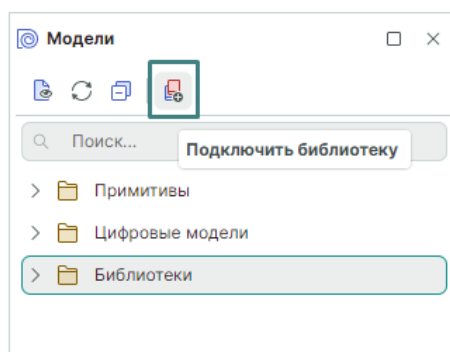


Рис. 142 Подключение библиотеки

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. 143](#).

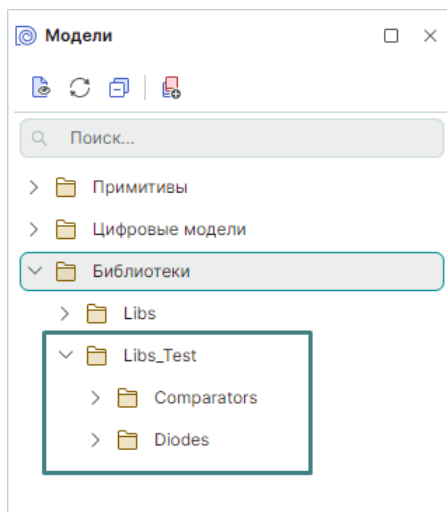


Рис. 143 Отображение подключенной библиотеки

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.

8.3.3 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 моделей компонентов в SPICE-формате доступны 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. 144](#).

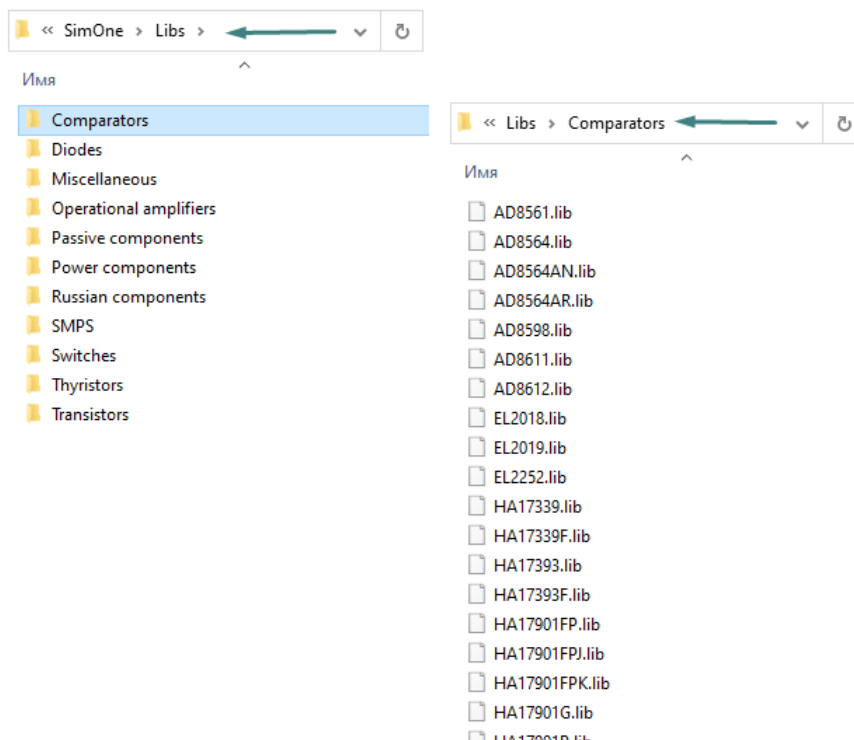


Рис. 144 Пример организации файлов в предустановленной библиотеке Libs

Для редактирования модели компонента необходимо открыть файл в редакторе, см. [Рис. 145](#).

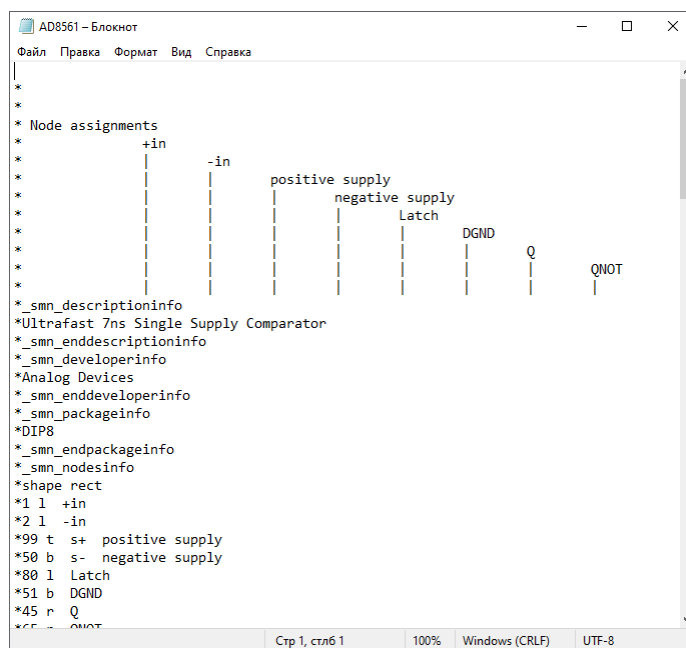


Рис. 145 Пример файла компонента в текстовом редакторе

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.

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

Данные специальные слова должны находиться в отдельной строке для каждого 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. 69](#) приведен перечень управляющих блоков.

[Таблица 69](#) 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.

Наименование	Описание
	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.

Формы УГО, используемые для синтеза компонентов, соответствуют требованиям ЕСКД.

В [Табл. 70](#) приведен перечень соответствия допустимых УГО компонента и их краткое описание.

[Таблица 70](#) Наименования, допустимых к применению УГО для синтеза компонентов из моделей

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

Специальное слово обозначения УГО	Краткое описание УГО
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 МСТ
njfet	полевой транзистор с N-каналом
nmos	полевой МОП транзистор с N-каналом
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

Специальное слово обозначения УГО	Краткое описание УГО
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
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.

9 Сигналы

9.1 Общие сведения о сигналах

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. Выделите на схеме источник и из контекстного меню выберите пункт «Задать сигнал...», что откроет окно «Сигналы» для управления сигналами, см. [Рис. 146](#).

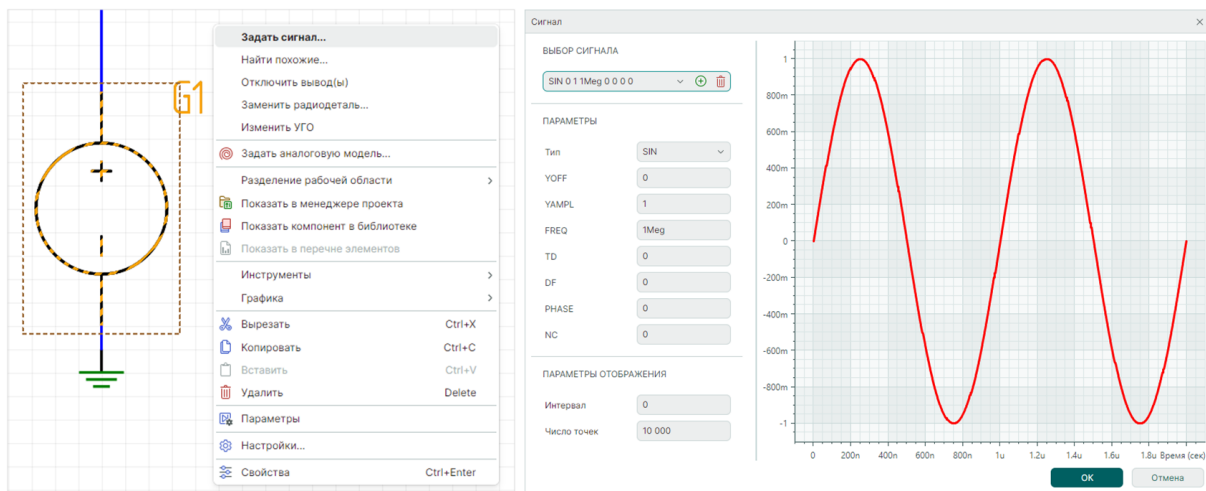


Рис. 146 Создание сигнала из контекстного меню

2. Выделите на схеме источник и в панели «Свойства» выберите «SPICE-параметр» → «SIGNAL» → «Задать сигнал...», см. [Рис. 147](#).

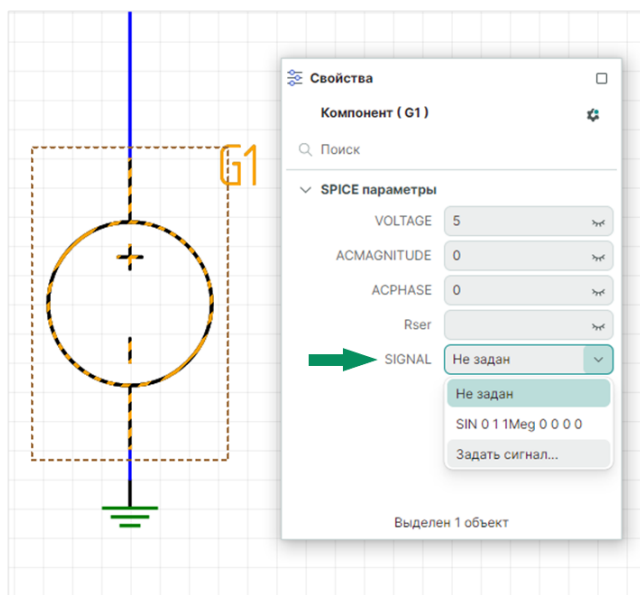


Рис. 147 Создание сигнала из панели «Свойства»

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 сигналами.



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

Окно «Сигналы» позволяет создавать новые сигналы, редактировать параметры существующих сигналов, удалять их из списка, см. [Рис. 148](#).

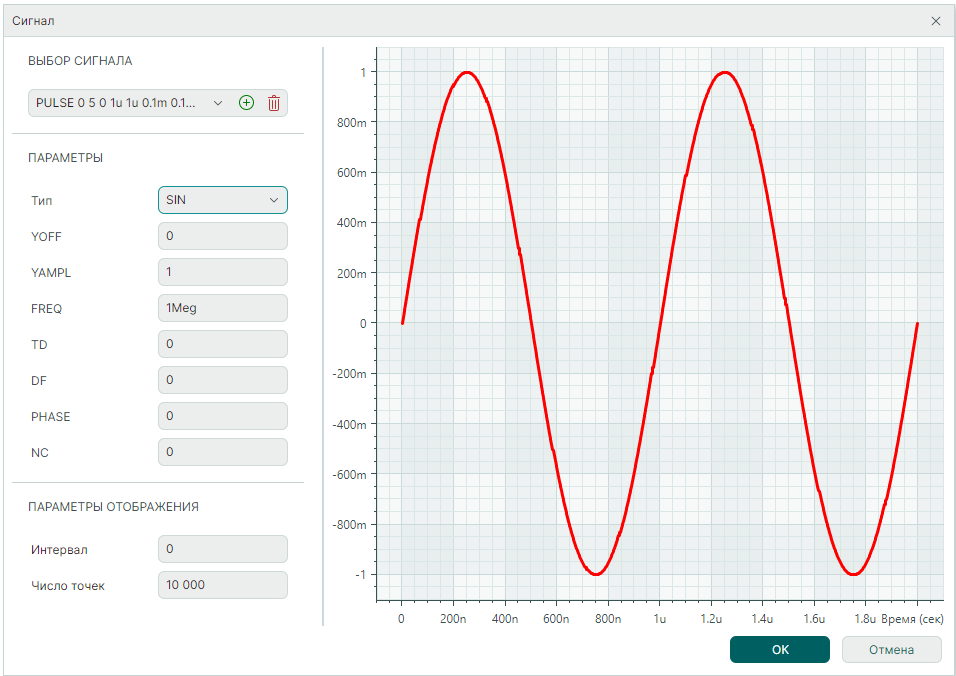


Рис. 148 Окно «Сигналы»

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. 71](#) представлен общий интерфейс окна «Сигналы» для управления сигналом.

[Таблица 71](#) 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.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Выпадающий список «Параметры» → «Тип»	Тип сигнала. Доступны следующие типы сигналов: • EXP – экспоненциальный сигнал; • PULSE – последовательность прямоугольных импульсов; • PWL – кусочно-линейный сигнал; • SIN – синусоидальный сигнал; • SFFM – частотно-модулированный синусоидой сигнал; • NOISE – шумовой сигнал; • GAUSSIAN – Гауссов импульс; • 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
«Параметры отображения» → «Число точек»	Число точек отображения в окне предварительного просмотра	10 000
	Добавление нового сигнала	-
	Удаление выбранного сигнала из списка доступных	-

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

9.2 Экспоненциальный сигнал (EXP)

Экспоненциальный сигнал – это одиночный импульс, огибающая которого определяется экспоненциальной функцией. Задаётся списком параметров EXP (Y1 Y2 TD1 TC1 TD2 TC2).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 149](#).

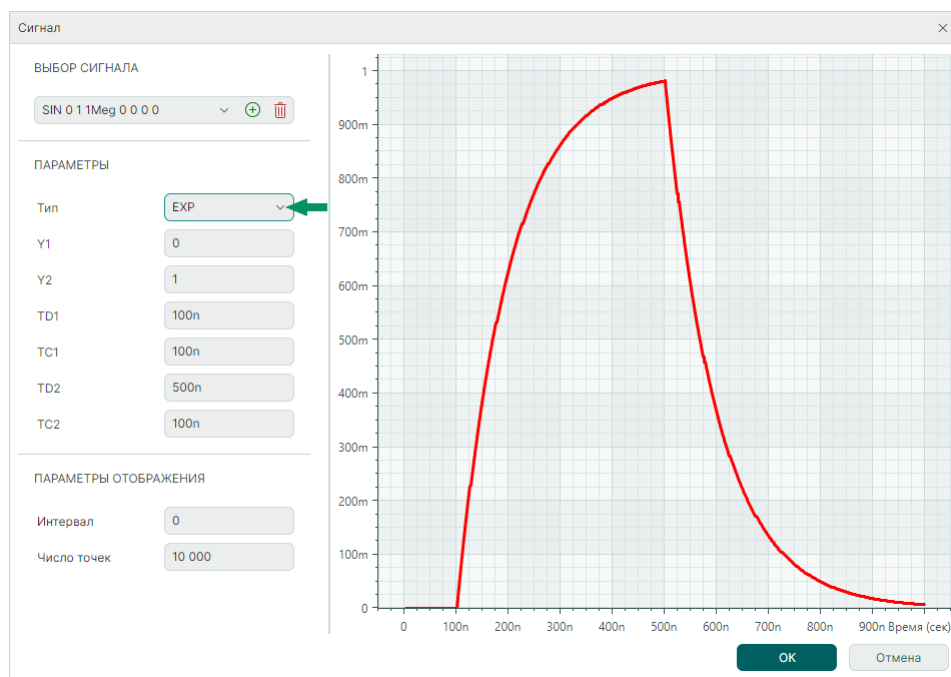


Рис. 149 Параметры экспоненциального сигнала

Подробнее параметры экспоненциального сигнала описаны в [Табл. 72](#).

[Таблица 72](#) 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. 73](#).

[Таблица 73](#) Расчет значений сигнала

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

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

В выражениях значения сигнала используются:

- TSTOP – конечное время анализа переходного процесса;
- exp – функция расчёта экспоненты;
- t – текущее время симуляции.

9.3 Последовательность прямоугольных импульсов (PULSE)

Последовательность прямоугольных импульсов – это сигнал, огибающая которого имеет форму трапеции, обычно близкую к прямоугольнику. Задается списком параметров PULSE (Y1 Y2 TD TR TF PW PER NC).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 150](#).

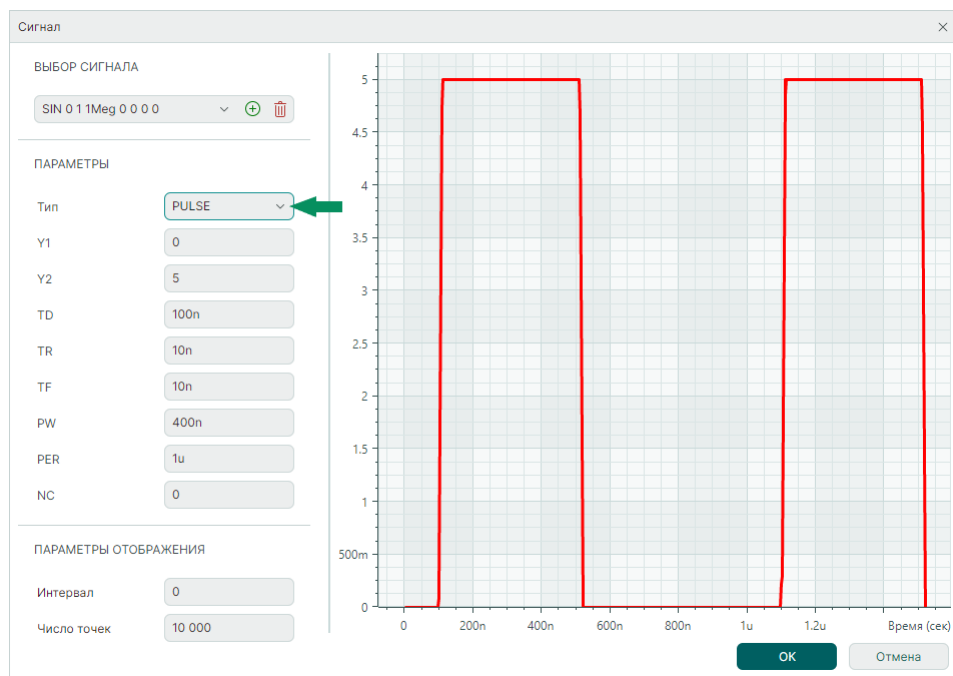


Рис. 150 Параметры последовательности прямоугольных импульсов

Подробнее параметры описаны в [Табл. 74](#).

[Таблица 74](#) Параметры последовательности прямоугольных импульсов

Обозначение	Параметр
Y1	Уровень между соседними импульсами
Y2	Уровень импульса
TD	Задержка или запаздывание сигнала по оси времени
TR	Длительность переднего фронта
TF	Длительность заднего фронта
PW	Длительность постоянной части импульса
PER	Период повторения импульсов
NC	Число импульсов в последовательности (NC=0 обозначает непрерывную бесконечную последовательность импульсов)

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 75](#).

[Таблица 75](#) 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

В выражениях значения сигнала используется t – текущее время симуляции.

9.4 Кусочно-линейный сигнал (PWL)

Кусочно-линейный сигнал – это сигнал, огибающая которого определяется кусочно-линейной функцией. Задается списком параметров PWL (T1 Y1 T2 Y2 ... Tn Yn) или PWL (имя файла).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 151](#).

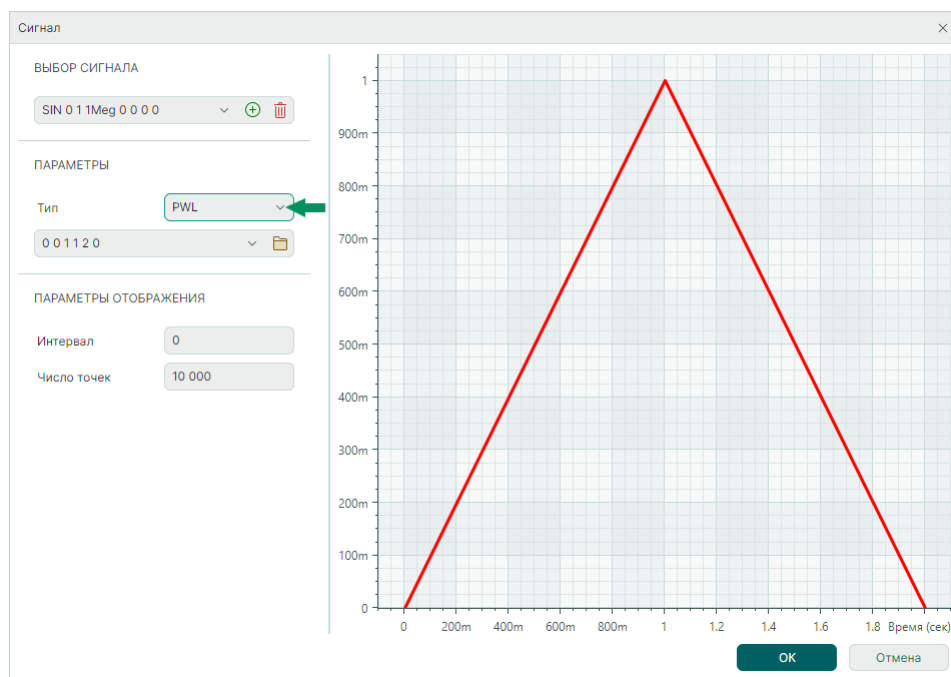


Рис. 151 Параметры кусочно-линейного сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 76](#).

[Таблица 76](#) Параметры кусочно-линейного сигнала

Обозначение	Параметр
T1	Абсцисса первой точки
Y1	Ордината первой точки
T2	Абсцисса второй точки
Y2	Ордината второй точки
Tn	Абсцисса n-ой точки
Yn	Ордината n-ой точки
Имя файла	Имя файла, содержащего координаты точек

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

В форме нажмите на иконку  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. 152](#).

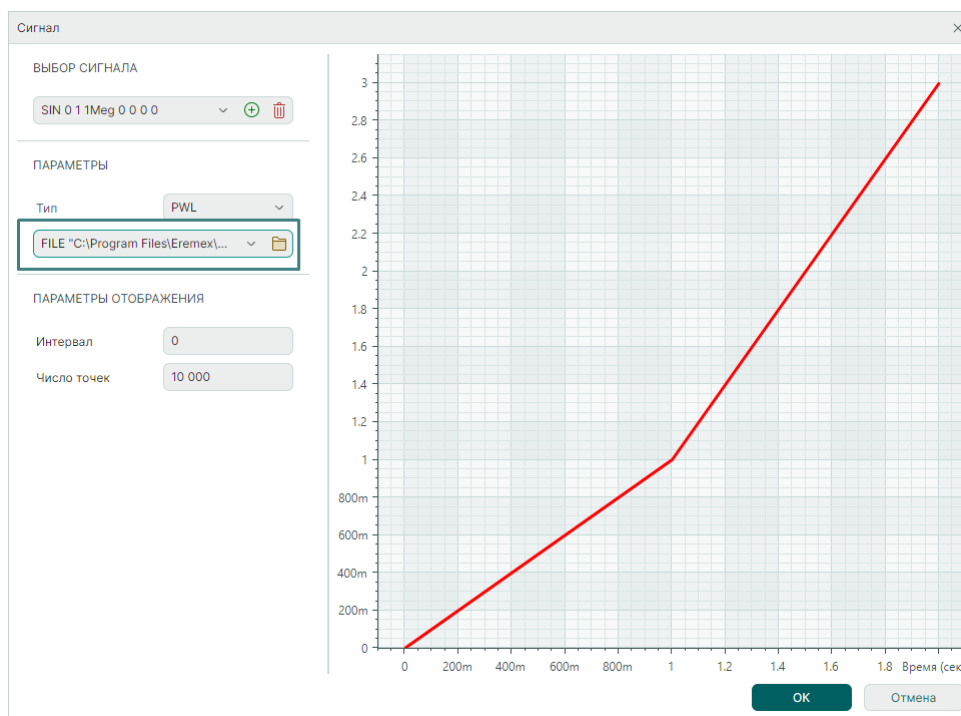


Рис. 152 Задание pwl-сигнала с помощью файла

Пример файла с pwl-сигналом, содержащего точки отсчета, представлен на [Рис. 153](#).

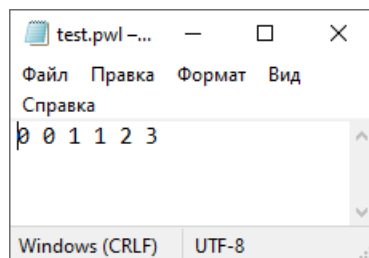


Рис. 153 Пример файла, содержащего точки

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

9.5 Синусоидальный сигнал (SIN)

Синусоидальный сигнал – это сигнал, огибающая которой описывается функцией синусоиды. Задаётся списком параметров SIN (YOFF YAMPL FREQ TDDF PHASE NC).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 154](#).

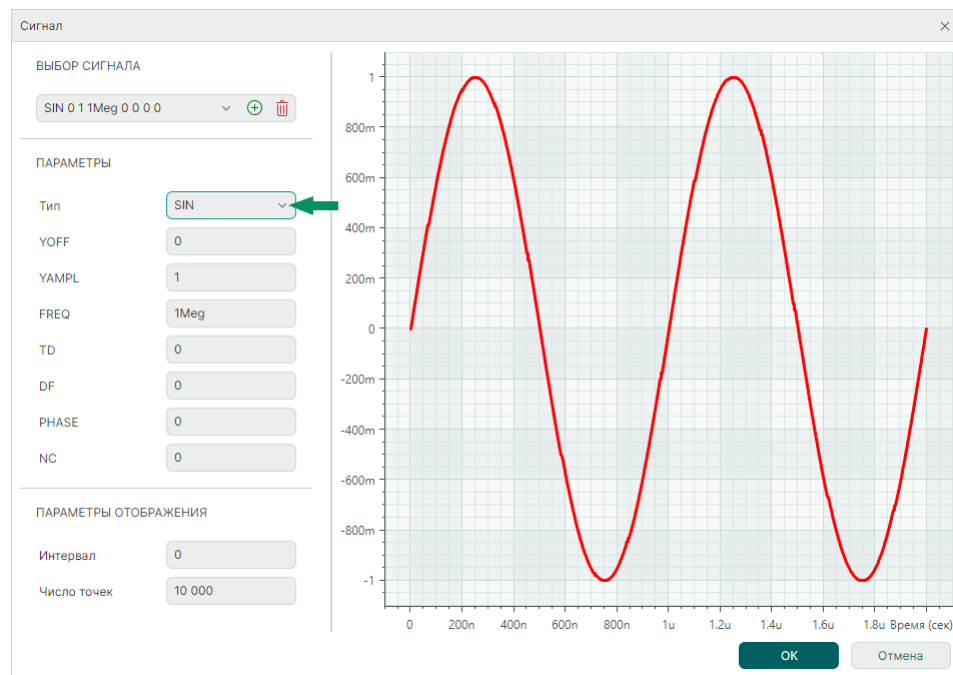


Рис. 154 Параметры синусоидального сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 77](#).

[Таблица 77](#) Параметры синусоидального сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда сигнала
FREQ	Частота волны
TD	Задержка или запаздывание сигнала по оси времени
DF	Коэффициент затухания
PHASE	Начальная фаза (при $t=0$)
NC	Число целых периодов функции (0 соответствует отсутствию ограничения)

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 78](#).

[Таблица 78](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t < TD$	$YOFF + \exp(0) * YAMPL * \sin(PHASE / 180 * \pi)$
$TD \leq t < TD + 1 / FREQ * NC$	$YOFF + \exp(DF * (TD - t)) * YAMPL * \sin(2 * \pi * FREQ * (t - TD) + PHASE / 180 * \pi)$
$TD + 1 / FREQ * NC \leq t < \infty$ (бесконечность)	$YOFF + \exp(-DF / FREQ * NC) * YAMPL * \sin(2 * \pi * NC + PHASE / 180 * \pi)$

В выражениях значения сигнала используются:

- $\exp$ – функция расчёта экспоненты;
- $\sin$ – функция расчёта синуса;
- π – число $\pi = 3,14159265358979323846$;
- t – текущее время симуляции.

9.6 Частотно-модулированный синусоидой сигнал (SFFM)

Частотно-модулированный синусоидой сигнал – это синусоидальный сигнал, частота которого модулирована синусоидальной функцией. Задаётся списком параметров SFFM (YOFF YAMPL FC MOD FM).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 155](#).

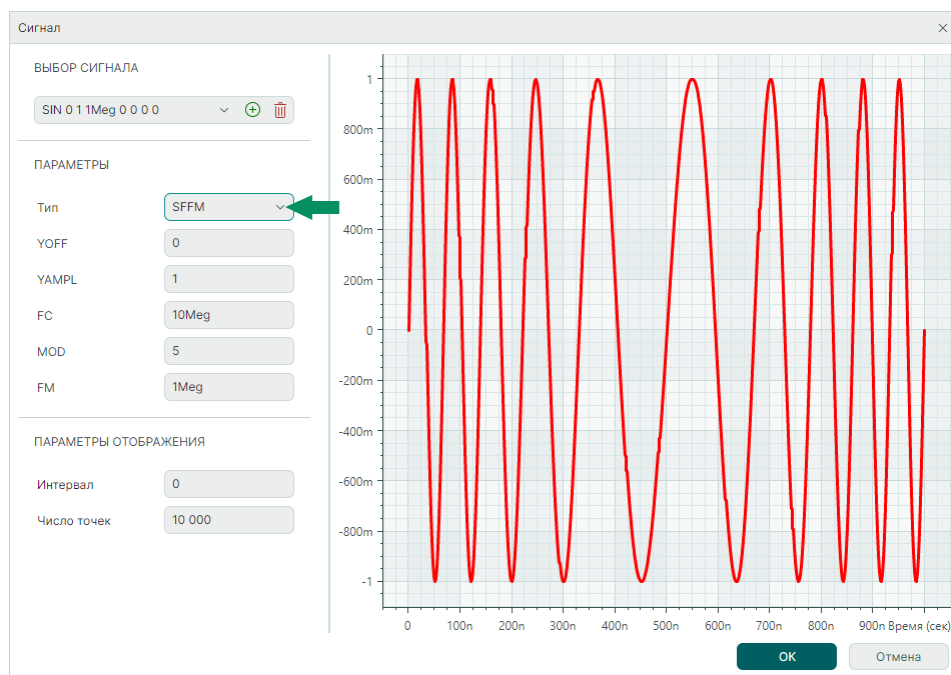


Рис. 155 Параметры частотно-модулированного синусоидой сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 79](#).

[Таблица 79](#) Параметры частотно-модулированного синусоидой сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда сигнала
FC	Частота несущей волны
MOD	Глубина модуляции
FM	Частота модулирующей волны

Выражение для частотно-модулированного сигнала представляется формулой:

$$s(t) = YOFF + YAMPL \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot FC \cdot t + MOD \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot FM \cdot t)), \text{ где}$$

$\sin$ – функция расчёта синуса;

π – число $\pi = 3,14159265358979323846$;

t – текущее время симуляции.

9.7 Шумовой сигнал (NOISE)

Шумовой сигнал – это сигнал, амплитуда которого описывается случайно распределённой величиной, и спектрально соответствующий белому шуму. Задаётся списком параметров NOISE (YOFF STEP YAMP TD TF SEED).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 156](#).

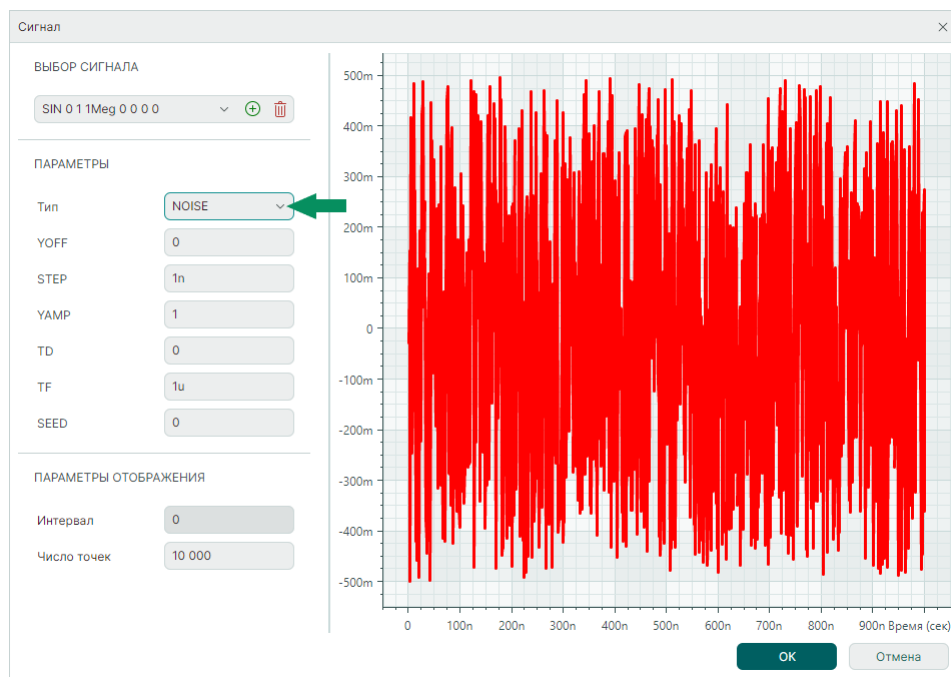


Рис. 156 Параметры шумового сигнала

Подробнее параметры шумового сигнала объясняются в [Табл. 80](#).

[Таблица 80](#) Параметры шумового сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
STEP	Шаг времени между значениями псевдослучайных чисел
YAMP	Амплитуда шума
TD	Начало времени интервала шума
TF	Конец времени интервала шума
SEED	Номер генератора случайных чисел

Выражение для шумового сигнала представляется белым шумом (равномерно распределённой случайной величиной) на интервале от TD до TF

с амплитудой YAMP относительно среднего уровня YOFF. Значения случайно распределённой величины формируются в временной интервал STEP. Значения функции шумового сигнала в интервалах времени между значениями псевдослучайных чисел линейно интерполируются.

Параметр SEED допускает значения от 0 до 65535. Значения от 1 до 65535 обозначают номер определённой последовательности псевдослучайных чисел случайно распределённой величины, при каждом перезапуске расчёта последовательность псевдослучайных чисел будет повторяться. Значение 0 обозначает случайную произвольную последовательность псевдослучайных чисел, при значении 0 в каждом перезапуске расчёта последовательность псевдослучайных чисел будет отличаться от предыдущей.

9.8 Гауссов импульс (GAUSSIAN)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 157](#).

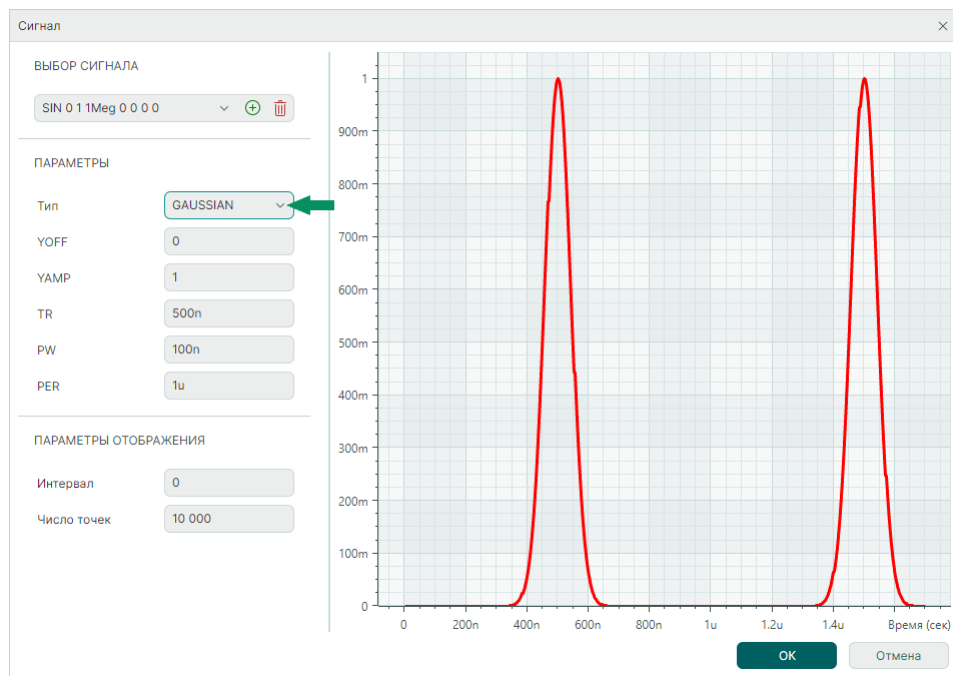


Рис. 157 Параметры Гауссова импульса

Подробнее параметры описаны в [Табл. 81](#).

[Таблица 81](#) 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;
- $\bmod$ - оператор остатка деления по модулю;
- t – текущее время симуляции.

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

9.9 Амплитудно-модулированный сигнал (AM)

Амплитудно-модулированный сигнал – это синусоидальный сигнал, огибающая которого модулирована синусоидой. Задаётся списком параметров AM (YAMP YOFF M FM FC TD).

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 158](#).

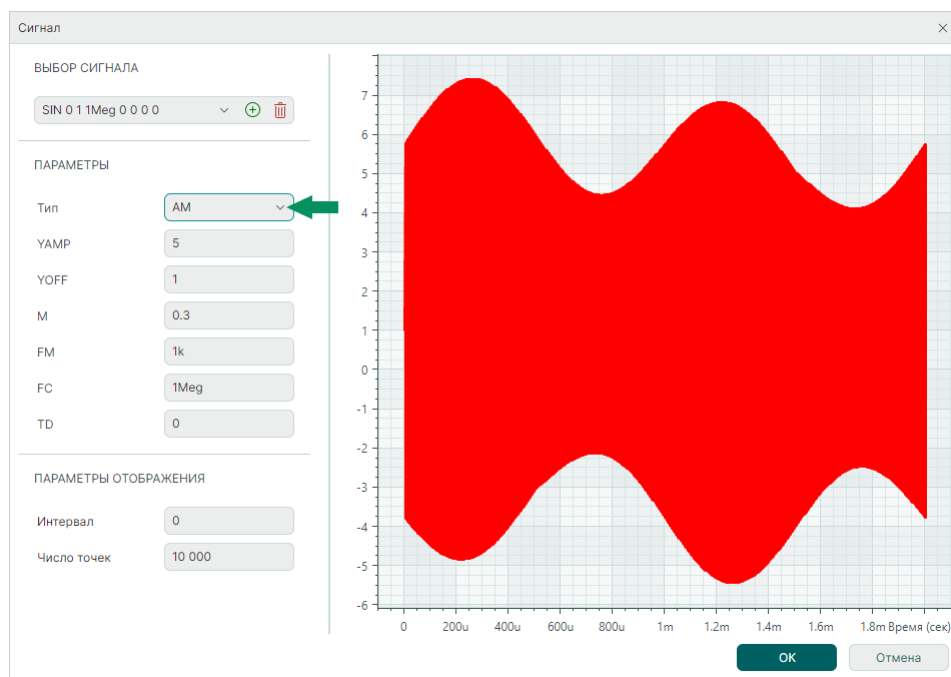


Рис. 158 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Подробнее параметры амплитудно-модулированного сигнала объясняются в [Табл. 82](#).

Таблица 82 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

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

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 83](#).

Таблица 83 Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t < TD$	YOFF

Интервал	Значение
$TD \leq t < \infty$ (бесконечность)	$Y_{OFF} + Y_{AMPL} * (1 + M * \sin(2 * \pi * FM * (t - TD))) * \sin(2 * \pi * FC * (t - TD))$

В выражениях значения сигнала используются:

- $\sin$ – функция расчёта синуса;
- π – число $\pi = 3,14159265358979323846$;
- t – текущее время симуляции.

9.10 Сигнал в аудиоформате (WAV)

9.10.1 Способы определения сигнала

Сигнал в аудиоформате для независимого источника может быть задан:

- через [вызов окна «Сигналы»](#);
- [явным образом](#) на схеме или в нетлисте;
- с помощью [директивы .STIMULUS](#) на схеме или в нетлисте.

9.10.2 С помощью окна «Сигналы»

Сигнал в аудиоформате задаётся списком параметров: `wavfile=<name>`
`chan=<channel>`.

Подробнее параметры аудиосигнала объясняются в [Табл. 84](#).

[Таблица 84](#) Параметры аудиосигнала

Обозначение	Параметр
name	Полный путь к файлу хранения аудиоданных с расширением *.wav.
channel	Номер канала записи аудиоданных в файле, по умолчанию 0.

Для задания параметра `<name>` нажмите на иконку  и через окно проводника выберите и откройте необходимый файл формата *.wav, в результате в поле будет отображен путь к файлу в аудиоформате, см. [Рис. 159](#).

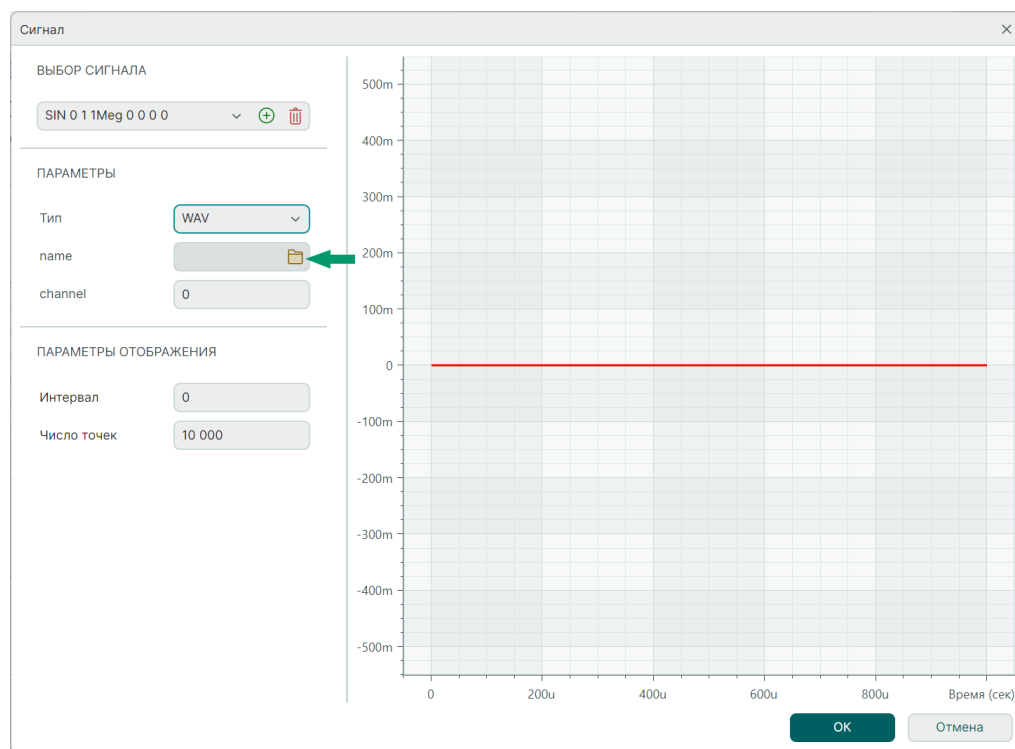


Рис. 159 Заполнение параметров аудиосигнала

Нумерация аудиоканалов начинается с 0.

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

График сигнала приведён на [Рис. 160](#).

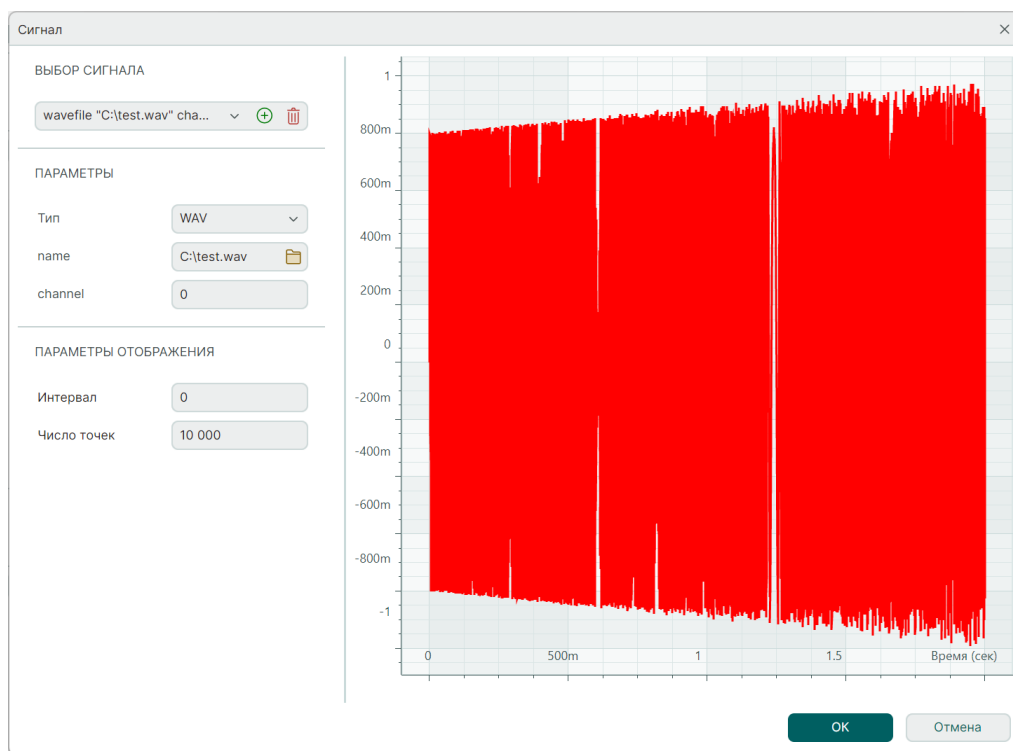


Рис. 160 График аудиосигнала



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.

9.10.3 Явное определение параметров

В случае явного определения для сигнала типа WAV параметры могут быть заданы:

- на схеме с использованием SPICE-текста, подробнее см. раздел [SPICE-текст](#);
- в нетлисте проекта моделирования, подробнее см. раздел [Текстовый проект моделирования](#).

В обоих случаях допускается явное определение параметров сигнала с помощью символа "=" и с помощью символа пробела, например:

- `V1 out 0 DC 0 wavfile "C:\test.wav" chan "0"` – явное определение параметров с помощью символа пробела, см. [Рис. 161](#);

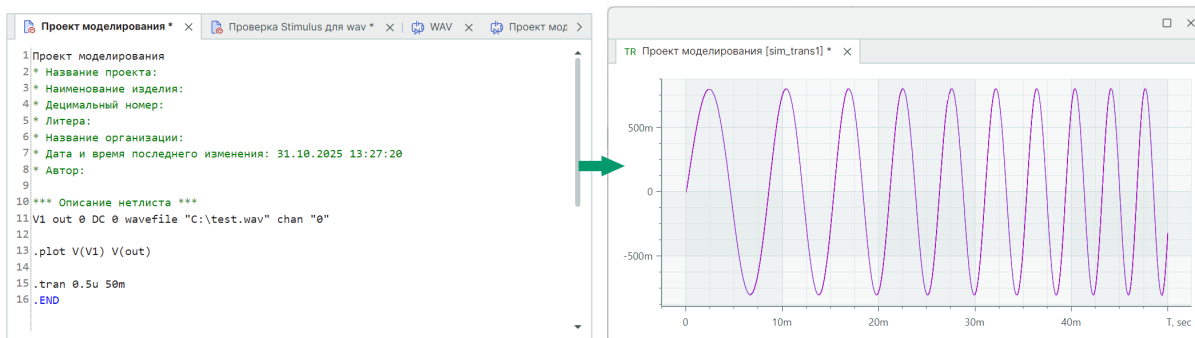


Рис. 161 Определение параметров с помощью нетлиста и пробела

- `V1 out 0 DC 0 wavefile="C:\test.wav" chan="0"` – явное определение параметров с помощью символа "=", см. [Рис. 162](#).

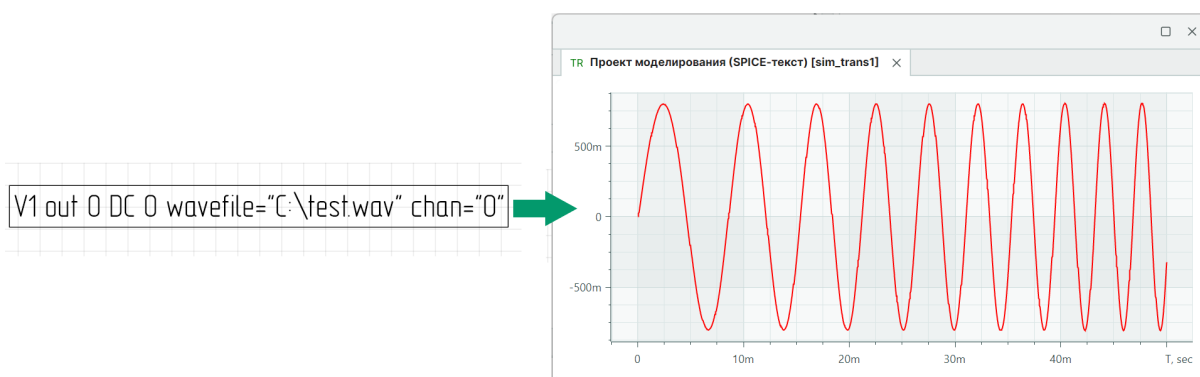


Рис. 162 Определение параметров с помощью SPICE-текста и символа "="

9.10.4 С помощью директивы .STIMULUS

Директива `.STIMULUS` предназначена для объявления именованных сигналов переходного процесса независимых источников напряжения и тока. Сигнал, объявленный с помощью директивы `.STIMULUS`, может быть многократно применён к разным источникам в рамках текущей симуляции.

В случае косвенного определения с использованием директивы `.STIMULUS` для сигнала типа WAV параметры могут быть заданы:

- на схеме с использованием SPICE-текста, подробнее см. раздел [SPICE-текст](#);
- в нетлисте проекта моделирования, подробнее см. раздел [Текстовый проект моделирования](#).

Назначение директивы `.STIMULUS` допускается по следующим форматам с использованием символа "=" или символа пробела:

`.STIMULUS <имя сигнала> wavefile=<name> chan=<channel>` или

.STIMULUS <имя сигнала> *wavefile* <name> *chan* <channel>, где
<имя сигнала> – название сигнала, которое желает задать пользователь;
<name> – путь к файлу хранения аудио данных с расширением *.wav;
<channel> – номер канала записи аудио данных в файле.

Для определения параметров сигнала на схеме с использованием SPICE-текста:

1. Разместите на схеме независимый источник напряжения или тока, подробнее см. раздел [Добавление примитивов на схему](#);
2. Разместите объект «[SPICE-текст](#)» и заполните данными по одному из описанных выше шаблонов, например, *.STIMULUS test wavefile="C:\test.wav" chan=0*, см. [Рис. 163](#);

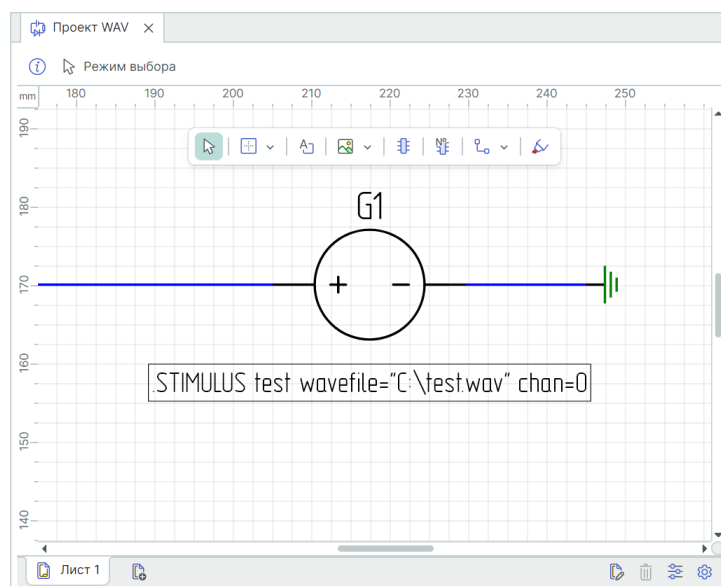


Рис. 163 Размещение SPICE-текста

3. Выберите независимый источник и вызовите окно «Задать модель компонента» с помощью команды контекстного меню «Задать аналоговую модель» или группы свойств «SPICE» в панели «Свойства», см. [Рис. 164](#);

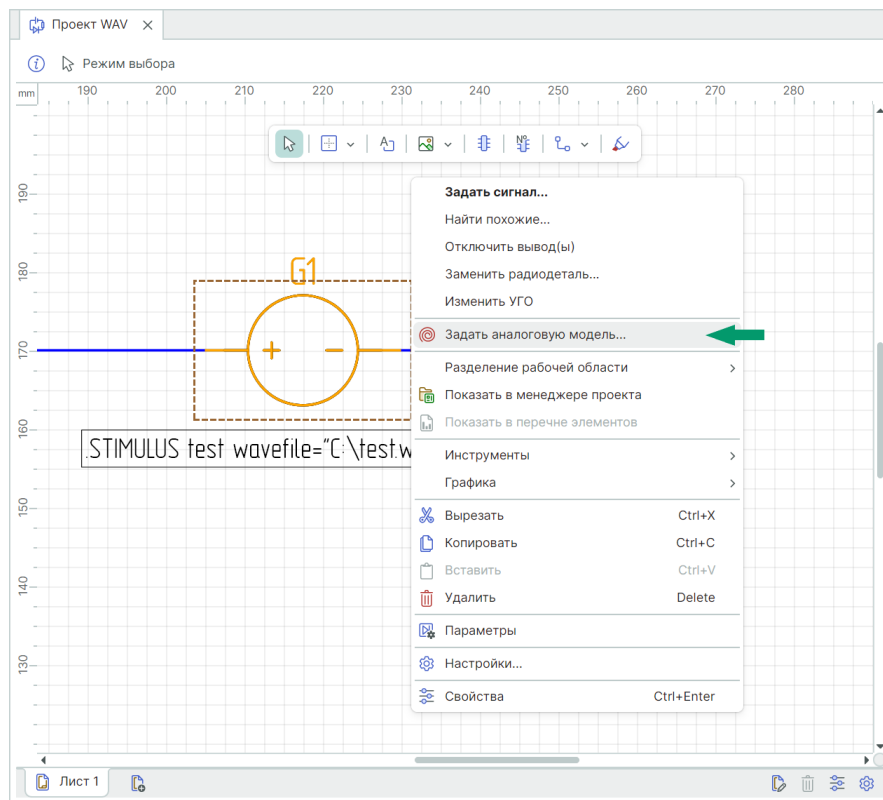


Рис. 164 Вызов окна «Задать модель компонента»

4. В окне «Задать модель компонента» для параметра источника «SIGNAL» укажите значение *STIMULUS*=<имя сигнала>, где слово *STIMULUS* – это специальное зарезервированное слово для указания именованного сигнала, нажмите «OK», см. [Рис. 165](#);

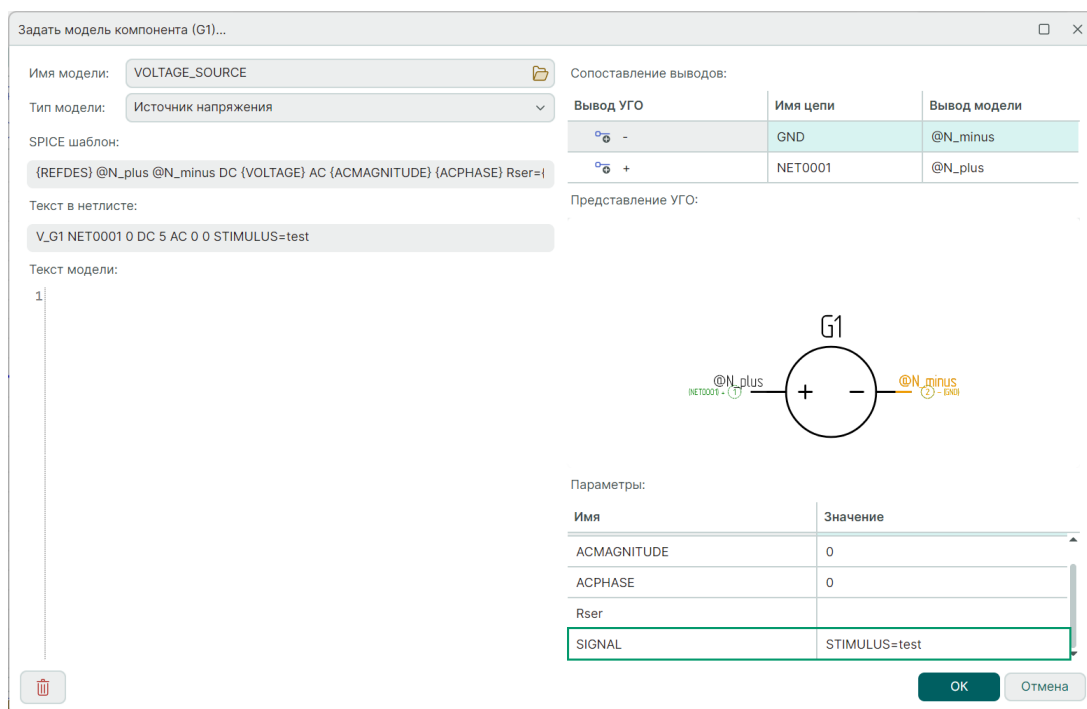
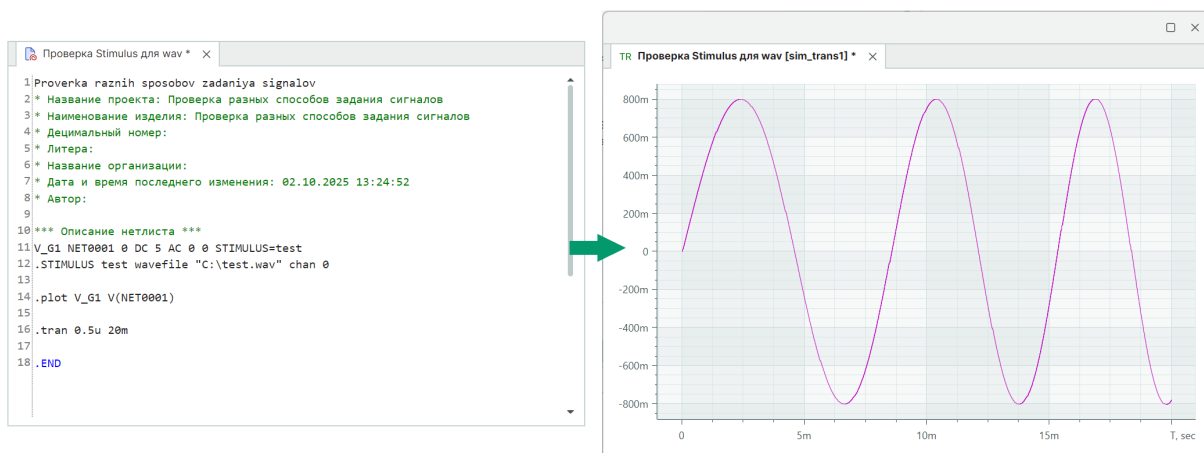


Рис. 165 Назначение параметра «SIGNAL»

Для определения параметров сигнала в нетлисте проекта моделирования (Рис. 166):

1. Заполните нетлист данными о независимом источнике и укажите требуемый сигнал с помощью специального зарезервированного слова **STIMULUS**, например, `V_G1 NET0001 0 DC 5 AC 0 0 STIMULUS=test`;

2. Назначьте директиву `.STIMULUS` по одному из описанных выше форматов с использованием символа "=" или символа пробела, например, `.STIMULUS test wavefile "C:\test.wav" chan 0`.

Рис. 166 Использование директивы `.STIMULUS` в нетлисте

9.11 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. 167](#).

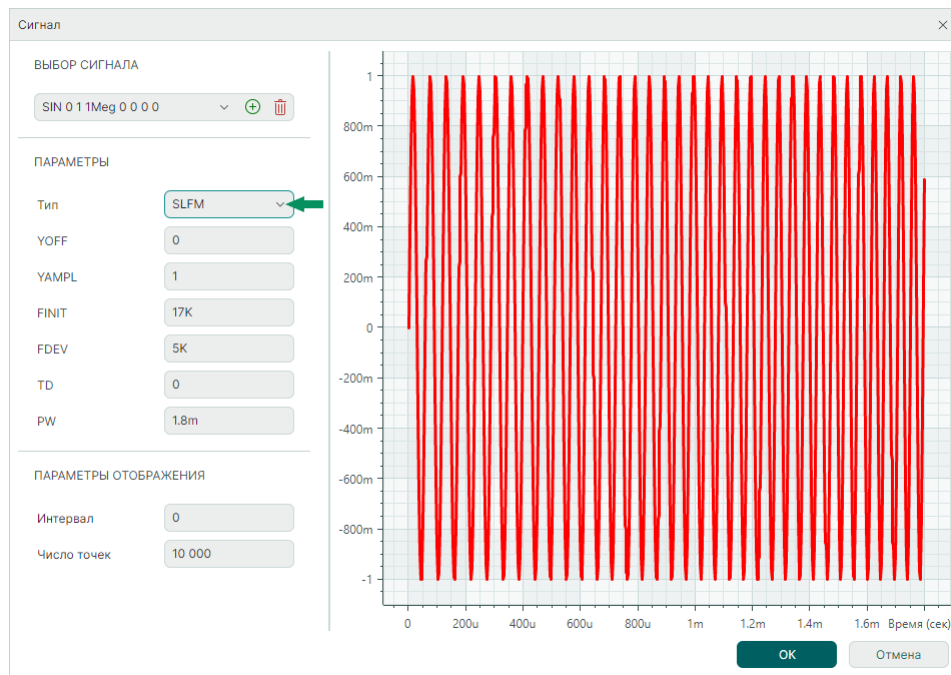


Рис. 167 Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

Подробнее параметры линейно-частотно-модулированного сигнала приведены в [Табл. 85](#).

[Таблица 85](#) Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр
YOFF	Постоянная составляющая
YAMPL	Амплитуда
FINIT	Начальная частота
FDEV	Девияция частоты
TD	Задержка или запаздывание сигнала по оси времени
PW	Длительность сигнала

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 86](#).

[Таблица 86](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t < TD$	YOFF
$TD \leq t < TD + PW$	$YOFF + YAMPL * \sin(2 * \pi * (FINIT + FDEV / 2 / PW * (t - TD)))$
$TD + PW \leq t < \infty$ (бесконечность)	$YOFF + YAMPL * \sin(2 * \pi * (FINIT + FDEV / 2 / PW * PW))$

В выражениях значения сигнала используются:

- $\sin$ – функция расчёта синуса;
- π – число $\pi = 3,14159265358979323846$;
- t – текущее время симуляции.

10 Моделирование

10.1 Общие сведения о моделировании

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 «Расчеты и анализы», см. [Рис. 168](#).

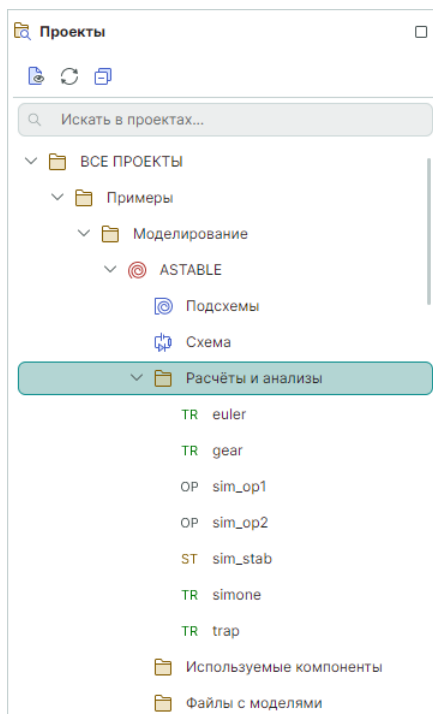


Рис. 168 Отображение симуляций в иерархии выбранного проекта

Из контекстного меню симуляции проекта доступны следующие действия, см. [Рис. 169](#).

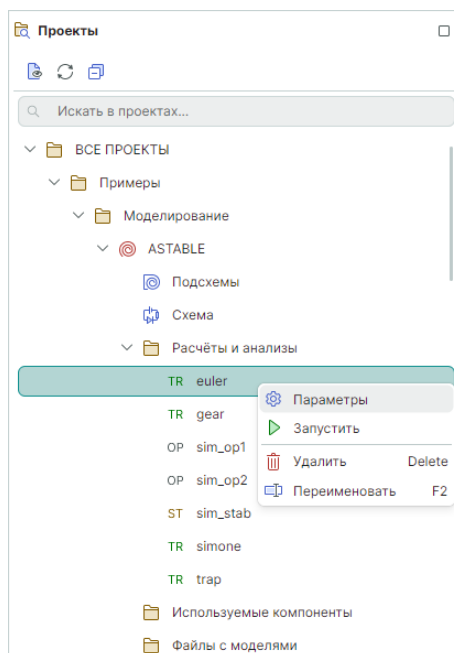


Рис. 169 Действия, доступные из контекстного меню для имеющейся симуляции

- «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.

10.2 Окно параметров моделирования

Создание любого вида анализа схемы запускается ([Рис. 170](#)):

- из главного меню «SimOne» → «Новое моделирование»;
- из контекстного меню узла «Расчёты и анализы» выбранного проекта.

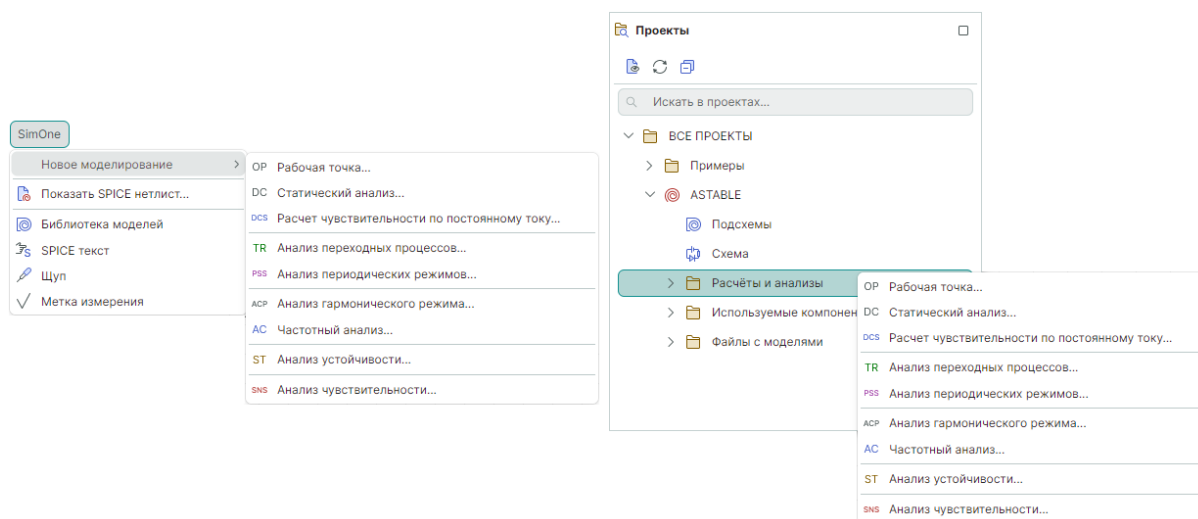
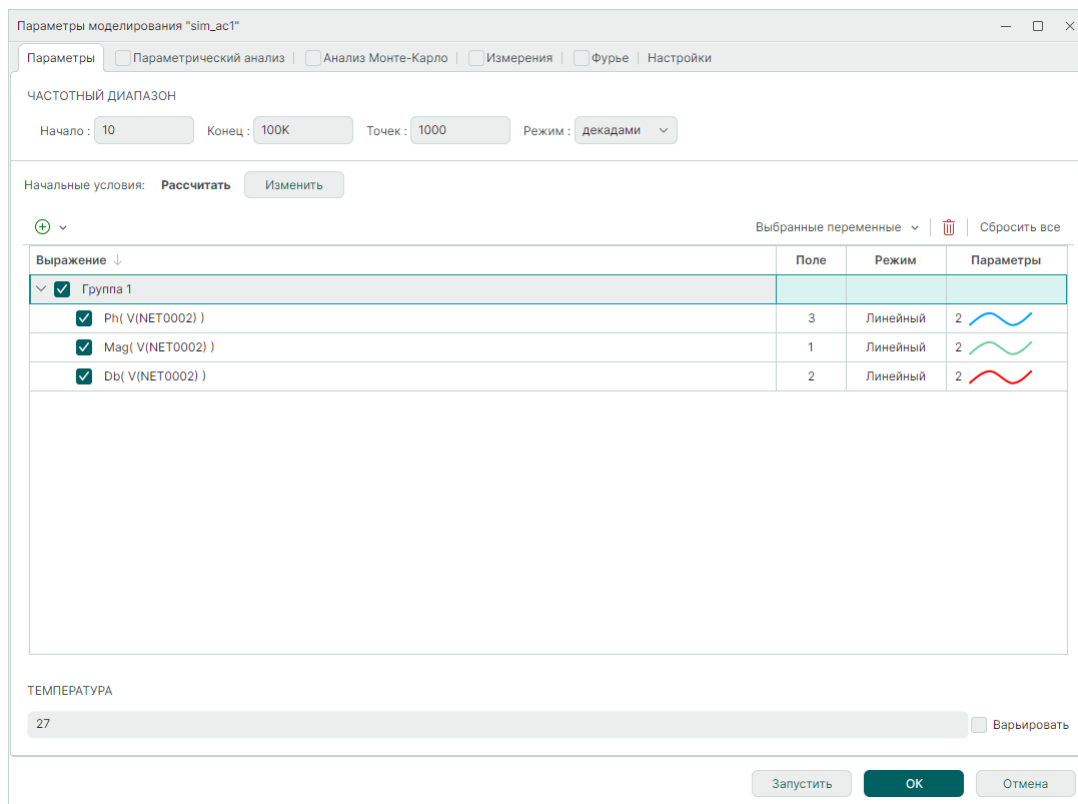


Рис. 170 Выбор типа моделирования

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

На [Рис. 171](#) приведен пример окна формы при выборе вида анализа «Частотный анализ».



Параметры моделирования "sim_ас1"

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

ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН

Начало : 10 Конец : 100K Точек : 1000 Режим : декадами

Начальные условия: **Рассчитать** Изменить

Выбранные переменные Сбросить все

Выражение ↓	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
☒ Ph(V(NET0002))	3	Линейный	2 
☒ Mag(V(NET0002))	1	Линейный	2 
☒ Db(V(NET0002))	2	Линейный	2 

ТЕМПЕРАТУРА

27 ☐ Варьировать

Запустить **OK** Отмена

Рис. 171 Окно настройки параметров моделирования для частотного анализа

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. 172](#).

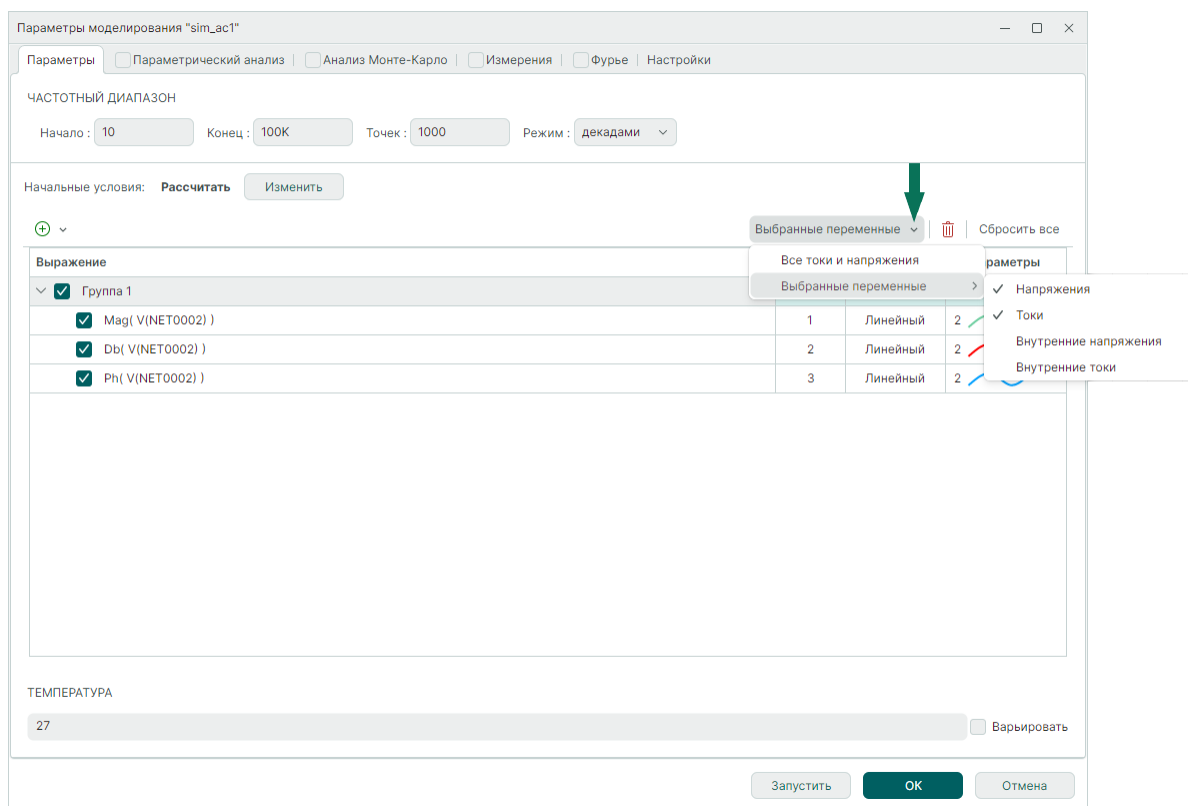


Рис. 172 Выбор переменных для учитываемых выражений

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...».

10.3 Рабочая точка

10.3.1 Общие сведения о расчете рабочей точки

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.

10.3.2 Интерфейс расчёта рабочей точки

На [Рис. 173](#) представлено окно формы задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы.

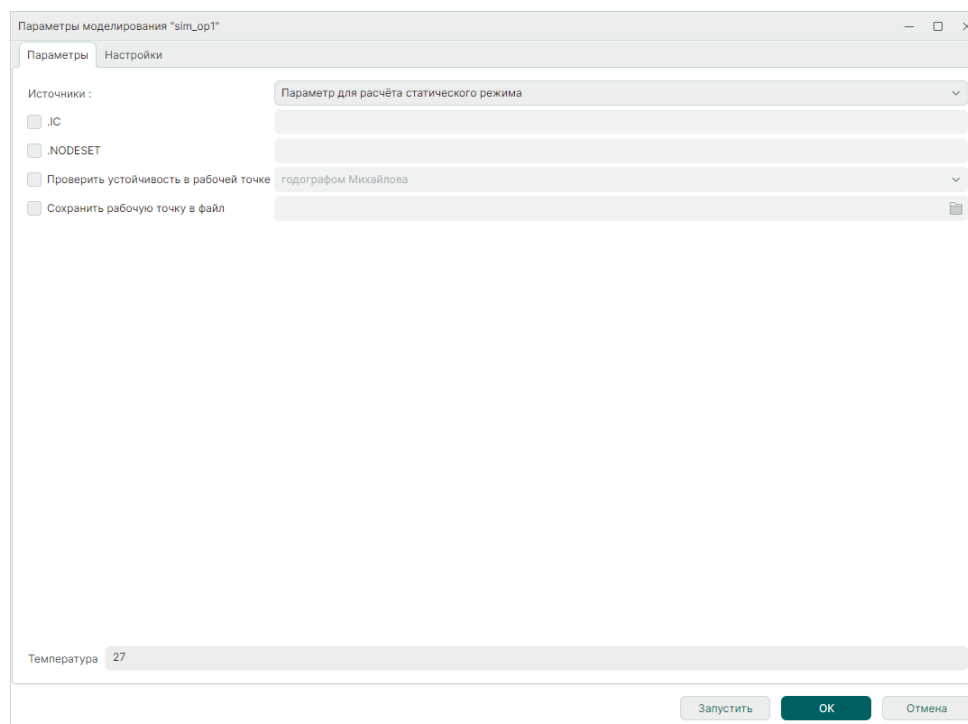


Рис. 173 Окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки

Подробнее описание параметров и инструментов расчета и анализа приведено в [Табл. 87](#).

Таблица 87 Описание параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

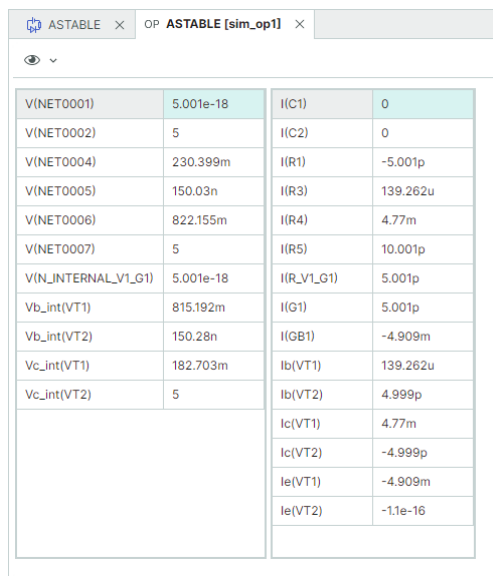
Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Источники	Выбор значения параметра источника сигнала при расчете рабочей точки: «Параметр для расчета статического режима» – для расчета берется значение SPICE-параметра VOLTAGE для источника напряжения или значение SPICE-параметра CURRENT для источника тока; «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 строке. Подробнее в разделе Задание начальных условий .	Выкл.
.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. 173](#), после окончания симуляции, см. [Рис. 174](#).



ASTABLE		OP ASTABLE [sim_op1]	
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_G1)	5.001e-18	I(R_V1_G1)	5.001p
Vb_int(VT1)	815.192m	I(G1)	5.001p
Vb_int(VT2)	150.28n	I(GB1)	-4.909m
Vc_int(VT1)	182.703m	Ib(VT1)	139.262u
Vc_int(VT2)	5	Ib(VT2)	4.999p
		Ic(VT1)	4.77m
		Ic(VT2)	-4.999p
		Ie(VT1)	-4.909m
		Ie(VT2)	-1.1e-16

Рис. 174 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).

10.3.3 Методы расчёта рабочей точки

В модуле SimOne предлагаются четыре основных метода нахождения рабочей точки:

1. Стандартный Ньютона-Рафсона (Standart Newton-Raphson). Используется обычный метод Ньютона-Рафсона решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

2. Подстройка источников (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. Подстройка Gmin (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. Подстройка Gmin PN-переходов (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. 175](#).

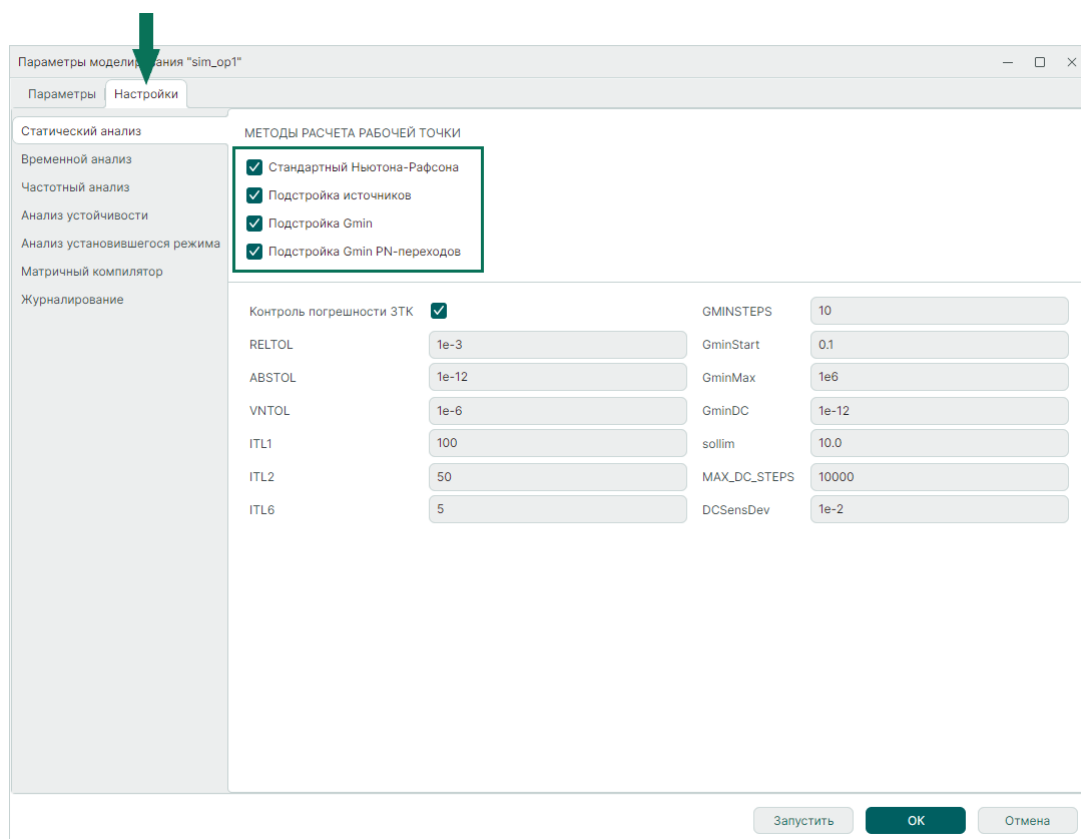


Рис. 175 Выбор метода расчета рабочей точки

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

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

10.3.4 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).

10.4 Расчет чувствительности по постоянному току

10.4.1 Общие сведения о расчете чувствительности

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;

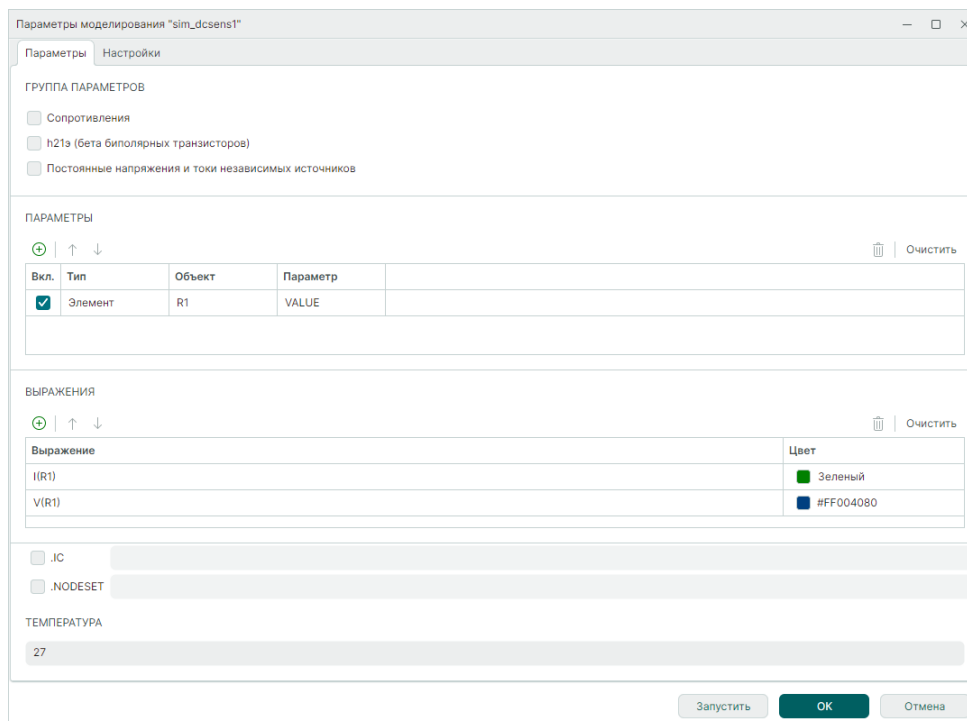
- интересующие переменные схемы и выражения, для которых будут рассчитаны чувствительности.

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.

10.4.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току

На [Рис. 176](#) приведено окно формы задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току.



Параметры моделирования "sim_dc_sens1"

Параметры Настройки

ГРУППА ПАРАМЕТРОВ

☐ Сопротивления

☐ h21s (бета биполярных транзисторов)

☐ Постоянные напряжения и токи независимых источников

ПАРАМЕТРЫ

⊕ | ↑ | ↓

Вкл.	Тип	Объект	Параметр
☒	Элемент	R1	VALUE

Очистить

ВЫРАЖЕНИЯ

⊕ | ↑ | ↓

Выражение	Цвет
I(R1)	Зеленый
V(R1)	#FF004080

Очистить

☐ .IC

☐ .NODESET

ТЕМПЕРАТУРА

27

Запустить OK Отмена

Рис. 176 Форма задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 88](#).

[Таблица 88](#) Описание параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Группа параметров		

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Группа параметров	Выбор группы параметров, по которым производится расчет: • Сопротивления. • $h_{21э}$ (бета биполярных транзисторов). • 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 выделенной строки.	-
Сбросить все	Удаление всех выражений.	-
Опции расчёта рабочей точки		

Наименование/Символ	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.
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. 176](#), после окончания расчёта, см. [Рис. 177](#).

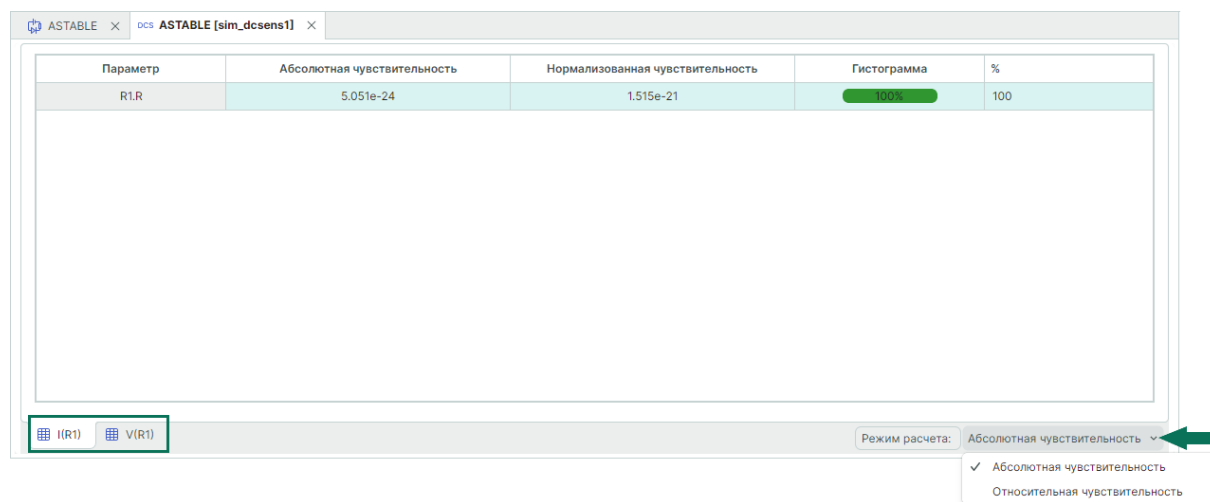


Рис. 177 Отображение результатов расчета

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».

10.5 Статический анализ

10.5.1 Общие сведения о статическом анализе

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](#).

10.5.2 Интерфейс задания параметров моделирования

На [Рис. 178](#) приведено окно формы задания параметров анализа передаточных функций по постоянному току.

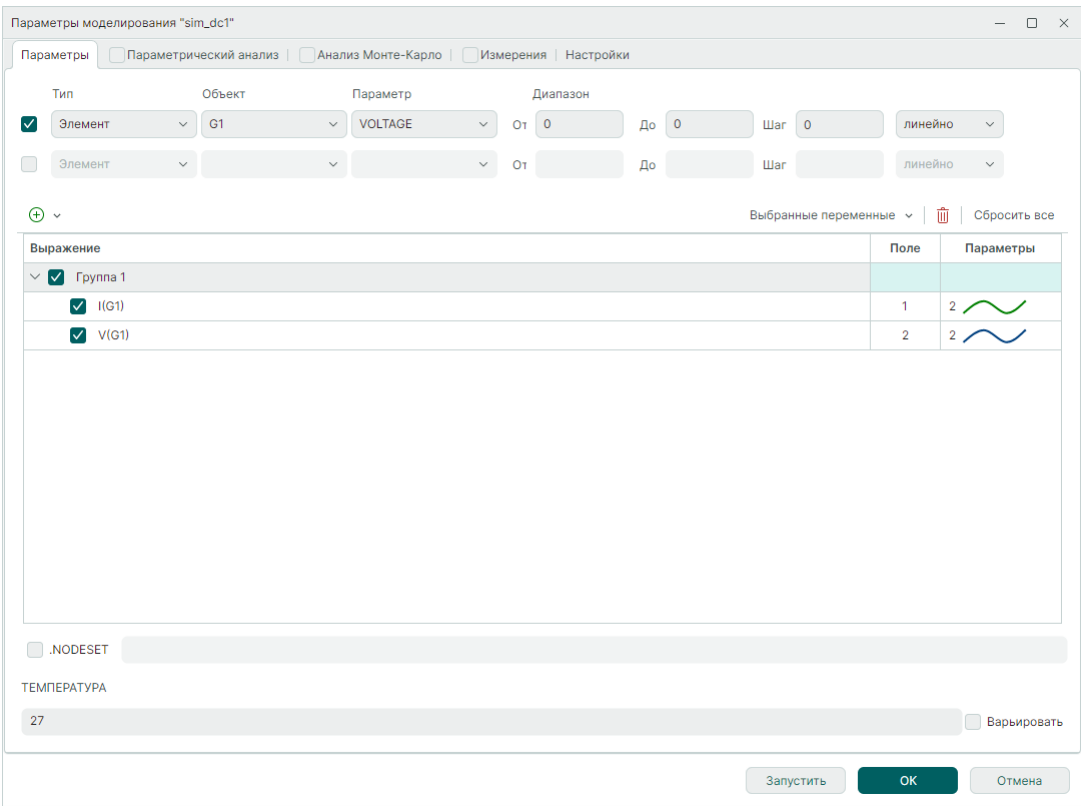


Рис. 178 Форма задания параметров анализа передаточных функций по постоянному току

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 89](#).

[Таблица 89](#) 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 значения по	Элемент

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	умолчанию, 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.	
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.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Выбранные переменные ▾	Выбор из выпадающего списка сохраняемых в симуляции переменных.	-
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.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Режим	Линейно, декадами, октавами, списком.	линейно



Примечание! Если глобальный параметр задан числовым значением, система автоматически подставляет предполагаемые значения начальной и конечной границ диапазона варьирования и шаг приращения. Если же значение глобального параметра – математическое выражение, то в поля «От», «До» и «Шаг» подставляются значения 0. Изменить данные значения следует вручную.

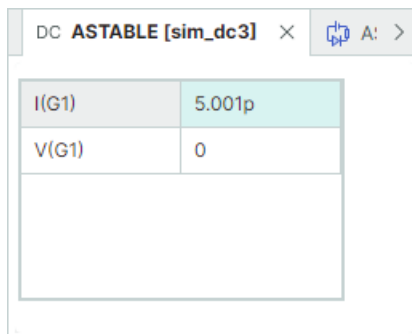
Подробное описание вкладки «Параметрический анализ» приведено в разделе [Параметрический анализ](#).

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, см. [Рис. 179](#).



I(G1)	5.001p
V(G1)	0

Рис. 179 Отображение результатов расчета

В результате расчета при условии наличия диапазона варьирования выбранного параметра отображается график или графики, см. [Рис. 180](#).

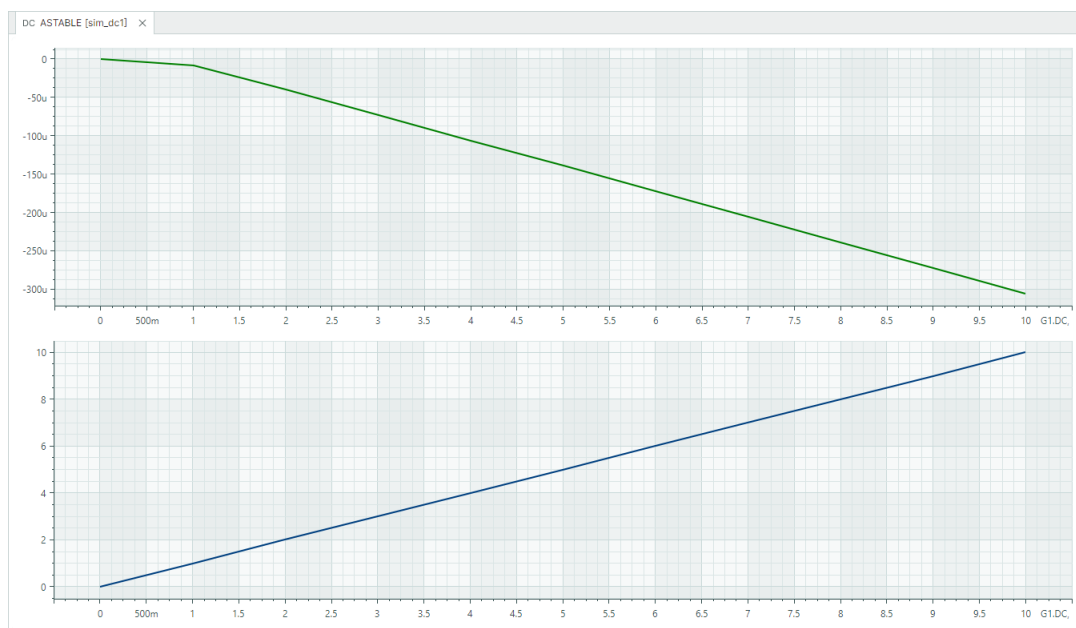


Рис. 180 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

В результате расчета при условии наличия диапазона варьирования выбранного параметра и создания выражений для нескольких групп отображается график или графики на нескольких вкладках, см. [Рис. 181](#).

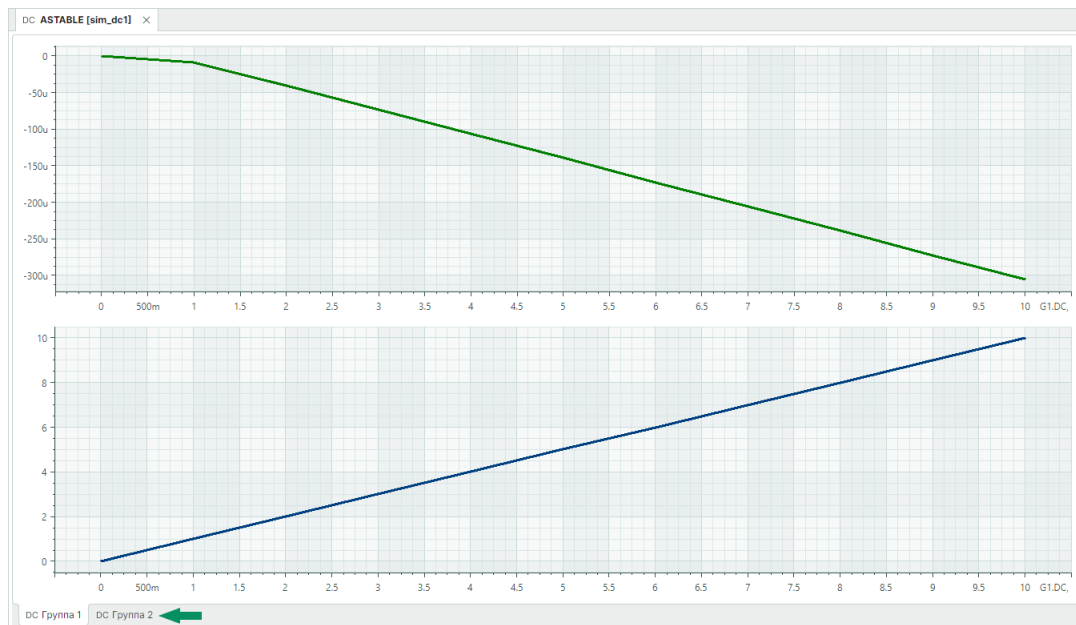


Рис. 181 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

10.6 Анализ гармонического режима схемы

10.6.1 Общие сведения об анализе гармонического режима схемы

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.

10.6.2 Интерфейс анализа гармонического режима схемы

На [Рис. 182](#) приведено окно формы задания параметров анализа гармонического режима схемы.

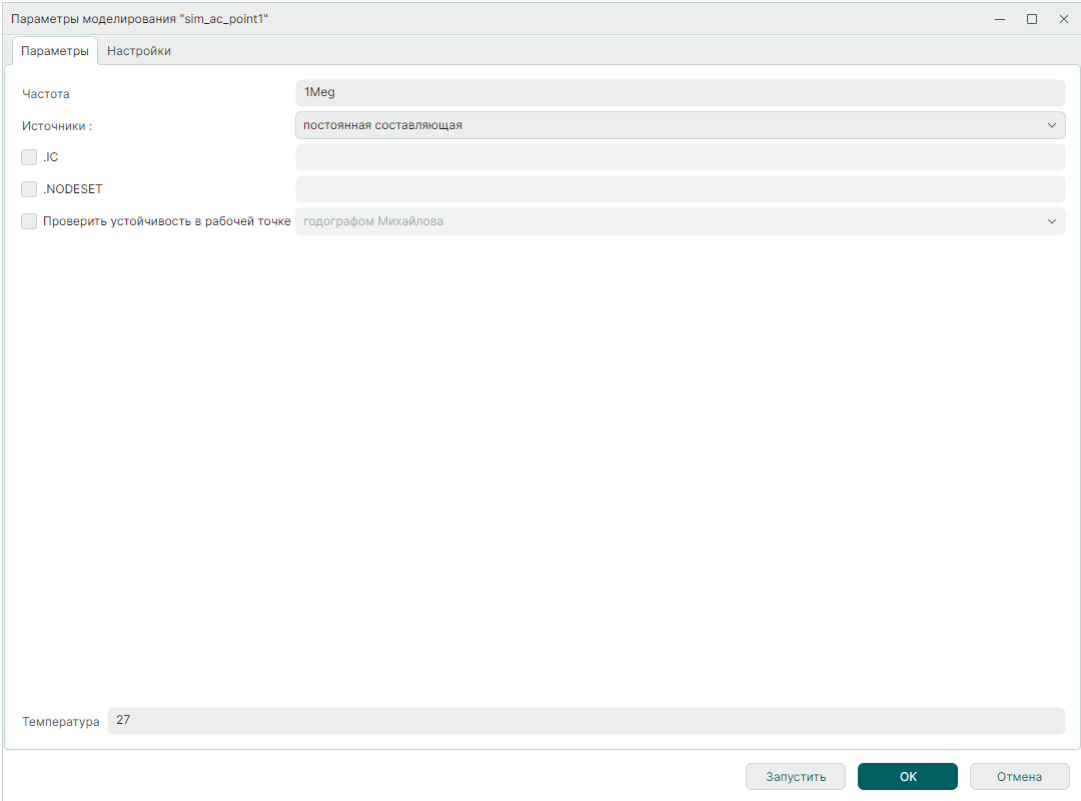


Рис. 182 Окно задания параметров анализа гармонического режима схемы

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 90](#).

[Таблица 90](#) 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		
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.

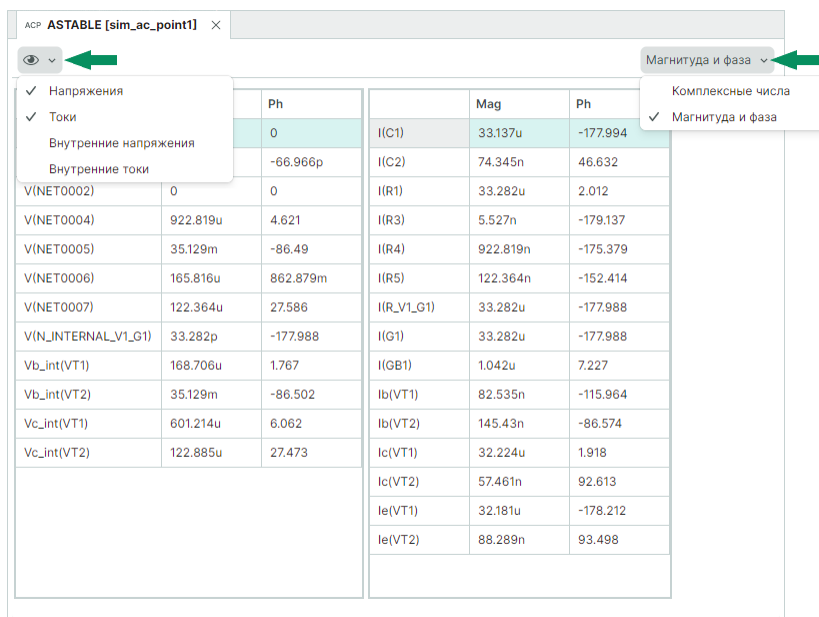
При отображении результатов расчёта в окне с табличной формой при нажатии на иконку  («Показать/скрыть данные») пользователь может выбрать варианты отображения результатов расчета:

- «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).

На [Рис. 183](#) приведен пример анализа гармонического режима схемы.



	Ph	Mag	Ph
V(NET0002)	0	I(C1)	33.137u
V(NET0004)	922.819u	I(C2)	74.345n
V(NET0005)	35.129m	I(R1)	33.282u
V(NET0006)	165.816u	I(R3)	5.527n
V(NET0007)	122.364u	I(R4)	922.819n
V(N_INTERNAL_V1_G1)	33.282p	I(R5)	122.364n
Vb_int(VT1)	168.706u	I(R_V1_G1)	33.282u
Vb_int(VT2)	35.129m	I(G1)	33.282u
Vc_int(VT1)	601.214u	I(GB1)	1.042u
Vc_int(VT2)	122.885u	Ib(VT1)	82.535n
		Ib(VT2)	145.43n
		Ic(VT1)	32.224u
		Ic(VT2)	57.461n
		Ie(VT1)	32.181u
		Ie(VT2)	88.289n

Рис. 183 Отображение результатов расчета

10.7 Частотный анализ

10.7.1 Общие сведения о частотном анализе

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.

10.7.2 Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы

На [Рис. 184](#) представлено окно формы задания параметров симуляции расчёта частотных характеристик схемы.

Параметры моделирования "sim_ac1"

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

ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН

Начало : 1e6 | Конец : 1e8 | Точек : 10 | Режим : декадами

Начальные условия: **Рассчитать** | Изменить

Выбранные переменные | Сбросить все

Выражение	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
☒ Db(I(G1))	1	Декадами	2 
☒ Ph(I(G1))	2	Декадами	2 

ТЕМПЕРАТУРА

27 ☐ Варьировать

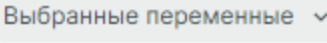
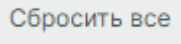
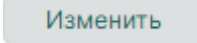
Запустить | **OK** | Отмена

Рис. 184 Окно задания параметров расчёта частотных характеристик схемы

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 91](#).

[Таблица 91](#) 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
Выражение		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
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 выделенной 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, см. [Рис. 185](#).

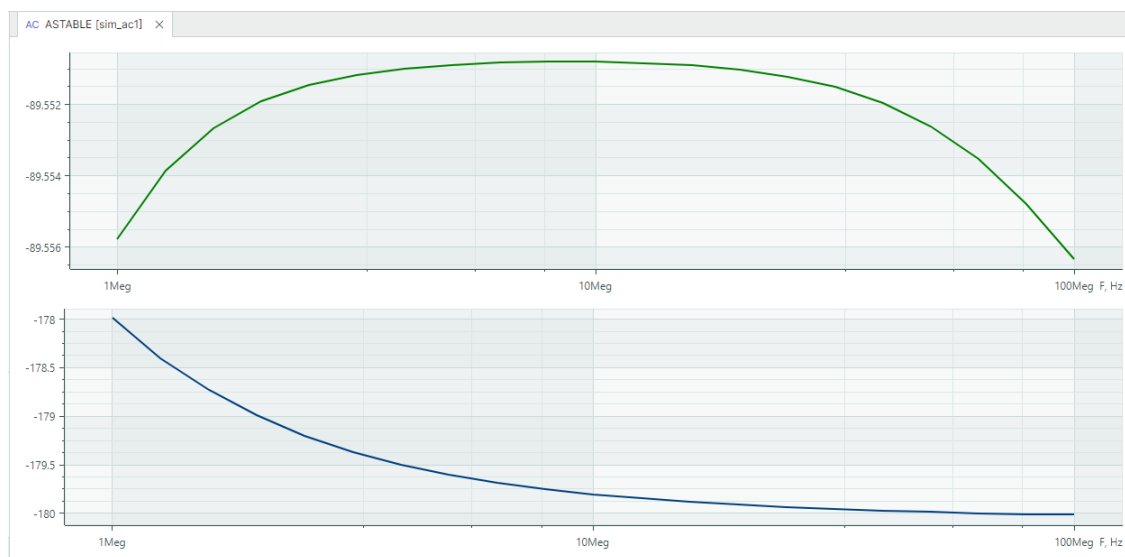


Рис. 185 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

В результате расчета при условии создания выражений для нескольких групп отображается график или графики на нескольких вкладках, см. [Рис. 186](#).

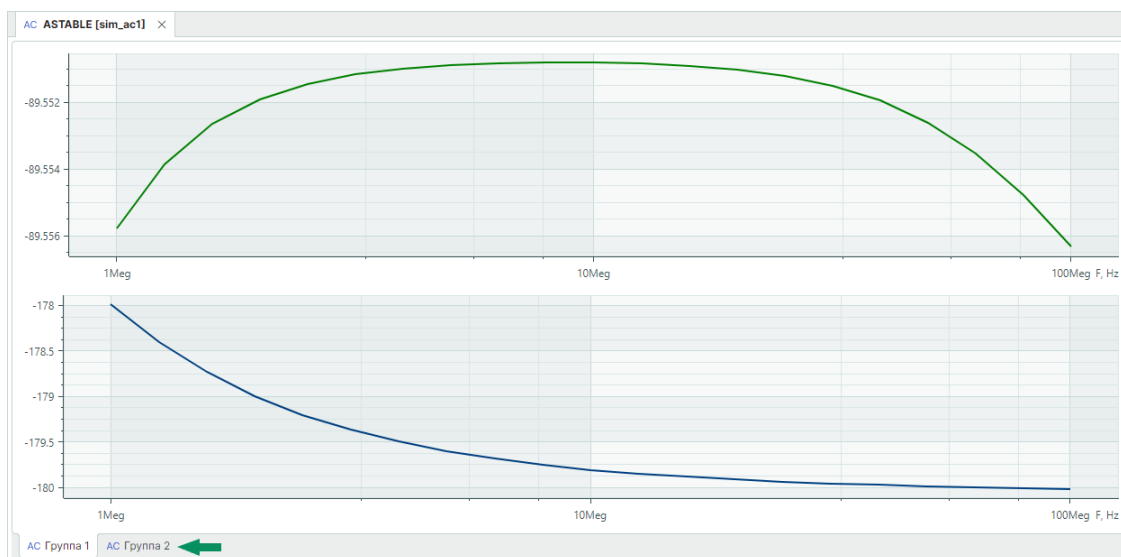


Рис. 186 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

10.8 Анализ переходных процессов

10.8.1 Общие сведения об анализе переходных процессов

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).

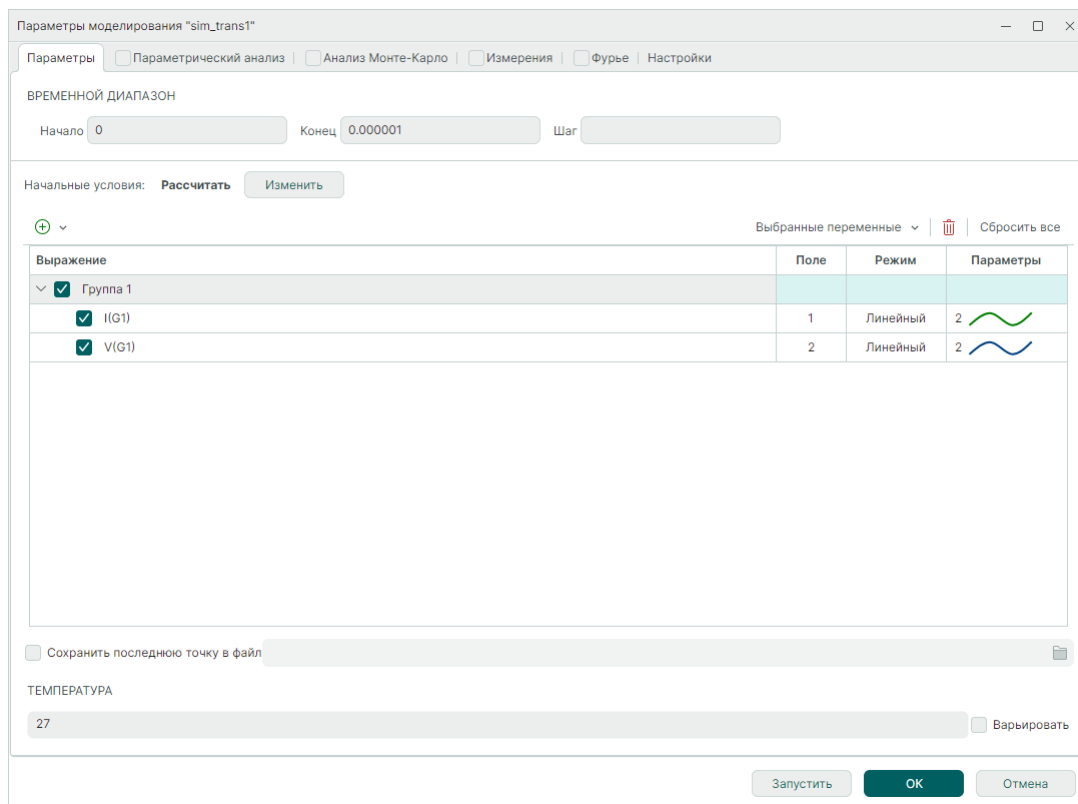
7. Если отклонение выходит за допустимые пределы, уменьшается шаг расчёта и вычисляется новое значение времени, меньшее текущего. Если шаг приращения по времени становится слишком малым, то процесс построения временных диаграмм заканчивается с сообщением об ошибке расчёта. Решение продолжается с п. [3](#).

8. Если отклонение находится в допустимых пределах, решение принимается и ставится точка на диаграмму.

9. Решение продолжается с п. [2](#).

10.8.2 Интерфейс расчёта переходных процессов схемы

На [Рис. 187](#) представлено 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.



Выражение	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
I(G1)	1	Линейный	2
V(G1)	2	Линейный	2

Рис. 187 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, см. [Рис. 188](#).

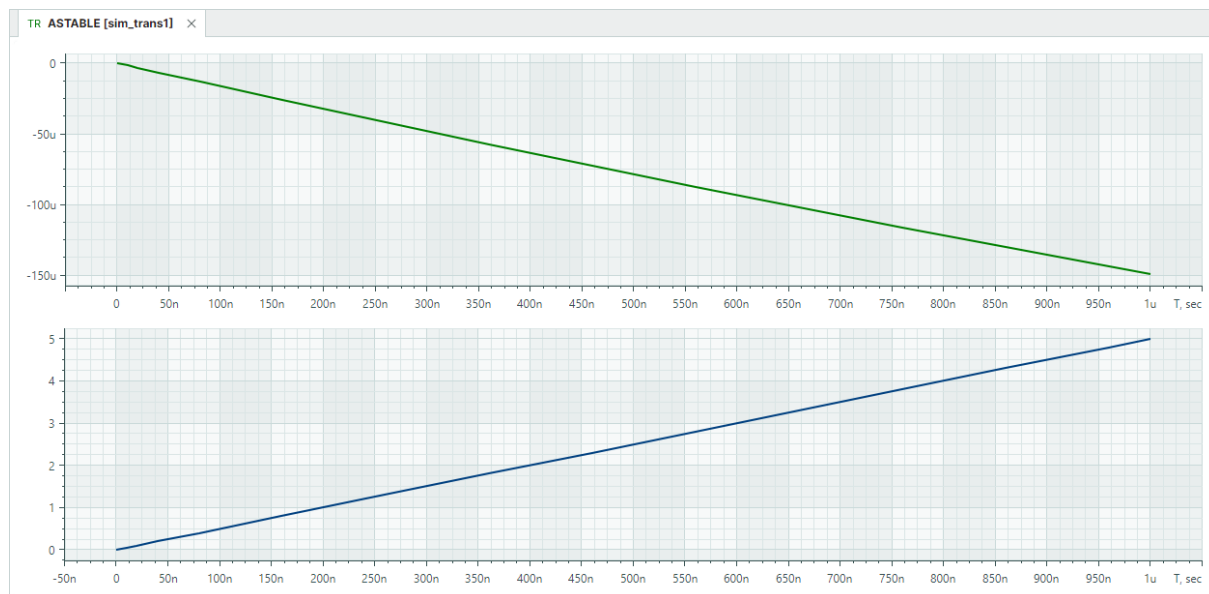


Рис. 188 Отображение результатов расчета

10.9 Анализ периодических режимов

10.9.1 Общие сведения об анализе периодических режимов

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.

10.9.2 Интерфейс расчёта периодических режимов схемы

На [Рис. 189](#) показано окно формы задания параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы.

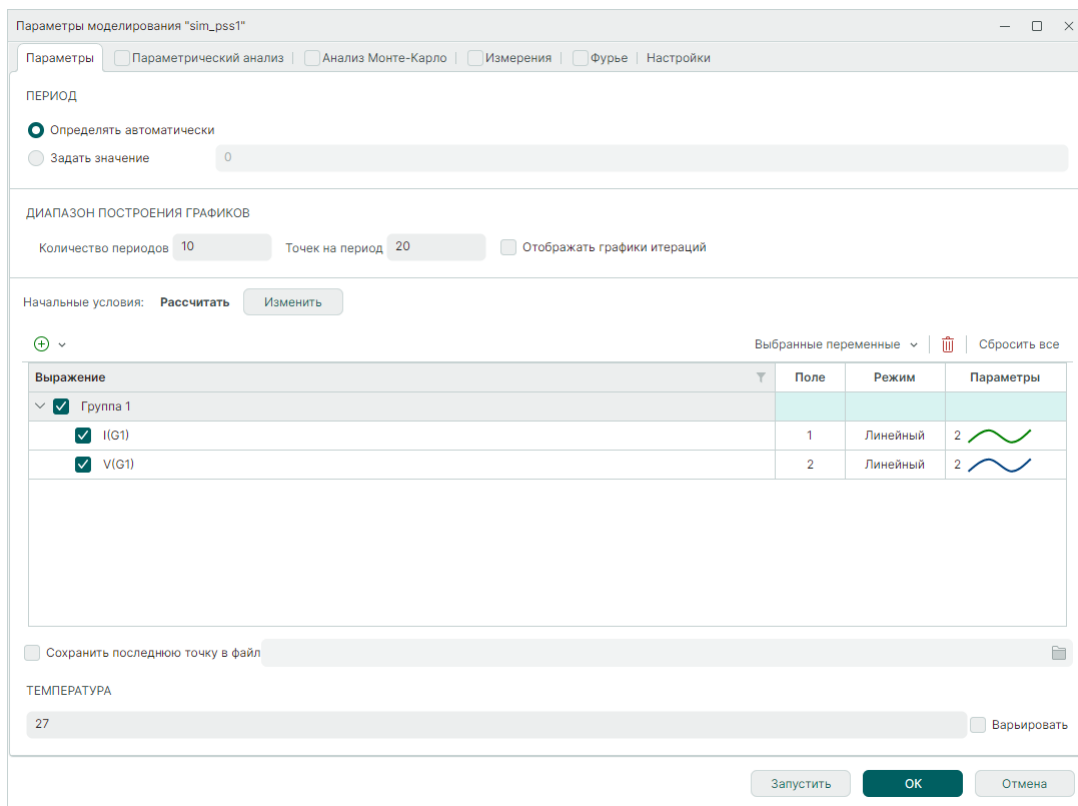
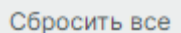


Рис. 189 Окно формы задания параметров анализа периодических режимов

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 92](#).

[Таблица 92](#) 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
Точек на период	Определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса.	20

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
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 выделенной 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.
Загрузить из файла	Расчет рабочей точки из файла, предварительно рассчитанной и сохранённой в файл.	Выкл.

Наименование/ Символ	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.	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.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
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, см. [Рис. 190](#).

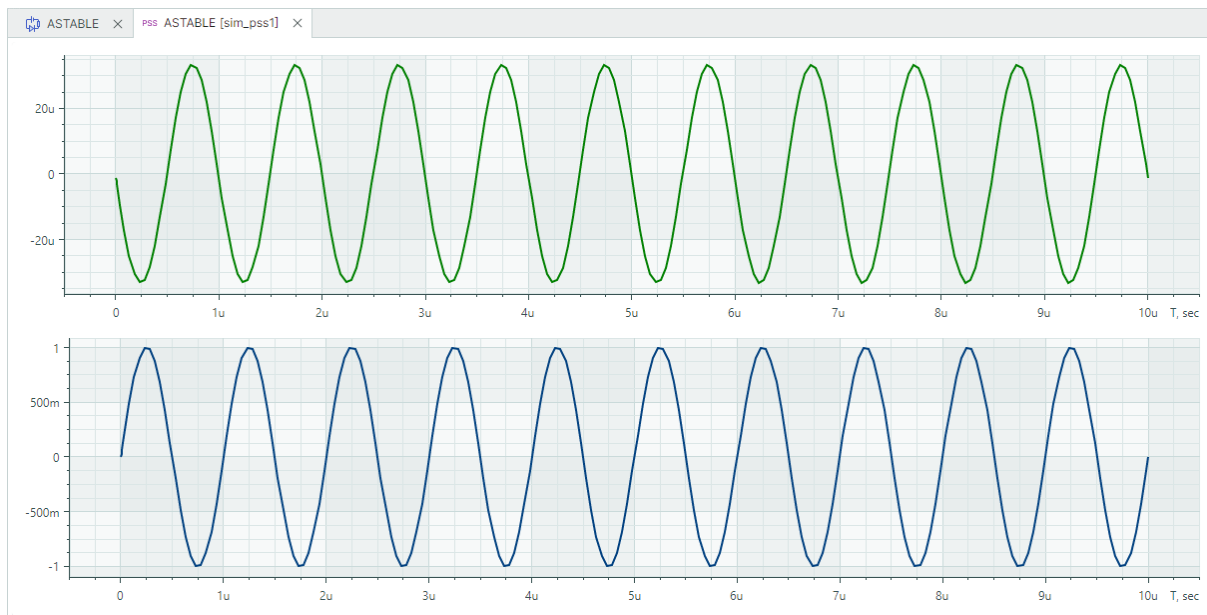


Рис. 190 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра

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, см. [Рис. 191](#).

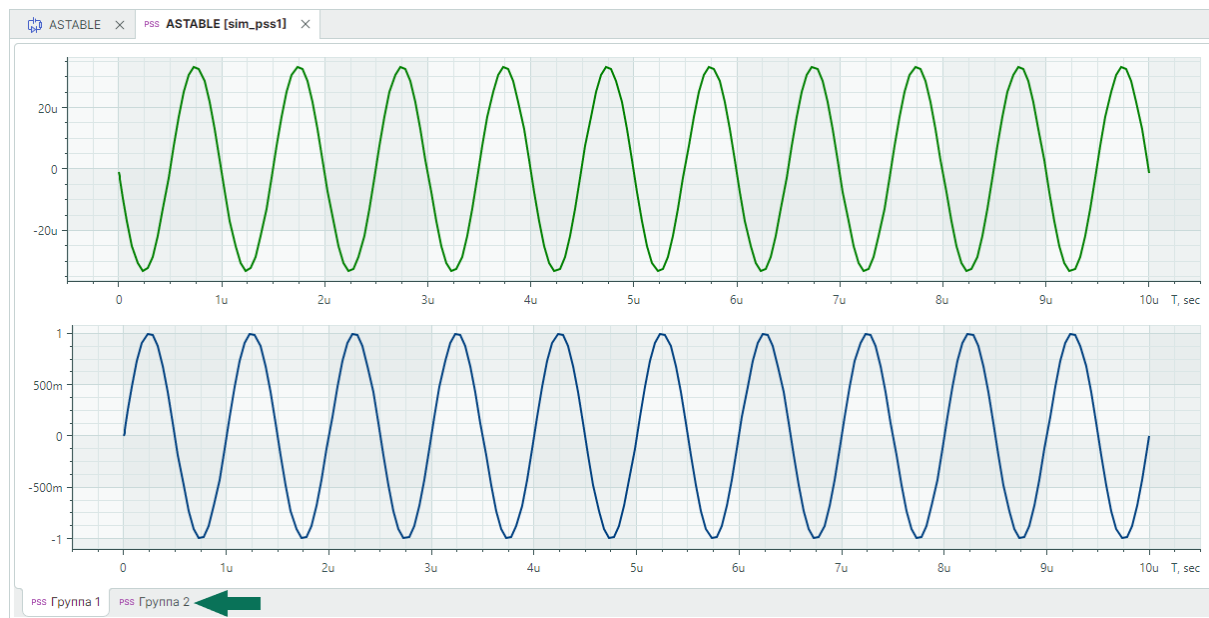


Рис. 191 Отображение результатов расчета при наличии диапазона варьирования параметра для нескольких групп

10.10 Анализ устойчивости схемы

10.10.1 Общие сведения об анализе устойчивости схемы

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](#).

10.10.2 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. 192](#).

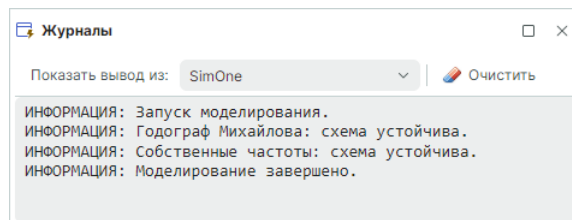


Рис. 192 Отображение результатов проверки устойчивости в панели

10.10.3 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 $D(l \cdot w)$ 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.

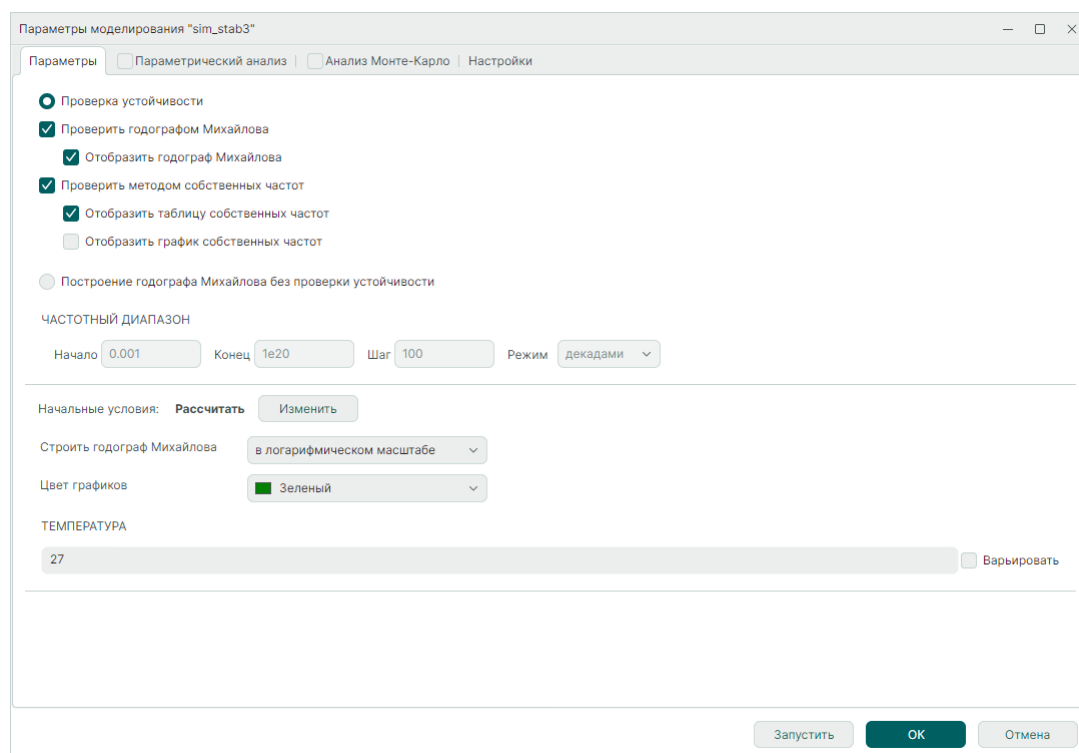
В автоматическом режиме программа сама строит годограф Михайлова и определяет по нему, устойчива схема или нет. Результатом такой проверки является вывод кривой на комплексную плоскость и сообщения в Окно сообщений.

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.

10.10.4 Интерфейс анализа устойчивости схемы

На [Рис. 193](#) 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:

Строить годограф Михайлова: в логарифмическом масштабе

Цвет графиков: Зеленый

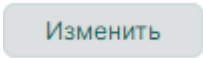
ТЕМПЕРАТУРА: 27 ☐ Варьировать

Рис. 193 Окно формы задания параметров анализа устойчивости схемы

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 93](#).

Таблица 93 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.
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.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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.
.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		

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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. 194](#).

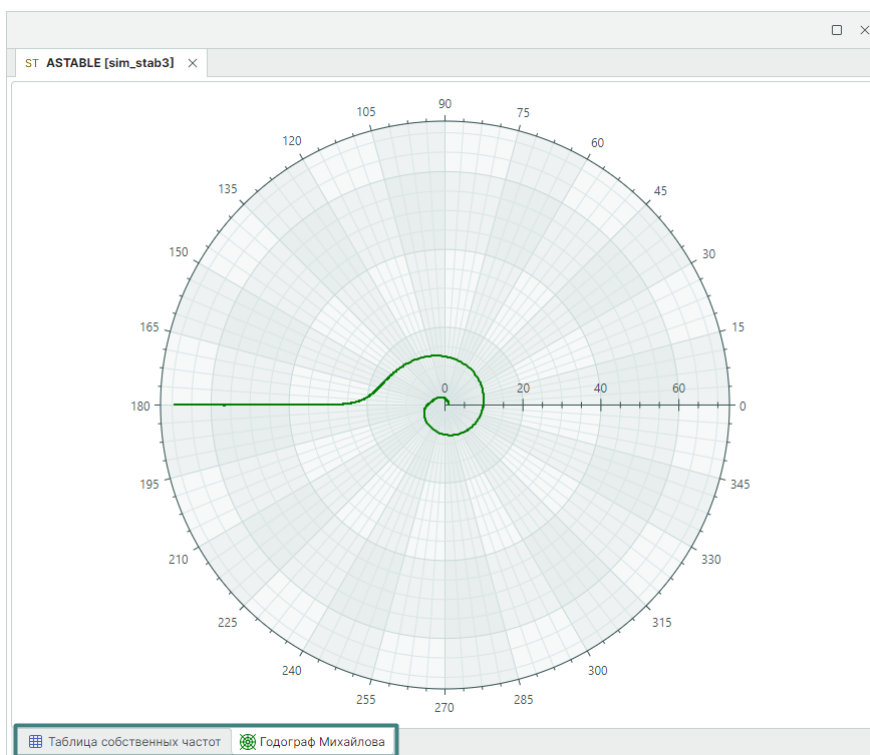
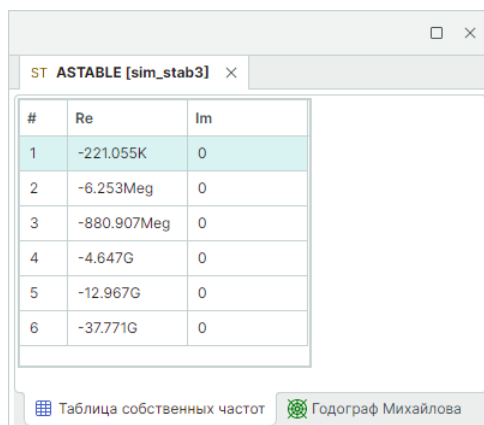


Рис. 194 Отображение результатов моделирования

На вкладке «Таблица собственных частот» отображается в табличной форме результаты расчёта устойчивости схемы, пример см. [Рис. 195](#).



#	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

Рис. 195 Отображение результатов моделирования в виде таблицы

10.11 Многовариантные типы анализа схем

10.11.1 Общие сведения о многовариантных типах анализа

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](#).

10.11.2 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. 196](#).

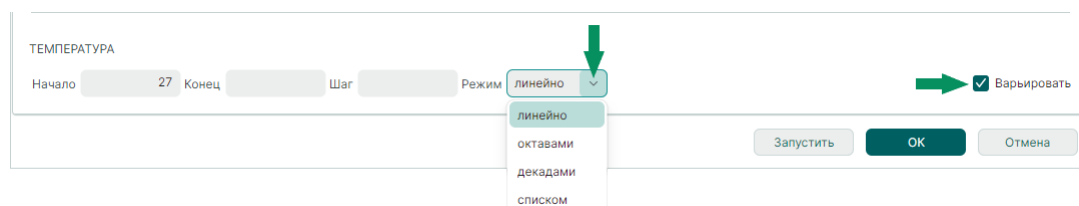


Рис. 196 Включение/выключение опции варьирования температуры

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`

10.11.3 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

10.11.4 Настройки вкладки «Параметрический анализ»

Окно формы настройки параметров параметрического анализа выглядит следующим образом, см. [Рис. 197](#).

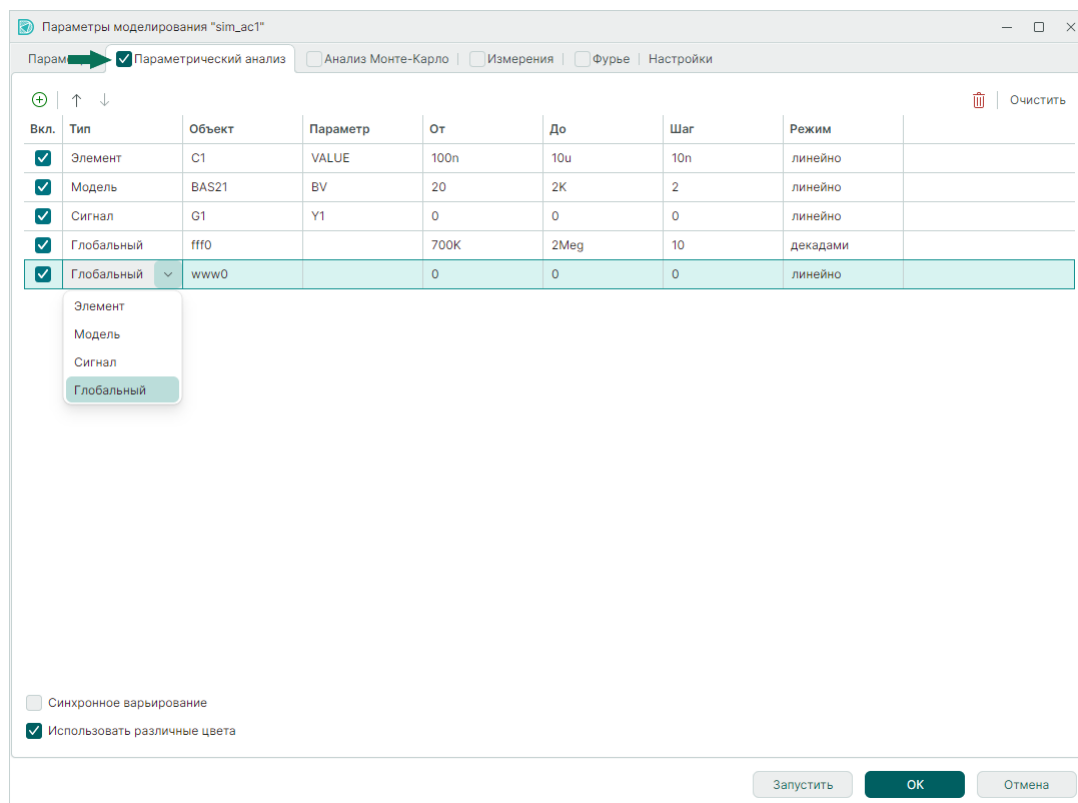


Рис. 197 Окно формы настройки параметров параметрического анализа

Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 94](#).

Таблица 94 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 значения по умолчанию, 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		
	Добавление компонента.	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
↑ ↓	Перемещение между компонентами.	-
	Удаление выделенной строки.	-
Очистить	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.



Примечание! Если глобальный параметр задан числовым значением, система автоматически подставляет предполагаемые значения начальной и конечной границ диапазона варьирования и шаг приращения. Если же значение глобального параметра – математическое выражение, то в поля «От», «До» и «Шаг» подставляются значения 0. Изменить данные значения следует вручную.

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.

10.11.5 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:

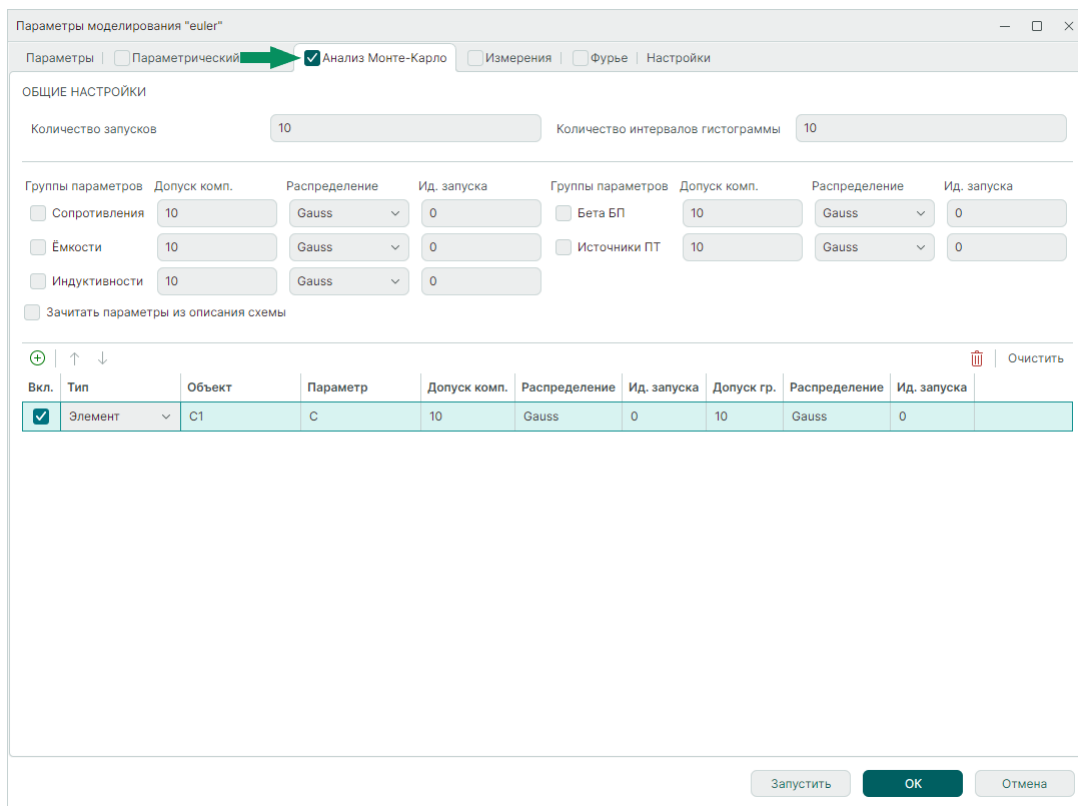
.MC 100 tran V(out) I(Rn) Vmax Imax

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

.MC 100 dc I(Rn) Imax

10.11.6 Настройки вкладки «Анализ Монте-Карло»

Окно формы настройки параметров анализа Монте-Карло выглядит следующим образом, см. [Рис. 198](#).



Параметры моделирования "euler"

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

ОБЩИЕ НАСТРОЙКИ

Количество запусков: 10 | Количество интервалов гистограммы: 10

Группы параметров | Допуск комп. | Распределение | Ид. запуска

☐ Сопротивления | 10 | Gauss | 0

☐ Ёмкости | 10 | Gauss | 0

☐ Индуктивности | 10 | Gauss | 0

☐ Бета БП | 10 | Gauss | 0

☐ Источники ПТ | 10 | Gauss | 0

☐ Зачитать параметры из описания схемы

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

Запустить | OK | Отмена

Рис. 198 Окно формы настройки параметров анализа Монте-Карло

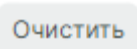
Подробнее описание параметров и инструментов приведено в [Табл. 95](#).

[Таблица 95](#) 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.	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	- 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.	
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. - 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.	Выкл.
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	Элемент

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от значения по умолчанию, 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.	
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%
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	10

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	идентификатор запуска , отличный от 0. Групповой допуск позволяет определять коррелированные между собой компоненты.	
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
Инструменты		
	Добавление компонента.	-
	Перемещение между компонентами.	-
	Удаление выделенной 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.

10.12 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. 199](#).

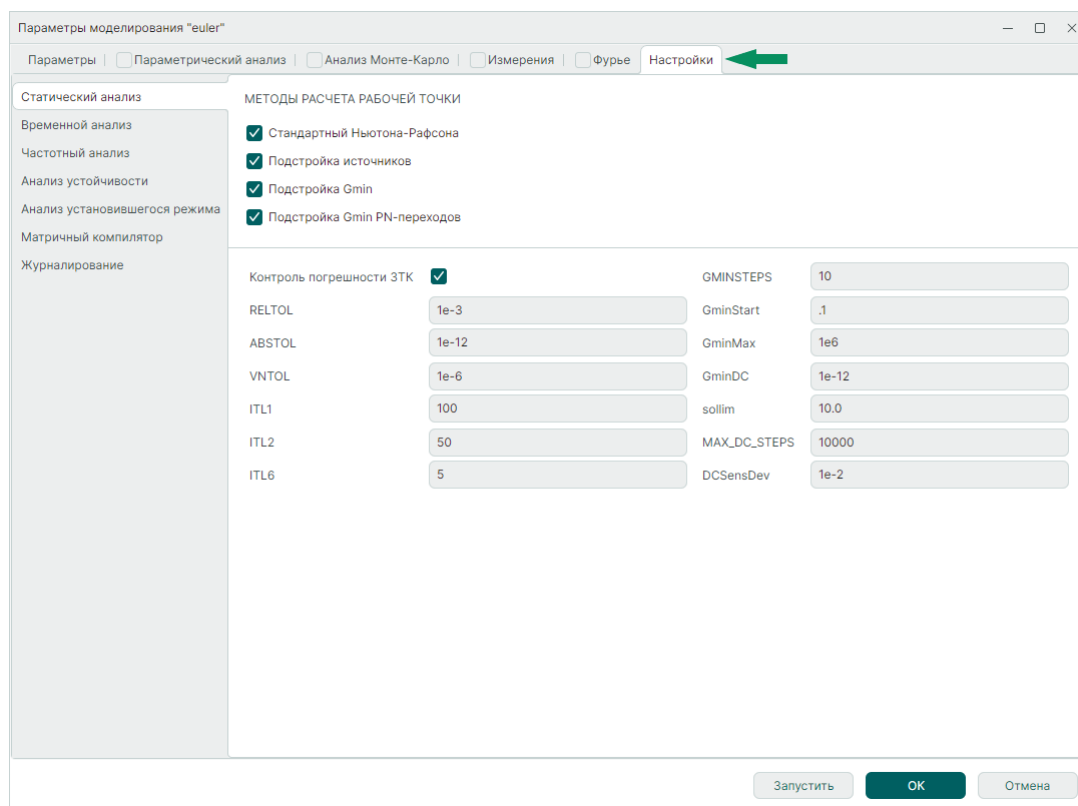


Рис. 199 Вкладка «Настройки»

Подробнее параметры настроек описаны в [Табл. 96](#).

[Таблица 96](#) 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 ЗТК	В процессе нахождения рабочей точки схемы SimOne позволяет контролировать выполнение закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это необходимо для защиты от ложной сходимости итерационных методов.	Вкл.
RELTOL	Допустимая относительная погрешность расчёта напряжений и токов в итерационном процессе решения нелинейной системы.	1e–3
ABSTOL	Допустимая абсолютная погрешность расчёта токов в итерационном процессе решения нелинейной системы.	1e–12 A

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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		
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

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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 A
LTEVNTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта напряжений на шаге интегрирования.	1e-6 B
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 $LVLTIM = 1$.	3
ITL4	Максимальное число итераций на шаге интегрирования.	10
ITL5	Максимальное число итераций временного анализа. 0 – выкл.	0
LVLTIM	Тип алгоритма выбора шага интегрирования. Доступны следующие алгоритмы: • итерационный: $LVTIM=1$; • по оценке локальной погрешности на шаге интегрирования: $LVTIM=2$.	2
PREDICTOR	Если не 0, то включается алгоритм интегрирования предиктор-корректор.	0
TRAPRATIO	Коэффициент для определения числовых осцилляций в методе трапеций.	10
XMUMULT	Множитель для коэффициента метода трапеций.	1
bptol	Минимальное относительное расстояние между двумя соседними точками перегибов сигналов.	1e-10
PWL_Reduce Breaks	Выбор метода обработки кусочно-линейных сигналов:	Вкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	• true - оригинальный метод, контролирующий наклон функции; • false - стандартный метод.	
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
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	1e-3

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	режиме, если выбран логарифмический способ её изменения.	
EigenFreqTOL1	Относительная погрешность нахождения корня характеристического полинома.	1e-6
EigenFreqTOL2	Определяет близость полученного полинома к постоянной функции; служит для обнаружения окончания поиска корней характеристического полинома.	1e-6
EigenFreqITL	Максимальное количество итераций для нахождения корня характеристического полинома.	500
EFCheckToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней характеристического полинома.	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
GMRES NumberOfRestarts	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		

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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. • Column – выбор ведущего элемента из столбца подматрицы. • Preorder – используется алгоритм предварительной перестановки строк и столбцов.	Submatrix
PIVREL	Минимальная относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента.	1e–3

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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: PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatioDC.	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: PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatio.	1e6
PIVRELRatioStab	В анализе устойчивости схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: PIVREL_by_Code = PIVREL/PIVRELRatioStab.	100
MAX_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, в блочном режиме, её разложения и решения системы.	1
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.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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.

11 Просмотр и обработка результатов моделирования

11.1 Общие сведения о результатах моделирования

После запуска выбранного моделирования (симуляции) при активной вкладке с результатами моделирования в главное меню «SimOne» отображается обновленный список команды, см. [Рис. 200](#).

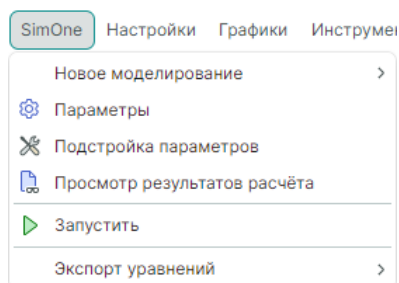


Рис. 200 Список команд в меню «SimOne»

В [Табл. 97](#) представлены команды доступные при работе с модулем SimOne после запуска моделирования при активной вкладке с результатами моделирования.

[Таблица 97](#) Команды SimOne из главного меню при активной вкладке с результатами моделирования

Команда	Описание
Новое моделирование	Выбор анализа схемы для создания нового моделирования.
Параметры	Открывается окно для просмотра и изменения параметров текущего моделирования.

Команда	Описание
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.

После запуска выбранного моделирования (симуляции) для отображения и обработки результатов программа открывает вкладку с именем проекта, см. [Рис. 201](#).



Рис. 201 Пример общего вида вкладки с результатами моделирования в графическом виде

Результаты проведенного 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 (*.freq).



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

11.2 Работа с графиками

После запуска выбранного моделирования в главном меню отображается пункт «Графики» с подменю содержащее команды доступные при работе с графиками, см. [Рис. 202](#).

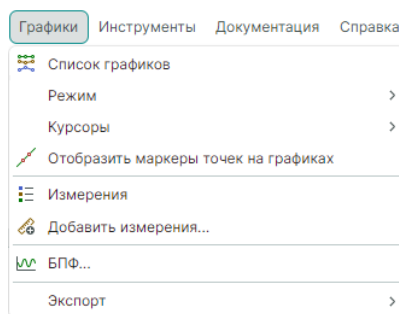


Рис. 202 Открытия списка команд для работы с графиками

В [Табл. 98](#) описаны инструменты и команды доступные при работе с графиками.

[Таблица 98](#) 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.

Инструмент/Команда	Способ реализации
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.
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» .

Инструмент/Команда	Способ реализации
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.
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.

11.3 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. 203](#).

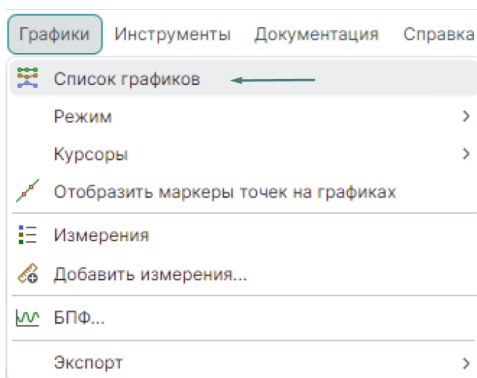


Рис. 203 Вызов панели
«Моделирование: Графики»

По умолчанию панель «Моделирование: Графики» выключена.

Панель содержит информацию об именах графиков, их цветовом представлении и номерах групп в текущем окне графика, см. [Рис. 204](#).



Рис. 204 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. 205](#).

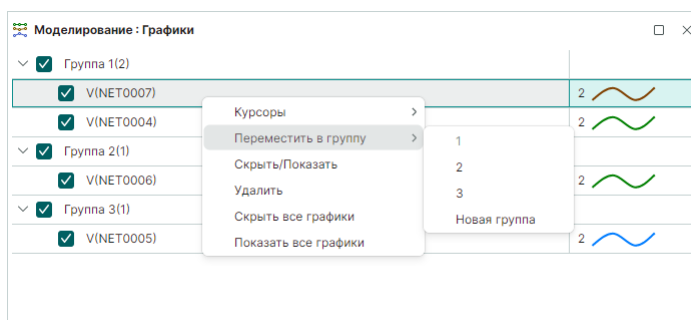


Рис. 205 Изменение расположения графика

Для изменения цвета и толщины линии следует нажать на область  в строке с выбранным графиком, см. [Рис. 206](#).

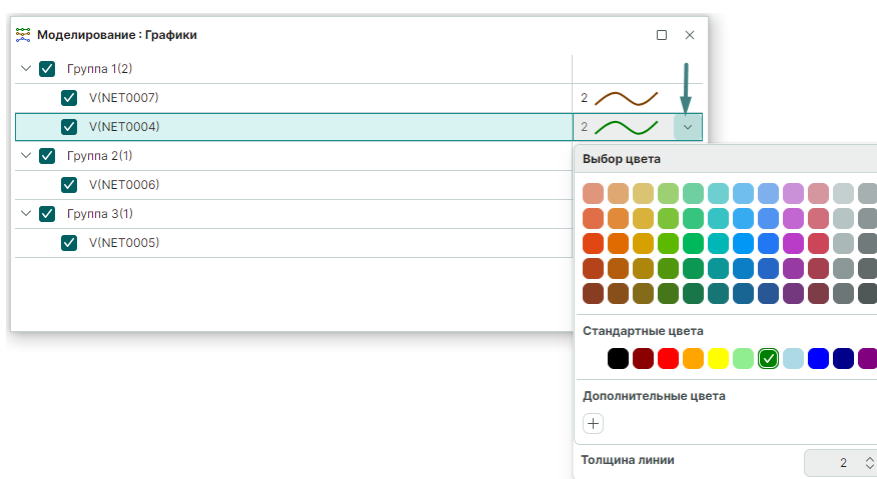


Рис. 206 Выбор цвета и толщины линии графика

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. 207](#).

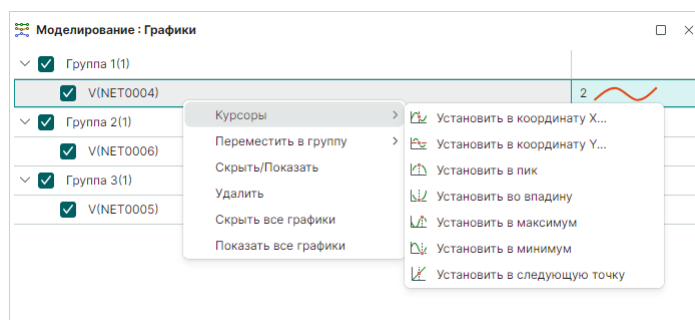


Рис. 207 Выбор условия установки курсора

11.4 Режимы

Для лучшего анализа экспоненциально зависимых 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. 208](#).

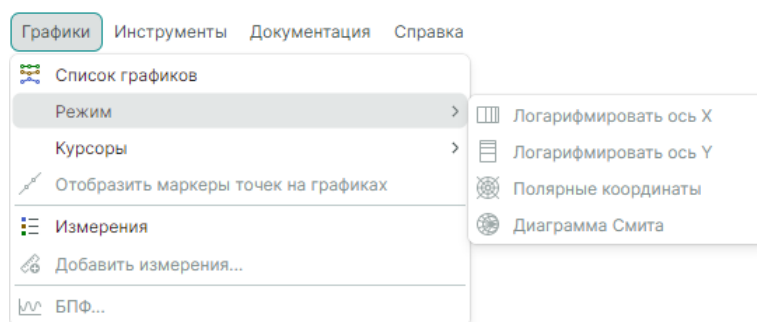


Рис. 208 Выбор режима отображения осей координат

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. 209](#).

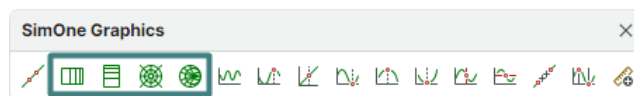


Рис. 209 Выбор режима отображения осей координат из панели инструментов «SimOne Graphics»

11.5 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. 210](#).

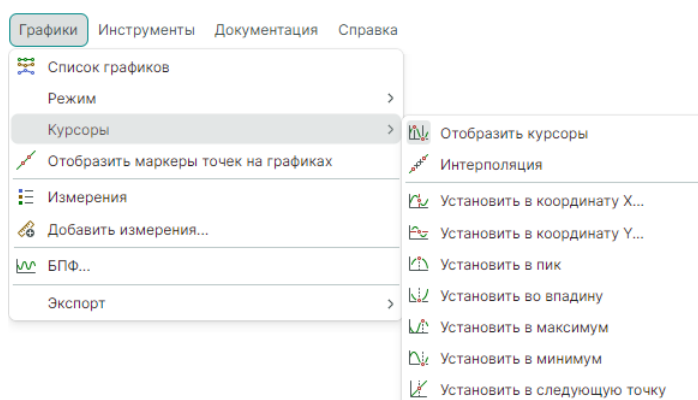


Рис. 210 Команды работы с курсорами

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. 99](#).

[Таблица 99](#) 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

Инструменты/Команды	Способ задания
	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	
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.

Инструменты/Команды	Способ задания
	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. 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. 211](#).



Рис. 211 Выбор курсора из панели инструментов «SimOne Graphics»

11.6 Панель «Моделирование: Курсоры»

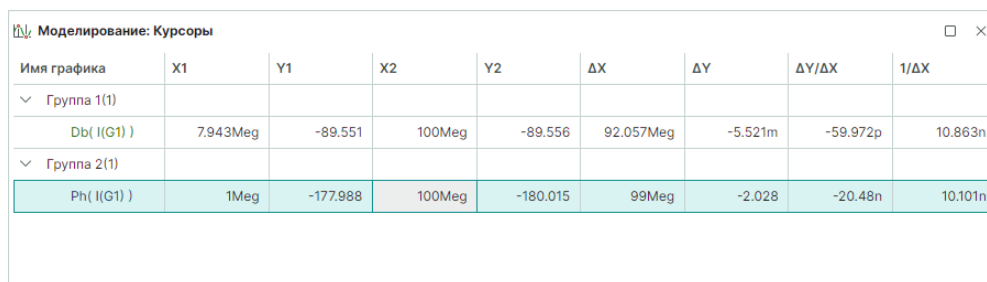
На панели «Моделирование: «Курсоры» отображаются текущие координаты курсоров по всем группам графиков, а также различные соотношения их координат.

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. 212](#).



Имя графика	X1	Y1	X2	Y2	ΔX	ΔY	ΔY/ΔX	1/ΔX
Группа 1(1)								
Db(I(G1))	7.943Meg	-89.551	100Meg	-89.556	92.057Meg	-5.521m	-59.972p	10.863n
Группа 2(1)								
Ph(I(G1))	1Meg	-177.988	100Meg	-180.015	99Meg	-2.028	-20.48n	10.101n

Рис. 212 Пример отображения панели «Моделирование: Курсоры»

Список полей панели приведён в [Табл. 100](#).

[Таблица 100](#) 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: $\Delta Y = Y1 - Y2$.
ΔY/ΔX	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/ΔX	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. 213](#).

Моделирование: Курсоры

Имя графика	X1	Y1	X2	Y2	ΔX	ΔY	$\Delta Y/\Delta X$	1/ ΔX
Группа 1(1)								
Db(I(G1))	7.943Meg	-89.55			7Meg	-5.521m	-59.972p	10.863n
Группа 2(1)								
Ph(I(G1))	1Meg	-177.98			1Meg	-2.028	-20.48n	10.101n

Установить в координату X...
 Установить в координату Y...
 Установить в пик
 Установить во впадину
 Установить в максимум
 Установить в минимум
 Установить в следующую точку

Рис. 213 Контекстное меню для выбора команды для активного курсора

11.7 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. 214](#).

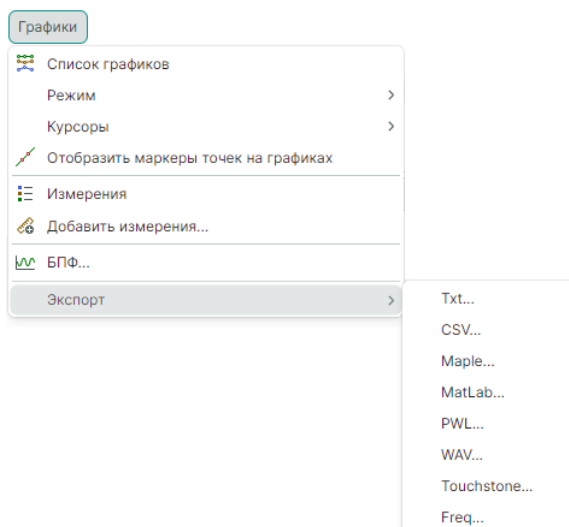


Рис. 214 Переход к экспорту графиков

В окне проводника укажите расположение файла экспорта и его имя, см. [Рис. 215](#).

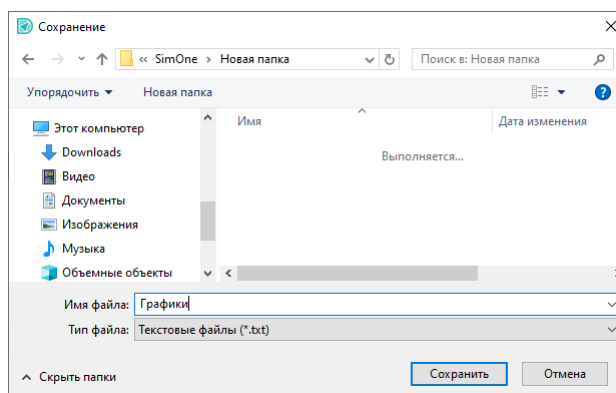


Рис. 215 Выбор расположения и имени экспортируемого файла

В окне «Экспорт» выберите необходимые для экспорта графики с помощью установки/снятия флагов в чек-боксах напротив наименований и нажмите «ОК», см. [Рис. 216](#).



Рис. 216 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. 217](#).

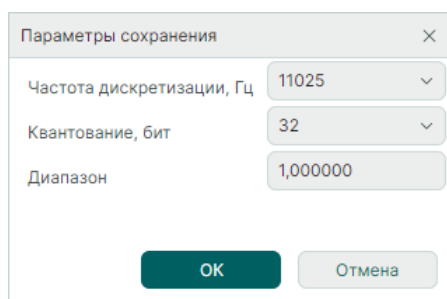


Рис. 217 Окно настроек сохранения в звуковой файл

По завершении экспорта будет отображено информационное сообщение, см. [Рис. 218](#).

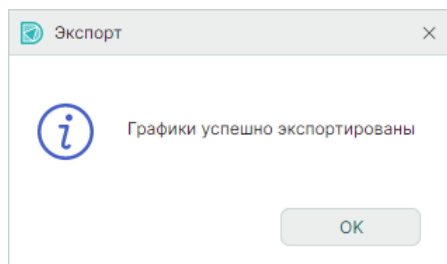
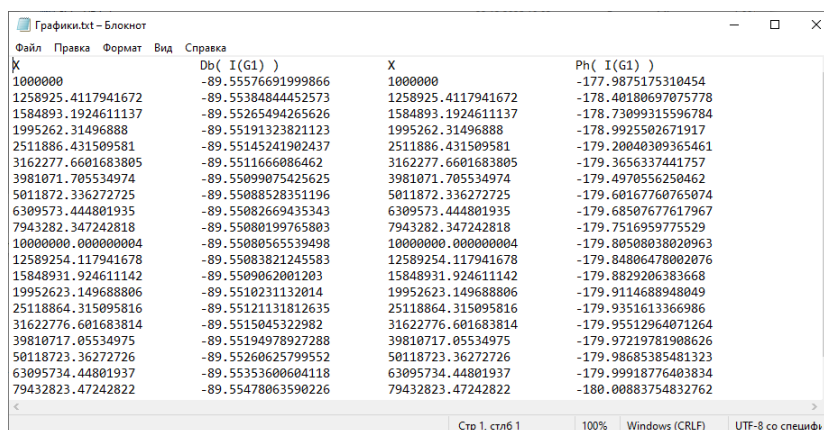


Рис. 218 Информационное окно об успешном экспорте графиков

Пример файла с данными экспортированных графиков представлен на [Рис. 219](#).



X	Db(I(G1))	X	Ph(I(G1))
1000000	-89.55576691999866	1000000	-177.9875175310454
1258925.4117941672	-89.55384844452573	1258925.4117941672	-178.40180697075778
1584893.1924611137	-89.55265494265626	1584893.1924611137	-178.73099315596784
1995262.31496888	-89.55191323821123	1995262.31496888	-178.9925502671917
2511886.431509581	-89.55145241902437	2511886.431509581	-179.20040309365461
3162277.6601683805	-89.5511666086462	3162277.6601683805	-179.3656337441757
3981071.705534974	-89.55099075425625	3981071.705534974	-179.4970556250462
5011872.336272725	-89.55088528351196	5011872.336272725	-179.60167760765074
6309573.444801935	-89.55082669435343	6309573.444801935	-179.68507677617967
7943282.347242818	-89.55080199765803	7943282.347242818	-179.7516959775529
10000000.000000004	-89.55080565539498	10000000.000000004	-179.80508038020963
12589254.117941678	-89.55083821245583	12589254.117941678	-179.84806478002076
15848931.924611142	-89.5509062001203	15848931.924611142	-179.8829206383668
19952623.149688806	-89.5510231132014	19952623.149688806	-179.9114688948049
25118864.315095816	-89.55121131812635	25118864.315095816	-179.9351613366986
31622776.601683814	-89.5515045322982	31622776.601683814	-179.95512964071264
39810717.05534975	-89.55194978927288	39810717.05534975	-179.97219781908626
50118723.36272726	-89.55260625799552	50118723.36272726	-179.98685385481323
63095734.44801937	-89.55353600604118	63095734.44801937	-179.99918776403834
79432823.47242822	-89.55478063590226	79432823.47242822	-180.00883754832762

Рис. 219 Пример файла формата *.txt

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

Для этого:

- примените команду «Графики» → «Отобразить маркеры точек на графиках»;
- увеличьте выбранный участок графика;
- откройте полученный после экспорта текстовый файл;
- произведите 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»;
- выберите файл, полученный при экспорте, как файл сигнала.

12 Измерения

12.1 Общие сведения об измерениях

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.

12.2 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. 220](#).

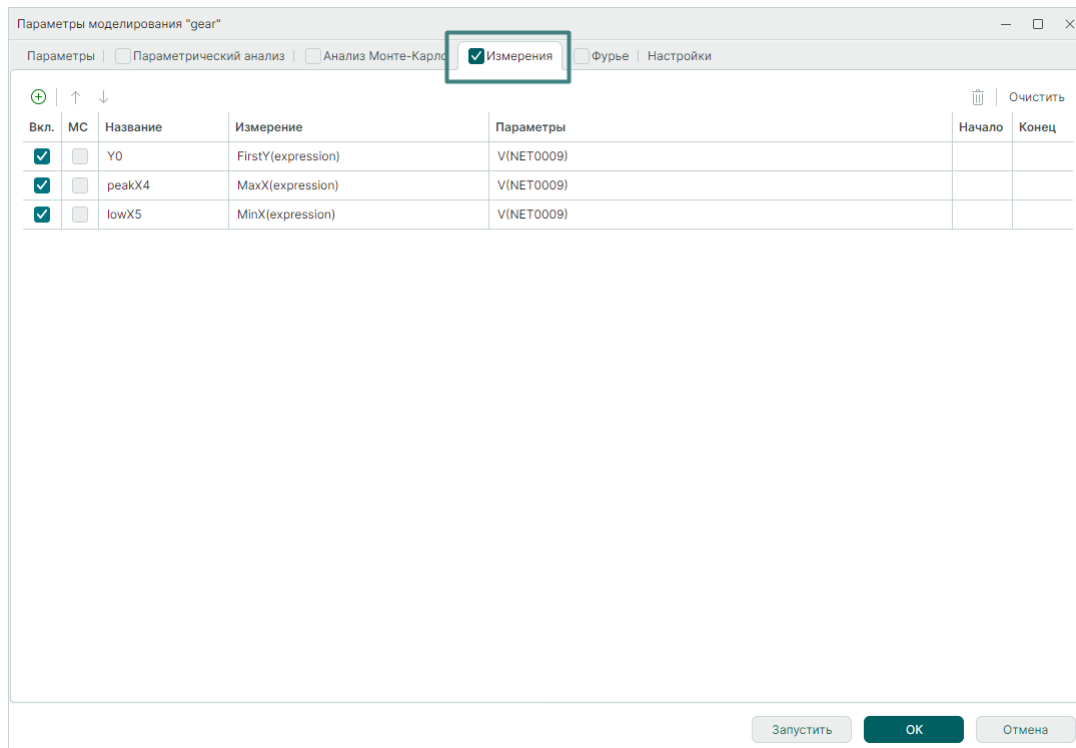
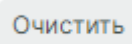


Рис. 220 Пример задания измерений с помощью вкладки «Измерения»

Описание инструментов и параметров приведено в [Табл. 101](#).

[Таблица 101](#) 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.	-
Измерение	Выбор измерения из списка доступных измерений .	-

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
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. 221](#).

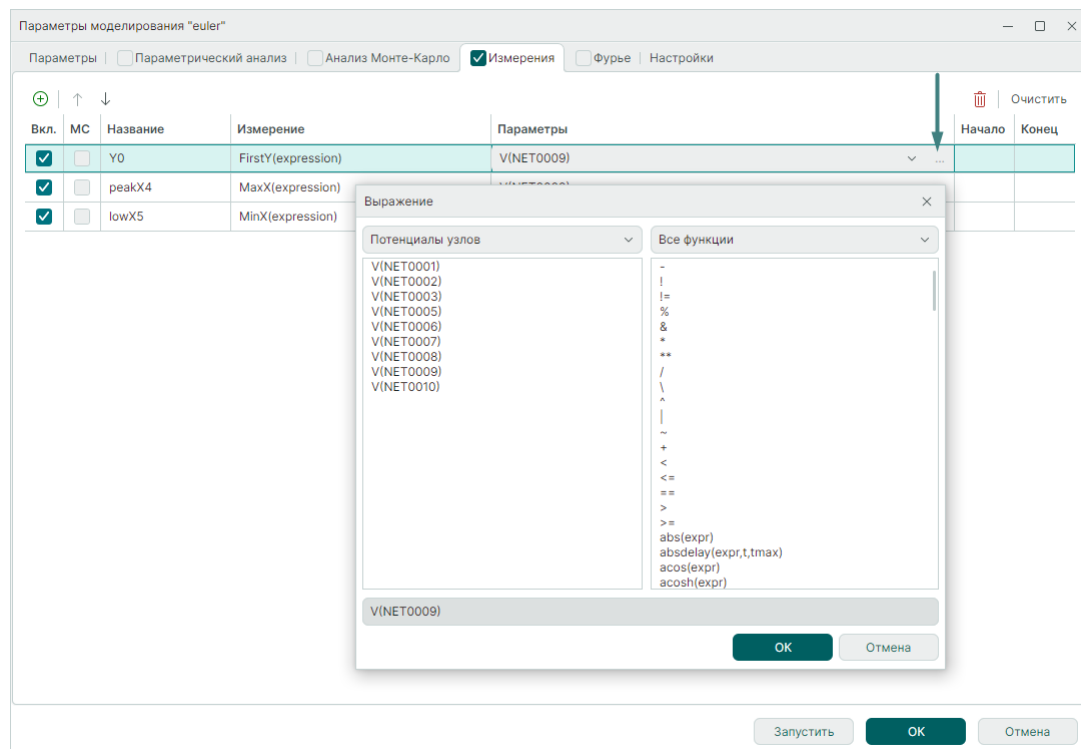


Рис. 221 Редактирование существующего параметра

12.3 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. 222](#).

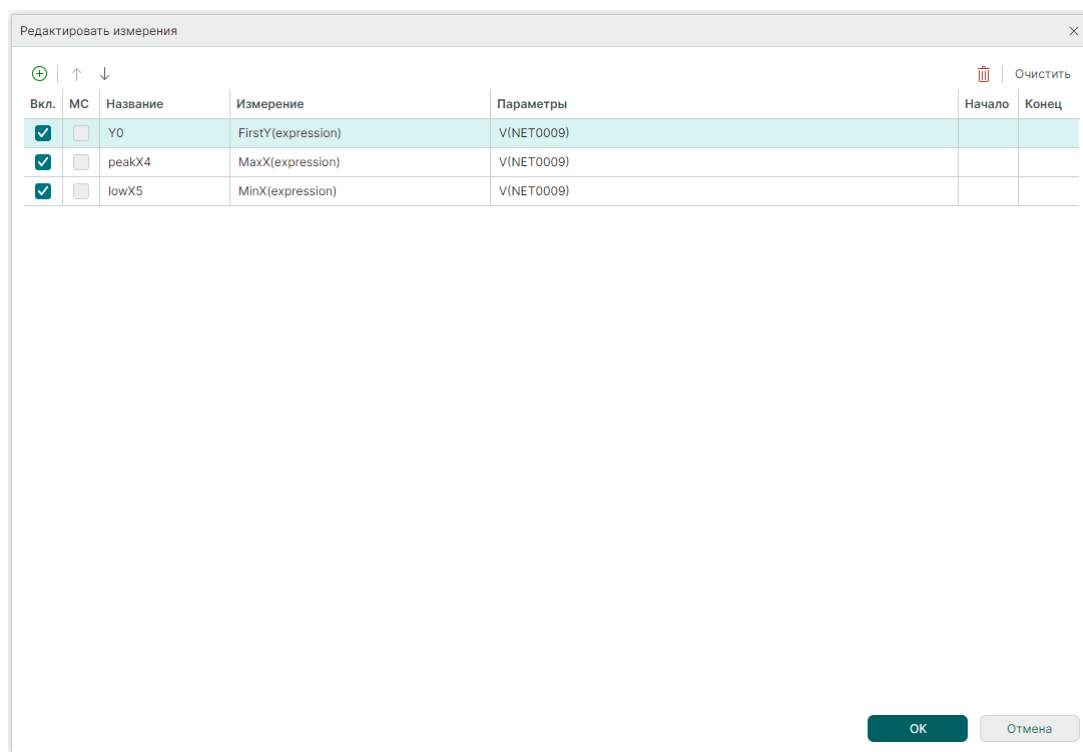


Рис. 222 Окно редактирования измерений

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. 223](#).

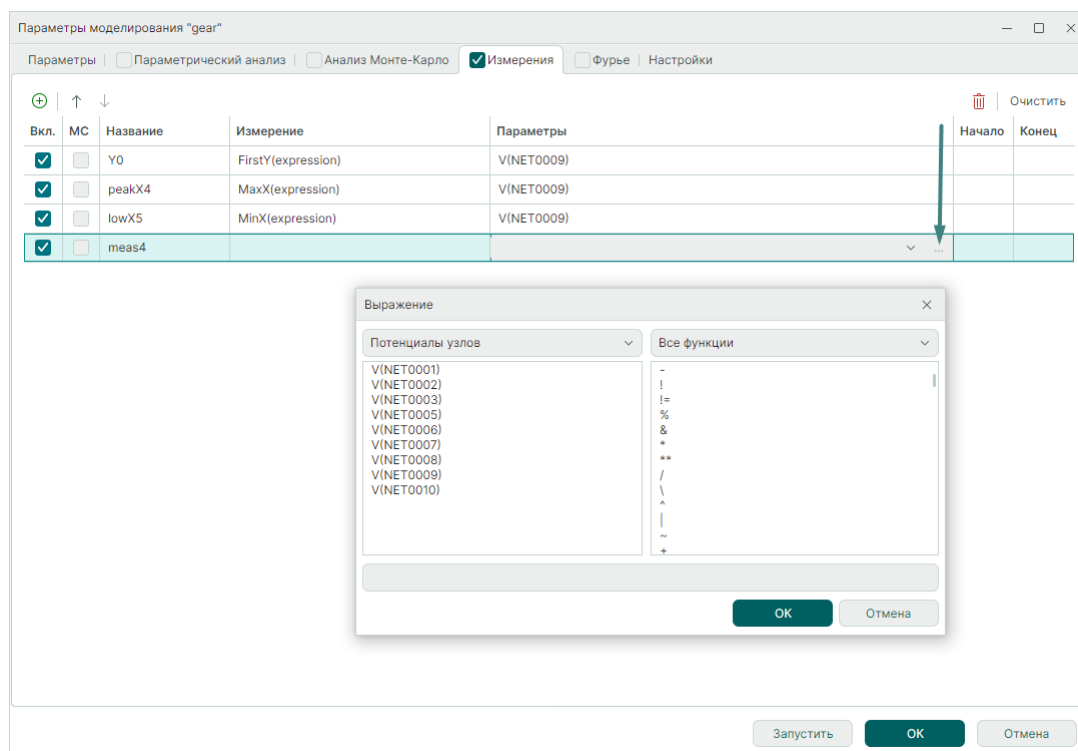


Рис. 223 Вызов окна «Выражение»

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).

12.4 Список функций измерений

12.4.1 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.

12.4.2 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 $X_{bandright} - X_{bandleft}$.

12.4.3 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: $Y0 = Y_{max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется нижняя граница полосы пропускания Xbandleft: ближайшая точка по уровню $Y0$ слева от максимума на подъёме графика.
- Определяется верхняя граница полосы пропускания Xbandright: ближайшая точка по уровню $Y0$ справа от максимума на спуске графика.
- Вычисляется центральная частота полосы пропускания: $(Xbandright + Xbandleft)/2$.

12.4.4 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.

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

12.4.6 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`.

12.4.7 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`.

12.4.8 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 <ymax> и точкой с ординатой <ymin> на <number> спуске.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение <ymax> на требуемом спуске (<number> спуске); определяется её абсцисса Xmax.
- Ищется значение <ymin> на требуемом спуске (<number> спуске); определяется её абсцисса Xmin.
- Вычисляется разность Xmin – Xmax.

12.4.9 FirstY <выражение>

Первое значение выражения

Синтаксис:

FirstY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в первой точке графика.

12.4.10 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: $1/(X_{right} - X_{left})$.

12.4.11 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.

12.4.12 LastY <выражение>

Последнее значение выражения

Синтаксис:

LastY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает значение <выражения> в последней точке графика.

12.4.13 MaxY <выражение>

Максимальное значение

Синтаксис:

MaxY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает максимальное значение графика (ординату точки максимума).

12.4.14 MaxX <выражение>

Координата максимального значения

Синтаксис:

MaxX <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает максимальное значение.

12.4.15 MinY <выражение>

Минимальное значение

Синтаксис:

MinY <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает минимальное значение графика (ординату точки).

12.4.16 MinX <выражение>

Координата минимального значения

Синтаксис:

MinX <выражение>

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает минимальное значение.

12.4.17 NX <выражение> [<number>]

Абсцисса точки графика

Синтаксис:

NX <выражение> [<N=1>]

<выражение> – выражение, для которого рассчитывается измерение.

Описание:

Возвращает абсциссу N-ой точки выражения.

12.4.18 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.

12.4.19 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>.

12.4.20 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>.

12.4.21 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.

12.4.22 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](#).

12.4.23 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 Ymax интервале от <x_first> до <x_last>.
- Ищется минимальное значение на Ymin интервале от <x_first> до <x_last>.
- Вычисляется разность Ymax – Ymin.

12.4.24 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 Xmin.
- Ищется значение <y_max> на требуемом подъёме (<number> подъёме); определяется её абсцисса Xmax.
- Вычисляется разность Xmax – Xmin.

12.4.25 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>.

12.4.26 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>.

12.4.27 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>.

12.4.28 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>.

12.4.29 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.

12.4.30 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`.

12.4.31 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>`.

12.5 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. 224](#).



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

Рис. 224 Пример отображения панели измерений

Список полей панели «Моделирование: Измерения» приведён в [Табл. 102](#).

[Таблица 102](#) 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 ([Рис. 225](#)):

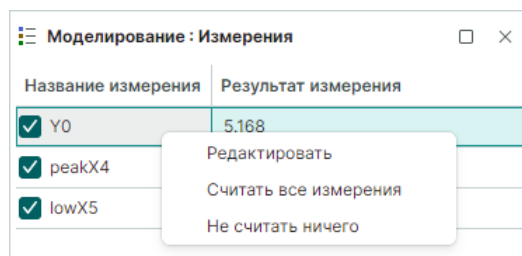


Рис. 225 Доступные действия с измерением из контекстного меню

- «Редактировать» – открытие окно «[Редактировать измерения](#)».
- «Считать все измерения» – включение режима пересчитывания измерения при перезапуске симуляции.
- «Не считать ничего» – отключение режима пересчитывания измерения при перезапуске симуляции.

13 Преобразование Фурье

Прямое и обратное преобразование Фурье выполняется на основе алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ).

С помощью БПФ определяются гармоники разложения в ряд Фурье выходных характеристик схемы.

Выражения для преобразования Фурье могут быть заданы следующим образом:

- 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.

14 Вкладка преобразования Фурье

Вкладка преобразования Фурье, см. [Рис. 226](#), доступна при следующих видах анализа схемы:

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

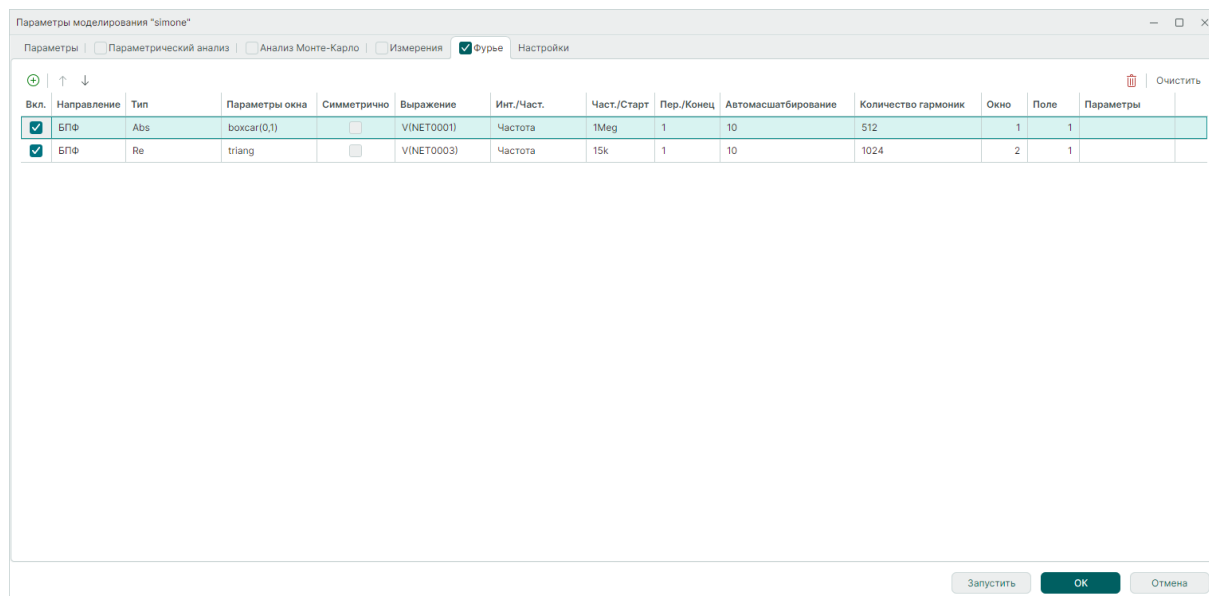
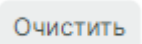


Рис. 226 Пример вкладки «Фурье»

Подробнее описание полей и инструментов вкладки приведено в [Табл. 103](#).

[Таблица 103](#) 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; • Im – выводить на график мнимую комплексных значений БПФ.	Abs
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	1Meg

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Пер./Конец	преобразования, при этом указывается ее значение и количество периодов с конца данных расчета.	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.	-
	Удаление всех строк.	-



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

15 Окно преобразования Фурье

Окно преобразования Фурье, см. [Рис. 227](#), вызывают:

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

БПФ

НАПРАВЛЕНИЕ

☒ БПФ ☐ ОБПФ

ТИП

☒ abs ☐ phase ☐ Re ☐ Im

ОКНО

boxcar(0,1)

...

☐ Сим.

ИНТЕРВАЛ/ЧАСТОТА

☒ Интервал

Начало: 0

Конец: 1

☐ Частота

Частота: 1Meg

Периоды: 1

ТОЧКИ

Количество точек БПФ: 1024

Кол-во гармоник автомасштабирования: 10

+

▼

🗑

Выражение	Поле	Параметры
☒ Группа 1		

OK

Отмена

Рис. 227 Окно преобразования Фурье (БПФ)

Подробнее описание полей и инструментов в окне «БПФ» приведено в [Табл. 104](#).

[Таблица 104](#) Окно «БПФ»

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Описание полей		
Направление	Выбор типа преобразования, которое будет применено к введённым 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;	Abs

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	- Re – выводить на график вещественную часть комплексных значений БПФ; - Im – выводить на график мнимую часть комплексных значений БПФ.	
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
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		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	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.

16 Выражения

16.1 Общие сведения о выражениях

Значения математических функций измерения можно использовать как выражения, см. [Рис. 228](#).

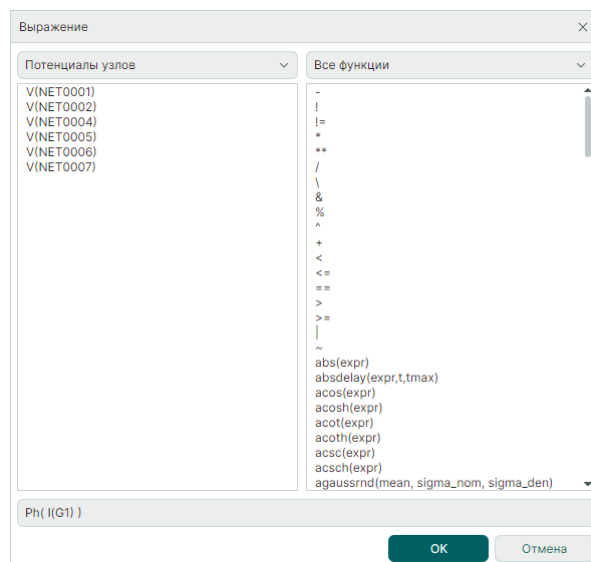


Рис. 228 Окно «Выражение»

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.

16.2 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. 105](#). Пример: 50m=50E-3=0.005, 1.2K=1k2=1.2E3=1200.

[Таблица 105](#) Буквенные обозначения приставок

f(F)	p(P)	n(N)	u(U)	m(M)	K(k)	MEG (meg)	G(g)	T(t)
фемто	пико	нано	микро	милли	кило	мега	гига	тера
1e-15	1e-12	1e-9	1e-6	1e-3	1e3	1e6	1e9	1e12

Выражения могут включать в себя следующие константы:

- PI – число $\pi = 3,14159265358979323846$;
- E – число $e = 2,718281828459045$;
- I – мнимая единица $\sqrt{-1}$;
- TRUE – логическая единица;
- FALSE – логический ноль.

16.3 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.

16.4 Расчётные параметры моделей компонентов

Параметры моделей компонентов, доступные для использования в качестве переменных в Выражениях, и их обозначения приведены в [Табл. 106](#).

Таблица 106 Обозначения параметров моделей компонентов

Компонент	Напряжения/ Потенциалы	Ток	Ёмкости/ Индуктивности	Заряд/ Потоко- сцепление	Мощность	Энергия	Другое
Резистор R	V	I	-	-	PD	ED	-
Ёмкость C	V	I	C	Q	PS	ES	-
Индуктивность L	V	I	L	X	PS	ES	-
Длинная линия T	V1,V2	I1, I2	-	-	-	-	-
Ключи S,W	V	I	-	-	PD	ED	R - сопротивление ключа
Независимые источники V,I	V	I	-	-	PG	EG	-
Управляемые и функциональные источники	V	I	-	-	-	-	H - передаточная функция Лапласа/ импульсная характеристика
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,VGS, VDS	IG, ID, IS	CGD, CGS	QGD,QGS	PD,PS	ED,ES	-

Компонент	Напряжения/ Потенциалы	Ток	Ёмкости/ Индуктивности	Заряд/ Потоко сцепле ние	Мощно сть	Энерги я	Другое
МОП- транзистор М	VB, VG, VD, VS, VGB , VGD, VGS, VDS, VBD, VBS	IG, ID, IS	CGB, CGD, CGS, CBD, CBS	QGB, QGD, QGS, QBD, QBS	PD, PS	ED, ES	-

Для 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.

16.5 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

16.6 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 $I(<имя источника напряжения>)$.

16.7 Математические операторы и функции

16.7.1 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: $V(net1) - V(net2)$, 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

16.7.2 Булевы операторы

- Оператор: **!**

Название: НЕ (отрицание)

Операнд: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $! V(\text{net1})$, логическое

Синоним: **~**

Раздел: Булевы

- Оператор: **!=**

Название: Проверка неравенства

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) != V(\text{net2})$, 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: $V(\text{net1}) \mid V(\text{net2})$, логическое

Синоним: **or**

Раздел: Булевы

- Оператор: $\sim$

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: $V(\text{net1}) <= V(\text{net2})$, 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: $V(\text{net1}) >= V(\text{net2})$, 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: $V(\text{net1}) \text{ nand } V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **nor**

Название: ИЛИ-НЕ

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \text{ nor } V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

- Оператор: **or**

Название: ИЛИ (дизъюнкция)

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \text{ or } V(\text{net2})$, логическое

Синоним: |

Раздел: Булевы

- Оператор: **xor**

Название: Исключающее ИЛИ (проверка неравенства)

Операнды: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $V(\text{net1}) \text{ xor } V(\text{net2})$, логическое

Раздел: Булевы

16.7.3 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.

- Функция: **abs(expr)**

Название: Модуль

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{abs}(V(\text{out}))$, действительное

Синонимы: **m**, **mag**

Раздел: Арифметические

- Функция: **ceil(expr)**

Название: Округление в большую сторону

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{ceil}(V(\text{out}))$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Функция: **fact(expr)**

Название: Факториал

Аргумент: expr — неотрицательное целое, где expr — выражение

Пример: $\text{fact}(3)$, натуральное

Раздел: Арифметические

- Функция: **floor(expr)**

Название: Округление в меньшую сторону

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{floor}(V(\text{out}))$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Функция: **int(expr)**

Название: Сокращение до целого

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{int}(V(\text{out}))$, комплексное

Синоним: **trunc**

Раздел: Арифметические



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

- Функция: **nint(expr)**

Название: Математическое округление

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: nint(V(out)), комплексное

Синоним: **round**

Раздел: Арифметические

- Функция: **sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: sqrt(V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

- 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

16.7.4 Булевы функции

- Функция: **buf(expr)**

Название: Повторитель по уровню 0.5

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: buf(V(net1)), логическое

Раздел: Булевы

- Функция: **inv(expr)**

Название: Инвертор по уровню 0.5

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `inv(V(net1))`, логическое

Раздел: Булевы

16.7.5 Гиперболические функции

- Функция: **Acosh(expr)**

Название: Гиперболический ареакосинус

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `acosh(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arcosh, arch**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Acoth(expr)**

Название: Гиперболический ареакотангенс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `acoth(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arcoth, arcth**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Acsch(expr)**

Название: Гиперболический ареакосеканс

Аргумент: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: `acsch(V(net1))`, комплексное

Синоним: **arcsch**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Asech(expr)**

Название: Гиперболический ареасеканс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{asech}(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **arsech**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Asinh(expr)**

Название: Гиперболический ареасинус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{asinh}(V(\text{net1}))$, комплексное

Синонимы: **arsinh, arsh**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Atanh(expr)**

Название: Гиперболический ареатангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{atanh}(V(\text{net1}))$, комплексное

Синонимы: **artanh, arth**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Cosh(expr)**

Название: Гиперболический косинус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{cosh}(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **ch**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Coth(expr)**

Название: Гиперболический котангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\coth(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **cth**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Csch(expr)**

Название: Гиперболический косеканс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{csch}(V(\text{net1}))$, комплексное

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Sech(expr)**

Название: Гиперболический секанс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{sech}(V(\text{net1}))$, комплексное

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Sinh(expr)**

Название: Гиперболический синус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\sinh(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **sh**

Раздел: Гиперболические

- Функция: **Tanh(expr)**

Название: Гиперболический тангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\tanh(V(\text{net1}))$, комплексное

Синоним: **th**

Раздел: Гиперболические

16.7.6 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.

- 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

- 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

- 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_Highpass(db(V(out)/V(input)), 6), действительное

Раздел: Измерения

- 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

- 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

- 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

- 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

- Функция: **FirstY(expression)**

Название: Ордината первой точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: FirstY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- 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

- 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

- Функция: **LastY(expression)**

Название: Ордината последней точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: LastY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- Функция: **MaxX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- Функция: **MaxY(expression)**

Название: Ордината точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- Функция: **MinX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- Функция: **MinY(expression)**

Название: Ордината точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

- 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

• 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

• 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

• 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

• 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

16.7.7 Интегральные функции

- 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

- 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

- Функция: **DDT(expr)**

Название: Численная производная по времени

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: DDT(V(out)), действительное

Раздел: Интегральные

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

16.7.8 Комплексные функции

- Функция: **Abs(expr)**

Название: Модуль или магнитуа

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Abs}(V(\text{out}))$, действительное

Синонимы: **m**, **mag**

Раздел: Комплексные

- Функция: **GD(expr)**

Название: Групповая задержка

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{GD}(V(\text{out}))$, действительное

Раздел: Комплексные

- Функция: **Im(expr)**

Название: Мнимая часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Im}(V(\text{out}))$, действительное

Синонимы: **img**, **imag**

Раздел: Комплексные

- Функция: **Mag(expr)**

Название: Магнитуа или модуль

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Mag}(V(\text{out}))$, действительное

Синонимы: **m**, **abs**

Раздел: Комплексные

- Функция: **Re(expr)**

Название: Действительная часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Re}(V(\text{out}))$, действительное

Синоним: **real**

Раздел: Комплексные

- Функция: **Ph(expr)**

Название: Фаза

Аргументы: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: Ph(V(out)), действительное

Синонимы: **phase, p, arg**

Раздел: Комплексные

16.7.9 Логарифмы и экспоненты

- 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

- Функция: **Exp(expr)**

Название: Экспонента

Аргументы: *expr* — комплексное, где *expr* — выражение

Пример: Exp(V(out)), комплексное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

- 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

- 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

- 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

- Функция: **Ln(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Ln(V(out)), комплексное

Синоним: **log**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

- Функция: **Log(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log(V(out)), комплексное

Синоним: **ln**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

- Функция: **Log10(expr)**

Название: Логарифм по основанию 10

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log10(V(out)), комплексное

Синоним: **Ig**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

- 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

- 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

- 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

- Функция: **Sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Sqrt}(V(\text{out}))$, комплексное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

16.7.10 Остальные функции

- 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: $\text{AbsDelay}(V(\text{out}), V(\sin), 10)$

Раздел: Остальные

- Функция: **Delay(expr , t)**

Название: Запаздывающее на время t значение

Аргументы: expr , t — действительное, где expr — выражение, t — запаздывание

Пример: $\text{Delay}(V(\text{out}), 1\text{e-}3)$, действительное

Раздел: Остальные

- 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: $\text{Hypot}(2, 3)$, комплексное

Раздел: Остальные

- 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: $\text{If}(V(\text{out}) > 3.3, V(n1), V(n2))$, комплексное

Раздел: Остальные

- Функция: **Impulse(x)**

Название: Импульс с заданной амплитудой и единичной площадью

Аргументы: x — действительное, где x — амплитуда импульса

Пример: $\text{Impulse}(3)$, действительное

Раздел: Остальные

- 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: $\text{Limit}(V(\text{out}), -2, 2)$, 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 $\text{Limit}(\text{expr}, 5 + i, 8 - i)$ границы будут $[5, 8] + i*[-1, 1]$

- Функция: **Max(expr1, expr2)**

Название: Максимум мнимых и действительных частей

Аргументы: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $\text{Max}(V(\text{out1}), V(\text{out2}))$, комплексное

Раздел: Остальные

- Функция: **Min(expr1, expr2)**

Название: Минимум мнимых и действительных частей

Аргументы: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 , expr2 — выражение

Пример: $\text{Min}(V(\text{out1}), V(\text{out2}))$, комплексное

Раздел: Остальные

- 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 (количество переменных должно быть равно размерности), factors — коэффициенты полинома

Пример: $\text{Poly}(2) V(\text{net1}), V(\text{net2}) 0, 1.2, 1.5, 0, 3.4, 5.8$, действительное

Раздел: Остальные

- 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: $\text{PWL}(V(\text{out}), 0, 1, 2, 4, 3, 10)$

Синоним: **table**

Раздел: Остальные

- 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: $\text{Schedule}(0, 1, 2, 4, 3, 10)$

Раздел: Остальные

- Функция: **Sgn(expr)**

Название: Сигнум

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: Sgn(V(out)), действительное

Синоним: **signum**

Раздел: Остальные

- 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

- Функция: **Stp(expr)**

Название: Единичная ступенька

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: Stp(V(out)), действительное

Синоним: **u**

Раздел: Остальные

- 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

- Функция: **U(expr)**

Название: Единичная ступенька (функция Хевисайда)

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: U(V(out)), действительное

Синоним: **stp**

Раздел: Остальные

- Функция: **URamp(expr)**

Название: Положительная часть выражения

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: URamp(V(out), 5), действительное

Раздел: Остальные

16.7.11 Случайные функции

- 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

- 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

- 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

- Функция: **BinomRnd(n, p)**

Название: Биномиально 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

- 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

- Функция: **ExpRnd(rate)**

Название: Экспоненциально распределённая случайная величина

Аргументы: rate — действительное, не ноль, где rate — интенсивность

Пример: ExpRnd(1), действительное

Раздел: Случайные

- 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

- 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

- 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

- Функция: **PoissRnd(mean)**

Название: Распределённая по Пуассону случайная величина

Аргументы: mean — действительное, где mean — математическое ожидание

Пример: PoissRnd(2.5), действительное

Раздел: Случайные

- Функция: **Rnd()**

Название: Равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: Rnd(), действительное

Раздел: Случайные

- Функция: **Rndc()**

Название: Однократно вычисляемая равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: Rndc(), действительное

Раздел: Случайные

- 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

- 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

- 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

16.7.12 Тригонометрические функции

- Функция: **Acos(expr)**

Название: Арккосинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acos(V(out)), комплексное

Синоним: **arccos**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Acot(expr)**

Название: Арккотангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acot(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccot, arcctg**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Acsc(expr)**

Название: Арккосеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acsc(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccsc, arccosec**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Asec(expr)**

Название: Арксеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Asec(V(out)), комплексное

Синонимы: **arcsec**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Asin(expr)**

Название: Арксинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Asin}(\text{V}(\text{out}))$, комплексное

Синонимы: **arcsin**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Atan(expr)**

Название: Арктангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Atan}(\text{V}(\text{out}))$, комплексное

Синонимы: **atn, arctan, arctg**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Atan2(expr1 , expr2)**

Название: Арктангенс отношения $\text{expr2}/\text{expr1}$

Аргументы: expr1 , expr2 — комплексное, где expr1 — выражение делитель, expr2 — выражение делимое

Пример: $\text{Atan2}(\text{V}(\text{in}), \text{V}(\text{out}))$, комплексное

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Cos(expr)**

Название: Косинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Cos}(2*\pi*\text{time})$, комплексное

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Cot(expr)**

Название: Котангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Cot}(\text{V}(\text{out}))$, комплексное

Синоним: **ctg**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Csc(expr)**

Название: Косеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Csc(V(out)), комплексное

Синоним: **cosec**

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Sec(expr)**

Название: Секанс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Sec(V(out)), комплексное

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Sin(expr)**

Название: Синус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Sin(5*pi*time), комплексное

Раздел: Тригонометрические

- Функция: **Tan(expr)**

Название: Тангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Tan(0.45*pi*sin(2*pi*time)), комплексное

Синоним: **tg**

Раздел: Тригонометрические

16.7.13 Функциональные преобразования

- 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

- 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

- 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

• 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

• 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

• 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

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1*s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

16.7.14 Фурье анализ

- 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.

- 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

- 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

- 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

- 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

- 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

Оконные функции и их описание представлены в [Табл. 107](#).

Таблица 107 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
sine	5	Синусное окно
bohman	6	Окно Бохмена
hann	7	Окно Хэнна
hamming	8	Окно Хэмминга
bartletthann	9	Модифицированное окно Бартлетта-Хэнна
blackman	10	Окно Блэкмена
nuttall	11	Минимальное 4-членное окно Блэкмана-Харриса, определяемое по Наттоллу
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.

17 Дополнительные возможности

17.1 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 на участок цепи и измерять напряжение, или на компонент схемы и измерять один из параметров на выбор.

Вызов инструмента «Щуп» осуществляется из главного меню «SimOne» → «Щуп», см. [Рис. 229](#).

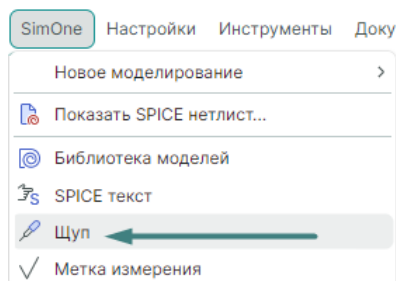


Рис. 229 Вызов инструмента «Щуп»

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. 230](#).

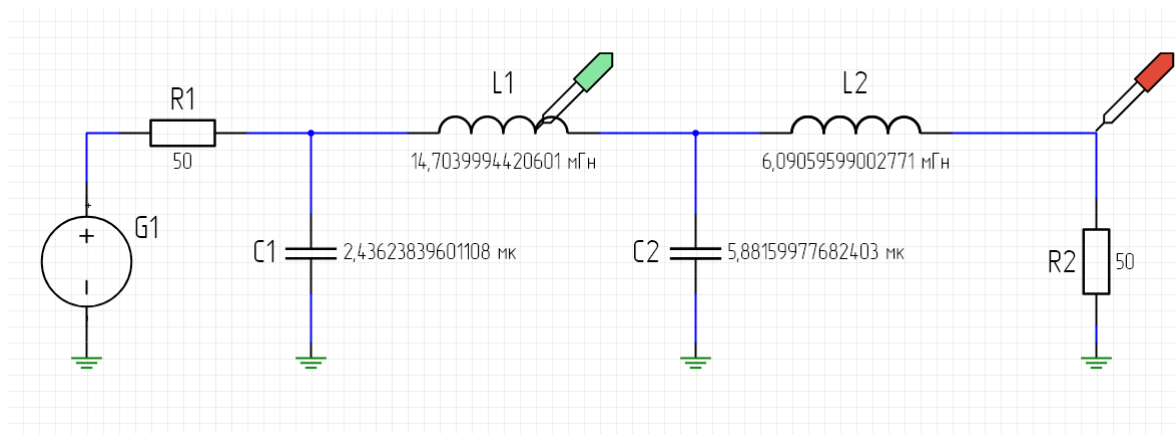


Рис. 230 Пример размещения щупов

На индуктивности L1 измерьте, например, ток I, см. [Рис. 231](#).

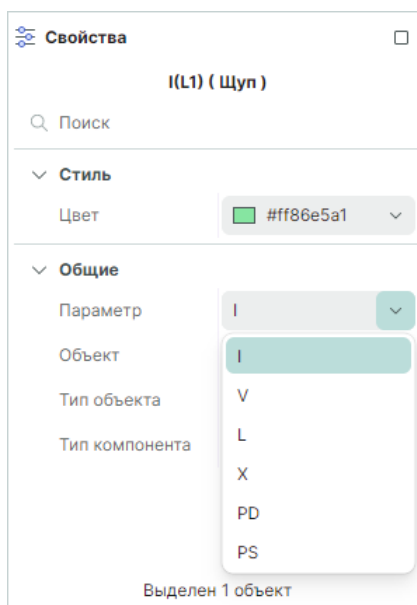


Рис. 231 Выбор измеряемого параметра на L1

А на цепи NET0002 – напряжение U, см. [Рис. 232](#).

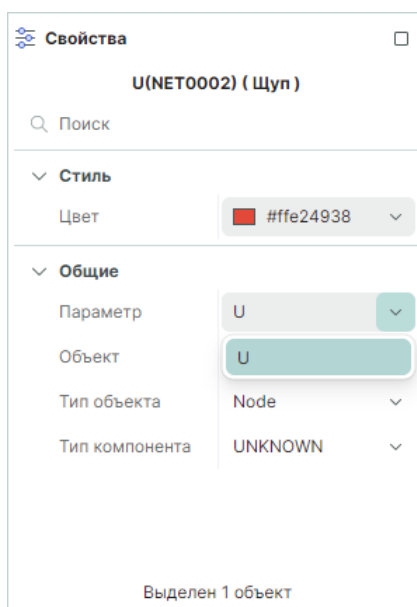


Рис. 232 Выбор измеряемого параметра на цепи NET0002

2. Сохраните и запустите симуляцию sim_ac1 выбрав в контекстном меню команду «Запустить», см. [Рис. <%HMFIGURECOUNTER%>](#).

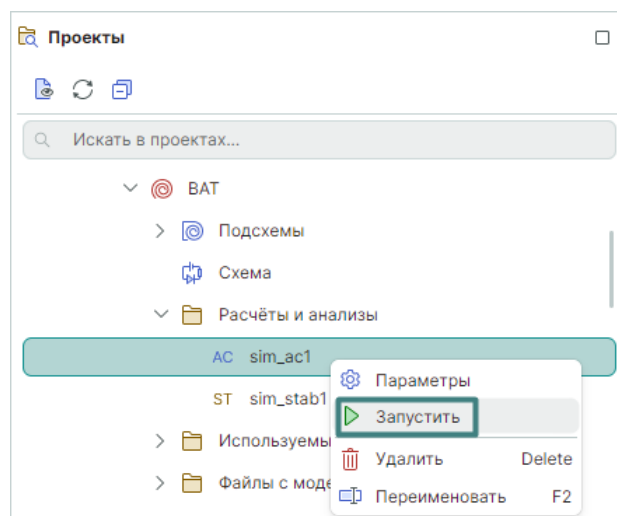


Рис. 232 Запуск симуляции *sim_ac1* из контекстного меню

3. На вкладке «Щупы» отображены графики результатов моделирования $I(L1)$ и $V(NET0002)$, см. [Рис. 233](#).

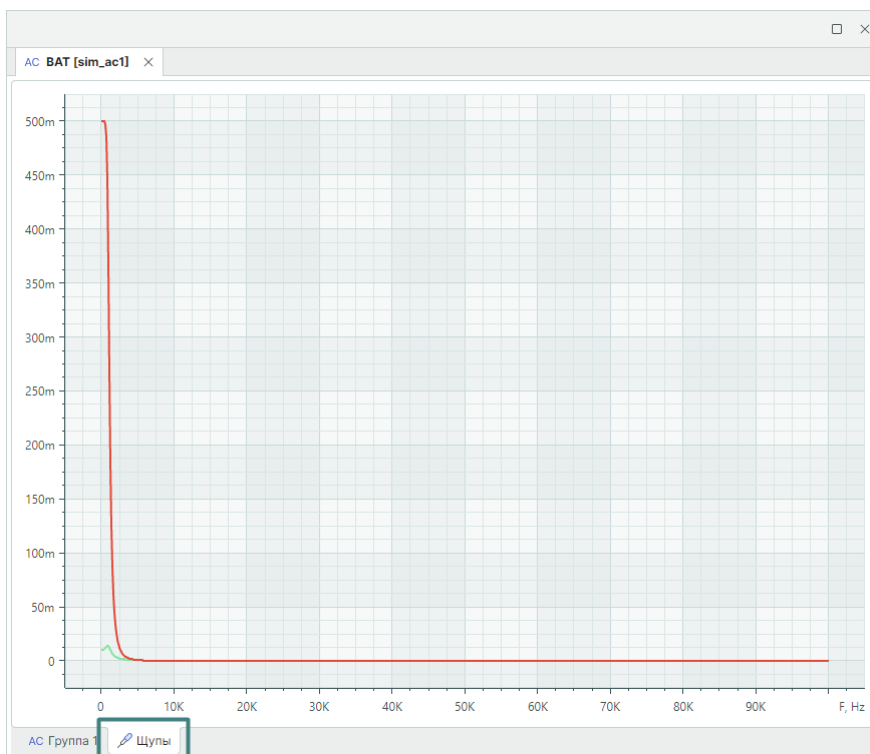


Рис. 233 Отображение графиков результатов моделирования на вкладке «Щуп»

17.2 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. 234](#).

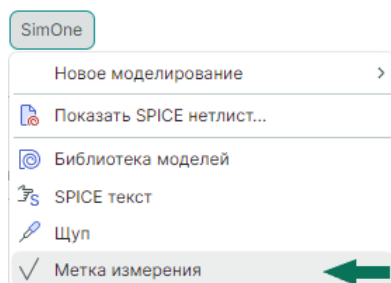


Рис. 234 Вызов инструмента «Метка измерения»

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. 235](#).

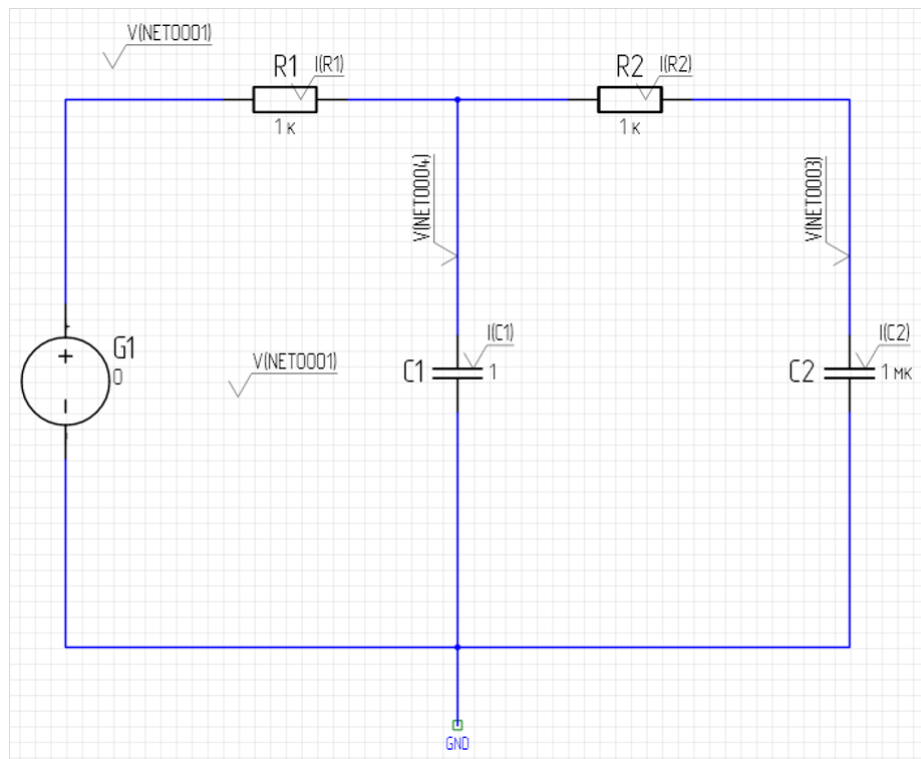


Рис. 235 Добавление меток измерения на схему

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. 236](#).

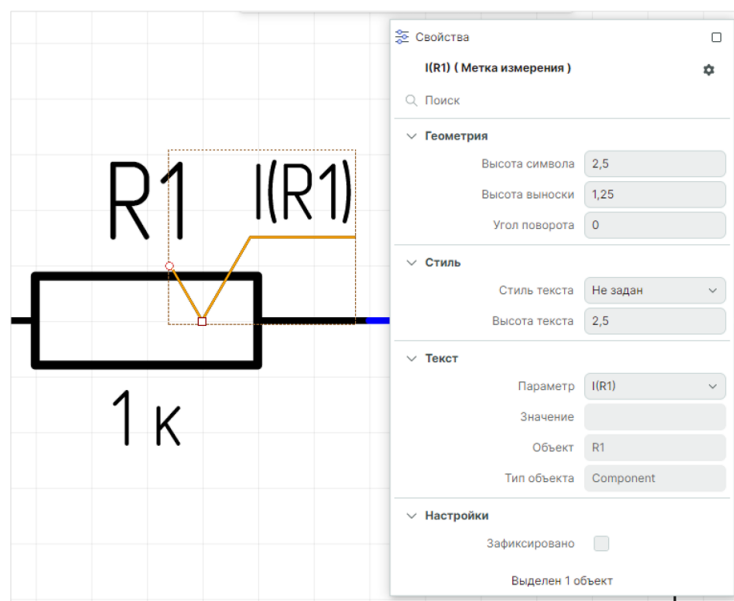


Рис. 236 Отображение параметров метки измерения

Две метки были добавлены на схему без привязки к компоненту или цепи. По умолчанию они будут отображать значение потенциала узла цепи NET0001.

2. Измените у одной из меток, размещенных без привязки к цепи или компоненту, в панели «Свойства» параметр с заданного по умолчанию на I(V1_G1), чтобы после запуска моделирования увидеть значение тока на батарее G1, см. [Рис. 237](#).

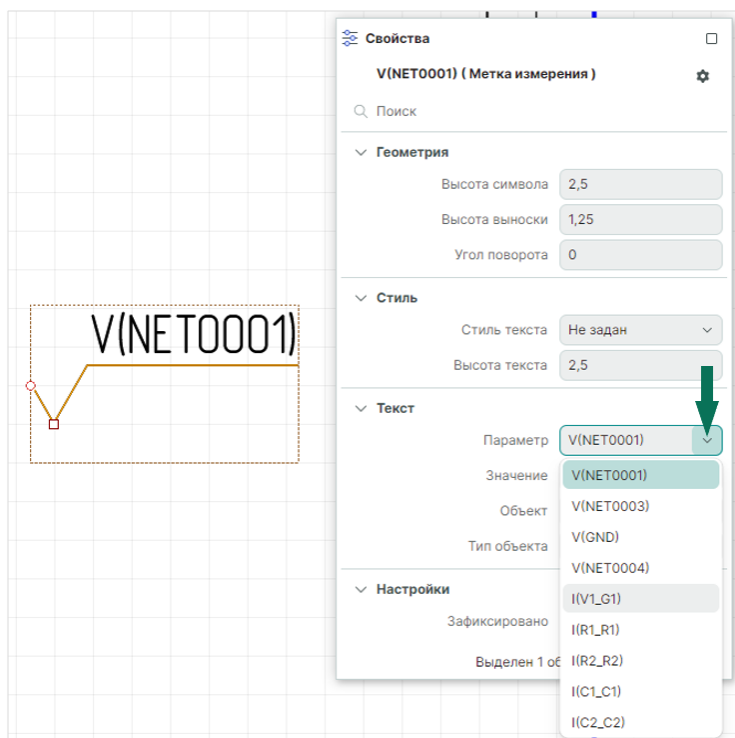


Рис. 237 Замена параметра метки измерения

Значение параметра метки будет изменено на выбранное из списка в панели «Свойства», см. [Рис. 238](#).

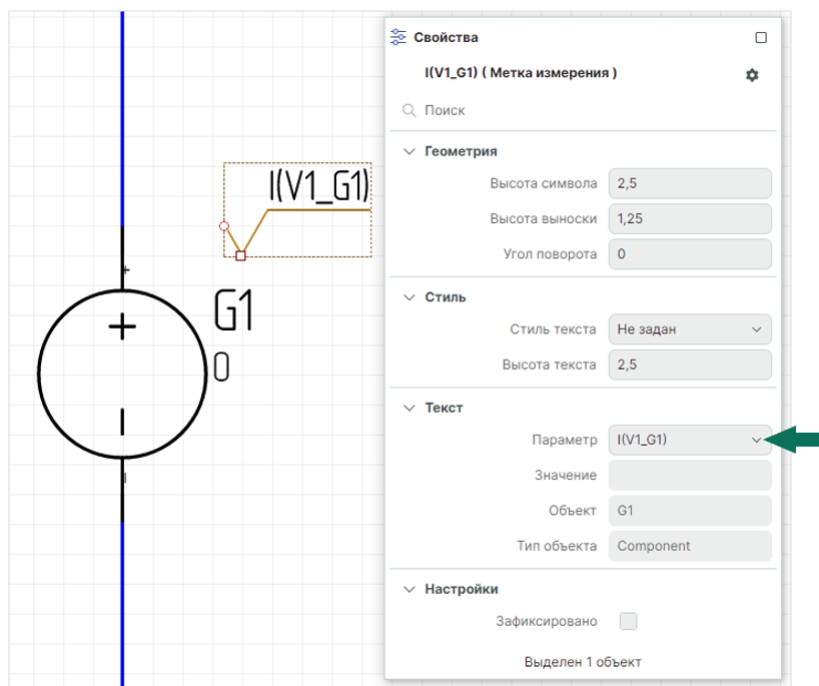


Рис. 238 Измененный параметр метки

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. 239](#).

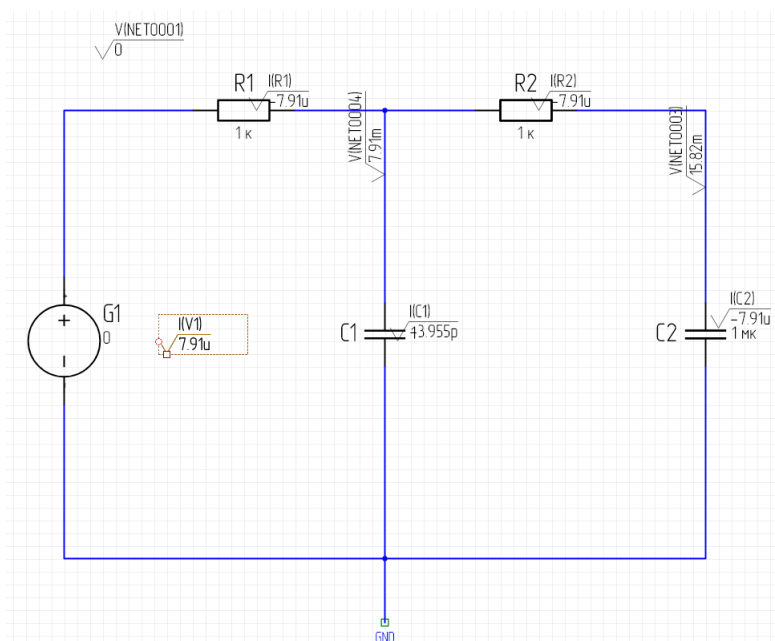


Рис. 239 Отображение рассчитанных значений параметров

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. 240](#).

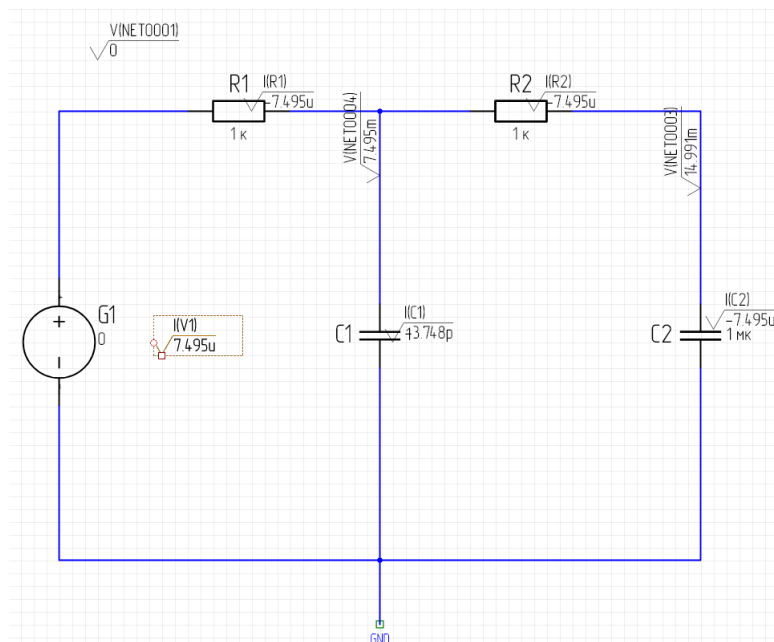


Рис. 240 Отображение рассчитанных значений параметров

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.

17.3 Просмотр результатов расчета

Delta Design SimOne в момент окончания расчета 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. 241](#).

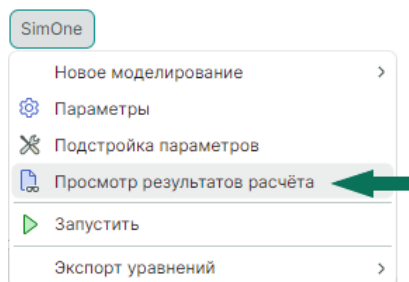


*Рис. 241 Вызов команды
«Просмотр результатов
расчета»*



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. 242](#).

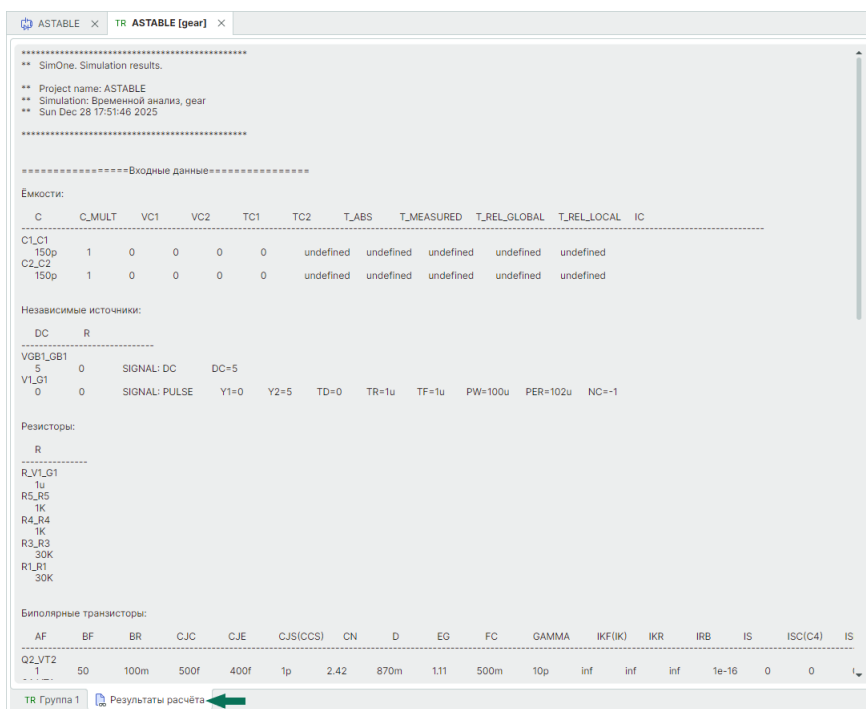


Рис. 242 Пример окна «Результаты расчета»

17.4 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. 243](#).

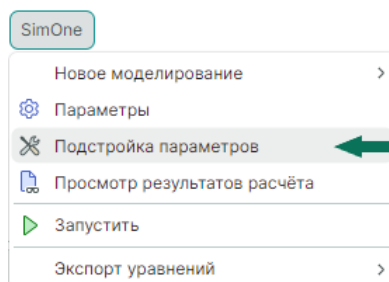


Рис. 243 Вызов панели
«Моделирование: Подстройка
параметров»

На панели «Моделирование: Подстройка параметров» отображается форма для выбора значений подстройки параметров текущей симуляции, см. [Рис. 244](#).

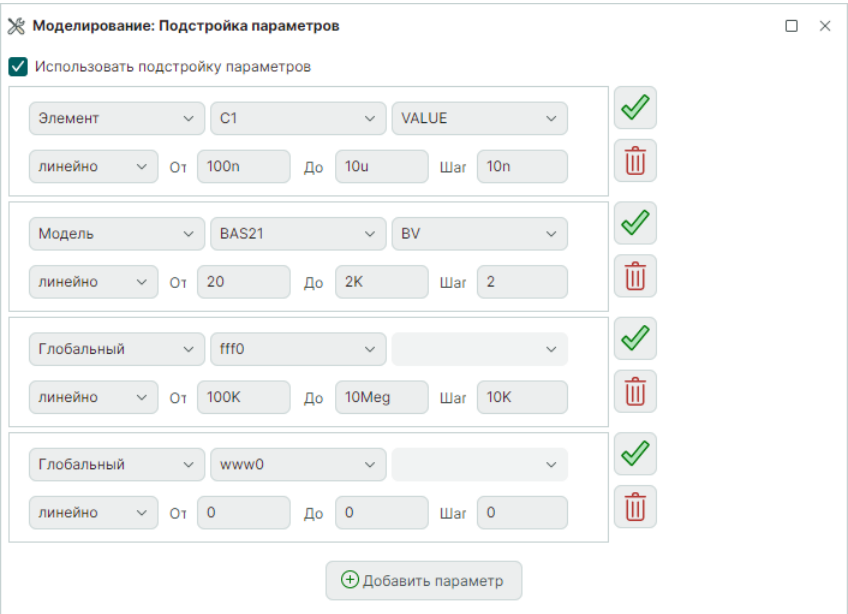


Рис. 244 Панель «Моделирование: Подстройка параметров»

В [Табл. 108](#) описаны инструменты и поля, доступные при подстройке параметров.

[Таблица 108](#) 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 значения по умолчанию, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный.	Элемент

Наименование	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.	-
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 подстроеным параметром.	-
	Удаление выделенной формы параметра.	-
 Добавить параметр	Добавление формы для ввода параметра.	-



Примечание! Если глобальный параметр задан числовым значением, система автоматически подставляет предполагаемые значения начальной и конечной границ диапазона варьирования и шаг приращения. Если же значение глобального параметра – математическое выражение, то в поля «От», «До» и «Шаг» подставляются значения 0. Изменить данные значения следует вручную.

Выход из режима подстройки параметров осуществляется закрытием панели «Моделирование: Подстройка параметров».

17.5 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. 245](#).

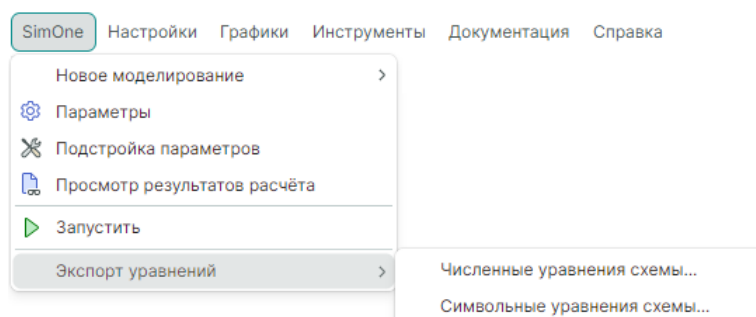


Рис. 245 Вызов команда для экспорта уравнений

При выборе вида уравнения вызывают окно проводника, в котором задаётся имя и тип экспортируемого файла.

18 Панель «Журналы»

После запуска моделирования (симуляции) в панели «Журналы» → «SimOne» отображается информация по запуску процесса моделирования, его завершению и итоговая информация по анализу.

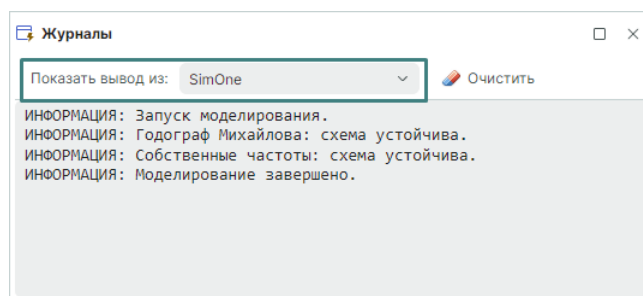


Рис. 245 Панель «Журналы»

Для удаления всех записей в журнале выберите инструмент «Очистить».

19 Приложение А. Описание моделей примитивов

19.1 Операционный усилитель

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @plus @minus @Out FULL_OPAMP RIN={RIN}
R={R} GAIN={GAIN}

Текст модели:

```
.SUBCKT FULL_OPAMP in+ in- out params: RIN=10MEG R=0 GAIN=1G
```

```
R1 in+ in- RIN
```

```
R2 0 rpin R
```

```
E1 out rpin V=GAIN*(V(in+)-V(in-))
```

```
.ENDS
```

19.2 Транзистор биполярный NPN

SPICE-префикс – Q

SPICE-шаблон – {REFDES} @C @B @E NPN_MODEL_{MODELNAME}
AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL NPN_MODEL_{MODELNAME} NPN
```

```
+(
```

```
+ AF={AF} BF={BF} BR={BR} CJC={CJC} CJE={CJE} CJS={CJS}
```

```
+ CN={CN} D={D} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA} IKF={IKF}
```

```
+ IKR={IKR} IRB={IRB} IS={IS} ISC={ISC} ISE={ISE}
```

```
+ ISS={ISS} ITF={ITF} KF={KF} MJC={MJC} MJE={MJE}
```

```
+ MJS={MJS} NC={NC} NE={NE} NF={NF} NK={NK} NR={NR} NS={NS}
```

```
+ PTF={PTF} QCO={QCO} QUASIMOD={QUASIMOD} RB={RB} RBM={RBM}  
RC={RC}
```

```
+ RCO={RCO} RE={RE} TF={TF} TR={TR} TRB1={TRB1} TRB2={TRB2}
```

```
+ TRC1={TRC1} TRC2={TRC2} TRE1={TRE1} TRE2={TRE2} TRM1={TRM1}
```

```

+ TRM2={TRM2} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VAF={VAF} VAR={VAR} VG={VG}
+ VJC={VJC} VJE={VJE} VJS={VJS} VO={VO}
+ VTF={VTF} XCJC={XCJC} XCJC2={XCJC2} XCJS={XCJS} XTB={XTB}
+ XTF={XTF} XTI={XTI}
+)
```

19.3 Транзистор биполярный NPN с выводом от подложки

SPICE-префикс – Q

SPICE-шаблон – {REFDES} @C @B @E @S
 NPN4_MODEL_{MODELNAME} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```

.MODEL NPN4_MODEL_{MODELNAME} NPN
+(
+ AF={AF} BF={BF} BR={BR} CJC={CJC} CJE={CJE} CJS={CJS}
+ CN={CN} D={D} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA} IKF={IKF}
+ IKR={IKR} IRB={IRB} IS={IS} ISC={ISC} ISE={ISE}
+ ISS={ISS} ITF={ITF} KF={KF} MJC={MJC} MJE={MJE}
+ MJS={MJS} NC={NC} NE={NE} NF={NF} NK={NK} NR={NR} NS={NS}
+ PTF={PTF} QCO={QCO} QUASIMOD={QUASIMOD} RB={RB} RBM={RBM}
RC={RC}
+ RCO={RCO} RE={RE} TF={TF} TR={TR} TRB1={TRB1} TRB2={TRB2}
+ TRC1={TRC1} TRC2={TRC2} TRE1={TRE1} TRE2={TRE2} TRM1={TRM1}
+ TRM2={TRM2} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VAF={VAF} VAR={VAR} VG={VG}
+ VJC={VJC} VJE={VJE} VJS={VJS} VO={VO}
+ VTF={VTF} XCJC={XCJC} XCJC2={XCJC2} XCJS={XCJS} XTB={XTB}
+ XTF={XTF} XTI={XTI}
+)
```

19.4 Транзистор биполярный PNP

SPICE-префикс – Q

SPICE-шаблон – {REFDES} @C @B @E PNP_MODEL_{MODELNAME}
AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL PNP_MODEL_{MODELNAME} PNP
+(
+ AF={AF} BF={BF} BR={BR} CJC={CJC} CJE={CJE} CJS={CJS}
+ CN={CN} D={D} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA} IKF={IKF}
+ IKR={IKR} IRB={IRB} IS={IS} ISC={ISC} ISE={ISE}
+ ISS={ISS} ITF={ITF} KF={KF} MJC={MJC} MJE={MJE}
+ MJS={MJS} NC={NC} NE={NE} NF={NF} NK={NK} NR={NR} NS={NS}
+ PTF={PTF} QCO={QCO} QUASIMOD={QUASIMOD} RB={RB} RBM={RBM}
RC={RC}
+ RCO={RCO} RE={RE} TF={TF} TR={TR} TRB1={TRB1} TRB2={TRB2}
+ TRC1={TRC1} TRC2={TRC2} TRE1={TRE1} TRE2={TRE2} TRM1={TRM1}
+ TRM2={TRM2} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VAF={VAF} VAR={VAR} VG={VG}
+ VJC={VJC} VJE={VJE} VJS={VJS} VO={VO}
+ VTF={VTF} XCJC={XCJC} XCJC2={XCJC2} XCJS={XCJS} XTB={XTB}
+ XTF={XTF} XTI={XTI}
+)
```

19.5 Транзистор биполярный PNP с выводом от подложки

SPICE-префикс – Q

SPICE-шаблон – {REFDES} @C @B @E @S
PNP4_MODEL_{MODELNAME} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL PNP4_MODEL_{MODELNAME} PNP
```



```

+(
+ AF={AF} BF={BF} BR={BR} CJC={CJC} CJE={CJE} CJS={CJS}
+ CN={CN} D={D} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA} IKF={IKF}
+ IKR={IKR} IRB={IRB} IS={IS} ISC={ISC} ISE={ISE}
+ ISS={ISS} ITF={ITF} KF={KF} MJC={MJC} MJE={MJE}
+ MJS={MJS} NC={NC} NE={NE} NF={NF} NK={NK} NR={NR} NS={NS}
+ PTF={PTF} QCO={QCO} QUASIMOD={QUASIMOD} RB={RB} RBM={RBM}
RC={RC}
+ RCO={RCO} RE={RE} TF={TF} TR={TR} TRB1={TRB1} TRB2={TRB2}
+ TRC1={TRC1} TRC2={TRC2} TRE1={TRE1} TRE2={TRE2} TRM1={TRM1}
+ TRM2={TRM2} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VAF={VAF} VAR={VAR} VG={VG}
+ VJC={VJC} VJE={VJE} VJS={VJS} VO={VO}
+ VTF={VTF} XCJC={XCJC} XCJC2={XCJC2} XCJS={XCJS} XTB={XTB}
+ XTF={XTF} XTI={XTI}
+)

```

19.6 Транзистор МОП с каналом N-типа

SPICE-префикс – M

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S @S
 NMOS_MODEL_{MODELNAME} LEVEL={LEVEL} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```

.MODEL NMOS_MODEL_{MODELNAME} NMOS
+(
+ LEVEL={LEVEL}
+ AD={AD} AF={AF} AS={AS} CBD={CBD} CBS={CBS} CGBO={CGBO}
CGDO={CGDO} CGSO={CGSO}
+ CJ={CJ} CJSW={CJSW} DELTA={DELTA} ETA={ETA} FC={FC}
GAMMA={GAMMA} GDSNOI={GDSNOI}

```

+ IS={IS} JS={JS} JSSW={JSSW} KAPPA={KAPPA} KF={KF} KP={KP} L={L}
 LAMBDA={LAMBDA} LD={LD}

+ M={M} MJ={MJ} MJSW={MJSW} N={N} NEFF={NEFF} NFS={NFS}
 NLEV={NLEV} NRB={NRB} NRD={NRD}

+ NRG={NRG} NRS={NRS} NSS={NSS} NSUB={NSUB} PB={PB}
 PBSW={PBSW} PD={PD} PHI={PHI} PS={PS}

+ RB={RB} RD={RD} RDS={RDS} RG={RG} RS={RS} RSH={RSH}
 THETA={THETA} TOX={TOX} TPG={TPG}

+ TT={TT} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
 T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}

+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} UCRIT={UCRIT} UEXP={UEXP}
 UO={UO} UTRA={UTRA} VMAX={VMAX}

+ VTO={VTO} WD={WD} XJ={XJ} XQC={XQC}

+ A0={A0} A1={A1} A2={A2} ACMMOD={ACMMOD}
 ACNQSMOD={ACNQSMOD} ACDE={ACDE}

+ AGS={AGS} ALPHA0={ALPHA0} ALPHA1={ALPHA1} AT={AT} B0={B0}
 B1={B1} BETA0={BETA0}

+ BINUNIT={BINUNIT} CAPMOD={CAPMOD} CDSC={CDSC}
 CDSCB={CDSCB} CDSCD={CDSCD} CF={CF}

+ CGDL={CGDL} CGSL={CGSL} CIT={CIT} CJSWG={CJSWG}
 CKAPPA={CKAPPA} CLC={CLC} CLE={CLE}

+ DLC={DLC} DROUT={DROUT} DSUB={DSUB} DVT0={DVT0}
 DVT0W={DVT0W} DVT1={DVT1} DVT1W={DVT1W}

+ DVT2={DVT2} DVT2W={DVT2W} DWB={DWB} DWC={DWC}
 DWG={DWG} EF={EF} ELM={ELM} EM={EM}

+ ETA0={ETA0} ETAB={ETAB} GAMMA1={GAMMA1} GAMMA2={GAMMA2}
 IJTH={IJTH} K1={K1} K2={K2}

+ K3={K3} K3B={K3B} KETA={KETA} KT1={KT1} KT1L={KT1L} KT2={KT2}
 LINT={LINT} LINTNOI={LINTNOI}

+ LL={LL} LLC={LLC} LLN={LLN} LW={LW} LWC={LWC} LWL={LWL}
 LWLC={LWLC} LWN={LWN} LA0={LA0}

+ LA1={LA1} LA2={LA2} LACDE={LACDE} LAGS={LAGS}
 LALPHA0={LALPHA0} LALPHA1={LALPHA1} LAT={LAT}

+ LB0={LB0} LB1={LB1} LBETA0={LBETA0} LCDSC={LCDSC}
 LCDSCB={LCDSCB} LCDSCD={LCDSCD} LCF={LCF}

+ LCGDL={LCGDL} LCGSL={LCGSL} LCIT={LCIT} LCKAPPA={LCKAPPA}
 LCLC={LCLC} LCLE={LCLE}

+ LDELTA={LDELTA} LDROUT={LDROUT} LDSUB={LDSUB}
 LDVT0={LDVT0} LDVT0W={LDVT0W} LDVT1={LDVT1}
 + LDVT1W={LDVT1W} LDVT2={LDVT2} LDVT2W={LDVT2W}
 LDWB={LDWB} LDWG={LDWG} LELM={LELM}
 + LETA0={LETA0} LETAB={LETAB} LKETA={LKETA} LK3={LK3}
 LK3B={LK3B} LKT1={LKT1} LKT1L={LKT1L}
 + LKT2={LKT2} LMOIN={LMOIN} LNCH={LNCH} LNFACTOR={LNFACTOR}
 LNGATE={LNGATE} LNLX={LNLX}
 + LNSUB={LNSUB} LNOFF={LNOFF} LPCLM={LPCLM} LPDIBL1={LPDIBL1}
 LPDIBL2={LPDIBL2}
 + LPDIBLB={LPDIBLB} LPRT={LPRT} LPRWB={LPRWB} LPRWG={LPRWG}
 LPSCBE1={LPSCBE1} LPSCBE2={LPSCBE2}
 + LPVAG={LPVAG} LRDSW={LRDSW} LU0={LU0} LUA={LUA} LUA1={LUA1}
 LUB={LUB} LUB1={LUB1} LUC={LUC}
 + LUC1={LUC1} LUTE={LUTE} LVBM={LVBM} LVFB={LVFB}
 LVFBCV={LVFBCV} LVOFF={LVOFF}
 + LVOFFCV={LVOFFCV} LVSAT={LVSAT} LVTH0={LVTH0} LW0={LW0}
 LWR={LWR} LXJ={LXJ} LXT={LXT}
 + MJSWG={MJSWG} MOBMOD={MOBMOD} NQSMOD={NQSMOD}
 MOIN={MOIN} NCH={NCH} NFACTOR={NFACTOR}
 + NGATE={NGATE} NJ={NJ} NLX={NLX} NOFF={NOFF} NOIA={NOIA}
 NOIB={NOIB} NOIC={NOIC} PBSWG={PBSWG}
 + PCLM={PCLM} PDIBL1={PDIBL1} PDIBL2={PDIBL2} PDIBLB={PDIBLB}
 PRT={PRT} PRWB={PRWB} PRWG={PRWG}
 + PSCBE1={PSCBE1} PSCBE2={PSCBE2} PVAG={PVAG} PA0={PA0}
 PA1={PA1} PA2={PA2} PACDE={PACDE}
 + PAGS={PAGS} PALPHA0={PALPHA0} PALPHA1={PALPHA1} PAT={PAT}
 PB0={PB0} PB1={PB1} PBETA0={PBETA0}
 + PCDSC={PCDSC} PCDSCB={PCDSCB} PCDSCD={PCDSCD} PCF={PCF}
 PCGDL={PCGDL} PCGSL={PCGSL} PCIT={PCIT}
 + PCKAPPA={PCKAPPA} PCLC={PCLC} PCLE={PCLE} PDELTA={PDELTA}
 PDROUT={PDROUT} PDSUB={PDSUB}
 + PDVT0={PDVT0} PDVT0W={PDVT0W} PDVT1={PDVT1}
 PDVT1W={PDVT1W} PDVT2={PDVT2} PDVT2W={PDVT2W}
 + PDWB={PDWB} PDWG={PDWG} PELM={PELM} PETA0={PETA0}
 PETAB={PETAB} PKETA={PKETA} PK3={PK3}

+ PK3B={PK3B} PKT1={PKT1} PKT1L={PKT1L} PKT2={PKT2}
 PMOIN={PMOIN} PNCH={PNCH} PNGATE={PNGATE}

+ PNLX={PNLX} PNSUB={PNSUB} PNFACTOR={PNFACTOR}
 PNOFF={PNOFF} PPCLM={PPCLM} PPDIBL1={PPDIBL1}

+ PPDIBL2={PPDIBL2} PPDIBLB={PPDIBLB} PPRT={PPRT}
 PPRWB={PPRWB} PPRWG={PPRWG} PPSCBE1={PPSCBE1}

+ PPSCBE2={PPSCBE2} PPVAG={PPVAG} PRDSW={PRDSW} PU0={PU0}
 PUA={PUA} PUA1={PUA1} PUB={PUB}

+ PUB1={PUB1} PUC={PUC} PUC1={PUC1} PUTE={PUTE} PVBM={PVBM}
 PVFB={PVFB} PVFBCV={PVFBCV}

+ PVOFF={PVOFF} PVOFFCV={PVOFFCV} PVSAT={PVSAT}
 PVTH0={PVTH0} PW0={PW0} PWR={PWR} PXJ={PXJ}

+ PXT={PXT} RDSW={RDSW} TCJ={TCJ} TCJSW={TCJSW}
 TCJSWG={TCJSWG} TNOM={TNOM} TOXM={TOXM}

+ TPB={TPB} TPBSW={TPBSW} TPBSWG={TPBSWG} UA={UA}
 UA1={UA1} UB={UB} UB1={UB1} UC={UC} UC1={UC1}

+ UTE={UTE} VBM={VBM} VBX={VBX} VFB={VFB} VFBCV={VFBCV}
 VOFF={VOFF} VOFFCV={VOFFCV} VSAT={VSAT}

+ W0={W0} WINT={WINT} WL={WL} WLC={WLC} WLN={WLN} WR={WR}
 WW={WW} WWC={WWC} WWL={WWL} WWN={WWN}

+ WWLC={WWLC} WA0={WA0} WA1={WA1} WA2={WA2}
 WACDE={WACDE} WAGS={WAGS} WALPHA0={WALPHA0}

+ WALPHA1={WALPHA1} WAT={WAT} WB0={WB0} WB1={WB1}
 WBETA0={WBETA0} WCDSC={WCDSC} WCDSCB={WCDSCB}

+ WCDSCD={WCDSCD} WCF={WCF} WCGDL={WCGDL}
 WCGSL={WCGSL} WCIT={WCIT} WCKAPPA={WCKAPPA}

+ WCLC={WCLC} WCLE={WCLE} WDELTA={WDELTA}
 WDROUT={WDROUT} WDSUB={WDSUB} WDVTO={WDVTO}

+ WDVTOW={WDVTOW} WDVTO1={WDVTO1} WDVTO1W={WDVTO1W}
 WDVTO2={WDVTO2} WDVTO2W={WDVTO2W} WDWB={WDWB}

+ WDWG={WDWG} WELM={WELM} WETA0={WETA0} WETAB={WETAB}
 WKETA={WKETA} WK3={WK3} WK3B={WK3B}

+ WKT1={WKT1} WKT1L={WKT1L} WKT2={WKT2} WMOIN={WMOIN}
 WNCH={WNCH} WNFACTOR={WNFACTOR}

+ WNGATE={WNGATE} WNLX={WNLX} WNSUB={WNSUB}
 WNOFF={WNOFF} WPCLM={WPCLM} WPDIBL1={WPDIBL1}

+ WPDIBL2={WPDIBL2} WPDIBLB={WPDIBLB} WPRT={WPRT}
 WPRWB={WPRWB} WPRWG={WPRWG} WPSCBE1={WPSCBE1}

+ WPSCBE2={WPSCBE2} WPVAG={WPVAG} WRDSW={WRDSW}
 WU0={WU0} WUA={WUA} WUA1={WUA1} WUB={WUB}

+ WUB1={WUB1} WUC={WUC} WUC1={WUC1} WUTE={WUTE}
 WVBM={WVBM} WVFB={WVFB} WVFBCV={WVFBCV}

+ WVOFF={WVOFF} WVOFFCV={WVOFFCV} WVSAT={WVSAT}
 WVTH0={WVTH0} WW0={WW0} WWR={WWR} WXJ={WXJ}

+ WXT={WXT} XPART={XPART} XT={XT}

+ ADOS={ADOS} AGIDL={AGIDL} AGISL={AGISL} AIGBACC={AIGBACC}
 AIGBINV={AIGBINV} AIGC={AIGC}

+ AIGD={AIGD} AIGS={AIGS} AIGSD={AIGSD} BDOS={BDOS}
 BG0SUB={BG0SUB} BGIDL={BGIDL} BGISL={BGISL}

+ BIGBACC={BIGBACC} BIGBINV={BIGBINV} BIGC={BIGC} BIGD={BIGD}
 BIGS={BIGS} BIGSD={BIGSD}

+ BVD={BVD} BVS={BVS} CGIDL={CGIDL} CGISL={CGISL}
 CIGBACC={CIGBACC} CIGBINV={CIGBINV}

+ CIGC={CIGC} CIGD={CIGD} CIGS={CIGS} CIGSD={CIGSD} CJD={CJD}
 CJS={CJS} CJSWD={CJSWD}

+ CJSWGD={CJSWGD} CJSWGS={CJSWGS} CJSWS={CJSWS}
 CKAPPAD={CKAPPAD} CKAPPAS={CKAPPAS}

+ CVCHARGEMOD={CVCHARGEMOD} DELVTO={DELVTO}
 DIOMOD={DIOMOD} DLCIG={DLCIG} DLCIGD={DLCIGD}

+ DMCG={DMCG} DMC GT={DMC GT} DMCI={DMCI} DMDG={DMDG}
 DTOX={DTOX} DVTP0={DVTP0} DVTP1={DVTP1}

+ DVTP2={DVTP2} DVTP3={DVTP3} DVTP4={DVTP4} DVTP5={DVTP5}
 DWJ={DWJ} EASUB={EASUB} EGIDL={EGIDL}

+ EGISL={EGISL} EIGBINV={EIGBINV} EOT={EOT}
 EPSRGATE={EPSRGATE} EPSROX={EPSROX}

+ EPSRSUB={EPSRSUB} EU={EU} FGIDL={FGIDL} FGISL={FGISL}
 FNOIMOD={FNOIMOD} FPROUT={FPROUT}

+ GBMIN={GBMIN} GEOMOD={GEOMOD} GIDLCLAMP={GIDLCLAMP}
 GIDLMOD={GIDLMOD} ICVBS={ICVBS}

+ ICVDS={ICVDS} ICVGS={ICVGS} IDOVVDSC={IDOVVDSC}
 IGBMOD={IGBMOD} IGC MOD={IGC MOD}

+ IJTHDFWD={IJTHDFWD} IJTHDREV={IJTHDREV}
 IJTHSFWD={IJTHSFWD} IJTHSREV={IJTHSREV} JSD={JSD}

+ JSS={JSS} JSWD={JSWD} JSWGD={JSWGD} JSWGS={JSWGS}
 JSWS={JSWS} JTSD={JTSD} JTSS={JTSS}

+ JTSSWD={JTSSWD} JTSSWGD={JTSSWGD} JTSSWGS={JTSSWGS}
 JTSSWS={JTSSWS} JTWEFF={JTWEFF}

+ K2WE={K2WE} KGIDL={KGIDL} KGISL={KGISL} KU0={KU0}
 KU0WE={KU0WE} KVSAT={KVSAT} KVTH0={KVTH0}

+ KVTH0WE={KVTH0WE} LAGIDL={LAGIDL} LAGISL={LAGISL}
 LAIGBACC={LAIGBACC} LAIGBINV={LAIGBINV}

+ LAIGC={LAIGC} LAIGD={LAIGD} LAIGS={LAIGS} LAIGSD={LAIGSD}
 LBGIDL={LBGIDL} LBGISL={LBGISL}

+ LBIGBACC={LBIGBACC} LBIGBINV={LBIGBINV} LBIGC={LBIGC}
 LBIGD={LBIGD} LBIGS={LBIGS}

+ LBIGSD={LBIGSD} LC={LC} LCGIDL={LCGIDL} LCGISL={LCGISL}
 LCIGBACC={LCIGBACC}

+ LCIGBINV={LCIGBINV} LCIGC={LCIGC} LCIGD={LCIGD} LCIGS={LCIGS}
 LCIGSD={LCIGSD}

+ LCKAPPAD={LCKAPPAD} LCKAPPAS={LCKAPPAS} LDVTP0={LDVTP0}
 LDVTP1={LDVTP1} LDVTP2={LDVTP2}

+ LDVTP3={LDVTP3} LDVTP4={LDVTP4} LDVTP5={LDVTP5}
 LEFFEOT={LEFFEOT} LEGIDL={LEGIDL}

+ LEGISL={LEGISL} LEIGBINV={LEIGBINV} LEU={LEU} LFGIDL={LFGIDL}
 LFGISL={LFGISL} LFPROUT={LFPROUT}

+ LGAMMA1={LGAMMA1} LGAMMA2={LGAMMA2} LK1={LK1} LK2={LK2}
 LK2WE={LK2WE} LKGIDL={LKGIDL}

+ LKGISL={LKGISL} LKU0={LKU0} LKU0WE={LKU0WE} LKVTH0={LKVTH0}
 LKVTH0WE={LKVTH0WE}

+ LLAMBDA={LLAMBDA} LLODKU0={LLODKU0} LLODVTH={LLODVTH}
 LLP={LLP} LLPE0={LLPE0} LLPEB={LLPEB}

+ LMAX={LMAX} LMIN={LMIN} LMINV={LMINV} LMINVCV={LMINVCV}
 LNDEP={LNDEP} LNIGBACC={LNIGBACC}

+ LNIGBINV={LNIGBINV} LNIGC={LNIGC} LNSD={LNSD} LNTOX={LNTOX}
 LODETA0={LODETA0} LODK2={LODK2}

+ LP={LP} LPDITS={LPDITS} LPDITS= {LPDITS} LPE0={LPE0}
 LPEB={LPEB} LPHIN={LPHIN} LPIGCD={LPIGCD}

+ LPOXEDGE={LPOXEDGE} LRDW={LRDW} LRGIDL={LRGIDL}
 LRGISL={LRGISL} LRSW={LRSW} LTETA0={LTETA0}

```

+      LTNFACTOR={LTNFACTOR}      LTVFBSDOFF={LTVFBSDOFF}
LTVOFF={LTVOFF} LTVOFFCV={LTVOFFCV} LUCS={LUCS}

+      LUCSTE={LUCSTE} LUD={LUD} LUD1={LUD1} LUP={LUP} LVBX={LVBX}
LVFBSDOFF={LVFBSDOFF} LVTHO={LVTHO}

+      LVTL={LVTL} LXN={LXN} LXRCRG1={LXRCRG1} LXRCRG2={LXRCRG2}
MIN_DS={MIN_DS} MINV={MINV}

+      MINVCV={MINVCV} MJD={MJD} MJS={MJS} MJSWD={MJSWD}
MJSWGD={MJSWGD} MJSWGS={MJSWGS} MJSWS={MJSWS}

+      MTRLCOMPATMOD={MTRLCOMPATMOD} MTRLMOD={MTRLMOD}
NDEP={NDEP} NF={NF} NGCON={NGCON}

+      NI0SUB={NI0SUB} NIGBACC={NIGBACC} NIGBINV={NIGBINV}
NIGC={NIGC} NJD={NJD} NJS={NJS} NJTS={NJTS}

+      NJTSD={NJTSD} NJTSSW={NJTSSW} NJTSSWD={NJTSSWD}
NJTSSWG={NJTSSWG} NJTSSWGD={NJTSSWGD} NSD={NSD}

+      NTNOI={NTNOI} NTOX={NTOX} OFF={OFF} PAGIDL={PAGIDL}
PAGISL={PAGISL} PAIGBACC={PAIGBACC}

+      PAIGBINV={PAIGBINV} PAIGC={PAIGC} PAIGD={PAIGD} PAIGS={PAIGS}
PAIGSD={PAIGSD} PBD={PBD}

+      PBGIDL={PBGIDL} PBGISL={PBGISL} PBIGBACC={PBIGBACC}
PBIGBINV={PBIGBINV} PBIGC={PBIGC}

+      PBIGD={PBIGD} PBIGS={PBIGS} PBIGSD={PBIGSD} PBS={PBS}
PBSWD={PBSWD} PBSWGD={PBSWGD}

+      PBSWGS={PBSWGS} PBSWS={PBSWS} PCGIDL={PCGIDL}
PCGISL={PCGISL} PCIGBACC={PCIGBACC}

+      PCIGBINV={PCIGBINV} PCIGC={PCIGC} PCIGD={PCIGD}
PCIGS={PCIGS} PCIGSD={PCIGSD}

+      PCKAPPAD={PCKAPPAD} PCKAPPAS={PCKAPPAS} PDITS={PDITS}
PDITSD={PDITSD} PDITSL={PDITSL}

+      PDVTP0={PDVTP0} PDVTP1={PDVTP1} PDVTP2={PDVTP2}
PDVTP3={PDVTP3} PDVTP4={PDVTP4} PDVTP5={PDVTP5}

+      PEGIDL={PEGIDL} PEGISL={PEGISL} PEIGBINV={PEIGBINV}
PERMOD={PERMOD} PEU={PEU} PFGIDL={PFGIDL}

+      PFGISL={PFGISL} PFPROUT={PFPROUT} PGAMMA1={PGAMMA1}
PGAMMA2={PGAMMA2} PHIG={PHIG} PHIN={PHIN}

+      PIGCD={PIGCD} PK1={PK1} PK2={PK2} PK2WE={PK2WE}
PKGIDL={PKGIDL} PKGISL={PKGISL} PKU0={PKU0}

```

+ PKU0WE={PKU0WE} PKVTH0={PKVTH0} PKVTH0WE={PKVTH0WE}
 PLAMBDA={PLAMBDA} PLP={PLP} PLPE0={PLPE0}

+ PLPEB={PLPEB} PMINV={PMINV} PMINVCV={PMINVCV}
 PNDEP={PNDEP} PNIGBACC={PNIGBACC}

+ PNIGBINV={PNIGBINV} PNIGC={PNIGC} PNSD={PNSD}
 PNTOX={PNTOX} POXEDGE={POXEDGE} PPDITS={PPDITS}

+ PPDITSD={PPDITSD} PPHIN={PPHIN} PPIGCD={PPIGCD}
 PPOXEDGE={PPOXEDGE} PRDW={PRDW} PRGIDL={PRGIDL}

+ PRGISL={PRGISL} PRSW={PRSW} PTETA0={PTETA0}
 PTNFACTOR={PTNFACTOR} PTVFBSDOFF={PTVFBSDOFF}

+ PTVOFF={PTVOFF} PTVOFFCV={PTVOFFCV} PUCS={PUCS}
 PUCSTE={PUCSTE} PUD={PUD} PUD1={PUD1} PUP={PUP}

+ PVBX={PVBX} PVFBSDOFF={PVFBSDOFF} PVTHO={PVTHO}
 PVTL={PVTL} PXN={PXN} PXRCRG1={PXRCRG1}

+ PXRCRG2={PXRCRG2} RBDB={RBDB} RBDBX0={RBDBX0}
 RBDBY0={RBDBY0} RBODYMOD={RBODYMOD} RBPB={RBPB}

+ RBPBX0={RBPBX0} RBPBXL={RBPBXL} RBPBXNF={RBPBXNF}
 RBPBXW={RBPBXW} RBPBY0={RBPBY0} RBPBYL={RBPBYL}

+ RBPBYNF={RBPBYNF} RBPBYW={RBPBYW} RBPD={RBPD}
 RBPD0={RBPD0} RBPDL={RBPDL} RBPDNF={RBPDNF}

+ RBPDW={RBPDW} RBPS={RBPS} RBPS0={RBPS0} RBPSL={RBPSL}
 RBPSNF={RBPSNF} RBPSW={RBPSW} RBSB={RBSB}

+ RBSBX0={RBSBX0} RBSBY0={RBSBY0} RBSDBXL={RBSDBXL}
 RBSDBXNF={RBSDBXNF} RBSDBXW={RBSDBXW}

+ RBSDBYL={RBSDBYL} RBSDBYNF={RBSDBYNF}
 RBSDBYW={RBSDBYW} RDSMOD={RDSMOD} RDSWMIN={RDSWMIN}

+ RDW={RDW} RDWMIN={RDWMIN} RGATEMOD={RGATEMOD}
 RGEOMOD={RGEOMOD} RGIDL={RGIDL} RGISL={RGISL}

+ RNOIA={RNOIA} RNOIB={RNOIB} RNOIC={RNOIC} RSHG={RSHG}
 RSW={RSW} RSWMIN={RSWMIN} SA={SA}

+ SAREF={SAREF} SB={SB} SBREF={SBREF} SC={SC} SCA={SCA}
 SCB={SCB} SCC={SCC} SCREF={SCREF} SD={SD}

+ STETA0={STETA0} STK2={STK2} TBGASUB={TBGASUB}
 TBGBSUB={TBGBSUB} TEMPEOT={TEMPEOT}

+ TEMPMOD={TEMPMOD} TETA0={TETA0} TKU0={TKU0}
 TNFACTOR={TNFACTOR} TNJTS={TNJTS} TNJTSD={TNJTSD}

+ TNJTSSW={TNJTSSW} TNJTSSWD={TNJTSSWD}
 TNJTSSWG={TNJTSSWG} TNJTSSWGD={TNJTSSWGD} TNOIA={TNOIA}

+ TNOIB={TNOIB} TNOIC={TNOIC} TNOIMOD={TNOIMOD} TOXE={TOXE}
 TOXP={TOXP} TOXREF={TOXREF}

+ TRNQSMOD={TRNQSMOD} TVFBSDOFF={TVFBSDOFF}
 TVOFF={TVOFF} TVOFFCV={TVOFFCV} U0={U0} UCS={UCS}

+ UCSTE={UCSTE} UD={UD} UD1={UD1} UP={UP} VDDEOT={VDDEOT}
 VFBSDOFF={VFBSDOFF} VOFFCVL={VOFFCVL}

+ VOFFL={VOFFL} VTH0={VTH0} VTHO={VTHO} VTL={VTL} VTSD={VTSD}
 VTSS={VTSS} VTSSWD={VTSSWD}

+ VTSSWGD={VTSSWGD} VTSSWGS={VTSSWGS} VTSSWS={VTSSWS}
 W={W} WAGIDL={WAGIDL} WAGISL={WAGISL}

+ WAIGBACC={WAIGBACC} WAIGBINV={WAIGBINV} WAIGC={WAIGC}
 WAIGD={WAIGD} WAIGS={WAIGS} WAIGSD={WAIGSD}

+ WBGIDL={WBGIDL} WBGISL={WBGISL} WBIGBACC={WBIGBACC}
 WBIGBINV={WBIGBINV} WBIGC={WBIGC}

+ WBIGD={WBIGD} WBIGS={WBIGS} WBIGSD={WBIGSD}
 WCGIDL={WCGIDL} WCGISL={WCGISL} WCIGBACC={WCIGBACC}

+ WCIGBINV={WCIGBINV} WCIGC={WCIGC} WCIGD={WCIGD}
 WCIGS={WCIGS} WCIGSD={WCIGSD}

+ WCKAPPAD={WCKAPPAD} WCKAPPAS={WCKAPPAS}
 WDVTP0={WDVTP0} WDVTP1={WDVTP1} WDVTP2={WDVTP2}

+ WDVTP3={WDVTP3} WDVTP4={WDVTP4} WDVTP5={WDVTP5}
 WEB={WEB} WEC={WEC} WEFTEOT={WEFTEOT}

+ WEGIDL={WEGIDL} WEGISL={WEGISL} WEIGBINV={WEIGBINV}
 WEU={WEU} WFGIDL={WFGIDL} WFGISL={WFGISL}

+ WFPROUT={WFPROUT} WGAMMA1={WGAMMA1}
 WGAMMA2={WGAMMA2} WK1={WK1} WK2={WK2} WK2WE={WK2WE}

+ WKGIDL={WKGIDL} WKGISL={WKGISL} WKU0={WKU0}
 WKU0WE={WKU0WE} WKVTH0={WKVTH0} WKVTH0WE={WKVTH0WE}

+ WLAMBDA={WLAMBDA} WLOD={WLOD} WLODKU0={WLODKU0}
 WLODVTH={WLODVTH} WLP={WLP} WLPE0={WLPE0}

+ WLPEB={WLPEB} WMAX={WMAX} WMIN={WMIN} WMINV={WMINV}
 WMINVCV={WMINVCV} WNDEP={WNDEP}

+ WNIGBACC={WNIGBACC} WNIGBINV={WNIGBINV} WNIGC={WNIGC}
 WNSD={WNSD} WNTOX={WNTOX} WPDITS={WPDITS}

```

+   WPDITSD={WPDITSD}   WPEMOD={WPEMOD}   WPHIN={WPHIN}
WPIGCD={WPIGCD} WPOXEDGE={WPOXEDGE} WRDW={WRDW}

+   WRGIDL={WRGIDL}     WRGISL={WRGISL}     WRSW={WRSW}
WTETA0={WTETA0} WTNFACTOR={WTNFACTOR}

+   WTVFBSDOFF={WTVFBSDOFF}   WTVOFF={WTVOFF}
WTVOFFCV={WTVOFFCV} WUCS={WUCS} WUCSTE={WUCSTE}

+   WUD={WUD}   WUD1={WUD1}   WUP={WUP}   WVBX={WVBX}
WVFBSDOFF={WVFBSDOFF} WVTHO={WVTHO} WVTL={WVTL}

+   WXN={WXN}   WXRCRG1={WXRCRG1}   WXRCRG2={WXRCRG2}
XGL={XGL} XGW={XGW} XJBVD={XJBVD} XJBVS={XJBVS}

+   XL={XL}   XN={XN}   XRCRG1={XRCRG1}   XRCRG2={XRCRG2}   XTID={XTID}
XTIS={XTIS} XTSD={XTSD} XTSS={XTSS}

+   XTSSWD={XTSSWD}   XTSSWGD={XTSSWGD}   XTSSWGS={XTSSWGS}
XTSSWS={XTSSWS}

+)
```

19.7 Транзистор МОП с каналом N-типа и выводом от подложки

SPICE-префикс – M

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S @B
 NMOS4_MODEL_{MODELNAME} LEVEL={LEVEL} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```

.MODEL NMOS4_MODEL_{MODELNAME} NMOS

+ (

+ LEVEL={LEVEL}

+ AD={AD} AF={AF} AS={AS} CBD={CBD} CBS={CBS} CGBO={CGBO}
CGDO={CGDO} CGSO={CGSO}

+ CJ={CJ} CJSW={CJSW} DELTA={DELTA} ETA={ETA} FC={FC}
GAMMA={GAMMA} GDSNOI={GDSNOI}

+ IS={IS} JS={JS} JSSW={JSSW} KAPPA={KAPPA} KF={KF} KP={KP} L={L}
LAMBDA={LAMBDA} LD={LD}

+ M={M} MJ={MJ} MJSW={MJSW} N={N} NEFF={NEFF} NFS={NFS}
NLEV={NLEV} NRB={NRB} NRD={NRD}

+ NRG={NRG} NRS={NRS} NSS={NSS} NSUB={NSUB} PB={PB}
PBSW={PBSW} PD={PD} PHI={PHI} PS={PS}
```

+ RB={RB} RD={RD} RDS={RDS} RG={RG} RS={RS} RSH={RSH}
 THETA={THETA} TOX={TOX} TPG={TPG}

+ TT={TT} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
 T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}

+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} UCRIT={UCRIT} UEXP={UEXP}
 UO={UO} UTRA={UTRA} VMAX={VMAX}

+ VTO={VTO} WD={WD} XJ={XJ} XQC={XQC}

+ A0={A0} A1={A1} A2={A2} ACMMOD={ACMMOD}
 ACNQSMOD={ACNQSMOD} ACDE={ACDE}

+ AGS={AGS} ALPHA0={ALPHA0} ALPHA1={ALPHA1} AT={AT} B0={B0}
 B1={B1} BETA0={BETA0}

+ BINUNIT={BINUNIT} CAPMOD={CAPMOD} CDSC={CDSC}
 CDSCB={CDSCB} CDSCD={CDSCD} CF={CF}

+ CGDL={CGDL} CGSL={CGSL} CIT={CIT} CJSWG={CJSWG}
 CKAPPA={CKAPPA} CLC={CLC} CLE={CLE}

+ DLC={DLC} DROUT={DROUT} DSUB={DSUB} DVT0={DVT0}
 DVT0W={DVT0W} DVT1={DVT1} DVT1W={DVT1W}

+ DVT2={DVT2} DVT2W={DVT2W} DWB={DWB} DWC={DWC}
 DWG={DWG} EF={EF} ELM={ELM} EM={EM}

+ ETA0={ETA0} ETAB={ETAB} GAMMA1={GAMMA1} GAMMA2={GAMMA2}
 IJTH={IJTH} K1={K1} K2={K2}

+ K3={K3} K3B={K3B} KETA={KETA} KT1={KT1} KT1L={KT1L} KT2={KT2}
 LINT={LINT} LINTNOI={LINTNOI}

+ LL={LL} LLC={LLC} LLN={LLN} LW={LW} LWC={LWC} LWL={LWL}
 LWLC={LWLC} LWN={LWN} LA0={LA0}

+ LA1={LA1} LA2={LA2} LACDE={LACDE} LAGS={LAGS}
 LALPHA0={LALPHA0} LALPHA1={LALPHA1} LAT={LAT}

+ LB0={LB0} LB1={LB1} LBETA0={LBETA0} LCDSC={LCDSC}
 LCDSCB={LCDSCB} LCDSCD={LCDSCD} LCF={LCF}

+ LCGDL={LCGDL} LCGSL={LCGSL} LCIT={LCIT} LCKAPPA={LCKAPPA}
 LCLC={LCLC} LCLE={LCLE}

+ LDELTA={LDELTA} LDROUT={LDROUT} LDSUB={LDSUB}
 LDVT0={LDVT0} LDVT0W={LDVT0W} LDVT1={LDVT1}

+ LDVT1W={LDVT1W} LDVT2={LDVT2} LDVT2W={LDVT2W}
 LDWB={LDWB} LDWG={LDWG} LELM={LELM}

+ LETA0={LETA0} LETAB={LETAB} LKETA={LKETA} LK3={LK3}
 LK3B={LK3B} LKT1={LKT1} LKT1L={LKT1L}

+ LKT2={LKT2} LMOIN={LMOIN} LNCH={LNCH} LNFACTOR={LNFACTOR}
 LNGATE={LNGATE} LNLX={LNLX}

+ LNSUB={LNSUB} LNOFF={LNOFF} LPCLM={LPCLM} LPDIBL1={LPDIBL1}
 LPDIBL2={LPDIBL2}

+ LPDIBLB={LPDIBLB} LPRT={LPRT} LPRWB={LPRWB} LPRWG={LPRWG}
 LPSCBE1={LPSCBE1} LPSCBE2={LPSCBE2}

+ LPVAG={LPVAG} LRDSW={LRDSW} LU0={LU0} LUA={LUA} LUA1={LUA1}
 LUB={LUB} LUB1={LUB1} LUC={LUC}

+ LUC1={LUC1} LUTE={LUTE} LVBM={LVBM} LVFB={LVFB}
 LVFBCV={LVFBCV} LVOFF={LVOFF}

+ LVOFFCV={LVOFFCV} LVSAT={LVSAT} LVTH0={LVTH0} LW0={LW0}
 LWR={LWR} LXJ={LXJ} LXT={LXT}

+ MJSWG={MJSWG} MOBMOD={MOBMOD} NQSMOD={NQSMOD}
 MOIN={MOIN} NCH={NCH} NFACTOR={NFACTOR}

+ NGATE={NGATE} NJ={NJ} NLX={NLX} NOFF={NOFF} NOIA={NOIA}
 NOIB={NOIB} NOIC={NOIC} PBSWG={PBSWG}

+ PCLM={PCLM} PDIBL1={PDIBL1} PDIBL2={PDIBL2} PDIBLB={PDIBLB}
 PRT={PRT} PRWB={PRWB} PRWG={PRWG}

+ PSCBE1={PSCBE1} PSCBE2={PSCBE2} PVAG={PVAG} PA0={PA0}
 PA1={PA1} PA2={PA2} PACDE={PACDE}

+ PAGS={PAGS} PALPHA0={PALPHA0} PALPHA1={PALPHA1} PAT={PAT}
 PB0={PB0} PB1={PB1} PBETA0={PBETA0}

+ PCDSC={PCDSC} PCDSCB={PCDSCB} PCDSCD={PCDSCD} PCF={PCF}
 PCGDL={PCGDL} PCGSL={PCGSL} PCIT={PCIT}

+ PCKAPPA={PCKAPPA} PCLC={PCLC} PCLE={PCLE} PDELTA={PDELTA}
 PDROUT={PDROUT} PDSUB={PDSUB}

+ PDVT0={PDVT0} PDVT0W={PDVT0W} PDVT1={PDVT1}
 PDVT1W={PDVT1W} PDVT2={PDVT2} PDVT2W={PDVT2W}

+ PDWB={PDWB} PDWG={PDWG} PELM={PELM} PETA0={PETA0}
 PETAB={PETAB} PKETA={PKETA} PK3={PK3}

+ PK3B={PK3B} PKT1={PKT1} PKT1L={PKT1L} PKT2={PKT2}
 PMOIN={PMOIN} PNCH={PNCH} PNGATE={PNGATE}

+ PNLX={PNLX} PNSUB={PNSUB} PNFACTOR={PNFACTOR}
 PNOFF={PNOFF} PPCLM={PPCLM} PPDIBL1={PPDIBL1}

+ PPDIBL2={PPDIBL2} PPDIBLB={PPDIBLB} PPRT={PPRT}
 PPRWB={PPRWB} PPRWG={PPRWG} PPSCBE1={PPSCBE1}

+ PPSCBE2={PPSCBE2} PPVAG={PPVAG} PRDSW={PRDSW} PU0={PU0}
 PUA={PUA} PUA1={PUA1} PUB={PUB}

+ PUB1={PUB1} PUC={PUC} PUC1={PUC1} PUTE={PUTE} PVBM={PVBM}
 PVFB={PVFB} PVFBCV={PVFBCV}

+ PVOFF={PVOFF} PVOFFCV={PVOFFCV} PVSAT={PVSAT}
 PVTH0={PVTH0} PW0={PW0} PWR={PWR} PXJ={PXJ}

+ PXT={PXT} RDSW={RDSW} TCJ={TCJ} TCJSW={TCJSW}
 TCJSWG={TCJSWG} TNOM={TNOM} TOXM={TOXM}

+ TPB={TPB} TPBSW={TPBSW} TPBSWG={TPBSWG} UA={UA}
 UA1={UA1} UB={UB} UB1={UB1} UC={UC} UC1={UC1}

+ UTE={UTE} VBM={VBM} VBX={VBX} VFB={VFB} VFBCV={VFBCV}
 VOFF={VOFF} VOFFCV={VOFFCV} VSAT={VSAT}

+ W0={W0} WINT={WINT} WL={WL} WLC={WLC} WLN={WLN} WR={WR}
 WW={WW} WWC={WWC} WWL={WWL} WWN={WWN}

+ WWLC={WWLC} WA0={WA0} WA1={WA1} WA2={WA2}
 WACDE={WACDE} WAGS={WAGS} WALPHA0={WALPHA0}

+ WALPHA1={WALPHA1} WAT={WAT} WB0={WB0} WB1={WB1}
 WBETA0={WBETA0} WCDSC={WCDSC} WCDSCB={WCDSCB}

+ WCDSCD={WCDSCD} WCF={WCF} WCGDL={WCGDL}
 WCGSL={WCGSL} WCIT={WCIT} WCKAPPA={WCKAPPA}

+ WCLC={WCLC} WCLE={WCLE} WDELTA={WDELTA}
 WDROUT={WDROUT} WDSUB={WDSUB} WDVTO={WDVTO}

+ WDVTOW={WDVTOW} WDVTO1={WDVTO1} WDVTO1W={WDVTO1W}
 WDVTO2={WDVTO2} WDVTO2W={WDVTO2W} WDWB={WDWB}

+ WDWG={WDWG} WELM={WELM} WETA0={WETA0} WETAB={WETAB}
 WKETA={WKETA} WK3={WK3} WK3B={WK3B}

+ WKT1={WKT1} WKT1L={WKT1L} WKT2={WKT2} WMOIN={WMOIN}
 WNCH={WNCH} WNFACTOR={WNFACTOR}

+ WNGATE={WNGATE} WNLX={WNLX} WNSUB={WNSUB}
 WNOFF={WNOFF} WPCLM={WPCLM} WPDIBL1={WPDIBL1}

+ WPDIBL2={WPDIBL2} WPDIBLB={WPDIBLB} WPRT={WPRT}
 WPRWB={WPRWB} WPRWG={WPRWG} WPSCBE1={WPSCBE1}

+ WPSCBE2={WPSCBE2} WPVAG={WPVAG} WRDSW={WRDSW}
 WU0={WU0} WUA={WUA} WUA1={WUA1} WUB={WUB}

+ WUB1={WUB1} WUC={WUC} WUC1={WUC1} WUTE={WUTE}
 WVBM={WVBM} WVFB={WVFB} WVFBCV={WVFBCV}

+ WVOFF={WVOFF} WVOFFCV={WVOFFCV} WVSAT={WVSAT}
 WVTH0={WVTH0} WW0={WW0} WWR={WWR} WXJ={WXJ}
 + WXT={WXT} XPART={XPART} XT={XT}
 + ADOS={ADOS} AGIDL={AGIDL} AGISL={AGISL} AIGBACC={AIGBACC}
 AIGBINV={AIGBINV} AIGC={AIGC}
 + AIGD={AIGD} AIGS={AIGS} AIGSD={AIGSD} BDOS={BDOS}
 BG0SUB={BG0SUB} BGIDL={BGIDL} BGISL={BGISL}
 + BIGBACC={BIGBACC} BIGBINV={BIGBINV} BIGC={BIGC} BIGD={BIGD}
 BIGS={BIGS} BIGSD={BIGSD}
 + BVD={BVD} BVS={BVS} CGIDL={CGIDL} CGISL={CGISL}
 CIGBACC={CIGBACC} CIGBINV={CIGBINV}
 + CIGC={CIGC} CIGD={CIGD} CIGS={CIGS} CIGSD={CIGSD} CJD={CJD}
 CJS={CJS} CJSWD={CJSWD}
 + CJSWGD={CJSWGD} CJSWGS={CJSWGS} CJSWS={CJSWS}
 CKAPPAD={CKAPPAD} CKAPPAS={CKAPPAS}
 + CVCHARGEMOD={CVCHARGEMOD} DELVTO={DELVTO}
 DIOMOD={DIOMOD} DLCIG={DLCIG} DLCIGD={DLCIGD}
 + DMCG={DMCG} DMCCT={DMCCT} DMCI={DMCI} DMDG={DMDG}
 DTOX={DTOX} DVTP0={DVTP0} DVTP1={DVTP1}
 + DVTP2={DVTP2} DVTP3={DVTP3} DVTP4={DVTP4} DVTP5={DVTP5}
 DWJ={DWJ} EASUB={EASUB} EGIDL={EGIDL}
 + EGISL={EGISL} EIGBINV={EIGBINV} EOT={EOT}
 EPSRGATE={EPSRGATE} EPSROX={EPSROX}
 + EPSRSUB={EPSRSUB} EU={EU} FGIDL={FGIDL} FGISL={FGISL}
 FNOIMOD={FNOIMOD} FPROUT={FPROUT}
 + GBMIN={GBMIN} GEOMOD={GEOMOD} GIDLCLAMP={GIDLCLAMP}
 GIDLMOD={GIDLMOD} ICVBS={ICVBS}
 + ICVDS={ICVDS} ICVGS={ICVGS} IDOVVDSC={IDOVVDSC}
 IGBMOD={IGBMOD} IGCMOD={IGCMOD}
 + IJTHDFWD={IJTHDFWD} IJTHDREV={IJTHDREV}
 IJTHSFWD={IJTHSFWD} IJTHSREV={IJTHSREV} JSD={JSD}
 + JSS={JSS} JSWD={JSWD} JSWGD={JSWGD} JSWGS={JSWGS}
 JSWS={JSWS} JTSD={JTSD} JTSS={JTSS}
 + JTSSWD={JTSSWD} JTSSWGD={JTSSWGD} JTSSWGS={JTSSWGS}
 JTSSWS={JTSSWS} JTWEFF={JTWEFF}
 + K2WE={K2WE} KGIDL={KGIDL} KGISL={KGISL} KU0={KU0}
 KU0WE={KU0WE} KVSAT={KVSAT} KVTH0={KVTH0}

```

+   KVTH0WE={KVTH0WE}   LAGIDL={LAGIDL}   LAGISL={LAGISL}
LAIGBACC={LAIGBACC} LAIGBINV={LAIGBINV}

+   LAIGC={LAIGC} LAIGD={LAIGD} LAIGS={LAIGS} LAIGSD={LAIGSD}
LBGIDL={LBGIDL} LBGISL={LBGISL}

+   LBIGBACC={LBIGBACC} LBIGBINV={LBIGBINV} LBIGC={LBIGC}
LBIGD={LBIGD} LBIGS={LBIGS}

+   LBIGSD={LBIGSD} LC={LC} LCGIDL={LCGIDL} LCGISL={LCGISL}
LCIGBACC={LCIGBACC}

+   LCIGBINV={LCIGBINV} LCIGC={LCIGC} LCIGD={LCIGD} LCIGS={LCIGS}
LCIGSD={LCIGSD}

+   LCKAPPAD={LCKAPPAD} LCKAPPAS={LCKAPPAS} LDVTP0={LDVTP0}
LDVTP1={LDVTP1} LDVTP2={LDVTP2}

+   LDVTP3={LDVTP3}   LDVTP4={LDVTP4}   LDVTP5={LDVTP5}
LEFFEOT={LEFFEOT} LEGIDL={LEGIDL}

+   LEGISL={LEGISL} LEIGBINV={LEIGBINV} LEU={LEU} LFGIDL={LFGIDL}
LFGISL={LFGISL} LFPROUT={LFPROUT}

+   LGAMMA1={LGAMMA1} LGAMMA2={LGAMMA2} LK1={LK1} LK2={LK2}
LK2WE={LK2WE} LKGIDL={LKGIDL}

+   LKGISL={LKGISL} LKU0={LKU0} LKU0WE={LKU0WE} LKVTH0={LKVTH0}
LKVTH0WE={LKVTH0WE}

+   LLAMBDA={LLAMBDA} LLODKU0={LLODKU0} LLODVTH={LLODVTH}
LLP={LLP} LLPE0={LLPE0} LLPEB={LLPEB}

+   LMAX={LMAX} LMIN={LMIN} LMINV={LMINV} LMINVCV={LMINVCV}
LNDEP={LNDEP} LNIGBACC={LNIGBACC}

+   LNIGBINV={LNIGBINV} LNIGC={LNIGC} LNSD={LNSD} LNTOX={LNTOX}
LODETA0={LODETA0} LODK2={LODK2}

+   LP={LP}   LPDITS={LPDITS}   LPDITSD={LPDITSD}   LPE0={LPE0}
LPEB={LPEB} LPHIN={LPHIN} LPIGCD={LPIGCD}

+   LPOXEDGE={LPOXEDGE}   LRDW={LRDW}   LRGIDL={LRGIDL}
LRGISL={LRGISL} LRSW={LRSW} LTETA0={LTETA0}

+   LTNFACTOR={LTNFACTOR}   LTVFBSDOFF={LTVFBSDOFF}
LTVOFF={LTVOFF} LTVOFFCV={LTVOFFCV} LUCS={LUCS}

+   LUCSTE={LUCSTE} LUD={LUD} LUD1={LUD1} LUP={LUP} LVBX={LVBX}
LVFBSDOFF={LVFBSDOFF} LVTHO={LVTHO}

+   LVTL={LVTL} LXN={LXN} LXRCRG1={LXRCRG1} LXRCRG2={LXRCRG2}
MIN_DS={MIN_DS} MINV={MINV}

```

+ MINVCV={MINVCV} MJD={MJD} MJS={MJS} MJSWD={MJSWD}
 MJSWG D={MJSWG D} MJSWG S={MJSWG S} MJSW S={MJSW S}

+ MTRLCOMPATMOD={MTRLCOMPATMOD} MTRLMOD={MTRLMOD}
 NDEP={NDEP} NF={NF} NGCON={NGCON}

+ NI0SUB={NI0SUB} NIGBACC={NIGBACC} NIGBINV={NIGBINV}
 NIGC={NIGC} NJD={NJD} NJS={NJS} NJTS={NJTS}

+ NJTSD={NJTSD} NJTSSW={NJTSSW} NJTSSWD={NJTSSWD}
 NJTSSWG={NJTSSWG} NJTSSWG D={NJTSSWG D} NSD={NSD}

+ NTNOI={NTNOI} NTOX={NTOX} OFF={OFF} PAGIDL={PAGIDL}
 PAGISL={PAGISL} PAIGBACC={PAIGBACC}

+ PAIGBINV={PAIGBINV} PAIGC={PAIGC} PAIGD={PAIGD} PAIGS={PAIGS}
 PAIGSD={PAIGSD} PBD={PBD}

+ PBGIDL={PBGIDL} PBGISL={PBGISL} PBIGBACC={PBIGBACC}
 PBIGBINV={PBIGBINV} PBIGC={PBIGC}

+ PBIGD={PBIGD} PBIGS={PBIGS} PBIGSD={PBIGSD} PBS={PBS}
 PBSWD={PBSWD} PBSWG D={PBSWG D}

+ PBSWGS={PBSWGS} PBSWS={PBSWS} PCGIDL={PCGIDL}
 PCGISL={PCGISL} PCIGBACC={PCIGBACC}

+ PCIGBINV={PCIGBINV} PCIGC={PCIGC} PCIGD={PCIGD}
 PCIGS={PCIGS} PCIGSD={PCIGSD}

+ PCKAPPAD={PCKAPPAD} PCKAPPAS={PCKAPPAS} PDITS={PDITS}
 PDITSD={PDITSD} PDITSL={PDITSL}

+ PDVTP0={PDVTP0} PDVTP1={PDVTP1} PDVTP2={PDVTP2}
 PDVTP3={PDVTP3} PDVTP4={PDVTP4} PDVTP5={PDVTP5}

+ PEGIDL={PEGIDL} PEGISL={PEGISL} PEIGBINV={PEIGBINV}
 PERMOD={PERMOD} PEU={PEU} PFGIDL={PFGIDL}

+ PFGISL={PFGISL} PFPROUT={PFPROUT} PGAMMA1={PGAMMA1}
 PGAMMA2={PGAMMA2} PHIG={PHIG} PHIN={PHIN}

+ PIGCD={PIGCD} PK1={PK1} PK2={PK2} PK2WE={PK2WE}
 PKGIDL={PKGIDL} PKGISL={PKGISL} PKU0={PKU0}

+ PKU0WE={PKU0WE} PKVTH0={PKVTH0} PKVTH0WE={PKVTH0WE}
 PLAMBDA={PLAMBDA} PLP={PLP} PLPE0={PLPE0}

+ PLPEB={PLPEB} PMINV={PMINV} PMINVCV={PMINVCV}
 PNDEP={PNDEP} PNIGBACC={PNIGBACC}

+ PNIGBINV={PNIGBINV} PNIGC={PNIGC} PNSD={PNSD}
 PNTOX={PNTOX} POXEDGE={POXEDGE} PPDITS={PPDITS}

+ PPDITSD={PPDITSD} PPHIN={PPHIN} PPIGCD={PPIGCD}
 PPOXEDGE={PPOXEDGE} PRDW={PRDW} PRGIDL={PRGIDL}

+ PRGISL={PRGISL} PRSW={PRSW} PTETA0={PTETA0}
 PTNFACTOR={PTNFACTOR} PTVFBSDOFF={PTVFBSDOFF}

+ PTVOFF={PTVOFF} PTVOFFCV={PTVOFFCV} PUCS={PUCS}
 PUCSTE={PUCSTE} PUD={PUD} PUD1={PUD1} PUP={PUP}

+ PVBX={PVBX} PVFBSDOFF={PVFBSDOFF} PVTHO={PVTHO}
 PVTL={PVTL} PXN={PXN} PXRCRG1={PXRCRG1}

+ PXRCRG2={PXRCRG2} RBDB={RBDB} RBDBX0={RBDBX0}
 RBDBY0={RBDBY0} RBODYMOD={RBODYMOD} RBPB={RBPB}

+ RBPBX0={RBPBX0} RBPBXL={RBPBXL} RBPBXNF={RBPBXNF}
 RBPBXW={RBPBXW} RBPBY0={RBPBY0} RBPBYL={RBPBYL}

+ RBPBYNF={RBPBYNF} RBPBYW={RBPBYW} RBPB={RBPB}
 RBPB0={RBPB0} RBPDL={RBPDL} RBPDNF={RBPDNF}

+ RBPBW={RBPBW} RBPS={RBPS} RBPS0={RBPS0} RBPSL={RBPSL}
 RBPSNF={RBPSNF} RBPSW={RBPSW} RBSB={RBSB}

+ RBSBX0={RBSBX0} RBSBY0={RBSBY0} RBSDBXL={RBSDBXL}
 RBSDBXNF={RBSDBXNF} RBSDBXW={RBSDBXW}

+ RBSDBYL={RBSDBYL} RBSDBYNF={RBSDBYNF}
 RBSDBYW={RBSDBYW} RDSMOD={RDSMOD} RDSWMIN={RDSWMIN}

+ RDW={RDW} RDWMIN={RDWMIN} RGATEMOD={RGATEMOD}
 RGEOMOD={RGEOMOD} RGIDL={RGIDL} RGISL={RGISL}

+ RNOIA={RNOIA} RNOIB={RNOIB} RNOIC={RNOIC} RSHG={RSHG}
 RSW={RSW} RSWMIN={RSWMIN} SA={SA}

+ SAREF={SAREF} SB={SB} SBREF={SBREF} SC={SC} SCA={SCA}
 SCB={SCB} SCC={SCC} SCREF={SCREF} SD={SD}

+ STETA0={STETA0} STK2={STK2} TBGASUB={TBGASUB}
 TBGBSUB={TBGBSUB} TEMPEOT={TEMPEOT}

+ TEMPMOD={TEMPMOD} TETA0={TETA0} TKU0={TKU0}
 TNFACTOR={TNFACTOR} TNJTS={TNJTS} TNJTSD={TNJTSD}

+ TNJTSSW={TNJTSSW} TNJTSSWD={TNJTSSWD}
 TNJTSSWG={TNJTSSWG} TNJTSSWGD={TNJTSSWGD} TNOIA={TNOIA}

+ TNOIB={TNOIB} TNOIC={TNOIC} TNOIMOD={TNOIMOD} TOXE={TOXE}
 TOXP={TOXP} TOXREF={TOXREF}

+ TRNQSMOD={TRNQSMOD} TVFBSDOFF={TVFBSDOFF}
 TVOFF={TVOFF} TVOFFCV={TVOFFCV} U0={U0} UCS={UCS}

+ UCSTE={UCSTE} UD={UD} UD1={UD1} UP={UP} VDDEOT={VDDEOT}
 VFBSDOFF={VFBSDOFF} VOFFCVL={VOFFCVL}

+ VOFFL={VOFFL} VTH0={VTH0} VTHO={VTHO} VTL={VTL} VTSD={VTSD}
 VTSS={VTSS} VTSSWD={VTSSWD}

+ VTSSWGD={VTSSWGD} VTSSWGS={VTSSWGS} VTSSWS={VTSSWS}
 W={W} WAGIDL={WAGIDL} WAGISL={WAGISL}

+ WAIGBACC={WAIGBACC} WAIGBINV={WAIGBINV} WAIGC={WAIGC}
 WAIGD={WAIGD} WAIGS={WAIGS} WAIGSD={WAIGSD}

+ WBGIDL={WBGIDL} WBGISL={WBGISL} WBIGBACC={WBIGBACC}
 WBIGBINV={WBIGBINV} WBIGC={WBIGC}

+ WBIGD={WBIGD} WBIGS={WBIGS} WBIGSD={WBIGSD}
 WCGIDL={WCGIDL} WCGISL={WCGISL} WCIGBACC={WCIGBACC}

+ WCIGBINV={WCIGBINV} WCIGC={WCIGC} WCIGD={WCIGD}
 WCIGS={WCIGS} WCIGSD={WCIGSD}

+ WCKAPPAD={WCKAPPAD} WCKAPPAS={WCKAPPAS}
 WDVTP0={WDVTP0} WDVTP1={WDVTP1} WDVTP2={WDVTP2}

+ WDVTP3={WDVTP3} WDVTP4={WDVTP4} WDVTP5={WDVTP5}
 WEB={WEB} WEC={WEC} WEFTEOT={WEFTEOT}

+ WEGIDL={WEGIDL} WEGISL={WEGISL} WEIGBINV={WEIGBINV}
 WEU={WEU} WFGIDL={WFGIDL} WFGISL={WFGISL}

+ WFPROUT={WFPROUT} WGAMMA1={WGAMMA1}
 WGAMMA2={WGAMMA2} WK1={WK1} WK2={WK2} WK2WE={WK2WE}

+ WKGIDL={WKGIDL} WKGISL={WKGISL} WKU0={WKU0}
 WKU0WE={WKU0WE} WKVTH0={WKVTH0} WKVTH0WE={WKVTH0WE}

+ WLAMBDA={WLAMBDA} WLOD={WLOD} WLODKU0={WLODKU0}
 WLODVTH={WLODVTH} WLP={WLP} WLPE0={WLPE0}

+ WLPEB={WLPEB} WMAX={WMAX} WMIN={WMIN} WMINV={WMINV}
 WMINVCV={WMINVCV} WNDEP={WNDEP}

+ WNIGBACC={WNIGBACC} WNIGBINV={WNIGBINV} WNIGC={WNIGC}
 WNSD={WNSD} WNTOX={WNTOX} WPDITS={WPDITS}

+ WPDITSD={WPDITSD} WPEMOD={WPEMOD} WPHIN={WPHIN}
 WPIGCD={WPIGCD} WPOXEDGE={WPOXEDGE} WRDW={WRDW}

+ WRGIDL={WRGIDL} WRGISL={WRGISL} WRSW={WRSW}
 WTETA0={WTETA0} WTNFACTOR={WTNFACTOR}

+ WTVFBSDOFF={WTVFBSDOFF} WTVOFF={WTVOFF}
 WTVOFFCV={WTVOFFCV} WUCS={WUCS} WUCSTE={WUCSTE}

```

+   WUD={WUD}   WUD1={WUD1}   WUP={WUP}   WVBX={WVBX}
WVFBSDOFF={WVFBSDOFF} WVTHO={WVTHO} WVTL={WVTL}

+   WXN={WXN}   WXRCRG1={WXRCRG1}   WXRCRG2={WXRCRG2}
XGL={XGL} XGW={XGW} XJBVD={XJBVD} XJBVS={XJBVS}

+   XL={XL}   XN={XN}   XRCRG1={XRCRG1}   XRCRG2={XRCRG2}   XTID={XTID}
XTIS={XTIS} XTSD={XTSD} XTSS={XTSS}

+   XTSSWD={XTSSWD}   XTSSWGD={XTSSWGD}   XTSSWGS={XTSSWGS}
XTSSWS={XTSSWS}

+)
```

19.8 Транзистор МОП с каналом Р-типа

SPICE-префикс – M

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S @S
 PMOS_MODEL_{MODELNAME} LEVEL={LEVEL} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```

.MODEL PMOS_MODEL_{MODELNAME} PMOS

+(
+ LEVEL={LEVEL}

+ AD={AD} AF={AF} AS={AS} CBD={CBD} CBS={CBS} CGBO={CGBO}
CGDO={CGDO} CGSO={CGSO}

+ CJ={CJ} CJSW={CJSW} DELTA={DELTA} ETA={ETA} FC={FC}
GAMMA={GAMMA} GDSNOI={GDSNOI}

+ IS={IS} JS={JS} JSSW={JSSW} KAPPA={KAPPA} KF={KF} KP={KP} L={L}
LAMBDA={LAMBDA} LD={LD}

+ M={M} MJ={MJ} MJSW={MJSW} N={N} NEFF={NEFF} NFS={NFS}
NLEV={NLEV} NRB={NRB} NRD={NRD}

+ NRG={NRG} NRS={NRS} NSS={NSS} NSUB={NSUB} PB={PB}
PBSW={PBSW} PD={PD} PHI={PHI} PS={PS}

+ RB={RB} RD={RD} RDS={RDS} RG={RG} RS={RS} RSH={RSH}
THETA={THETA} TOX={TOX} TPG={TPG}

+ TT={TT} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}

+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} UCRIT={UCRIT} UEXP={UEXP}
UO={UO} UTRA={UTRA} VMAX={VMAX}
```

+ VTO={VTO} WD={WD} XJ={XJ} XQC={XQC}
 + A0={A0} A1={A1} A2={A2} ACMMOD={ACMMOD}
 ACNQSMOD={ACNQSMOD} ACDE={ACDE}
 + AGS={AGS} ALPHA0={ALPHA0} ALPHA1={ALPHA1} AT={AT} B0={B0}
 B1={B1} BETA0={BETA0}
 + BINUNIT={BINUNIT} CAPMOD={CAPMOD} CDSC={CDSC}
 CDSCB={CDSCB} CDSCD={CDSCD} CF={CF}
 + CGDL={CGDL} CGSL={CGSL} CIT={CIT} CJSWG={CJSWG}
 CKAPPA={CKAPPA} CLC={CLC} CLE={CLE}
 + DLC={DLC} DROUT={DROUT} DSUB={DSUB} DVT0={DVT0}
 DVT0W={DVT0W} DVT1={DVT1} DVT1W={DVT1W}
 + DVT2={DVT2} DVT2W={DVT2W} DWB={DWB} DWC={DWC}
 DWG={DWG} EF={EF} ELM={ELM} EM={EM}
 + ETA0={ETA0} ETAB={ETAB} GAMMA1={GAMMA1} GAMMA2={GAMMA2}
 IJTH={IJTH} K1={K1} K2={K2}
 + K3={K3} K3B={K3B} KETA={KETA} KT1={KT1} KT1L={KT1L} KT2={KT2}
 LINT={LINT} LINTNOI={LINTNOI}
 + LL={LL} LLC={LLC} LLN={LLN} LW={LW} LWC={LWC} LWL={LWL}
 LWLC={LWLC} LWN={LWN} LA0={LA0}
 + LA1={LA1} LA2={LA2} LACDE={LACDE} LAGS={LAGS}
 LALPHA0={LALPHA0} LALPHA1={LALPHA1} LAT={LAT}
 + LB0={LB0} LB1={LB1} LBETA0={LBETA0} LCDSC={LCDSC}
 LCDSCB={LCDSCB} LCDSCD={LCDSCD} LCF={LCF}
 + LCGDL={LCGDL} LCGSL={LCGSL} LCIT={LCIT} LCKAPPA={LCKAPPA}
 LCLC={LCLC} LCLE={LCLE}
 + LDELTA={LDELTA} LDROUT={LDROUT} LDSUB={LDSUB}
 LDVT0={LDVT0} LDVT0W={LDVT0W} LDVT1={LDVT1}
 + LDVT1W={LDVT1W} LDVT2={LDVT2} LDVT2W={LDVT2W}
 LDWB={LDWB} LDWG={LDWG} LELM={LELM}
 + LETA0={LETA0} LETAB={LETAB} LKETA={LKETA} LK3={LK3}
 LK3B={LK3B} LKT1={LKT1} LKT1L={LKT1L}
 + LKT2={LKT2} LMOIN={LMOIN} LNCH={LNCH} LNFACTOR={LNFACTOR}
 LNGATE={LNGATE} LNLX={LNLX}
 + LNSUB={LNSUB} LNOFF={LNOFF} LPCLM={LPCLM} LPDIBL1={LPDIBL1}
 LPDIBL2={LPDIBL2}
 + LPDIBLB={LPDIBLB} LPRT={LPRT} LPRWB={LPRWB} LPRWG={LPRWG}
 LPSCBE1={LPSCBE1} LPSCBE2={LPSCBE2}

+ LPVAG={LPVAG} LRDSW={LRDSW} LU0={LU0} LUA={LUA} LUA1={LUA1}
 LUB={LUB} LUB1={LUB1} LUC={LUC}

+ LUC1={LUC1} LUTE={LUTE} LVBM={LVBM} LVFB={LVFB}
 LVFBCV={LVFBCV} LVOFF={LVOFF}

+ LVOFFCV={LVOFFCV} LVSAT={LVSAT} LVTH0={LVTH0} LW0={LW0}
 LWR={LWR} LXJ={LXJ} LXT={LXT}

+ MJSWG={MJSWG} MOBMOD={MOBMOD} NQSMOD={NQSMOD}
 MOIN={MOIN} NCH={NCH} NFACTOR={NFACTOR}

+ NGATE={NGATE} NJ={NJ} NLX={NLX} NOFF={NOFF} NOIA={NOIA}
 NOIB={NOIB} NOIC={NOIC} PBSWG={PBSWG}

+ PCLM={PCLM} PDIBL1={PDIBL1} PDIBL2={PDIBL2} PDIBLB={PDIBLB}
 PRT={PRT} PRWB={PRWB} PRWG={PRWG}

+ PSCBE1={PSCBE1} PSCBE2={PSCBE2} PVAG={PVAG} PA0={PA0}
 PA1={PA1} PA2={PA2} PACDE={PACDE}

+ PAGS={PAGS} PALPHA0={PALPHA0} PALPHA1={PALPHA1} PAT={PAT}
 PB0={PB0} PB1={PB1} PBETA0={PBETA0}

+ PCDSC={PCDSC} PCDSCB={PCDSCB} PCDSCD={PCDSCD} PCF={PCF}
 PCGDL={PCGDL} PCGSL={PCGSL} PCIT={PCIT}

+ PCKAPPA={PCKAPPA} PCLC={PCLC} PCLE={PCLE} PDELTA={PDELTA}
 PDROUT={PDROUT} PDSUB={PDSUB}

+ PDVT0={PDVT0} PDVT0W={PDVT0W} PDVT1={PDVT1}
 PDVT1W={PDVT1W} PDVT2={PDVT2} PDVT2W={PDVT2W}

+ PDWB={PDWB} PDWG={PDWG} PELM={PELM} PETA0={PETA0}
 PETAB={PETAB} PKETA={PKETA} PK3={PK3}

+ PK3B={PK3B} PKT1={PKT1} PKT1L={PKT1L} PKT2={PKT2}
 PMOIN={PMOIN} PNCH={PNCH} PNGATE={PNGATE}

+ PNLX={PNLX} PNSUB={PNSUB} PNFACTOR={PNFACTOR}
 PNOFF={PNOFF} PPCLM={PPCLM} PPDIBL1={PPDIBL1}

+ PPDIBL2={PPDIBL2} PPDIBLB={PPDIBLB} PPRT={PPRT}
 PPRWB={PPRWB} PPRWG={PPRWG} PPSCBE1={PPSCBE1}

+ PPSCBE2={PPSCBE2} PPVAG={PPVAG} PRDSW={PRDSW} PU0={PU0}
 PUA={PUA} PUA1={PUA1} PUB={PUB}

+ PUB1={PUB1} PUC={PUC} PUC1={PUC1} PUTE={PUTE} PVBM={PVBM}
 PVFB={PVFB} PVFBCV={PVFBCV}

+ PVOFF={PVOFF} PVOFFCV={PVOFFCV} PVSAT={PVSAT}
 PVTH0={PVTH0} PW0={PW0} PWR={PWR} PXJ={PXJ}

+ PXT={PXT} RDSW={RDSW} TCJ={TCJ} TCJSW={TCJSW}
 TCJSWG={TCJSWG} TNOM={TNOM} TOXM={TOXM}

+ TPB={TPB} TPBSW={TPBSW} TPBSWG={TPBSWG} UA={UA}
 UA1={UA1} UB={UB} UB1={UB1} UC={UC} UC1={UC1}

+ UTE={UTE} VBM={VBM} VBX={VBX} VFB={VFB} VFBCV={VFBCV}
 VOFF={VOFF} VOFFCV={VOFFCV} VSAT={VSAT}

+ W0={W0} WINT={WINT} WL={WL} WLC={WLC} WLN={WLN} WR={WR}
 WW={WW} WWC={WWC} WWL={WWL} WWN={WWN}

+ WWLC={WWLC} WA0={WA0} WA1={WA1} WA2={WA2}
 WACDE={WACDE} WAGS={WAGS} WALPHA0={WALPHA0}

+ WALPHA1={WALPHA1} WAT={WAT} WB0={WB0} WB1={WB1}
 WBETA0={WBETA0} WCDSC={WCDSC} WCDSCB={WCDSCB}

+ WCDSCD={WCDSCD} WCF={WCF} WCGDL={WCGDL}
 WCGSL={WCGSL} WCIT={WCIT} WCKAPPA={WCKAPPA}

+ WCLC={WCLC} WCLE={WCLE} WDELTA={WDELTA}
 WDROUT={WDROUT} WDSUB={WDSUB} WDV0={WDVT0}

+ WDV0W={WDVT0W} WDV1={WDVT1} WDV1W={WDVT1W}
 WDV2={WDVT2} WDV2W={WDVT2W} WDWB={WDWB}

+ WDWG={WDWG} WELM={WELM} WETA0={WETA0} WETAB={WETAB}
 WKETA={WKETA} WK3={WK3} WK3B={WK3B}

+ WKT1={WKT1} WKT1L={WKT1L} WKT2={WKT2} WMOIN={WMOIN}
 WNCH={WNCH} WNFACTOR={WNFACTOR}

+ WNGATE={WNGATE} WNLX={WNLX} WNSUB={WNSUB}
 WNOFF={WNOFF} WPCLM={WPCLM} WPDIBL1={WPDIBL1}

+ WPDIBL2={WPDIBL2} WPDIBLB={WPDIBLB} WPRT={WPRT}
 WPRWB={WPRWB} WPRWG={WPRWG} WPSCBE1={WPSCBE1}

+ WPSCBE2={WPSCBE2} WPVAG={WPVAG} WRDSW={WRDSW}
 WU0={WU0} WUA={WUA} WUA1={WUA1} WUB={WUB}

+ WUB1={WUB1} WUC={WUC} WUC1={WUC1} WUTE={WUTE}
 WVBM={WVBM} WVFB={WVFB} WVFCV={WVFCV}

+ WVOFF={WVOFF} WVOFFCV={WVOFFCV} WVSAT={WVSAT}
 WVTH0={WVTH0} WW0={WW0} WWR={WWR} WXJ={WXJ}

+ WXT={WXT} XPART={XPART} XT={XT}

+ ADOS={ADOS} AGIDL={AGIDL} AGISL={AGISL} AIGBACC={AIGBACC}
 AIGBINV={AIGBINV} AIGC={AIGC}

+ AIGD={AIGD} AIGS={AIGS} AIGSD={AIGSD} BDOS={BDOS}
 BG0SUB={BG0SUB} BGIDL={BGIDL} BGISL={BGISL}

+ BIGBACC={BIGBACC} BIGBINV={BIGBINV} BIGC={BIGC} BIGD={BIGD}
 BIGS={BIGS} BIGSD={BIGSD}

+ BVD={BVD} BVS={BVS} CGIDL={CGIDL} CGISL={CGISL}
 CIGBACC={CIGBACC} CIGBINV={CIGBINV}

+ CIGC={CIGC} CIGD={CIGD} CIGS={CIGS} CIGSD={CIGSD} CJD={CJD}
 CJS={CJS} CJSWD={CJSWD}

+ CJSWGD={CJSWGD} CJSWGS={CJSWGS} CJSWS={CJSWS}
 CKAPPAD={CKAPPAD} CKAPPAS={CKAPPAS}

+ CVCHARGEMOD={CVCHARGEMOD} DELVTO={DELVTO}
 DIOMOD={DIOMOD} DLCIG={DLCIG} DLCIGD={DLCIGD}

+ DMCG={DMCG} DMCCT={DMCCT} DMCI={DMCI} DMDG={DMDG}
 DTOX={DTOX} DVTP0={DVTP0} DVTP1={DVTP1}

+ DVTP2={DVTP2} DVTP3={DVTP3} DVTP4={DVTP4} DVTP5={DVTP5}
 DWJ={DWJ} EASUB={EASUB} EGIDL={EGIDL}

+ EGISL={EGISL} EIGBINV={EIGBINV} EOT={EOT}
 EPSRGATE={EPSRGATE} EPSROX={EPSROX}

+ EPSRSUB={EPSRSUB} EU={EU} FGIDL={FGIDL} FGISL={FGISL}
 FNOIMOD={FNOIMOD} FPROUT={FPROUT}

+ GBMIN={GBMIN} GEOMOD={GEOMOD} GIDLCLAMP={GIDLCLAMP}
 GIDLMOD={GIDLMOD} ICVBS={ICVBS}

+ ICVDS={ICVDS} ICVGS={ICVGS} IDOVVDSC={IDOVVDSC}
 IGBMOD={IGBMOD} IGCMOD={IGCMOD}

+ IJTHDFWD={IJTHDFWD} IJTHDREV={IJTHDREV}
 IJTHSFWD={IJTHSFWD} IJTHSREV={IJTHSREV} JSD={JSD}

+ JSS={JSS} JSWD={JSWD} JSWGD={JSWGD} JSWGS={JSWGS}
 JSWS={JSWS} JTSD={JTSD} JTSS={JTSS}

+ JTSSWD={JTSSWD} JTSSWGD={JTSSWGD} JTSSWGS={JTSSWGS}
 JTSSWS={JTSSWS} JTWEFF={JTWEFF}

+ K2WE={K2WE} KGIDL={KGIDL} KGISL={KGISL} KU0={KU0}
 KU0WE={KU0WE} KVSAT={KVSAT} KVTH0={KVTH0}

+ KVTH0WE={KVTH0WE} LAGIDL={LAGIDL} LAGISL={LAGISL}
 LAIGBACC={LAIGBACC} LAIGBINV={LAIGBINV}

+ LAIGC={LAIGC} LAIGD={LAIGD} LAIGS={LAIGS} LAIGSD={LAIGSD}
 LBGIDL={LBGIDL} LBGISL={LBGISL}

+ LBIGBACC={LBIGBACC} LBIGBINV={LBIGBINV} LBIGC={LBIGC}
 LBIGD={LBIGD} LBIGS={LBIGS}

+ LBIGSD={LBIGSD} LC={LC} LCGIDL={LCGIDL} LCGISL={LCGISL}
 LCIGBACC={LCIGBACC}

+ LCIGBINV={LCIGBINV} LCIGC={LCIGC} LCIGD={LCIGD} LCIGS={LCIGS}
 LCIGSD={LCIGSD}

+ LCKAPPAD={LCKAPPAD} LCKAPPAS={LCKAPPAS} LDVTP0={LDVTP0}
 LDVTP1={LDVTP1} LDVTP2={LDVTP2}

+ LDVTP3={LDVTP3} LDVTP4={LDVTP4} LDVTP5={LDVTP5}
 LEFFEOT={LEFFEOT} LEGIDL={LEGIDL}

+ LEGISL={LEGISL} LEIGBINV={LEIGBINV} LEU={LEU} LFGIDL={LFGIDL}
 LFGISL={LFGISL} LFPROUT={LFPROUT}

+ LGAMMA1={LGAMMA1} LGAMMA2={LGAMMA2} LK1={LK1} LK2={LK2}
 LK2WE={LK2WE} LKGIDL={LKGIDL}

+ LKGISL={LKGISL} LKU0={LKU0} LKU0WE={LKU0WE} LKVTH0={LKVTH0}
 LKVTH0WE={LKVTH0WE}

+ LLAMBDA={LLAMBDA} LLODKU0={LLODKU0} LLODVTH={LLODVTH}
 LLP={LLP} LLPE0={LLPE0} LLPEB={LLPEB}

+ LMAX={LMAX} LMIN={LMIN} LMINV={LMINV} LMINVCV={LMINVCV}
 LNDEP={LNDEP} LNIGBACC={LNIGBACC}

+ LNIGBINV={LNIGBINV} LNIGC={LNIGC} LNSD={LNSD} LNTOX={LNTOX}
 LODETA0={LODETA0} LODK2={LODK2}

+ LP={LP} LPDITS={LPDITS} LPDITSD={LPDITSD} LPE0={LPE0}
 LPEB={LPEB} LPHIN={LPHIN} LPIGCD={LPIGCD}

+ LPOXEDGE={LPOXEDGE} LRDW={LRDW} LRGIDL={LRGIDL}
 LRGISL={LRGISL} LRSW={LRSW} LTETA0={LTETA0}

+ LTNFACTOR={LTNFACTOR} LTVFBSDOFF={LTVFBSDOFF}
 LTVOFF={LTVOFF} LTVOFFCV={LTVOFFCV} LUCS={LUCS}

+ LUCSTE={LUCSTE} LUD={LUD} LUD1={LUD1} LUP={LUP} LVBX={LVBX}
 LVFBSDOFF={LVFBSDOFF} LVTHO={LVTHO}

+ LVTL={LVTL} LXN={LXN} LXRCRG1={LXRCRG1} LXRCRG2={LXRCRG2}
 MIN_DS={MIN_DS} MINV={MINV}

+ MINVCV={MINVCV} MJD={MJD} MJS={MJS} MJSWD={MJSWD}
 MJSWGD={MJSWGD} MJSWGS={MJSWGS} MJSWS={MJSWS}

+ MTRLCOMPATMOD={MTRLCOMPATMOD} MTRLMOD={MTRLMOD}
 NDEP={NDEP} NF={NF} NGCON={NGCON}

+ NI0SUB={NI0SUB} NIGBACC={NIGBACC} NIGBINV={NIGBINV}
 NIGC={NIGC} NJD={NJD} NJS={NJS} NJTS={NJTS}

+ NJTSD={NJTSD} NJTSSW={NJTSSW} NJTSSWD={NJTSSWD}
 NJTSSWG={NJTSSWG} NJTSSWGD={NJTSSWGD} NSD={NSD}

+ NTNOI={NTNOI} NTOX={NTOX} OFF={OFF} PAGIDL={PAGIDL}
 PAGISL={PAGISL} PAIGBACC={PAIGBACC}

+ PAIGBINV={PAIGBINV} PAIGC={PAIGC} PAIGD={PAIGD} PAIGS={PAIGS}
 PAIGSD={PAIGSD} PBD={PBD}

+ PBGIDL={PBGIDL} PBGISL={PBGISL} PBIGBACC={PBIGBACC}
 PBIGBINV={PBIGBINV} PBIGC={PBIGC}

+ PBIGD={PBIGD} PBIGS={PBIGS} PBIGSD={PBIGSD} PBS={PBS}
 PBSWD={PBSWD} PBSWGD={PBSWGD}

+ PBSWGS={PBSWGS} PBSWS={PBSWS} PCGIDL={PCGIDL}
 PCGISL={PCGISL} PCIGBACC={PCIGBACC}

+ PCIGBINV={PCIGBINV} PCIGC={PCIGC} PCIGD={PCIGD}
 PCIGS={PCIGS} PCIGSD={PCIGSD}

+ PCKAPPAD={PCKAPPAD} PCKAPPAS={PCKAPPAS} PDITS={PDITS}
 PDITSD={PDITSD} PDITSL={PDITSL}

+ PDVTP0={PDVTP0} PDVTP1={PDVTP1} PDVTP2={PDVTP2}
 PDVTP3={PDVTP3} PDVTP4={PDVTP4} PDVTP5={PDVTP5}

+ PEGIDL={PEGIDL} PEGISL={PEGISL} PEIGBINV={PEIGBINV}
 PERMOD={PERMOD} PEU={PEU} PFGIDL={PFGIDL}

+ PFGISL={PFGISL} PFPROUT={PFPROUT} PGAMMA1={PGAMMA1}
 PGAMMA2={PGAMMA2} PHIG={PHIG} PHIN={PHIN}

+ PIGCD={PIGCD} PK1={PK1} PK2={PK2} PK2WE={PK2WE}
 PKGIDL={PKGIDL} PKGISL={PKGISL} PKU0={PKU0}

+ PKU0WE={PKU0WE} PKVTH0={PKVTH0} PKVTH0WE={PKVTH0WE}
 PLAMBDA={PLAMBDA} PLP={PLP} PLPE0={PLPE0}

+ PLPEB={PLPEB} PMINV={PMINV} PMINVCV={PMINVCV}
 PNDEP={PNDEP} PNIGBACC={PNIGBACC}

+ PNIGBINV={PNIGBINV} PNIGC={PNIGC} PNSD={PNSD}
 PNTOX={PNTOX} POXEDGE={POXEDGE} PPDITS={PPDITS}

+ PPDITSD={PPDITSD} PPHIN={PPHIN} PPIGCD={PPIGCD}
 PPOXEDGE={PPOXEDGE} PRDW={PRDW} PRGIDL={PRGIDL}

+ PRGISL={PRGISL} PRSW={PRSW} PTETA0={PTETA0}
 PTNFACTOR={PTNFACTOR} PTVFBSDOFF={PTVFBSDOFF}

+ PTVOFF={PTVOFF} PTVOFFCV={PTVOFFCV} PUCS={PUCS}
 PUCSTE={PUCSTE} PUD={PUD} PUD1={PUD1} PUP={PUP}

+ PVBX={PVBX} PVFBSDOFF={PVFBSDOFF} PVTHO={PVTHO}
 PVTL={PVTL} PXN={PXN} PXRCRG1={PXRCRG1}

+ PXRCRG2={PXRCRG2} RBDB={RBDB} RBDBX0={RBDBX0}
 RBDBY0={RBDBY0} RBODYMOD={RBODYMOD} RBPB={RBPB}

+ RBPBX0={RBPBX0} RBPBXL={RBPBXL} RBPBXNF={RBPBXNF}
 RBPBXW={RBPBXW} RBPBY0={RBPBY0} RBPBYL={RBPBYL}

+ RBPBYNF={RBPBYNF} RBPBYW={RBPBYW} RBPB={RBPB}
 RBPB0={RBPB0} RBPDL={RBPDL} RBPDNF={RBPDNF}

+ RBPBW={RBPBW} RBPS={RBPS} RBPS0={RBPS0} RBPSL={RBPSL}
 RBPSNF={RBPSNF} RBPSW={RBPSW} RBSB={RBSB}

+ RBSBX0={RBSBX0} RBSBY0={RBSBY0} RBSDBXL={RBSDBXL}
 RBSDBXNF={RBSDBXNF} RBSDBXW={RBSDBXW}

+ RBSDBYL={RBSDBYL} RBSDBYNF={RBSDBYNF}
 RBSDBYW={RBSDBYW} RDSMOD={RDSMOD} RDSWMIN={RDSWMIN}

+ RDW={RDW} RDWMIN={RDWMIN} RGATEMOD={RGATEMOD}
 RGEOMOD={RGEOMOD} RGIDL={RGIDL} RGISL={RGISL}

+ RNOIA={RNOIA} RNOIB={RNOIB} RNOIC={RNOIC} RSHG={RSHG}
 RSW={RSW} RSWMIN={RSWMIN} SA={SA}

+ SAREF={SAREF} SB={SB} SBREF={SBREF} SC={SC} SCA={SCA}
 SCB={SCB} SCC={SCC} SCREF={SCREF} SD={SD}

+ STETA0={STETA0} STK2={STK2} TBGASUB={TBGASUB}
 TBGBSUB={TBGBSUB} TEMPEOT={TEMPEOT}

+ TEMPMOD={TEMPMOD} TETA0={TETA0} TKU0={TKU0}
 TNFACTOR={TNFACTOR} TNJTS={TNJTS} TNJTSD={TNJTSD}

+ TNJTSSW={TNJTSSW} TNJTSSWD={TNJTSSWD}
 TNJTSSWG={TNJTSSWG} TNJTSSWGD={TNJTSSWGD} TNOIA={TNOIA}

+ TNOIB={TNOIB} TNOIC={TNOIC} TNOIMOD={TNOIMOD} TOXE={TOXE}
 TOXP={TOXP} TOXREF={TOXREF}

+ TRNQSMOD={TRNQSMOD} TVFBSDOFF={TVFBSDOFF}
 TVOFF={TVOFF} TVOFFCV={TVOFFCV} U0={U0} UCS={UCS}

+ UCSTE={UCSTE} UD={UD} UD1={UD1} UP={UP} VDDEOT={VDDEOT}
 VFBSDOFF={VFBSDOFF} VOFFCVL={VOFFCVL}

+ VOFFL={VOFFL} VTH0={VTH0} VTHO={VTHO} VTL={VTL} VTSD={VTSD}
 VTSS={VTSS} VTSSWD={VTSSWD}

+ VTSSWGD={VTSSWGD} VTSSWGS={VTSSWGS} VTSSWS={VTSSWS}
 W={W} WAGIDL={WAGIDL} WAGISL={WAGISL}

+ WAIGBACC={WAIGBACC} WAIGBINV={WAIGBINV} WAIGC={WAIGC}
 WAIGD={WAIGD} WAIGS={WAIGS} WAIGSD={WAIGSD}

+ WBGIDL={WBGIDL} WBGISL={WBGISL} WBIGBACC={WBIGBACC}
 WBIGBINV={WBIGBINV} WBIGC={WBIGC}

+ WBIGD={WBIGD} WBIGS={WBIGS} WBIGSD={WBIGSD}
 WCGIDL={WCGIDL} WCGISL={WCGISL} WCIGBACC={WCIGBACC}

+ WCIGBINV={WCIGBINV} WCIGC={WCIGC} WCIGD={WCIGD}
 WCIGS={WCIGS} WCIGSD={WCIGSD}

+ WCKAPPAD={WCKAPPAD} WCKAPPAS={WCKAPPAS}
 WDVTP0={WDVTP0} WDVTP1={WDVTP1} WDVTP2={WDVTP2}

+ WDVTP3={WDVTP3} WDVTP4={WDVTP4} WDVTP5={WDVTP5}
 WEB={WEB} WEC={WEC} WEFTEOT={WEFTEOT}

+ WEGIDL={WEGIDL} WEGISL={WEGISL} WEIGBINV={WEIGBINV}
 WEU={WEU} WFGIDL={WFGIDL} WFGISL={WFGISL}

+ WFPROUT={WFPROUT} WGAMMA1={WGAMMA1}
 WGAMMA2={WGAMMA2} WK1={WK1} WK2={WK2} WK2WE={WK2WE}

+ WKGIDL={WKGIDL} WKGISL={WKGISL} WKU0={WKU0}
 WKU0WE={WKU0WE} WKVTH0={WKVTH0} WKVTH0WE={WKVTH0WE}

+ WLAMBDA={WLAMBDA} WLOD={WLOD} WLODKU0={WLODKU0}
 WLODVTH={WLODVTH} WLP={WLP} WLPE0={WLPE0}

+ WLPEB={WLPEB} WMAX={WMAX} WMIN={WMIN} WMINV={WMINV}
 WMINVCV={WMINVCV} WNDEP={WNDEP}

+ WNIGBACC={WNIGBACC} WNIGBINV={WNIGBINV} WNIGC={WNIGC}
 WNSD={WNSD} WNTOX={WNTOX} WPDITS={WPDITS}

+ WPDITSD={WPDITSD} WPEMOD={WPEMOD} WPHIN={WPHIN}
 WPIGCD={WPIGCD} WPOXEDGE={WPOXEDGE} WRDW={WRDW}

+ WRGIDL={WRGIDL} WRGISL={WRGISL} WRSW={WRSW}
 WTETA0={WTETA0} WTNFACTOR={WTNFACTOR}

+ WTVFBSDOFF={WTVFBSDOFF} WTVOFF={WTVOFF}
 WTVOFFCV={WTVOFFCV} WUCS={WUCS} WUCSTE={WUCSTE}

+ WUD={WUD} WUD1={WUD1} WUP={WUP} WVBX={WVBX}
 WVFBSDOFF={WVFBSDOFF} WVTHO={WVTHO} WVTL={WVTL}

+ WXN={WXN} WXRCRG1={WXRCRG1} WXRCRG2={WXRCRG2}
 XGL={XGL} XGW={XGW} XJBVD={XJBVD} XJBVS={XJBVS}

+ XL={XL} XN={XN} XRCRG1={XRCRG1} XRCRG2={XRCRG2} XTID={XTID}
 XTIS={XTIS} XTSD={XTSD} XTSS={XTSS}

+ XTSSWD={XTSSWD} XTSSWGD={XTSSWGD} XTSSWGS={XTSSWGS}
 XTSSWS={XTSSWS}
 +)

19.9 Транзистор МОП с каналом P-типа и выводом от подложки

SPICE-префикс – M

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S @B
 PMOS4_MODEL_{MODELNAME} LEVEL={LEVEL} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL PMOS4_MODEL_{MODELNAME} PMOS
+(
+ LEVEL={LEVEL}
+ AD={AD} AF={AF} AS={AS} CBD={CBD} CBS={CBS} CGBO={CGBO}
CGDO={CGDO} CGSO={CGSO}
+ CJ={CJ} CJSW={CJSW} DELTA={DELTA} ETA={ETA} FC={FC}
GAMMA={GAMMA} GDSNOI={GDSNOI}
+ IS={IS} JS={JS} JSSW={JSSW} KAPPA={KAPPA} KF={KF} KP={KP} L={L}
LAMBDA={LAMBDA} LD={LD}
+ M={M} MJ={MJ} MJSW={MJSW} N={N} NEFF={NEFF} NFS={NFS}
NLEV={NLEV} NRB={NRB} NRD={NRD}
+ NRG={NRG} NRS={NRS} NSS={NSS} NSUB={NSUB} PB={PB}
PBSW={PBSW} PD={PD} PHI={PHI} PS={PS}
+ RB={RB} RD={RD} RDS={RDS} RG={RG} RS={RS} RSH={RSH}
THETA={THETA} TOX={TOX} TPG={TPG}
+ TT={TT} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} UCRIT={UCRIT} UEXP={UEXP}
UO={UO} UTRA={UTRA} VMAX={VMAX}
+ VTO={VTO} WD={WD} XJ={XJ} XQC={XQC}
+ A0={A0} A1={A1} A2={A2} ACMMOD={ACMMOD}
ACNQSMOD={ACNQSMOD} ACDE={ACDE}
+ AGS={AGS} ALPHA0={ALPHA0} ALPHA1={ALPHA1} AT={AT} B0={B0}
B1={B1} BETA0={BETA0}
```

+ BINUNIT={BINUNIT} CAPMOD={CAPMOD} CDSC={CDSC}
 CDSCB={CDSCB} CDSCD={CDSCD} CF={CF}

+ CGDL={CGDL} CGSL={CGSL} CIT={CIT} CJSWG={CJSWG}
 CKAPPA={CKAPPA} CLC={CLC} CLE={CLE}

+ DLC={DLC} DROUT={DROUT} DSUB={DSUB} DVT0={DVT0}
 DVT0W={DVT0W} DVT1={DVT1} DVT1W={DVT1W}

+ DVT2={DVT2} DVT2W={DVT2W} DWB={DWB} DWC={DWC}
 DWG={DWG} EF={EF} ELM={ELM} EM={EM}

+ ETA0={ETA0} ETAB={ETAB} GAMMA1={GAMMA1} GAMMA2={GAMMA2}
 IJTH={IJTH} K1={K1} K2={K2}

+ K3={K3} K3B={K3B} KETA={KETA} KT1={KT1} KT1L={KT1L} KT2={KT2}
 LINT={LINT} LINTNOI={LINTNOI}

+ LL={LL} LLC={LLC} LLN={LLN} LW={LW} LWC={LWC} LWL={LWL}
 LWLC={LWLC} LWN={LWN} LA0={LA0}

+ LA1={LA1} LA2={LA2} LACDE={LACDE} LAGS={LAGS}
 LALPHA0={LALPHA0} LALPHA1={LALPHA1} LAT={LAT}

+ LB0={LB0} LB1={LB1} LBETA0={LBETA0} LCDSC={LCDSC}
 LCDSCB={LCDSCB} LCDSCD={LCDSCD} LCF={LCF}

+ LCGDL={LCGDL} LCGSL={LCGSL} LCIT={LCIT} LCKAPPA={LCKAPPA}
 LCLC={LCLC} LCLE={LCLE}

+ LDELTA={LDELTA} LDROUT={LDROUT} LDSUB={LDSUB}
 LDVT0={LDVT0} LDVT0W={LDVT0W} LDVT1={LDVT1}

+ LDVT1W={LDVT1W} LDVT2={LDVT2} LDVT2W={LDVT2W}
 LDWB={LDWB} LDWG={LDWG} LELM={LELM}

+ LETA0={LETA0} LETAB={LETAB} LKETA={LKETA} LK3={LK3}
 LK3B={LK3B} LKT1={LKT1} LKT1L={LKT1L}

+ LKT2={LKT2} LMOIN={LMOIN} LNCH={LNCH} LNFACTOR={LNFACTOR}
 LNGATE={LNGATE} LNLX={LNLX}

+ LNSUB={LNSUB} LNOFF={LNOFF} LPCLM={LPCLM} LPDIBL1={LPDIBL1}
 LPDIBL2={LPDIBL2}

+ LPDIBLB={LPDIBLB} LPRT={LPRT} LPRWB={LPRWB} LPRWG={LPRWG}
 LPSCBE1={LPSCBE1} LPSCBE2={LPSCBE2}

+ LPVAG={LPVAG} LRDSW={LRDSW} LU0={LU0} LUA={LUA} LUA1={LUA1}
 LUB={LUB} LUB1={LUB1} LUC={LUC}

+ LUC1={LUC1} LUTE={LUTE} LVBM={LVBM} LVFB={LVFB}
 LVFBCV={LVFBCV} LVOFF={LVOFF}

+ LVOFFCV={LVOFFCV} LVSAT={LVSAT} LVTH0={LVTH0} LW0={LW0}
 LWR={LWR} LXJ={LXJ} LXT={LXT}

+ MJSWG={MJSWG} MOBMOD={MOBMOD} NQSMOD={NQSMOD}
 MOIN={MOIN} NCH={NCH} NFACTOR={NFACTOR}

+ NGATE={NGATE} NJ={NJ} NLX={NLX} NOFF={NOFF} NOIA={NOIA}
 NOIB={NOIB} NOIC={NOIC} PBSWG={PBSWG}

+ PCLM={PCLM} PDIBL1={PDIBL1} PDIBL2={PDIBL2} PDIBLB={PDIBLB}
 PRT={PRT} PRWB={PRWB} PRWG={PRWG}

+ PSCBE1={PSCBE1} PSCBE2={PSCBE2} PVAG={PVAG} PA0={PA0}
 PA1={PA1} PA2={PA2} PACDE={PACDE}

+ PAGS={PAGS} PALPHA0={PALPHA0} PALPHA1={PALPHA1} PAT={PAT}
 PB0={PB0} PB1={PB1} PBETA0={PBETA0}

+ PCDSC={PCDSC} PCDSCB={PCDSCB} PCDSCD={PCDSCD} PCF={PCF}
 PCGDL={PCGDL} PCGSL={PCGSL} PCIT={PCIT}

+ PCKAPPA={PCKAPPA} PCLC={PCLC} PCLE={PCLE} PDELTA={PDELTA}
 PDROUT={PDROUT} PDSUB={PDSUB}

+ PDVT0={PDVT0} PDVT0W={PDVT0W} PDVT1={PDVT1}
 PDVT1W={PDVT1W} PDVT2={PDVT2} PDVT2W={PDVT2W}

+ PDWB={PDWB} PDWG={PDWG} PELM={PELM} PETA0={PETA0}
 PETAB={PETAB} PKETA={PKETA} PK3={PK3}

+ PK3B={PK3B} PKT1={PKT1} PKT1L={PKT1L} PKT2={PKT2}
 PMOIN={PMOIN} PNCH={PNCH} PNGATE={PNGATE}

+ PNLX={PNLX} PNSUB={PNSUB} PNFACTOR={PNFACTOR}
 PNOFF={PNOFF} PPCLM={PPCLM} PPDIBL1={PPDIBL1}

+ PPDIBL2={PPDIBL2} PPDIBLB={PPDIBLB} PPRT={PPRT}
 PPRWB={PPRWB} PPRWG={PPRWG} PPSCBE1={PPSCBE1}

+ PPSCBE2={PPSCBE2} PPVAG={PPVAG} PRDSW={PRDSW} PU0={PU0}
 PUA={PUA} PUA1={PUA1} PUB={PUB}

+ PUB1={PUB1} PUC={PUC} PUC1={PUC1} PUTE={PUTE} PVBM={PVBM}
 PVFB={PVFB} PVFBCV={PVFBCV}

+ PVOFF={PVOFF} PVOFFCV={PVOFFCV} PVSAT={PVSAT}
 PVTH0={PVTH0} PW0={PW0} PWR={PWR} PXJ={PXJ}

+ PXT={PXT} RDSW={RDSW} TCJ={TCJ} TCJSW={TCJSW}
 TCJSWG={TCJSWG} TNOM={TNOM} TOXM={TOXM}

+ TPB={TPB} TPBSW={TPBSW} TPBSWG={TPBSWG} UA={UA}
 UA1={UA1} UB={UB} UB1={UB1} UC={UC} UC1={UC1}

+ UTE={UTE} VBM={VBM} VBX={VBX} VFB={VFB} VFBCV={VFBCV}
 VOFF={VOFF} VOFFCV={VOFFCV} VSAT={VSAT}

+ W0={W0} WINT={WINT} WL={WL} WLC={WLC} WLN={WLN} WR={WR}
 WW={WW} WWC={WWC} WWL={WWL} WWN={WWN}

+ WWLC={WWLC} WA0={WA0} WA1={WA1} WA2={WA2}
 WACDE={WACDE} WAGS={WAGS} WALPHA0={WALPHA0}

+ WALPHA1={WALPHA1} WAT={WAT} WB0={WB0} WB1={WB1}
 WBETA0={WBETA0} WCDSC={WCDSC} WCDSCB={WCDSCB}

+ WCDSCD={WCDSCD} WCF={WCF} WCGDL={WCGDL}
 WCGSL={WCGSL} WCIT={WCIT} WCKAPPA={WCKAPPA}

+ WCLC={WCLC} WCLE={WCLE} WDELTA={WDELTA}
 WDROUT={WDROUT} WDSUB={WDSUB} WDVTO={WDVTO}

+ WDVTOW={WDVTOW} WDVTO1={WDVTO1} WDVTO1W={WDVTO1W}
 WDVTO2={WDVTO2} WDVTO2W={WDVTO2W} WDWB={WDWB}

+ WDWG={WDWG} WELM={WELM} WETA0={WETA0} WETAB={WETAB}
 WKETA={WKETA} WK3={WK3} WK3B={WK3B}

+ WKT1={WKT1} WKT1L={WKT1L} WKT2={WKT2} WMOIN={WMOIN}
 WNCH={WNCH} WNFACTOR={WNFACTOR}

+ WNGATE={WNGATE} WNLX={WNLX} WNSUB={WNSUB}
 WNOFF={WNOFF} WPCLM={WPCLM} WPDIBL1={WPDIBL1}

+ WPDIBL2={WPDIBL2} WPDIBLB={WPDIBLB} WPRT={WPRT}
 WPRWB={WPRWB} WPRWG={WPRWG} WPSCBE1={WPSCBE1}

+ WPSCBE2={WPSCBE2} WPVAG={WPVAG} WRDSW={WRDSW}
 WU0={WU0} WUA={WUA} WUA1={WUA1} WUB={WUB}

+ WUB1={WUB1} WUC={WUC} WUC1={WUC1} WUTE={WUTE}
 WVBM={WVBM} WVFB={WVFB} WVFCV={WVFCV}

+ WVOFF={WVOFF} WVOFFCV={WVOFFCV} WVSAT={WVSAT}
 WVTH0={WVTH0} WW0={WW0} WWR={WWR} WXJ={WXJ}

+ WXT={WXT} XPART={XPART} XT={XT}

+ ADOS={ADOS} AGIDL={AGIDL} AGISL={AGISL} AIGBACC={AIGBACC}
 AIGBINV={AIGBINV} AIGC={AIGC}

+ AIGD={AIGD} AIGS={AIGS} AIGSD={AIGSD} BDOS={BDOS}
 BG0SUB={BG0SUB} BGIDL={BGIDL} BGISL={BGISL}

+ BIGBACC={BIGBACC} BIGBINV={BIGBINV} BIGC={BIGC} BIGD={BIGD}
 BIGS={BIGS} BIGSD={BIGSD}

+ BVD={BVD} BVS={BVS} CGIDL={CGIDL} CGISL={CGISL}
 CIGBACC={CIGBACC} CIGBINV={CIGBINV}

```

+ CIGC={CIGC} CIGD={CIGD} CIGS={CIGS} CIGSD={CIGSD} CJD={CJD}
CJS={CJS} CJSWD={CJSWD}

+ CJSWGD={CJSWGD} CJSWGS={CJSWGS} CJSWS={CJSWS}
CKAPPAD={CKAPPAD} CKAPPAS={CKAPPAS}

+ CVCHARGEMOD={CVCHARGEMOD} DELVTO={DELVTO}
DIOMOD={DIOMOD} DLCIG={DLCIG} DLCIGD={DLCIGD}

+ DMCG={DMCG} DMC GT={DMC GT} DMCI={DMCI} DMDG={DMDG}
DTOX={DTOX} DVTP0={DVTP0} DVTP1={DVTP1}

+ DVTP2={DVTP2} DVTP3={DVTP3} DVTP4={DVTP4} DVTP5={DVTP5}
DWJ={DWJ} EASUB={EASUB} EGIDL={EGIDL}

+ EGISL={EGISL} EIGBINV={EIGBINV} EOT={EOT}
EPSRGATE={EPSRGATE} EPSROX={EPSROX}

+ EPSRSUB={EPSRSUB} EU={EU} FGIDL={FGIDL} FGISL={FGISL}
FNOIMOD={FNOIMOD} FPROUT={FPROUT}

+ GBMIN={GBMIN} GEOMOD={GEOMOD} GIDLCLAMP={GIDLCLAMP}
GIDLMOD={GIDLMOD} ICVBS={ICVBS}

+ ICVDS={ICVDS} ICVGS={ICVGS} IDOVVDSC={IDOVVDSC}
IGBMOD={IGBMOD} IGC MOD={IGC MOD}

+ IJTHDFWD={IJTHDFWD} IJTHDREV={IJTHDREV}
IJTHSFWD={IJTHSFWD} IJTHSREV={IJTHSREV} JSD={JSD}

+ JSS={JSS} JSWD={JSWD} JSWGD={JSWGD} JSWGS={JSWGS}
JSWS={JSWS} JTSD={JTSD} JTSS={JTSS}

+ JTSSWD={JTSSWD} JTSSWGD={JTSSWGD} JTSSWGS={JTSSWGS}
JTSSWS={JTSSWS} JTWEFF={JTWEFF}

+ K2WE={K2WE} KGIDL={KGIDL} KGISL={KGISL} KU0={KU0}
KU0WE={KU0WE} KVSAT={KVSAT} KVTH0={KVTH0}

+ KVTH0WE={KVTH0WE} LAGIDL={LAGIDL} LAGISL={LAGISL}
LAIGBACC={LAIGBACC} LAIGBINV={LAIGBINV}

+ LAIGC={LAIGC} LAIGD={LAIGD} LAIGS={LAIGS} LAIGSD={LAIGSD}
LBGIDL={LBGIDL} LBGISL={LBGISL}

+ LBIGBACC={LBIGBACC} LBIGBINV={LBIGBINV} LBIGC={LBIGC}
LBIGD={LBIGD} LBIGS={LBIGS}

+ LBIGSD={LBIGSD} LC={LC} LCGIDL={LCGIDL} LCGISL={LCGISL}
LCIGBACC={LCIGBACC}

+ LCIGBINV={LCIGBINV} LCIGC={LCIGC} LCIGD={LCIGD} LCIGS={LCIGS}
LCIGSD={LCIGSD}

```


+ LCKAPPAD={LCKAPPAD} LCKAPPAS={LCKAPPAS} LDVTP0={LDVTP0}
 LDVTP1={LDVTP1} LDVTP2={LDVTP2}

+ LDVTP3={LDVTP3} LDVTP4={LDVTP4} LDVTP5={LDVTP5}
 LEFFEOT={LEFFEOT} LEGIDL={LEGIDL}

+ LEGISL={LEGISL} LEIGBINV={LEIGBINV} LEU={LEU} LFGIDL={LFGIDL}
 LFGISL={LFGISL} LFPROUT={LFPROUT}

+ LGAMMA1={LGAMMA1} LGAMMA2={LGAMMA2} LK1={LK1} LK2={LK2}
 LK2WE={LK2WE} LKGIDL={LKGIDL}

+ LKGISL={LKGISL} LKU0={LKU0} LKU0WE={LKU0WE} LKVTH0={LKVTH0}
 LKVTH0WE={LKVTH0WE}

+ LLAMBDA={LLAMBDA} LLODKU0={LLODKU0} LLODVTH={LLODVTH}
 LLP={LLP} LLPE0={LLPE0} LLPEB={LLPEB}

+ LMAX={LMAX} LMIN={LMIN} LMINV={LMINV} LMINVCV={LMINVCV}
 LNDEP={LNDEP} LNIGBACC={LNIGBACC}

+ LNIGBINV={LNIGBINV} LNIGC={LNIGC} LNSD={LNSD} LNTOX={LNTOX}
 LODETA0={LODETA0} LODK2={LODK2}

+ LP={LP} LPDITS={LPDITS} LPDITSD={LPDITSD} LPE0={LPE0}
 LPEB={LPEB} LPHIN={LPHIN} LPIGCD={LPIGCD}

+ LPOXEDGE={LPOXEDGE} LRDW={LRDW} LRGIDL={LRGIDL}
 LRGISL={LRGISL} LRSW={LRSW} LTETA0={LTETA0}

+ LTNFACTOR={LTNFACTOR} LTVFBSDOFF={LTVFBSDOFF}
 LTVOFF={LTVOFF} LTVOFFCV={LTVOFFCV} LUCS={LUCS}

+ LUCSTE={LUCSTE} LUD={LUD} LUD1={LUD1} LUP={LUP} LVBX={LVBX}
 LVFBSDOFF={LVFBSDOFF} LVTHO={LVTHO}

+ LVTL={LVTL} LXN={LXN} LXRCRG1={LXRCRG1} LXRCRG2={LXRCRG2}
 MIN_DS={MIN_DS} MINV={MINV}

+ MINVCV={MINVCV} MJD={MJD} MJS={MJS} MJSWD={MJSWD}
 MJSWGd={MJSWGd} MJSWGGS={MJSWGGS} MJWS={MJWS}

+ MTRLCOMPATMOD={MTRLCOMPATMOD} MTRLMOD={MTRLMOD}
 NDEP={NDEP} NF={NF} NGCON={NGCON}

+ NI0SUB={NI0SUB} NIGBACC={NIGBACC} NIGBINV={NIGBINV}
 NIGC={NIGC} NJD={NJD} NJS={NJS} NJTS={NJTS}

+ NJTSD={NJTSD} NJTSSW={NJTSSW} NJTSSWD={NJTSSWD}
 NJTSSWG={NJTSSWG} NJTSSWGd={NJTSSWGd} NSD={NSD}

+ NTNOI={NTNOI} NTOX={NTOX} OFF={OFF} PAGIDL={PAGIDL}
 PAGISL={PAGISL} PAIGBACC={PAIGBACC}

+ PAIBGINV={PAIBGINV} PAIGC={PAIGC} PAIGD={PAIGD} PAIGS={PAIGS}
 PAIGSD={PAIGSD} PBD={PBD}

+ PBGIDL={PBGIDL} PBGISL={PBGISL} PBIGBACC={PBIGBACC}
 PBIGBINV={PBIGBINV} PBIGC={PBIGC}

+ PBIGD={PBIGD} PBIGS={PBIGS} PBIGSD={PBIGSD} PBS={PBS}
 PBSWD={PBSWD} PBSWGD={PBSWGD}

+ PBSWGS={PBSWGS} PBSWS={PBSWS} PCGIDL={PCGIDL}
 PCGISL={PCGISL} PCIGBACC={PCIGBACC}

+ PCIGBINV={PCIGBINV} PCIGC={PCIGC} PCIGD={PCIGD}
 PCIGS={PCIGS} PCIGSD={PCIGSD}

+ PCKAPPAD={PCKAPPAD} PCKAPPAS={PCKAPPAS} PDITS={PDITS}
 PDITSD={PDITSD} PDITSL={PDITSL}

+ PDVTP0={PDVTP0} PDVTP1={PDVTP1} PDVTP2={PDVTP2}
 PDVTP3={PDVTP3} PDVTP4={PDVTP4} PDVTP5={PDVTP5}

+ PEGIDL={PEGIDL} PEGISL={PEGISL} PEIGBINV={PEIGBINV}
 PERMOD={PERMOD} PEU={PEU} PFGIDL={PFGIDL}

+ PFGISL={PFGISL} PFPROUT={PFPROUT} PGAMMA1={PGAMMA1}
 PGAMMA2={PGAMMA2} PHIG={PHIG} PHIN={PHIN}

+ PIGCD={PIGCD} PK1={PK1} PK2={PK2} PK2WE={PK2WE}
 PKGIDL={PKGIDL} PKGISL={PKGISL} PKU0={PKU0}

+ PKU0WE={PKU0WE} PKVTH0={PKVTH0} PKVTH0WE={PKVTH0WE}
 PLAMBDA={PLAMBDA} PLP={PLP} PLPE0={PLPE0}

+ PLPEB={PLPEB} PMINV={PMINV} PMINVCV={PMINVCV}
 PNDEP={PNDEP} PNIGBACC={PNIGBACC}

+ PNIGBINV={PNIGBINV} PNIGC={PNIGC} PNSD={PNSD}
 PNTOX={PNTOX} POXEDGE={POXEDGE} PPDITS={PPDITS}

+ PPDITSD={PPDITSD} PPHIN={PPHIN} PPIGCD={PPIGCD}
 PPOXEDGE={PPOXEDGE} PRDW={PRDW} PRGIDL={PRGIDL}

+ PRGISL={PRGISL} PRSW={PRSW} PTETA0={PTETA0}
 PTNFACTOR={PTNFACTOR} PTVFBSDOFF={PTVFBSDOFF}

+ PTVOFF={PTVOFF} PTVOFFCV={PTVOFFCV} PUCS={PUCS}
 PUCSTE={PUCSTE} PUD={PUD} PUD1={PUD1} PUP={PUP}

+ PVBX={PVBX} PVFBSDOFF={PVFBSDOFF} PVTHO={PVTHO}
 PVTL={PVTL} PXN={PXN} PXRCRG1={PXRCRG1}

+ PXRCRG2={PXRCRG2} RBDB={RBDB} RBDBX0={RBDBX0}
 RBDBY0={RBDBY0} RBODYMOD={RBODYMOD} RBPB={RBPB}

+ RBPBX0={RBPBX0} RBPBXL={RBPBXL} RBPBXNF={RBPBXNF}
 RBPBXW={RBPBXW} RBPBY0={RBPBY0} RBPBYL={RBPBYL}

+ RBPBYNF={RBPBYNF} RBPBYW={RBPBYW} RBPB={RBPB}
 RBPB0={RBPB0} RBPDL={RBPDL} RBPDNF={RBPDNF}

+ RBPBW={RBPBW} RBPS={RBPS} RBPS0={RBPS0} RBPSL={RBPSL}
 RBPSNF={RBPSNF} RBPSW={RBPSW} RBSB={RBSB}

+ RBSBX0={RBSBX0} RBSBY0={RBSBY0} RBSDBXL={RBSDBXL}
 RBSDBXNF={RBSDBXNF} RBSDBXW={RBSDBXW}

+ RBSDBYL={RBSDBYL} RBSDBYNF={RBSDBYNF}
 RBSDBYW={RBSDBYW} RDSMOD={RDSMOD} RDSWMIN={RDSWMIN}

+ RDW={RDW} RDWMIN={RDWMIN} RGATEMOD={RGATEMOD}
 RGEOMOD={RGEOMOD} RGIDL={RGIDL} RGISL={RGISL}

+ RNOIA={RNOIA} RNOIB={RNOIB} RNOIC={RNOIC} RSHG={RSHG}
 RSW={RSW} RSWMIN={RSWMIN} SA={SA}

+ SAREF={SAREF} SB={SB} SBREF={SBREF} SC={SC} SCA={SCA}
 SCB={SCB} SCC={SCC} SCREF={SCREF} SD={SD}

+ STETA0={STETA0} STK2={STK2} TBGASUB={TBGASUB}
 TBGBSUB={TBGBSUB} TEMPEOT={TEMPEOT}

+ TEMPMOD={TEMPMOD} TETA0={TETA0} TKU0={TKU0}
 TNFACTOR={TNFACTOR} TNJTS={TNJTS} TNJTSD={TNJTSD}

+ TNJTSSW={TNJTSSW} TNJTSSWD={TNJTSSWD}
 TNJTSSWG={TNJTSSWG} TNJTSSWGD={TNJTSSWGD} TNOIA={TNOIA}

+ TNOIB={TNOIB} TNOIC={TNOIC} TNOIMOD={TNOIMOD} TOXE={TOXE}
 TOXP={TOXP} TOXREF={TOXREF}

+ TRNQSMOD={TRNQSMOD} TVFBSDOFF={TVFBSDOFF}
 TVOFF={TVOFF} TVOFFCV={TVOFFCV} U0={U0} UCS={UCS}

+ UCSTE={UCSTE} UD={UD} UD1={UD1} UP={UP} VDDEOT={VDDEOT}
 VFBSDOFF={VFBSDOFF} VOFFCVL={VOFFCVL}

+ VOFFL={VOFFL} VTH0={VTH0} VTHO={VTHO} VTL={VTL} VTSD={VTSD}
 VTSS={VTSS} VTSSWD={VTSSWD}

+ VTSSWGD={VTSSWGD} VTSSWGS={VTSSWGS} VTSSWS={VTSSWS}
 W={W} WAGIDL={WAGIDL} WAGISL={WAGISL}

+ WAIGBACC={WAIGBACC} WAIGBINV={WAIGBINV} WAIGC={WAIGC}
 WAIGD={WAIGD} WAIGS={WAIGS} WAIGSD={WAIGSD}

+ WBGIDL={WBGIDL} WBGISL={WBGISL} WBIGBACC={WBIGBACC}
 WBIGBINV={WBIGBINV} WBIGC={WBIGC}

+ WBIGD={WBIGD} WBIGS={WBIGS} WBIGSD={WBIGSD}
 WCGIDL={WCGIDL} WCGISL={WCGISL} WCIGBACC={WCIGBACC}
 + WCIGBINV={WCIGBINV} WCIGC={WCIGC} WCIGD={WCIGD}
 WCIGS={WCIGS} WCIGSD={WCIGSD}
 + WCKAPPAD={WCKAPPAD} WCKAPPAS={WCKAPPAS}
 WDVTP0={WDVTP0} WDVTP1={WDVTP1} WDVTP2={WDVTP2}
 + WDVTP3={WDVTP3} WDVTP4={WDVTP4} WDVTP5={WDVTP5}
 WEB={WEB} WEC={WEC} WEFFEOT={WEFFEOT}
 + WEGIDL={WEGIDL} WEGISL={WEGISL} WEIGBINV={WEIGBINV}
 WEU={WEU} WFGIDL={WFGIDL} WFGISL={WFGISL}
 + WFPROUT={WFPROUT} WGAMMA1={WGAMMA1}
 WGAMMA2={WGAMMA2} WK1={WK1} WK2={WK2} WK2WE={WK2WE}
 + WKGIDL={WKGIDL} WKGISL={WKGISL} WKU0={WKU0}
 WKU0WE={WKU0WE} WKVTH0={WKVTH0} WKVTH0WE={WKVTH0WE}
 + WLAMBDA={WLAMBDA} WLOD={WLOD} WLODKU0={WLODKU0}
 WLODVTH={WLODVTH} WLP={WLP} WLPE0={WLPE0}
 + WLPEB={WLPEB} WMAX={WMAX} WMIN={WMIN} WMINV={WMINV}
 WMINVCV={WMINVCV} WNDEP={WNDEP}
 + WNIGBACC={WNIGBACC} WNIGBINV={WNIGBINV} WNIGC={WNIGC}
 WNSD={WNSD} WNTOX={WNTOX} WPDITS={WPDITS}
 + WPDITSD={WPDITSD} WPEMOD={WPEMOD} WPHIN={WPHIN}
 WPIGCD={WPIGCD} WPOXEDGE={WPOXEDGE} WRDW={WRDW}
 + WRGIDL={WRGIDL} WRGISL={WRGISL} WRSW={WRSW}
 WTETA0={WTETA0} WTNFACTOR={WTNFACTOR}
 + WTVFBSDOFF={WTVFBSDOFF} WTVOFF={WTVOFF}
 WTVOFFCV={WTVOFFCV} WUCS={WUCS} WUCSTE={WUCSTE}
 + WUD={WUD} WUD1={WUD1} WUP={WUP} WVBX={WVBX}
 WVFBSDOFF={WVFBSDOFF} WVTHO={WVTHO} WVTL={WVTL}
 + WXN={WXN} WXRCRG1={WXRCRG1} WXRCRG2={WXRCRG2}
 XGL={XGL} XGW={XGW} XJBVD={XJBVD} XJBVS={XJBVS}
 + XL={XL} XN={XN} XRCRG1={XRCRG1} XRCRG2={XRCRG2} XTID={XTID}
 XTIS={XTIS} XTSD={XTSD} XTSS={XTSS}
 + XTSSWD={XTSSWD} XTSSWGD={XTSSWGD} XTSSWGS={XTSSWGS}
 XTSSWS={XTSSWS}
 +)

19.10 Транзистор полевой арсенид-галлиевый

SPICE-префикс – B

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S
GASFET_MODEL_{MODELNAME} LEVEL={LEVEL} AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL GASFET_MODEL_{MODELNAME} GASFET
+(
+ LEVEL={LEVEL}
+ ACGAM={ACGAM} AF={AF} ALPHA={ALPHA} ALPHATCE={ALPHATCE}
B={B} BETA={BETA} BETATCE={BETATCE}
+ BTRK={BTRK} CDS={CDS} CGD={CGD} CGDTCE={CGDTCE}
CGS={CGS} CGSTCE={CGSTCE} DELTA={DELTA}
+ DVT={DVT} DVTT={DVTT} EG={EG} FC={FC} GAMMA={GAMMA}
GAMMATC={GAMMATC} HFETA={HFETA} HFE1={HFE1}
+ HFE2={HFE2} HFGAM={HFGAM} HFG1={HFG1} HFG2={HFG2} IBD={IBD}
IS={IS} KF={KF} LAMBDA={LAMBDA}
+ LFGAM={LFGAM} LFG1={LFG1} LFG2={LFG2} M={M} MVST={MVST}
MXI={MXI} N={N}
+ ND={ND} NG={NG} P={P} Q={Q} RD={RD} RG={RG} RS={RS} TAU={TAU}
TAUD={TAUD} TAUG={TAUG}
+ TRD1={TRD1} TRG1={TRG1} TRS1={TRS1} T_ABS={T_ABS}
T_MEASURED={T_MEASURED} T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VBD={VBD} VBI={VBI} VBITC={VBITC}
VDELTA={VDELTA} VMAX={VMAX}
+ VST={VST} VTO={VTO} VTOTC={VTOTC} XC={XC} XL={XL} XTI={XTI}
Z={Z}
+)
```

19.11 Транзистор полевой с каналом N-типа

SPICE-префикс – J

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S NJF_MODEL_{MODELNAME}
AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL NJF_MODEL_{MODELNAME} NJF
+(
+ AF={AF} ALPHA={ALPHA} BETA={BETA} BETATCE={BETATCE}
+ CGD={CGD} CGS={CGS} FC={FC} IS={IS} ISR={ISR} KF={KF}
+ LAMBDA={LAMBDA} M={M} N={N} NR={NR} PB={PB} RD={RD}
+ RS={RS} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VK={VK} VTO={VTO} VTOTC={VTOTC}
XTI={XTI}
+)
```

19.12 Транзистор полевой с каналом Р-типа

SPICE-префикс – J

SPICE-шаблон – {REFDES} @D @G @S PJF_MODEL_{MODELNAME}
 AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL PJF_MODEL_{MODELNAME} PJF
+(
+ AF={AF} ALPHA={ALPHA} BETA={BETA} BETATCE={BETATCE}
+ CGD={CGD} CGS={CGS} FC={FC} IS={IS} ISR={ISR} KF={KF}
+ LAMBDA={LAMBDA} M={M} N={N} NR={NR} PB={PB} RD={RD}
+ RS={RS} T_ABS={T_ABS} T_MEASURED={T_MEASURED}
T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VK={VK} VTO={VTO} VTOTC={VTOTC}
XTI={XTI}
+)
```

19.13 Батарея

SPICE-префикс – V

SPICE-шаблон – {REFDES} @N_plus @N_minus {VOLTAGE}

19.14 Независимый источник напряжения

SPICE-префикс – V

SPICE-шаблон – {REFDES} @N_plus @N_minus DC {VOLTAGE} AC {ACMAGNITUDE} {ACPHASE} Rser={Rser} {SIGNAL}

19.15 Независимый источник тока

SPICE-префикс – I

SPICE-шаблон – {REFDES} @N_plus @N_minus DC {CURRENT} AC {ACMAGNITUDE} {ACPHASE} {SIGNAL}

19.16 Источник напряжения, управляемый напряжением

SPICE-префикс – E

SPICE-шаблон:

{REFDES} @plus @minus @ctrl_plus @ctrl_minus {GAIN}

R_{REFDES} @ctrl_plus @ctrl_minus 1G

19.17 Источник напряжения, управляемый током

SPICE-префикс – H

SPICE-шаблон:

{REFDES} @plus @minus V_{REFDES} {GAIN}

V_{REFDES} @1 @2 0

19.18 Источник тока, управляемый напряжением

SPICE-префикс – G

SPICE-шаблон:

{REFDES} @1 @2 @ctrl_plus @ctrl_minus {GAIN}

R_{REFDES} @ctrl_plus @ctrl_minus 1G

19.19 Источник тока, управляемый током

SPICE-префикс – F

SPICE-шаблон:

{REFDES} @1 @2 V_{REFDES} {GAIN}

V_{REFDES} @3 @4 0

19.20 Функциональный источник напряжения

SPICE-префикс – E

SPICE-шаблон – {REFDES} @plus @minus VALUE={Expression}

19.21 Функциональный источник тока

SPICE-префикс – G

SPICE-шаблон – {REFDES} @plus @minus VALUE={Expression}

19.22 Двухполюсник

SPICE-префикс – S

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 S_MODEL_{MODELNAME}
FILE_OR_EXPR={FILE_OR_EXPR} TSTONEFILE={TSTONEFILE} TYPE={TYPE}
Y11={Y11} R={R}

Текст модели:

```
.MODEL S_MODEL_{MODELNAME} S ( N=1 NFFT={NFFT}
WINDOW={WINDOW} TOL={TOL} MAXF={MAXF} METHOD={METHOD}
FACTOR={FACTOR} VERSION={VERSION} )
```

19.23 Четырехполюсник

SPICE-префикс – S

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 @N3 @N4
S_MODEL_{MODELNAME} FILE_OR_EXPR={FILE_OR_EXPR}
TSTONEFILE={TSTONEFILE} TYPE={TYPE} Y11={Y11} Y12={Y12} Y21={Y21}
Y22={Y22} R={R}

Текст модели:

```
.MODEL S_MODEL_{MODELNAME} S ( N=2 NFFT={NFFT}
WINDOW={WINDOW} TOL={TOL} MAXF={MAXF} METHOD={METHOD}
FACTOR={FACTOR} VERSION={VERSION} )
```

19.24 Шестиполюсник

SPICE-префикс – S

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 @N3 @N4 @N5 @N6
S_MODEL_{MODELNAME} FILE_OR_EXPR={FILE_OR_EXPR}
TSTONEFILE={TSTONEFILE} TYPE={TYPE} Y11={Y11} Y12={Y12} Y13={Y13}
Y21={Y21} Y22={Y22} Y23={Y23} Y31={Y31} Y32={Y32} Y33={Y33} R={R}

Текст модели:

```
.MODEL S_MODEL_{MODELNAME} S ( N=3 NFFT={NFFT}
WINDOW={WINDOW} TOL={TOL} MAXF={MAXF} METHOD={METHOD}
FACTOR={FACTOR} VERSION={VERSION} )
```

19.25 Восьмиполюсник

SPICE-префикс – S

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 @N3 @N4 @N5 @N6 @N7 @N8
S_MODEL_{MODELNAME} FILE_OR_EXPR={FILE_OR_EXPR}
TSTONEFILE={TSTONEFILE} TYPE={TYPE} Y11={Y11} Y12={Y12} Y13={Y13}
Y14={Y14} Y21={Y21} Y22={Y22} Y23={Y23} Y24={Y24} Y31={Y31} Y32={Y32}
Y33={Y33} Y34={Y34} Y41={Y41} Y42={Y42} Y43={Y43} Y44={Y44} R={R}

Текст модели:

```
.MODEL S_MODEL_{MODELNAME} S ( N=4 NFFT={NFFT}
WINDOW={WINDOW} TOL={TOL} MAXF={MAXF} METHOD={METHOD}
FACTOR={FACTOR} VERSION={VERSION} )
```

19.26 Взаимная (магнитосвязная) индуктивность

SPICE-префикс – K

SPICE-шаблон – {REFDES} {L_list} {K}

19.27 Двухобмоточный трансформатор

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 @4 transf2coil params: Lp={Lp}
Ls={Ls} K={K}

Текст модели:

```
.SUBCKT transf2coil p1 p2 s1 s2 params: Lp=1m Ls=1m K=0.99
```

```
L1 p1 p2 Lp
```

```
L2 s1 s2 Ls
```

```
K1 L1 L2 K
```

```
.ENDS transf2coil
```

19.28 Диод

SPICE-префикс – D

SPICE-шаблон – {REFDES} @A @C D_MODEL_{MODELNAME}
AREA={AREA} {OFF} IC={IC}

Текст модели:

```
.MODEL D_MODEL_{MODELNAME} D
+(
+ AF={AF} BV={BV} CJO={CJO} EG={EG} FC={FC} IBV={IBV}
+ IBVL={IBVL} IKF={IKF} IS={IS} ISR={ISR} KF={KF}
+ M={M} N={N} NBV={NBV} NBVL={NBVL} NR={NR} RL={RL}
+ RS={RS} TBV1={TBV1} TBV2={TBV2} TIKF={TIKF}
+ TRS1={TRS1} TRS2={TRS2} TT={TT} T_ABS={T_ABS}
+ T_MEASURED={T_MEASURED} T_REL_GLOBAL={T_REL_GLOBAL}
+ T_REL_LOCAL={T_REL_LOCAL} VJ={VJ} XTI={XTI}
+)
```

19.29 Длинная линия

SPICE-префикс – T

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 @4 TRN_MODEL_{MODELNAME}
IC={IC} F={F} FADING={FADING} NL={NL} TD={TD} Z0={Z0}

Текст модели:

```
.MODEL TRN_MODEL_{MODELNAME} TRN ( F={F} FADING={FADING}
NL={NL} TD={TD} Z0={Z0} )
```

19.30 Индуктивность

SPICE-префикс – L

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 {VALUE} IC={IC}

19.31 Конденсатор

SPICE-префикс – C

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 {VALUE} IC={IC}

19.32 Магнитный сердечник

SPICE-префикс – K

SPICE-шаблон – {REFDES} {L_list} {factor} CORE_MODEL_{MODELNAME}
A={A} AREA={AREA} ALPHA={ALPHA} C={C} GAP={GAP} K={K} MS={MS}
PATH={PATH} FUN={FUN}

Текст модели – .MODEL CORE_MODEL_{MODELNAME} CORE (A={A}
AREA={AREA} ALPHA={ALPHA} C={C} GAP={GAP} K={K} MS={MS} PATH={PATH}
FUN={FUN})

19.33 Переключатель, управляемый напряжением

SPICE-префикс – S

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @ctrl_plus @ctrl_minus
VSWITCH_MODEL_{MODELNAME}

Текст модели:

.MODEL VSWITCH_MODEL_{MODELNAME} VSWITCH (ROFF={ROFF}
RON={RON} VH={VH} VOFF={VOFF} VON={VON} VT={VT})

19.34 Переключатель, управляемый током

SPICE-префикс – W

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 {CTRL_ELEM}
ISWITCH_MODEL_{MODELNAME}

Текст модели:

.MODEL ISWITCH_MODEL_{MODELNAME} ISWITCH (IH={IH}
IOFF={IOFF} ION={ION} IT={IT} ROFF={ROFF} RON={RON})

19.35 Резистор

SPICE-префикс – R

SPICE-шаблон – {REFDES} @N1 @N2 {VALUE}

19.36 Резистор-потенциометр с линейной зависимостью

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 pot_lin PARAMS: R={R}
wiper={wiper}

Текст модели:

```
.SUBCKT pot_lin 1 2 3 PARAMS: R={R}, wiper={wiper}
.param w=limit(wiper,0.01m,0.99999)
R1 1 3 {R*(1-w)}
R2 3 2 {R*(w)}
.ENDS
```

19.37 Резистор-потенциометр со степенной зависимостью

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 pot_lin PARAMS: R={R}
wiper={wiper} RTAP={RTAP} TAP={TAP}

Текст модели:

```
.SUBCKT pot_pow 1 2 3 PARAMS: R=1K, wiper=0.5, RTAP=100, TAP=0.5
.param w=limit(wiper,0.01m,0.99999)
.param pwexp=ln(RTAP/R)/ln(TAP)
.param ratio=w**pwexp
R1 1 3 {R*(1-ratio)}
R2 3 2 {R*(ratio)}
.ENDS
```

19.38 Резистор-потенциометр с логарифмической зависимостью

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 pot_lin PARAMS: R={R}
wiper={wiper} RTAP={RTAP} TAP={TAP}

Текст модели:

```
.SUBCKT pot_plog 1 2 3 PARAMS: R=1K, wiper=0.5, RTAP=0.1, TAP=0.001
.param w=limit(wiper,0.01m,0.99999)
```

```
.param pwexp=ln(RTAP/R)/(1-TAP)
.param ratio=exp(pwexp*(1-w))
R1 1 3 {R*(1-ratio)}
R2 3 2 {R*(ratio)}
.ENDS
```

19.39 Резистор-потенциометр с обратной логарифмической зависимостью

SPICE-префикс – X

SPICE-шаблон – {REFDES} @1 @2 @3 pot_lin PARAMS: R={R}
wiper={wiper} RTAP={RTAP} TAP={TAP}

Текст модели:

```
.SUBCKT pot_nlog 1 2 3 PARAMS: R=1K, wiper=0.5, RTAP=0.1, TAP=0.999
.param w=limit(wiper,0.01m,0.99999)
.param pwexp=ln(RTAP/R)/(TAP)
.param ratio=exp(pwexp*(w))
R1 1 3 {R*(1-ratio)}
R2 3 2 {R*(ratio)}
.ENDS
```

20 Приложение Б. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.

20.1 Общие сведения о приложении

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.

20.2 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:

```
V<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)
```

20.3 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 параметрами по умолчанию:

```
.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 VBIC=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. 109](#).

[Таблица 109](#) 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. 110](#).

[Таблица 110](#) 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
CGD	Ёмкость затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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 – TOM – модель TriQuint, 4 – модель Паркера-Скеллерна, 5 – TOM-2 – модель TriQuint	1	-
M	Коэффициент плавности р-п-перехода затвора (LEVEL=1..3)	0,5	-
N	Коэффициент эмиссии р-п-перехода затвор-канал	1	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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
XTI	Температурный коэффициент тока IS	0	-
Дополнительные параметры для модели уровня LEVEL=4			
ACGAM	Коэффициент модуляции ёмкости	0	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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	-
XI	Параметр, определяющий точку излома потенциала насыщения	-	1000
Z	Параметр точки излома характеристики транзистора		0.5

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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

20.4 С. Конденсатор

SPICE-формат

Синтаксис:

С<имя><плюс> <минус> [имя модели] [значение] + [IC=<начальное значение напряжения>]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-формат

С<имя><плюс> <минус> [C=]<выражение>

С<имя><плюс> <минус> [C=]'<выражение>'

С<имя><плюс> <минус> [C=](<выражение>)

С<имя><плюс> <минус> [C=]{<выражение>}

С<имя><плюс> <минус> Q=<выражение>

С<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 с параметрами по умолчанию:

```
.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. 111](#).

[Таблица 111](#) 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

20.5 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 с параметрами по умолчанию:

```
.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. 112](#).

[Таблица 112](#) 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	-

20.6 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<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 приведено в [Табл. 113](#).

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

$$E9 \ 3 \ 0 \ \text{freq}(v(1)+v(1)*v(2)) = r\_i \ 0,1,0,1,2,5,10,1.5,1.3$$

Таблица 113 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	simone	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
	- IFT – вычисление обратного преобразования Лапласа с помощью БПФ - 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

ИНУН 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 [Функциональные преобразования](#).

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

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 [Остальные функции](#).
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (<аргумент>, <функция>). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение напряжения управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходное напряжение.

Функциональный ИН 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 [Функциональные преобразования](#).

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

20.7 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.

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_ri(), freq_db(), freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. раздел [Функциональные преобразования](#).

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

20.8 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>

G<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+TABLE = <входное значение>, <выходное значение> ...

G<имя> <плюс> <минус> TABLE(<выражение>) =

<входное значение>, <выходное значение> ...

G <имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>

LAPLACE = <передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>] [WINDOW=<time>] [NFFT=<number>]
[MTOL=<number>]]

G<имя> <плюс> <минус> LAPLACE (<выражение>) =

<передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

G <имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>

FREQ = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>,
<фаза1>>, <<частота2>, <амплитуда2>, <фаза2>> ...

G<имя> <плюс> <минус> FREQ (<выражение>) =

[[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>, <фаза1>> ,
<<частота2>, <амплитуда2>, <фаза2>> ...

<выражение> может содержать:

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

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: $I = \text{Gain} * V_y$. Здесь V_y – 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.

ИТУН 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 [Функциональные преобразования](#).

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

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 [Остальные функции](#).
- Таблично. Таблица берётся от Выражения или функции POLY – в зависимости от указанного выбора – и задаётся парами чисел (`<аргумент>`, `<функция>`). Координаты опорных точек задаются в порядке возрастания аргумента. В этом случае значение тока управляемого источника определяется следующим образом: сначала вычисляется значение Выражения или функции POLY, затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

Функциональный ИТ 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 [Функциональные преобразования](#).

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

20.9 Н. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)

Моделирует ИНУТ, ИНУТ с функцией Лапласа

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

Н<имя> <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения> +<коэффициент передачи>

Н <имя> <+узел> <-узел> POLY(<значения>)

<имя управляющего источника напряжения> <полиномиальные коэффициенты> Н <имя> <+узел> <-узел> VALUE = <выражение>

Н <имя> <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения> +TABLE = <входное значение>, <выходное значение> ...

Н<имя> <+узел> <-узел> TABLE(<выражение>) =

<входное значение>, <выходное значение> ...

Н<имя> <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения>

LAPLACE = <передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

Н<имя> <+узел> <-узел> LAPLACE (<выражение>) =

<передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

Н <имя> <плюс> <минус> <имя управляющего источника напряжения>

FREQ = [[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>, <фаза1>>, <<частота2>, <амплитуда2>, <фаза2>>...

Н<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.

ИНУТ с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной `s`
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r1()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Функциональные преобразования](#).

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

20.10 I. Независимый источник тока

SPICE-формат

Синтаксис:

I<имя> <+узел> <-узел> [[DC] <значение>]

[AC <модуль> [<фаза>]]

[STIMULUS=<имя сигнала>]

[Сигнал]

[Rpar=<value>]

Параметр DC определяет постоянную составляющую источника напряжения. Для режима AC задаются модуль (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:

$$I_{AC} = ACmagnitude * \sin(ACphase * \pi / 180) + i * ACmagnitude * \cos(ACphase * \pi / 180)$$

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](#).

20.11 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 p-n 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 с параметрами по умолчанию (совпадают с параметрами по умолчанию 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. 114](#).

[Таблица 114](#) Параметры модели полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока	1	-
ALPHA	Коэффициент ионизации	1	B
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-n-перехода затвор-канал	1E-14	A
ISR	Параметр тока рекомбинации р-n перехода затвор-канал	0	A

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	-
LAMBDA	Параметр модуляции длины канала	0	1/B
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	B
RD	Объемное сопротивление области стока	0	Ом
RS	Объемное сопротивление области истока	0	Ом
T_ABS	Абсолютная температура	-	C
T_MEASURED	Температура измерения	-	C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	C
VK	Напряжение ионизации для перехода затвор-канал	0	B
VTO	Пороговое напряжение	-2	B
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	B/°C
XTI	Температурный коэффициент тока IS	3	-

20.12 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. 115](#).

[Таблица 115](#) 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.

20.13 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 с параметрами по умолчанию:

```

.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. 116](#).

[Таблица 116](#) 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.

20.14 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 однотипных 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:

$RD = NRD \cdot RSH$, $RS = NRS \cdot RSH$,

$RG = NRG \cdot RSH$, $RS = NRB \cdot RSH$.

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 с параметрами по умолчанию (совпадают с параметрами по умолчанию 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. 117](#).

[Таблица 117](#) Поддерживаемые модели

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

В [Табл. 118](#) представлено описание параметров модели МОП-транзистора.

Таблица 118 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	$B^{1/2}$
PHI	1–3	Поверхностный потенциал сильной инверсии	0,6	В
LAMBD A	1–3	Параметр модуляции длины канала	0	1/B
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	$A/м^2$

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
JSSW	1–3	Удельная плотность тока насыщения (на длину периметра)	0	A/м
PB	1–3	Напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	0,8	B
PBSW	1–3	Напряжение инверсии боковой поверхности p-n-перехода	PB	B
N	1–3	Коэффициент неидеальности перехода подложка-сток (исток)	1	-
CBD	1–3	Ёмкость донной части перехода сток-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CBS	1–3	Ёмкость донной части перехода исток-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CJ	1–3	Удельная ёмкость донной части p-n-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода)	0	Ф/м ²
CJSW	1–3	Удельная ёмкость боковой поверхности перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на длину периметра)	0	Ф/м
MJ	1–3	Коэффициент, учитывающий 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	0	Ф/м

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
		счёт боковой диффузии)		
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 того же типа, как и для подложки; – 1 – примесью противоположного типа; 0 – металл)	1	-
XJ	2, 3	Глубина металлического перехода областей стока и истока	0	м
UO	2, 3	Поверхностная подвижность носителей	600	см ² /В/с
UCRIT	2	Критическая напряженность поля, при которой подвижность носителей уменьшается в два раза	1E4	В/см
UEXP	2	Экспоненциальный коэффициент снижения подвижности носителей	0	-
UTRA	2	Коэффициент снижения подвижности носителей	0	м/с
GDSNO I	1-3	Коэффициент дробового шума канала	1	-
NLEV	1-3	Выбор шумового уравнения	2	-

Обозначение	Значения LEVEL	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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/V
ETA	3	Параметр влияния напряжения сток-исток на пороговое напряжение (статическая обратная связь)	0	-
KAPPA	3	Фактор поля насыщения (Параметр модуляции длины канала напряжением сток-исток)	0,2	-
KF	1-3	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	-
AF	1-3	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход	1	-
T_MEASURED	1-3	Температура измерения	-	°C
T_ABS	1-3	Абсолютная температура	-	°C
T_REL_GLOBAL	1-3	Относительная температура	-	°C

20.15 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 с параметрами по умолчанию (за исключением CN и D совпадают с параметрами по умолчанию 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. 119](#).

[Таблица 119](#) 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
CJE	Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	0	Ф
CJS (CCS)	Ёмкость перехода коллектор-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CN	Температурный коэффициент квази насыщения для подвижности дырок	2.42 для NPN 2.2 для PNP	-
D	Температурный коэффициент квази насыщения 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	-	А

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
IKR	Ток начала спада зависимости BR от тока эмиттера в инверсном режиме	-	A
IS	Ток насыщения при температуре 27°C	10^{-16}	A
ISC	Ток насыщения утечки перехода база-коллектор	0	A
ISE	Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер	0	A
ISS	Ток насыщения p-n перехода подложки	0	A
ITF	Ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах	0	A
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	-
MJC	Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода	0,33	-
MJE	Коэффициент, учитывающий плавность эмиттерного перехода	0,33	-
MJS	Коэффициент, учитывающий плавность перехода коллектор-подложка	0	-
NC	Коэффициент неидеальности перехода база-коллектор	2	-
NE	Коэффициент неидеальности перехода база-эмиттер	1,5	-
NF	Коэффициент неидеальности для нормального режима	1	-
NK	Коэффициент перегиба при больших токах	0,5	-
NR	Коэффициент неидеальности для инверсного режима	1	-
NS	Коэффициент неидеальности для перехода подложки	-	-
PTF	Дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{гр} = 1/(2\pi \cdot TF)$	0	Град.
CJE	Ёмкость эмиттерного перехода при нулевом смещении	0	пФ

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
QCO	Множитель, определяющий заряд в эпитаксиальной области	0	Кл
RB	Объемное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер	0	Ом
RBM	Минимальное сопротивление базы при больших токах	RB	Ом
RC	Объемное сопротивление коллектора	0	Ом
RCO	Сопротивление эпитаксиальной области	0	Ом
RE	Объемное сопротивление эмиттера	0	Ом
TF	Время переноса заряда через базу в нормальном режиме	0	с
TR	Время переноса заряда через базу в инверсном режиме	0	с
TRB1	Линейный температурный коэффициент RB	0	°C ⁻¹
TRB2	Квадратичный температурный коэффициент RB	0	°C ⁻²
TRC1	Линейный температурный коэффициент RC	0	°C ⁻¹
TRC2	Квадратичный температурный коэффициент RC	0	°C ⁻²
TRE1	Линейный температурный коэффициент RE	0	°C ⁻¹
TRE2	Квадратичный температурный коэффициент RE	0	°C ⁻²
TRM1	Линейный температурный коэффициент RBM	0	°C ⁻¹
TRM2	Квадратичный температурный коэффициент RBM	0	°C ⁻²
T_ABS	Абсолютная температура	-	°C
T_MEASU RED	Температура измерений	-	°C
T_REL_GL OBAL	Относительная температура	-	°C

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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	-
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.

20.16 R. Резистор

SPICE-формат

Синтаксис:

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

SimOne и HSPICE/LTSPICE-форматы

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

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения резистора. Полярность используется только для построения графиков тока $I(R<имя>)$ резистора и падения напряжения на нём $V(R<имя>)$.

$[TC=<tc1>[,<tc2>]]$ – 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 с параметрами по умолчанию:

```
.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. 120](#).

[Таблица 120](#) 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.

20.17 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, с параметрами по умолчанию:

```
.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. 121](#).

[Таблица 121](#) 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.

Режим плавного переключения

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

Если $VON > VOFF$, то ключ замкнут при управляющем напряжении $V_u > VON$ и разомкнут при $V_u < VOFF$.

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.

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.

20.18 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 с параметрами по умолчанию:

.MODEL TRN_DEFAULT_MODEL TRN(F=2 FADING=1 NL=0.2
TD=undefined Z0=50)

Описание параметров модели длинной линии приведено в [Табл. 122](#).

[Таблица 122](#) 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	-	-

20.19 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](#).

20.20 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, с параметрами по умолчанию:

.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. 123](#).

[Таблица 123](#) 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.

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} .

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.

20.21 X. Подсхема

SPICE-формат

Синтаксис:

X<имя> узел1 узел 2 узел3... <имя подсхемы>

+ [PARAMS: <имя параметра> = <значение>]

+ [TEXT: <имя текстового параметра> = <текстовая строка>]

LTSPICE-формат

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

<имя> – имя элемента, описываемого подсхемой <имя подсхемы> узел1 узел 2 узел3... – список узлов включения элемента подсхемы [PARAMS: <имя параметра> = <значение>] (SPICE),

[<параметр>=<выражение>] (LTSPICE) – определяют передаваемые в подсхему параметры и их значения

[TEXT: <name> = <text value>] – определяет передаваемый в подсхему текст

Синтаксис описания модели

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

...

.ENDS

Примеры:

SPICE-формат

X1 in out divider params: top=9K bot=1K // вызов подсхемы

.subckt divider A B params: top=1K bot=1K // описание подсхемы

R1 A B {top}

R2 B 0 {bot}

.ends

LTSPICE-формат

X1 in out divider top=9K bot=1K // вызов подсхемы

.subckt divider A B // описание подсхемы

R1 A B {top}

R2 B 0 {bot}

.ends divider

Внешние выводы подсхемы указываются пользователем после ключевого слова .SUBCKT. Входные параметры схемы объявляются в описании после ключевого слова .PARAMS.