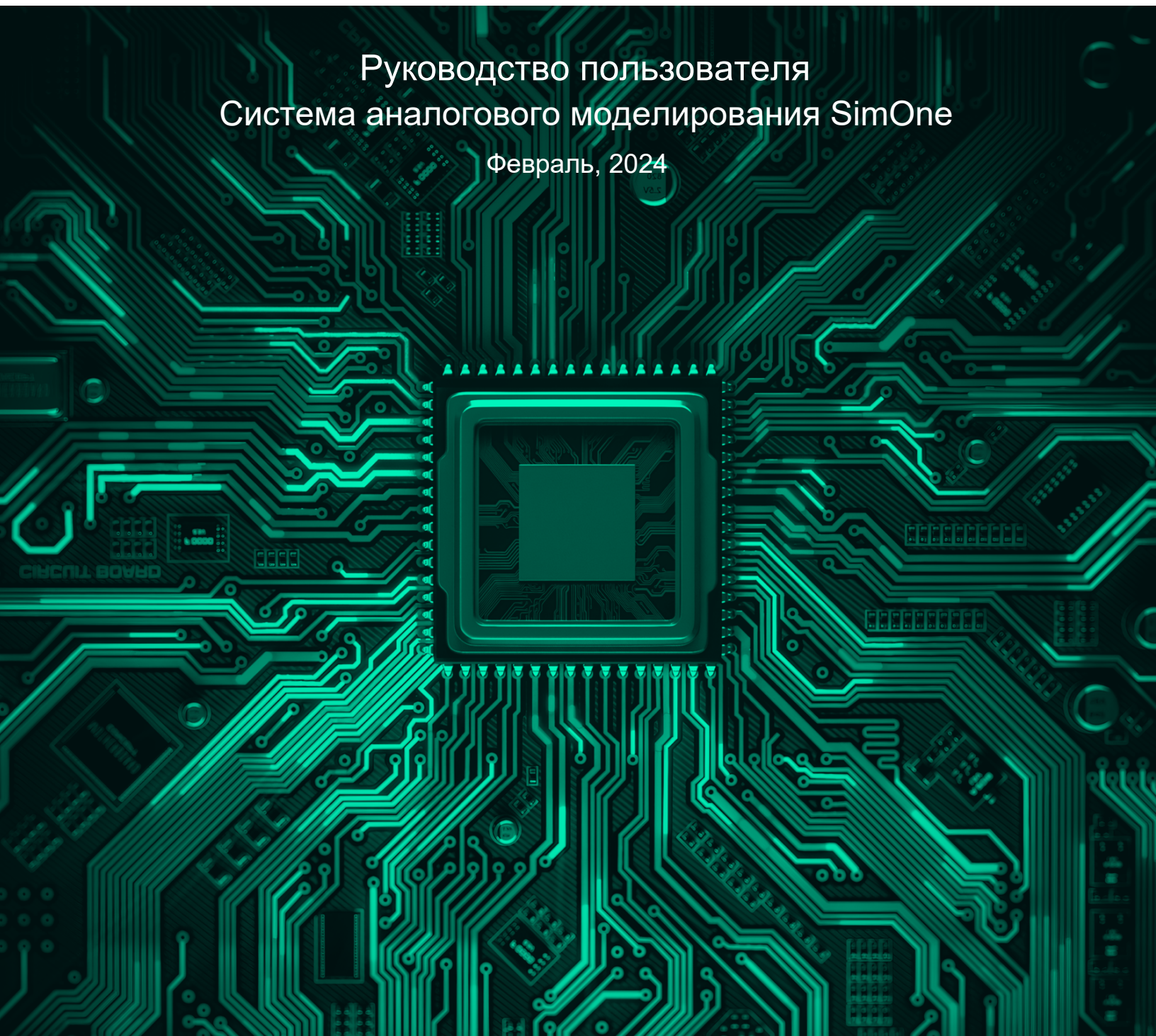




Комплексная среда сквозного проектирования
электронных устройств

Руководство пользователя
Система аналогового моделирования SimOne

Февраль, 2024



Руководство пользователя

Внимание!

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

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

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

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

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

Последнюю версию документа можно получить в сети Интернет по ссылке:

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

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

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

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

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

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

Техническая поддержка

E-mail: support@eremex.ru

Skype: [supporteremex](https://www.skype.com/en/contacts/voice/eremex-support)

Отдел продаж

Тел. +7 (495) 232-18-64

E-mail: info@eremex.ru

E-mail: sales@eremex.ru

Руководство пользователя

Добро пожаловать!

Компания «ЭРЕМЕКС» благодарит Вас за приобретение системы Delta Design и надеется, что она будет удобным и полезным инструментом в Вашей проектной деятельности.

Система Delta Design является интегрированной средой, обеспечивающей средствами автоматизации сквозной цикл проектирования электронных устройств, включая:

- Формирование базы данных радиоэлектронных компонентов, ее сопровождение и поддержание в актуальном состоянии;
- Проектирование принципиальных электрических схем;
- SPICE - моделирование работы аналоговых устройств;
- Разработка конструкций печатных плат;
- Размещение электронных компонентов на наружных слоях печатной платы и проектирование сети электрических соединений (печатных проводников, межслойных переходов) в соответствии с заданной электрической схемой и правилами проектирования структуры печатного монтажа;
- Выпуск конструкторской документации в соответствии с ГОСТ;
- Выпуск производственной документации, в том числе необходимой для автоматизированных производственных линий;
- Подготовка данных для составления перечня закупаемых изделий и материалов, необходимых для изготовления изделия.

Руководство пользователя

Техническая поддержка и сопровождение



Примечание! Техническая поддержка оказывается только пользователям, прошедшим курс обучения. Подробные сведения о курсе обучения могут быть получены по адресу в интернете

www.eremex.ru/learning-center

При возникновении вопросов, связанных с использованием Delta Design, рекомендуем:

- Ознакомиться с документацией (руководством пользователя);

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

- Ознакомиться с информацией на сайте в разделе «База знаний», содержащей ответы на часто задаваемые вопросы;

www.eremex.ru/knowledge-base

- Ознакомиться с существующими разделами форума. Также имеется возможность задать вопрос на форуме www.eremex.ru/society/forum если интересующая Вас тема ранее не освещалась.



Примечание! Если вышеперечисленные источники не содержат рекомендаций по разрешению возникшей проблемы, обратитесь в техническую поддержку. Подробную информацию о проблеме, действиях пользователя, приведших к ней, и информацию о программно-аппаратной конфигурации используемого компьютера, направить по адресу support@eremex.ru

Содержание

Система аналогового моделирования SimOne

1	Общие сведения	12
1.1	Интерфейс	12
1.1.1	Меню «SimOne»	12
1.2	Создание проекта	13
1.2.1	Создание проекта моделирования	13
1.2.2	Создание проекта платы Delta Design	17
1.3	Панели инструментов	29
1.3.1	Панель инструментов «SimOne»	29
1.3.2	Панель инструментов «SimOne Graphics»	29
1.4	Симуляции	32
2	Подсхемы	33
2.1	Создание графической подсхемы	34
3	SPICE-блоки	35
3.1	Добавление SPICE-блоков на схему	35
3.2	Редактирование объектов SPICE-блоков	36
4	Библиотека компонентов	38
4.1	Общие сведения	38
4.2	Примитивы	40
4.2.1	Добавление примитивов на схему	42
4.2.2	Редактирование параметров модели компонента	44
4.2.3	Активные компоненты	45
4.2.4	Источники	53
4.2.5	Многополюсники	60
4.2.6	Пассивные элементы	63
4.3	Библиотеки	73
4.3.1	Предустановленная библиотека	73

4.3.2	Пользовательские SPICE-библиотеки	76
5	Сигналы	77
5.1	Общие сведения	77
5.2	Экспоненциальный сигнал (EXP)	80
5.3	Импульсный сигнал (PULSE)	82
5.4	Кусочно-линейный сигнал (PWL)	83
5.5	Синусоидальный сигнал (SIN)	85
5.6	Частотно-модулированный синусоидальный сигнал (SFFM)	87
5.7	Шумовой сигнал (NOISE)	88
5.8	Гауссов импульс (GAUSSIAN)	89
5.9	Амплитудно-модулированный сигнал (AMS)	90
5.10	Сигнал в аудиоформате (WAV)	91
5.11	Линейно-частотно-модулированный сигнал (SLFM)	92
6	Моделирование	93
6.1	Общие сведения	93
6.2	Окно параметров моделирования	95
6.3	Расчёт рабочей точки схемы	97
6.3.1	Общие сведения	97
6.3.2	Интерфейс расчёта рабочей точки	98
6.3.3	Методы расчёта рабочей точки	99
6.3.4	Задание начальных условий .IC и .NODESET	99
6.4	Анализ чувствительности схемы по постоянному току	100
6.4.1	Общие сведения	100
6.4.2	Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току	101
6.5	Анализ передаточных функций по постоянному току	104
6.5.1	Общие сведения	104
6.5.2	Интерфейс задания параметров моделирования	105
6.6	Анализ гармонического режима схемы	108
6.6.1	Общие сведения	108

6.6.2	Интерфейс анализа гармонического режима схемы	108
6.7	Частотный анализ	110
6.7.1	Общие сведения	110
6.7.2	Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы	111
6.8	Анализ переходных процессов	114
6.8.1	Общие сведения	114
6.8.2	Интерфейс расчёта переходных процессов схемы	115
6.9	Анализ периодических режимов	116
6.9.1	Общие сведения	116
6.9.2	Интерфейс расчёта периодических режимов схемы	117
6.10	Анализ устойчивости схемы	121
6.10.1	Общие сведения	121
6.10.2	Интерфейс анализа устойчивости схемы	123
6.11	Многовариантные типы анализа схем	126
6.11.1	Общие сведения	126
6.11.2	Температурный расчёт схемы	127
6.11.3	Параметрический анализ схемы	127
6.11.4	Анализ Монте-Карло и наихудшего случая	128
6.12	Анализ чувствительности	132
6.12.1	Общие сведения	132
6.12.2	Интерфейс анализа чувствительности схемы	133
6.13	Оптимизация	135
6.13.1	Общие сведения	135
6.13.2	Интерфейс оптимизации схемы	136
6.14	Анализ Монте-Карло и наихудшего случая	140
6.14.1	Общие сведения	140
6.14.2	Интерфейс статистического анализа схемы	141
6.15	Настройки	145
7	Просмотр и обработка результатов моделирования	152
7.1	Общие сведения	152

7.2	Работа с графиками	153
7.3	Панель «Моделирование: Графики»	155
7.4	Окно добавления графиков	158
7.5	Окно добавления гистограмм	159
7.6	Работа с курсорами	161
7.6.1	Панель курсоров	162
7.6.2	Окно установки курсоров	163
8	Измерения	165
8.1	Вкладка «Измерения» окна параметров симуляции	165
8.2	Окно добавления нового измерения	166
8.3	Список доступных измерений	168
8.3.1	Bandwidth <выражение> [<level>]	168
8.3.2	CenterFrequency <выражение> [<level>]	168
8.3.3	Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]	169
8.3.4	Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]	169
8.3.5	DeltaX <выражение> <Yfirst> <Ylast> [<number>]	169
8.3.6	DeltaY <выражение> <Xfirst> <Xlast>	170
8.3.7	FallTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	170
8.3.8	FirstY <выражение>	170
8.3.9	Frequency <выражение> <y_fixed> [<number>]	170
8.3.10	Inflection <выражение> [<number>]	171
8.3.11	LastY <выражение>	171
8.3.12	MaxY <выражение>	171
8.3.13	MaxX <выражение>	171
8.3.14	MinY <выражение>	171
8.3.15	MinX <выражение>	171
8.3.16	NX <выражение> [<number>]	171
8.3.17	NY <выражение> [<number>]	171
8.3.18	PeakX <выражение> [<number>]	171
8.3.19	PeakY <выражение> [<number>]	172
8.3.20	Period <выражение> <y_fixed> [<number>]	172

8.3.21	Q_Bandpass <выражение> [<level>]	172
8.3.22	RangeY <выражение> <xfirst> <xlast>	172
8.3.23	RiseTime <выражение> <ymin> <ymax> [<number>]	172
8.3.24	Slope <выражение> <x_fixed>	173
8.3.25	SlopeX <выражение> <slope> [<number>]	173
8.3.26	ValleyX <выражение> [<number>]	173
8.3.27	ValleyY <выражение> [<number>]	173
8.3.28	Width <выражение> <y_fixed> [<number>]	173
8.3.29	XatY <выражение> <y_fixed> [<number>] [<type>]	173
8.3.30	YatX <выражение> <x_fixed>	174
8.4	Панель измерений	174
8.5	Графики измерений	175
9	Преобразование Фурье	177
9.1	Вкладка преобразования Фурье	177
9.2	Окно преобразования Фурье	179
10	Выражения	181
10.1	Общие сведения	182
10.2	Числа и константы	182
10.3	Переменные	182
10.4	Расчётные параметры моделей компонентов	183
10.5	Символьные переменные	185
10.6	Переменные состояния схемы	185
10.7	Математические операторы и функции	185
10.7.1	Арифметические операторы	185
10.7.2	Булевы операторы	187
10.7.3	Арифметические функции	191
10.7.4	Булевы функции	193
10.7.5	Гиперболические функции	193
10.7.6	Измерения	196

10.7.7	Интегральные функции	204
10.7.8	Комплексные функции	207
10.7.9	Логарифмы и экспоненты	209
10.7.10	Остальные функции	212
10.7.11	Случайные функции	216
10.7.12	Тригонометрические функции	219
10.7.13	Функциональные преобразования	223
10.7.14	Фурье анализ	228
11	Фильтры	231
11.1	Окно конструктора фильтров	231
12	Дисперсионные линии задержки	235
12.1	Конструктор ДЛЗ	235
13	Дополнительные возможности	240
13.1	Щуп	240
13.1.1	Работа инструмента	240
13.2	Метка измерения	243
13.2.1	Работа инструмента	244
13.3	Текущие значения	249
13.3.1	Работа с панелью	250
13.4	Вывод текущих значений	253
13.5	Обработка событий	255
13.5.1	Работа с панелью	257
14	Приложение. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.	261
14.1	А. Функциональные источники напряжения и тока	261
14.2	В. Арсенид-галлиевый полевой транзистор	262
14.3	С. Конденсатор	267

14.4	D. Диод	270
14.5	E. Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)	272
14.5.1	ИНУН с функцией Лапласа	275
14.5.2	Функциональный ИН	276
14.5.3	Функциональный ИН с функцией Лапласа	276
14.6	F. Источник тока, управляемый током (ИТУТ)	276
14.6.1	ИТУТ с функцией Лапласа	278
14.7	G. Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)	279
14.7.1	ИТУН с функцией Лапласа	281
14.7.2	Функциональный ИТ	281
14.7.3	Функциональный ИТ с функцией Лапласа	281
14.8	H. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	281
14.8.1	ИНУТ с функцией Лапласа	283
14.9	I. Независимый источник тока	283
14.10	J. Полевой транзистор	284
14.11	K. Магнитно-связанная индуктивность	287
14.12	L. Индуктивность	288
14.13	M. Полевой транзистор с изолированным затвором	290
14.14	Q. Биполярный транзистор	296
14.15	R. Резистор	301
14.16	S. Переключатель, управляемый напряжением	303
14.16.1	Режим плавного переключения	304
14.16.2	Гистерезисный режим	304
14.17	T. Длинная линия	305
14.18	V. Независимый источник напряжения	306
14.19	W. Переключатель (ключ), управляемый током	307
14.19.1	Режим плавного переключения	308
14.19.2	Гистерезисный режим	308
14.20	X. Подсхема	309
		311

1 Общие сведения

SimOne представляет собой встроенный модуль Delta Design.

Благодаря высокоэффективному пакету схемотехнического редактора SimOne возможно проводить полнофункциональное SPICE-моделирование, а также исследование устойчивости схемы при изменении различных входных параметров.

1.1 Интерфейс

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

1.1.1 Меню «SimOne»

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

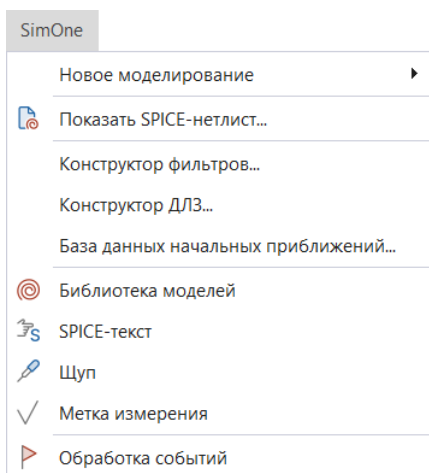


Рис. 1 Меню команд «SimOne»



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

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

Таблица 1 Перечень доступных команд

Символ	Команда	Описание
	Новое моделирование	Создать новую симуляцию для активной схемы проекта моделирования
	Показать SPICE-нетлист...	Сгенерировать SPICE-нетлист по активной схеме и отобразить его в текстовом окне
	Конструктор фильтров...	Вызвать диалоговое окно конструктора фильтров
	Конструктор ДЛЗ...	Вызвать диалоговое окно интерактивного конструктора дисперсионных линий задержки
	База данных начальных приближений...	Открыть окно базы данных начальных приближений для ДЛЗ
	Библиотека моделей...	Активировать панель библиотеки моделей
	SPICE-текст	Разместить SPICE-блок на схеме
	Щуп	Разместить щуп на схеме
	Метка измерения	Разместить метку измерения
	Обработка событий	Отслеживание событий в рамках выполнения процесса моделирования.

1.2 Создание проекта

1.2.1 Создание проекта моделирования

В системе Delta Design с помощью модуля аналогового моделирования SimOne имеется возможность построить и промоделировать схему или создать список электрической цепи.

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

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

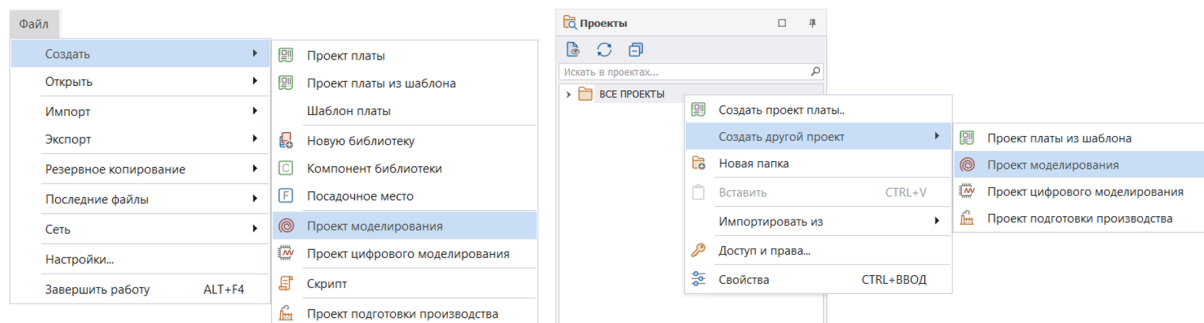


Рис. 2 Создание проекта моделирования



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

После запуска создания проекта в рабочей области открывается окно для заполнения основных параметров проекта, см. [Рис. 3](#)

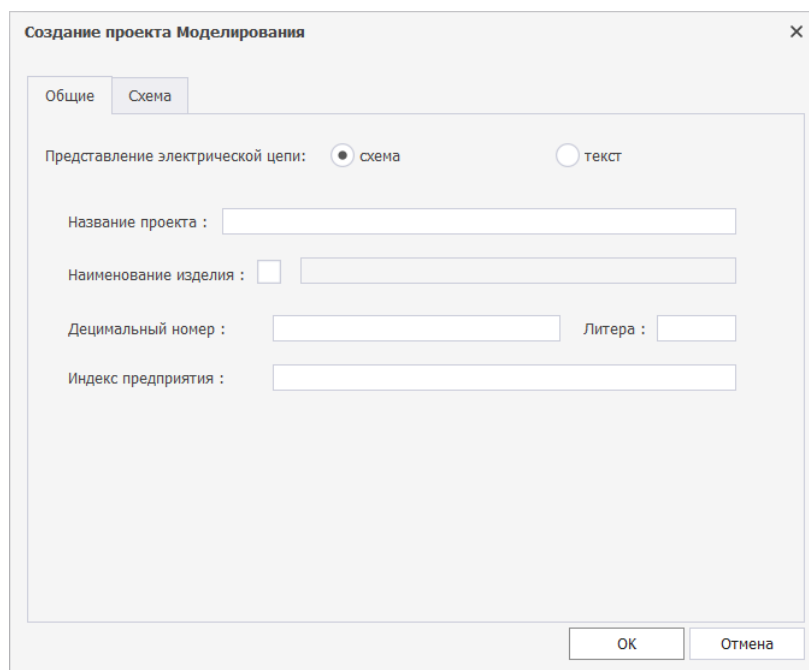


Рис. 3 Окно «Создание проекта Моделирования»

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

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

К общим свойствам относятся:

- Название проекта;
- Наименование изделия (если поле не отмечено флагом, то наименование изделия будет совпадать с названием проекта);
- Децимальный номер;
- Литера;
- Индекс предприятия.

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

1.2.1.1 Текстовый проект моделирования

Текстовый проект моделирования - это проект, предназначенный для моделирования электрической цепи, заданной в форме текста SPICE-формата - списка электрических цепей. Основным источником входной информации для текстового проекта моделирования является список электрических цепей.

Для создания текстового проекта моделирования в окне «Создание проекта Моделирования» выберите «текст» в качестве представления электрической цепи, заполните поля основных параметров проекта и нажмите «ОК», см. [Рис. 4](#).

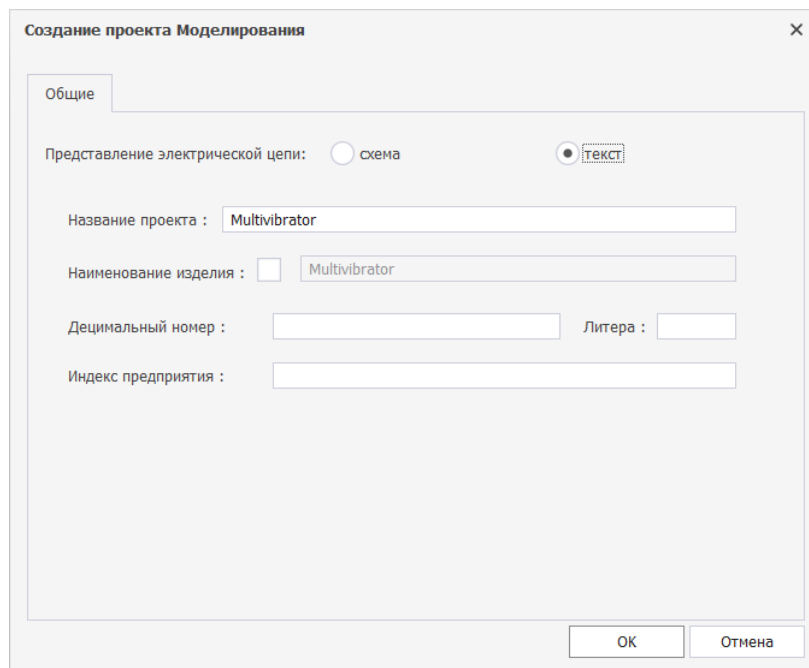



Рис. 4 Окно «Создание текстового проекта Моделирования»

В окне текстового редактора отображено описание схемы в виде списка цепей и описание моделей электронных компонентов. Строки зеленого цвета

представляют собой комментарии, синий цвет используется для команд SPICE, черный - описание в виде списка цепей, красный - значения номиналов и параметров. см. [Рис. 5](#).



```

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

```

Рис. 5 Текстовый редактор проекта

Принципиальная схема приведенного выше описания представлена на [Рис. 6](#).

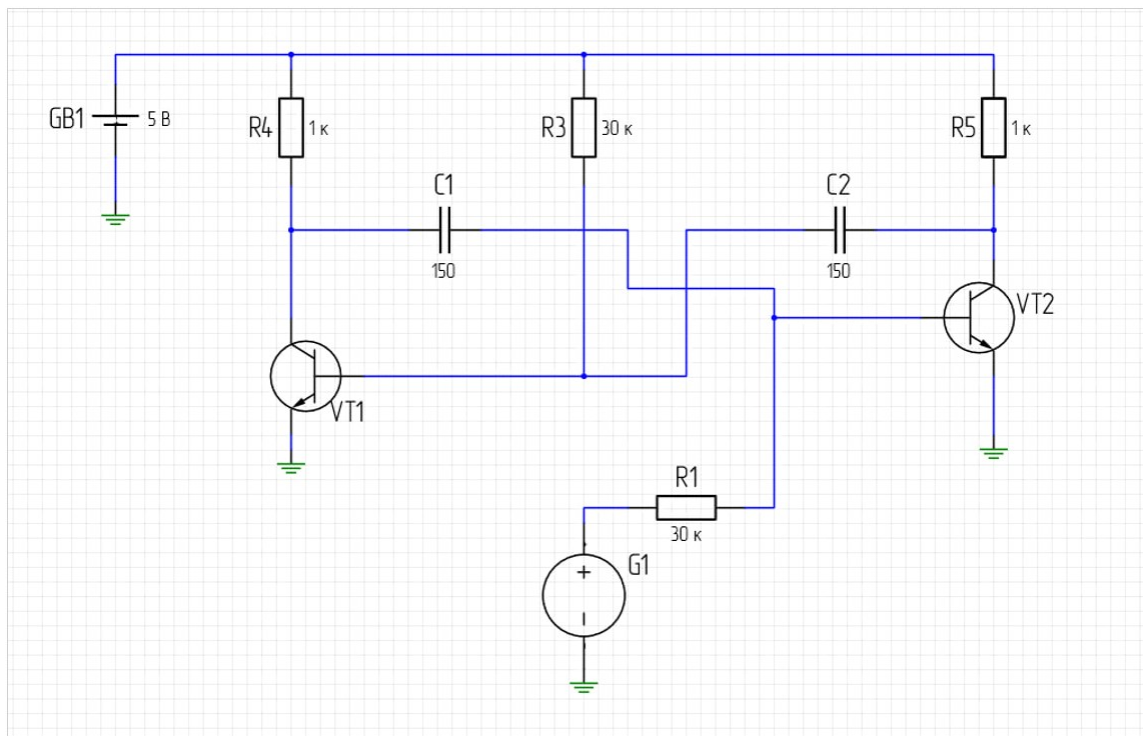


Рис. 6 Принципиальная схема

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

1.2.2 Создание проекта платы Delta Design

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

Для этого необходимо создать проект Delta Design, см. [Рис. 7](#):

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

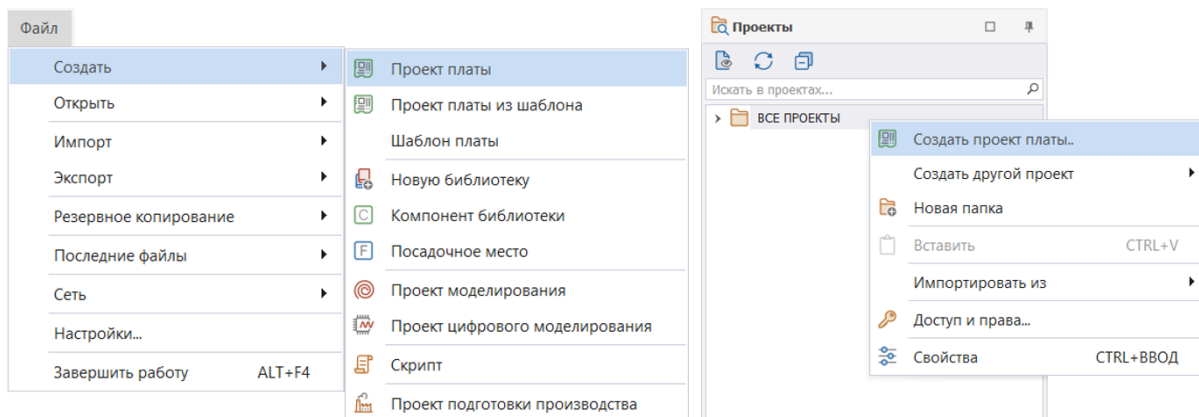


Рис. 7 Создание проекта платы

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



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

Библиотечные компоненты SimOne дополнены SPICE-моделями, наличие которых предопределяет возможность моделирования схемы с их использованием. Контакты УГО библиотечных компонентов сопоставлены с выводами SPICE-модели компонента, следовательно, при создании нового компонента, после создания УГО и соответствующей ему SPICE-модели, необходимо провести сопоставление контактов и выводов.

В системе Delta Design допустимо размещение библиотечных компонентов SimOne на схеме проекта, однако для использования данных компонентов при разводке платы будет необходимо "привязать" посадочные места.

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

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

Для добавления SPICE-модели к компоненту:

1. Откройте редактор компонента, [Рис. 8](#).

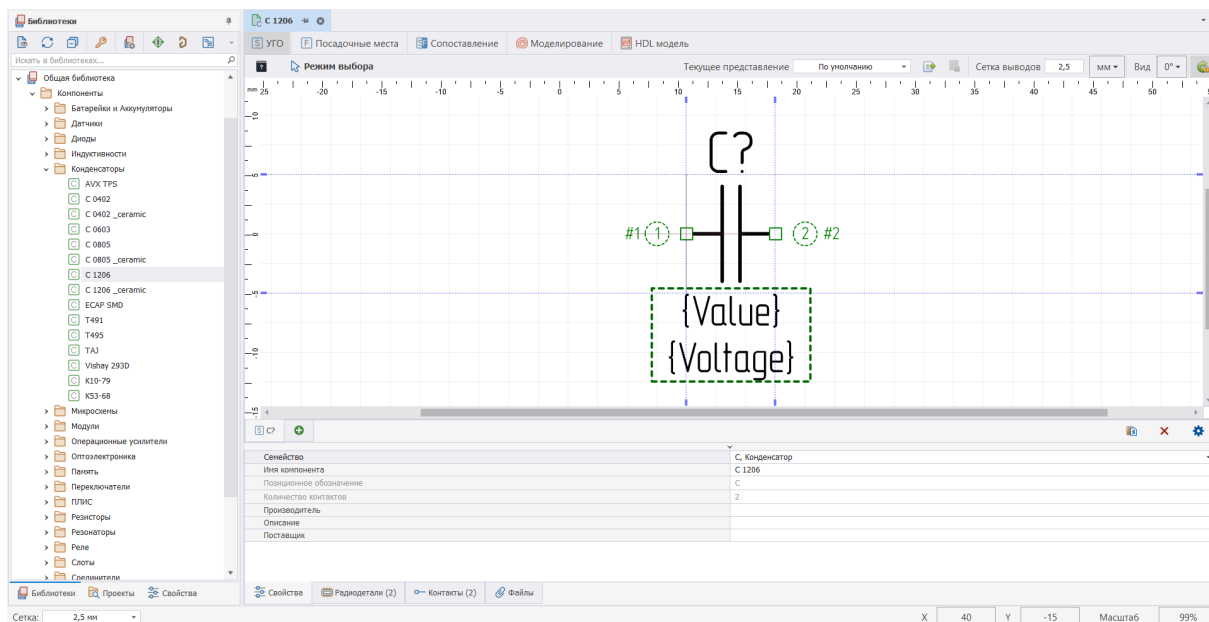



Рис. 8 Редактор компонента

2. Перейдите на вкладку «Моделирование», обозначенную кнопкой  Моделирование для добавления SPICE-модели, см. [Рис. 9](#).

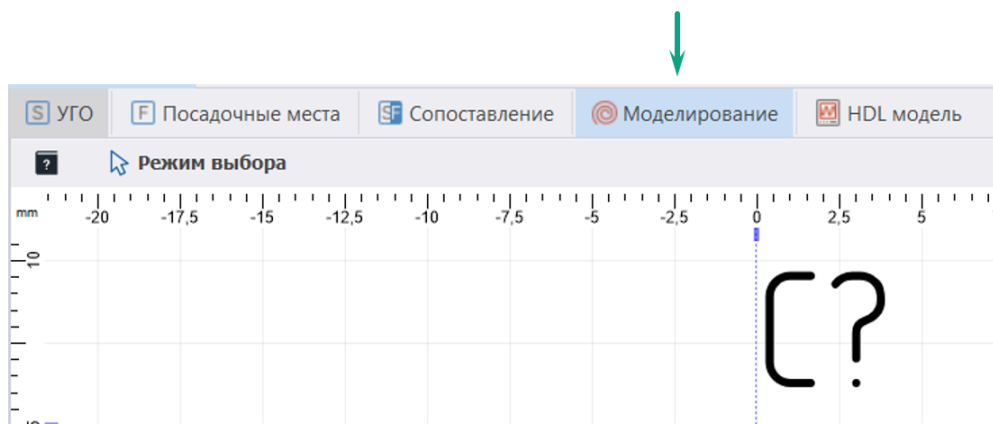


Рис. 9 Переход к созданию SPICE-модели

3. В открывшемся окне нажмите «Добавить модель», см. [Рис. 10](#).

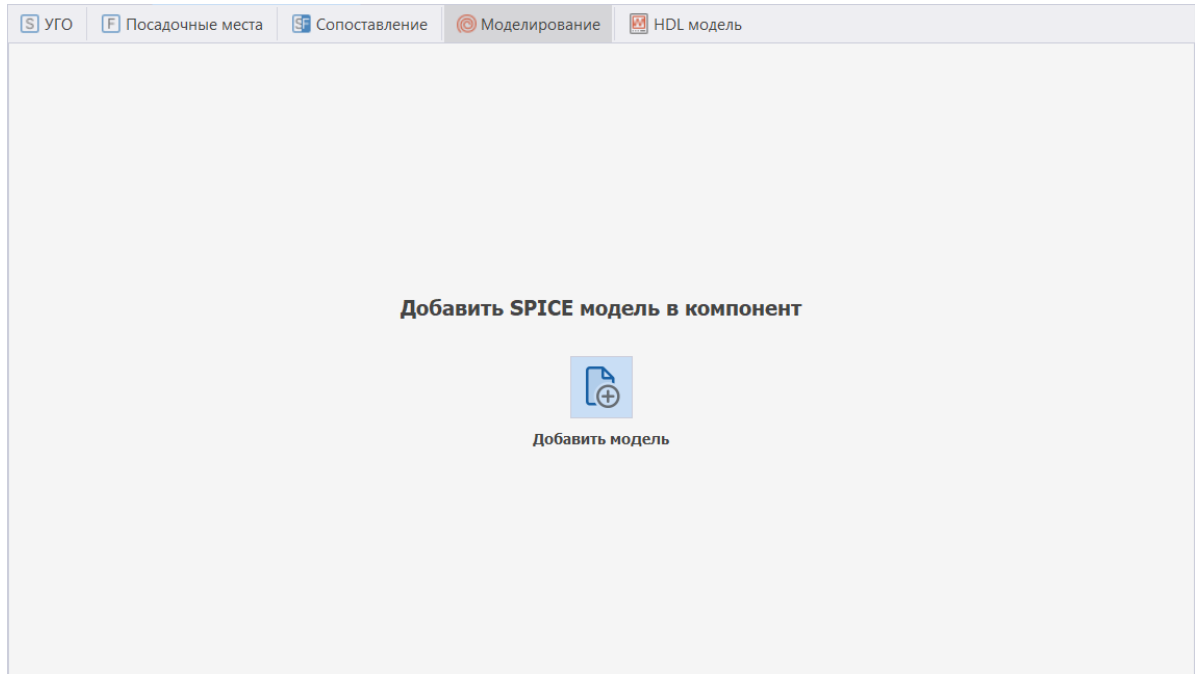


Рис. 10 Добавление Spice-модели

4. Выберите из списка тип модели, [Рис. 11](#).

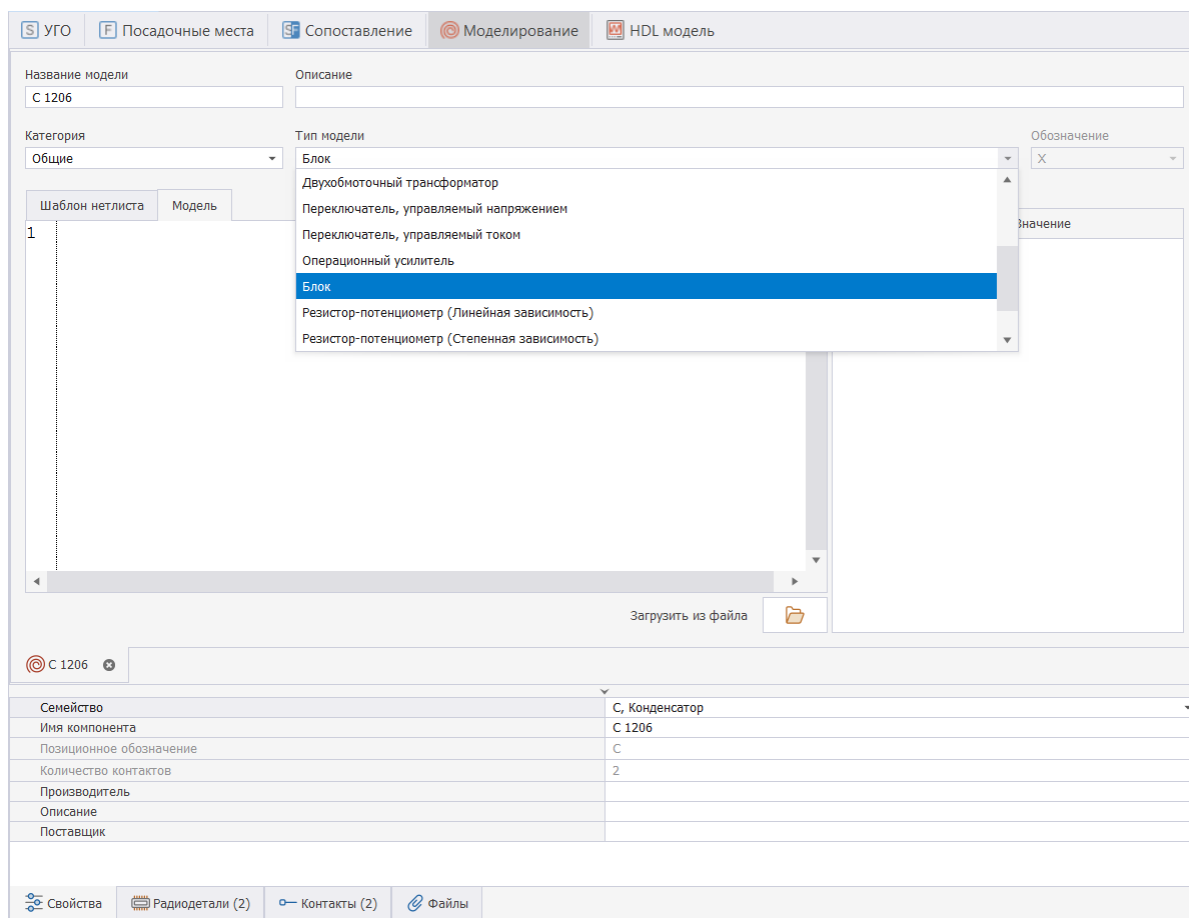


Рис. 11 Выбор типа модели



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

- Введите нетлист (список цепей) модели в текстовом окне вкладки «Модель», см. [Рис. 12](#).

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
```

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

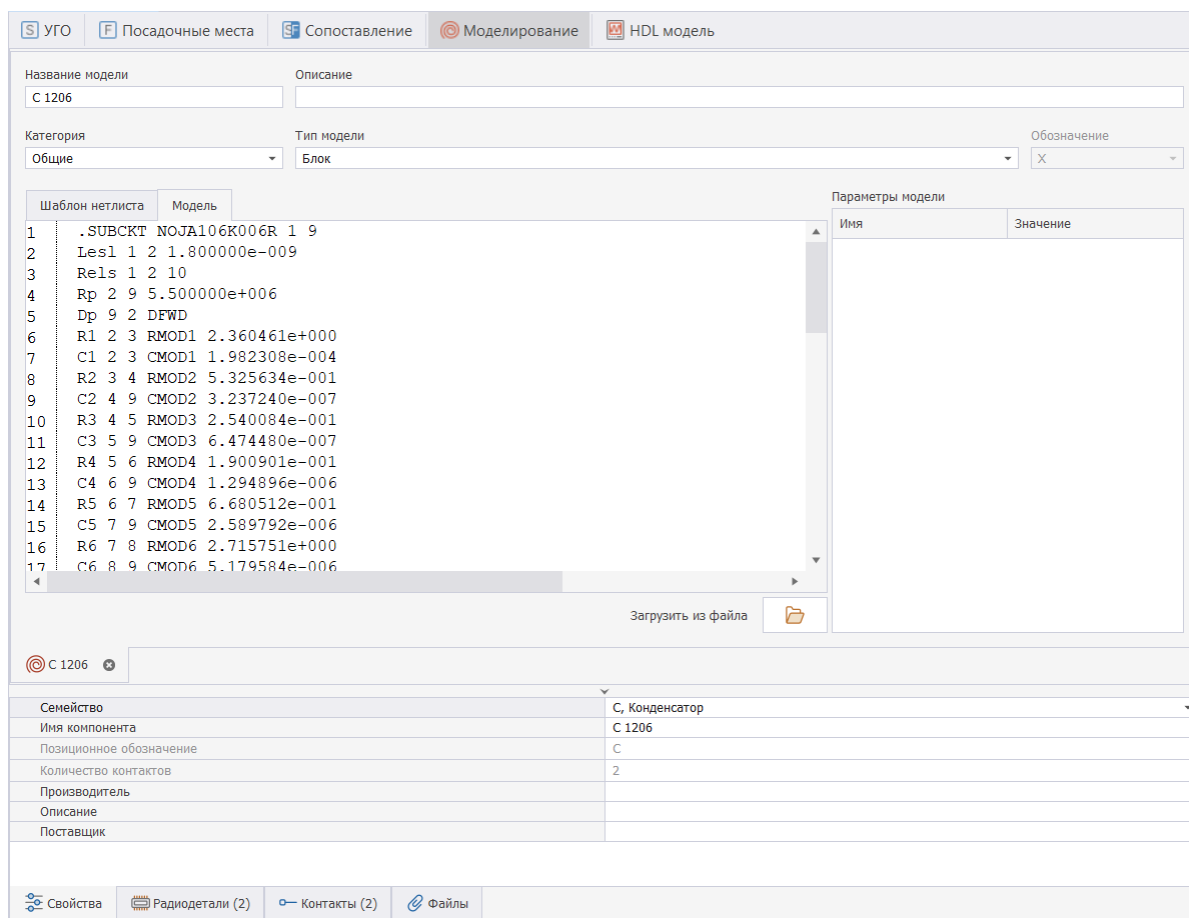


Рис. 12 Ввод списка цепей модели в текстовом окне вкладки «Модель»

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



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

7. Перейдите на вкладку «Контакты» и сопоставьте контакты УГО с выводами SPICE-модели, [Рис. 13](#).

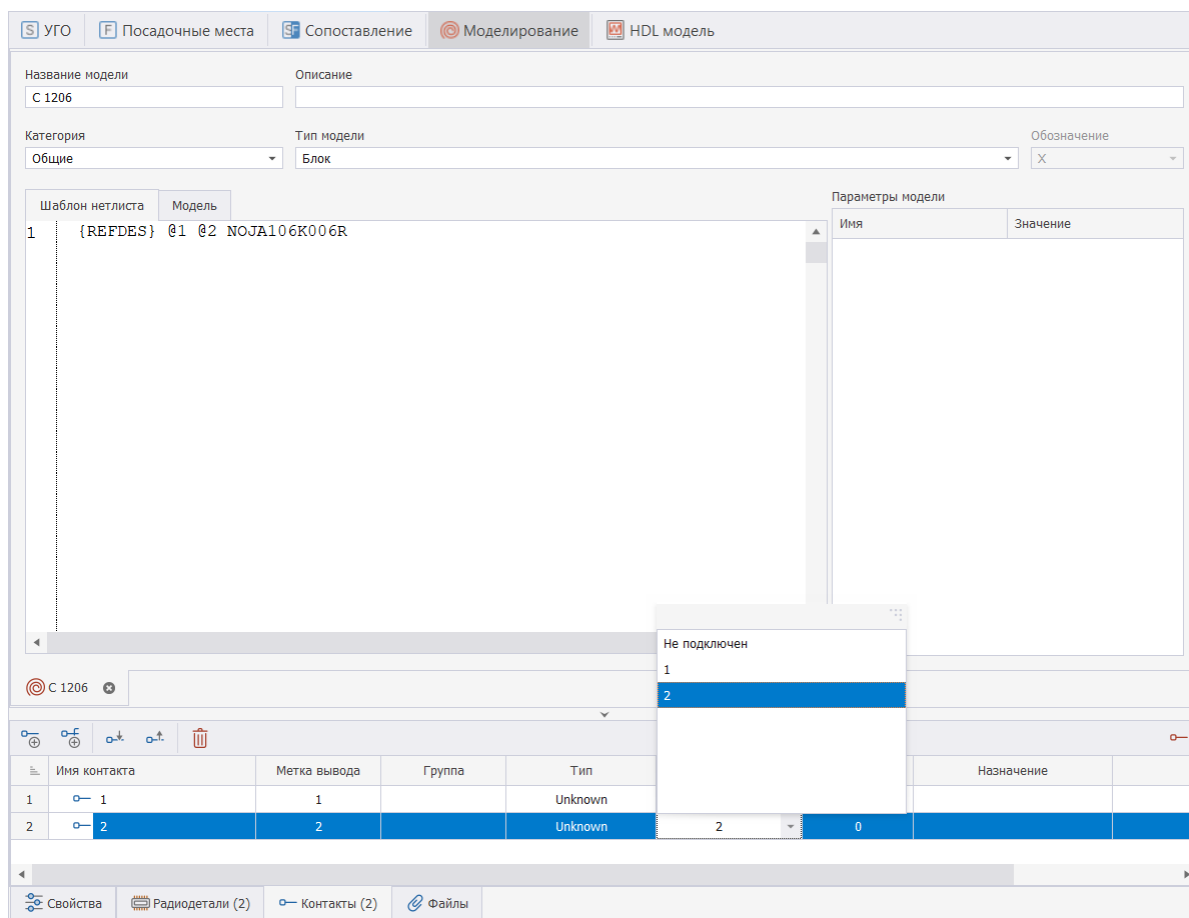


Рис. 13 Сопоставление контактов УГО с выводами SPICE-модели

8. Выполните проверку компонента, см. [Рис. 14](#).

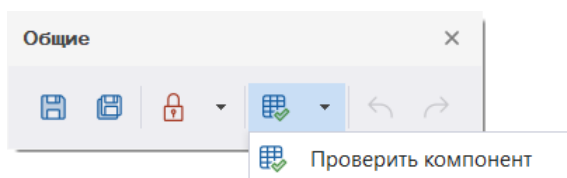


Рис. 14 Запуск проверки компонента

Если проверка прошла успешно, компонент может использоваться в моделировании.

Для добавления SPICE-модели к компоненту, расположенному на схеме:

1. Нажмите символ «...» в поле «Свойства» → «SPICE» → «Модель», [Рис. 15](#).

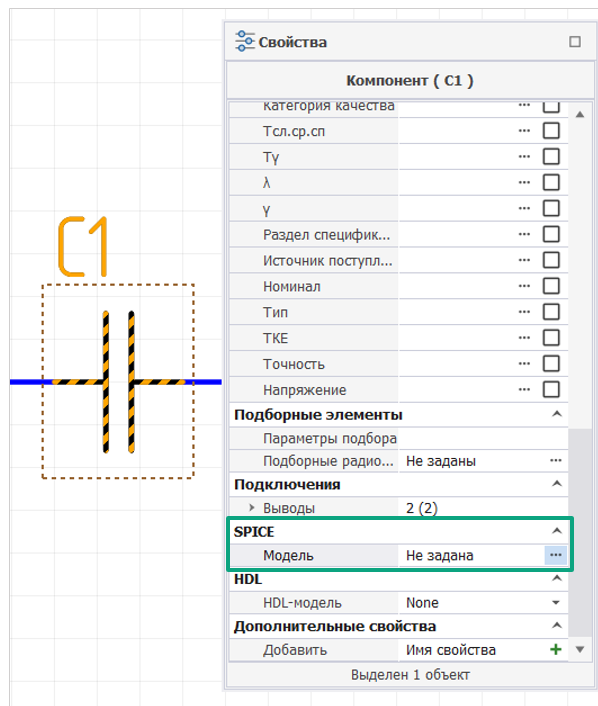


Рис. 15 Добавление Spice-модели

2. Для добавления SPICE-модели к компоненту активируется окно «Назначение модели». Нажмите символ «...» в поле «Имя модели», [Рис. 16](#).

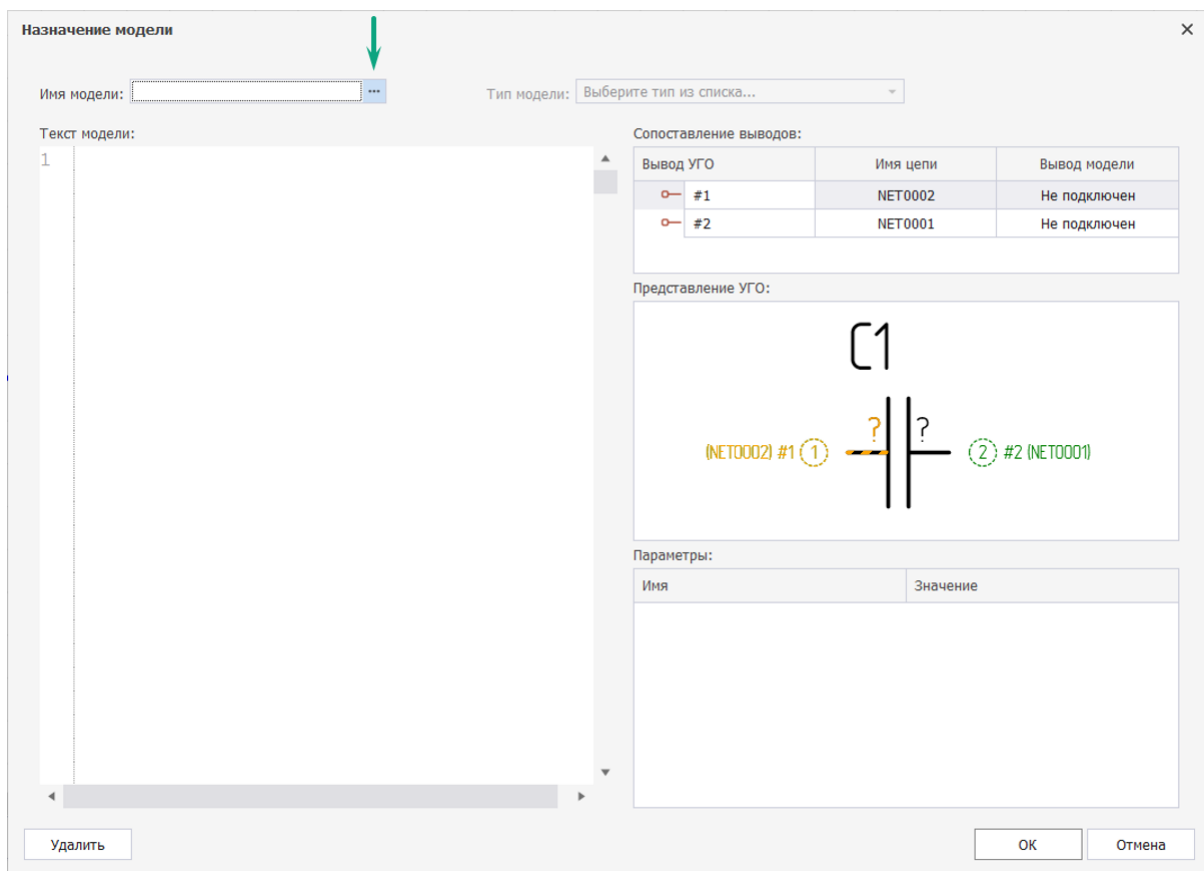


Рис. 16 Окно «Назначение модели»

3. В окне проводника выберите нужный файл SPICE-модели с расширением *.lib, [Рис. 17](#).

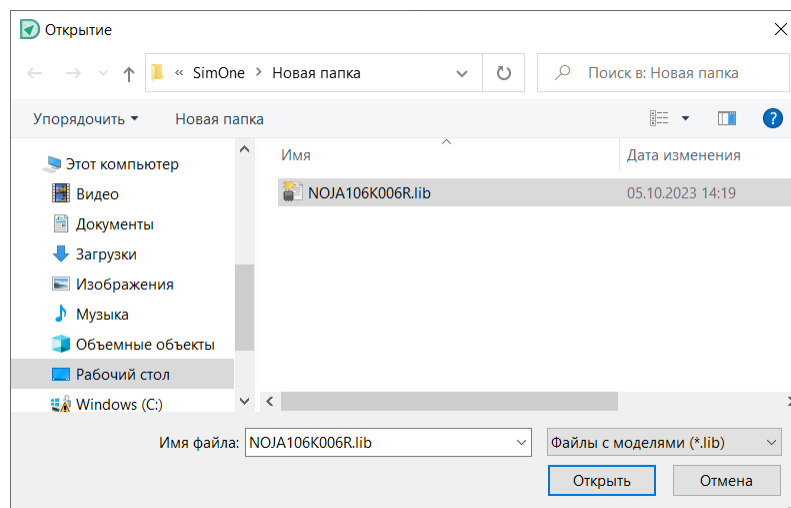


Рис. 17 Выбор файла SPICE-модели

4. В поле «Текст модели» будет отображено описание модели из выбранного файла. Поле «Имя модели» заполняется значением из

автоматически генерируемого шаблона на основе описания модели. В поле «Тип модели» определяется значение на основе анализа описания модели. В таблице «Сопоставление выводов» из выпадающего списка выберите соответствующий вывод модели для каждого вывода УГО, [Рис. 18](#).

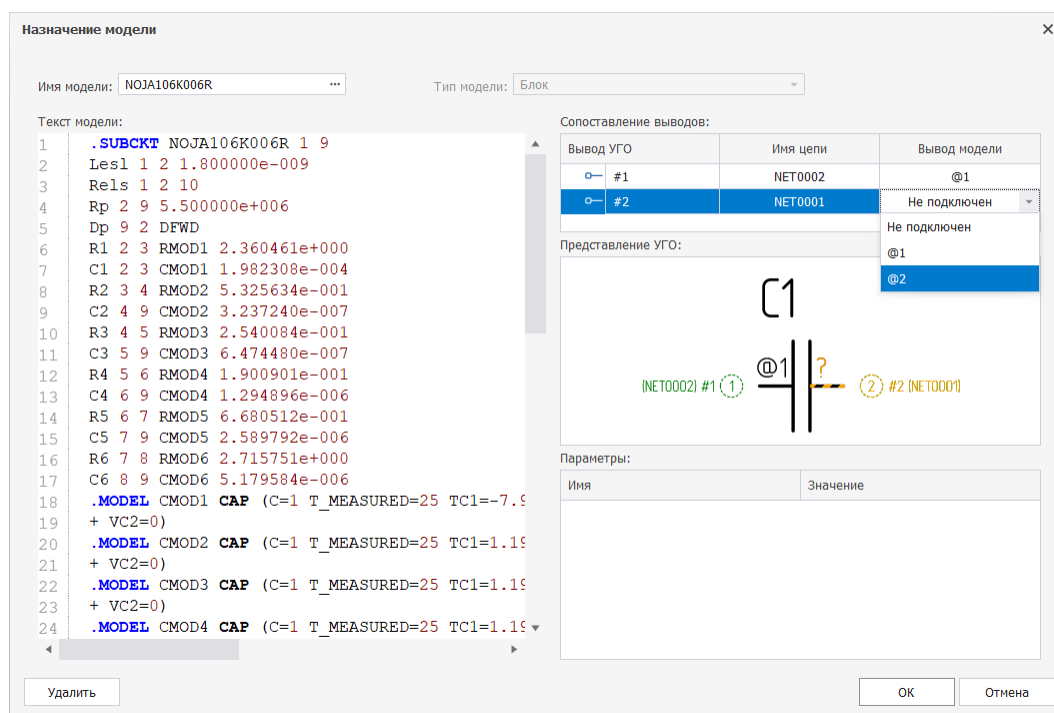


Рис. 18 Окно «Назначение модели»

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



Параметры:

Имя	Значение
R	1K
wiper	0.5
RTAP	
TAP	

Рис. 19 Параметры модели

- Нажмите «OK» для сохранения настроек и закрытия окна «Назначение модели».

1.3 Панели инструментов

При создании проекта моделирования SimOne для работы со схемой доступны те же панели инструментов, что и при работе со схемой проекта платы Delta Design. Также доступными становятся панели SimOne, инструменты которых направлены на работу с моделированием – [панель инструментов «SimOne»](#) и [панель инструментов «SimOne Graphics»](#).

1.3.1 Панель инструментов «SimOne»

Панель инструментов «SimOne» представлена в следующем виде, [Рис. 20](#).

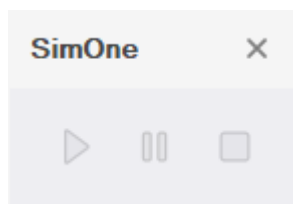


Рис. 20 Панель инструментов «SimOne»



Примечание! Инструменты, расположенные на панели инструментов, становятся доступны при активном окне симуляции.

В [Табл. 2](#) приведено описание панели инструментов «SimOne».

[Таблица 2](#) Панель инструментов «SimOne»

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Запустить	Запускает выполнение текущей симуляции
	Приостановить	Приостанавливает выполнение текущей симуляции (доступно во время выполнения симуляции)
	Прервать	Прерывает выполнение текущей симуляции (доступно во время выполнения симуляции)

1.3.2 Панель инструментов «SimOne Graphics»

Панель инструментов «SimOne Graphics» представлена в следующем виде, [Рис. 21](#).

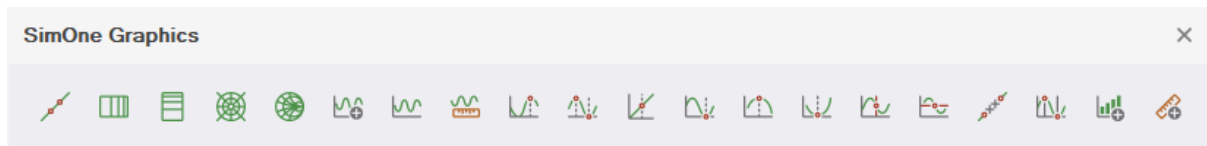


Рис. 21 Панель инструментов «SimOne Graphics»



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

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

Таблица 3 Панель инструментов «SimOne Graphics»

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Отобразить маркеры точек на графике	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.
	Добавить график...	Вызвать интерфейс добавления новых графиков в окно результатов моделирования.
	БПФ...	Вызвать окно расчёта коэффициентов ряда Фурье для выбранных графиков или выражений.
	Графики измерений...	Вызвать интерфейс добавления графиков измерений в многовариантных симуляциях.

Символ	Наименование инструмента	Описание
	Установить в максимум	Установить курсоры в точку, соответствующую максимуму текущего графика.
	Установить в измерение...	Установить курсоры в точку, соответствующую заданному измерению. Повторное нажатие на кнопку вызывает перемещение курсоров в точку, соответствующую новому значению заданного измерения.
	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 гистограмму...	Открыть интерфейс добавления гистограммы
	Добавить измерения...	Открыть интерфейс добавления новых измерений в симуляции

1.4 Симуляции

При активном документе схемы в главном меню системы становится доступным раздел аналогового моделирования «SimOne».

Выбор типа симуляции вызывается из главного меню «SimOne» → «Новое моделирование», см. [Рис. 22](#).

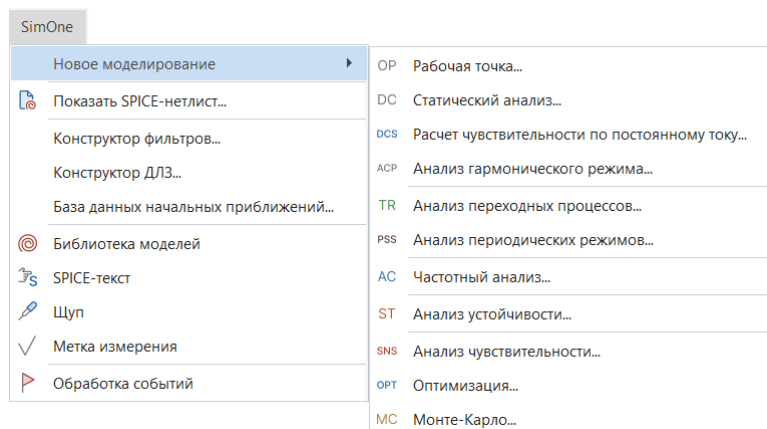


Рис. 22 Вызов списка доступных симуляций из главного

Также выбор расчета или анализа и дальнейший запуск доступны из панели «Проекты». Раскрыв дерево выбранного проекта, вызовите контекстное меню с узла «Расчеты и анализы» и выберите требуемую симуляцию, см. [Рис. 23](#).

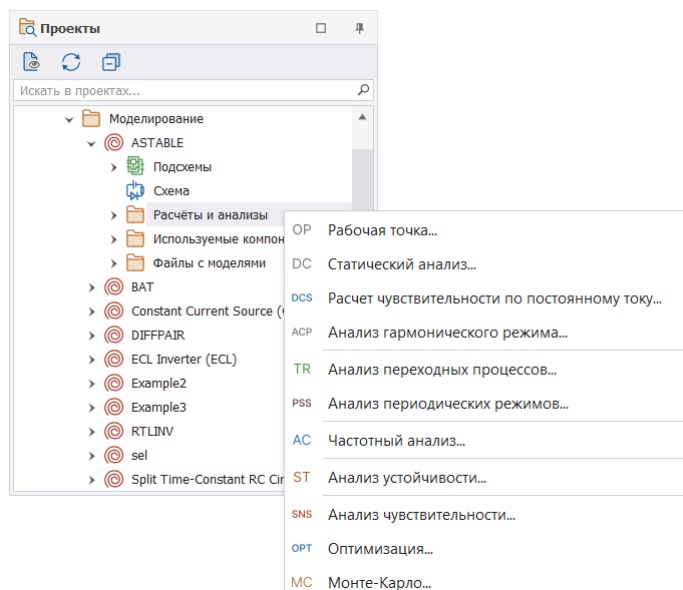


Рис. 23 Вызов списка доступных симуляций из панели «Проекты»

Слева от имени каждой симуляции находится иконка с обозначением типа симуляции, см. [Рис. 24](#).

OP	Рабочая точка...
DC	Статический анализ...
DCS	Расчет чувствительности по постоянному току...
ACP	Анализ гармонического режима...
TR	Анализ переходных процессов...
PSS	Анализ периодических режимов...
AC	Частотный анализ...
ST	Анализ устойчивости...
SNS	Анализ чувствительности...
OPT	Оптимизация...
MC	Монте-Карло...

Рис. 24 Обозначение симуляции

С помощью контекстного меню вызывается окно параметров выбранного расчета или анализа, отображаются ранее сохраненные результаты или удаляется симуляция, см. [Рис. 25](#).

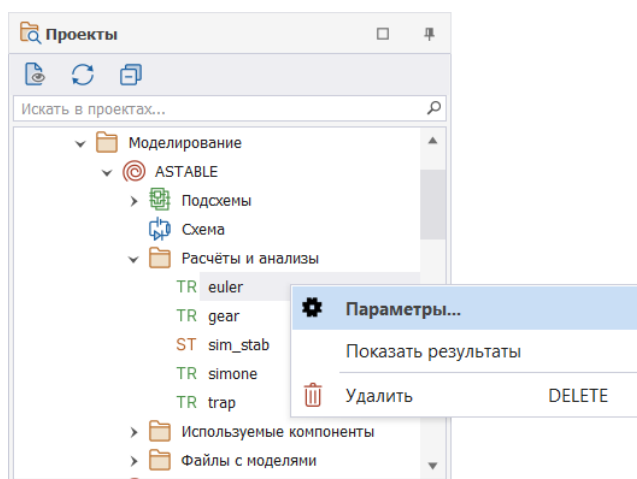


Рис. 25 Доступные операции с симуляцией из контекстного меню

2 Подсхемы

Подсхемы представляют собой схемные компоненты с собственной внутренней структурой и внешними выводами для включения в общую схему.

Описание внутренней структуры подсхемы задаётся в виде схемы.

Подсхемы могут включать в себя примитивы, другие подсхемы, соединения.

При создании подсхемы задаются описание подсхемы и её внешние выводы.

Подсхема может иметь входные передаваемые параметры. Эти параметры могут быть использованы при задании параметров компонентов внутри подсхемы (например – номиналов резисторов или конденсаторов).

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.

2.1 Создание графической подсхемы

Для создания подсхемы в дереве проекта моделирования:

1. Вызовите контекстное меню для узла «Подсхемы» → «Создать блок», см. [Рис. 26](#).

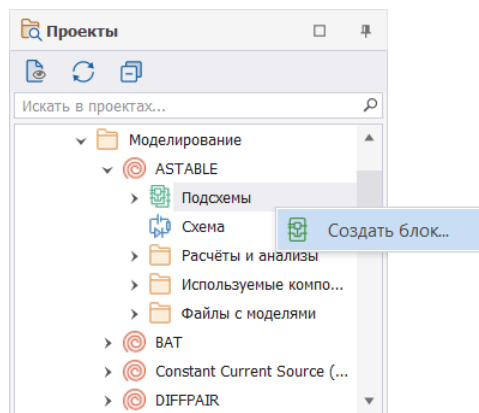


Рис. 26 Создание подсхемы

2. В окне «Создание блока» введите название и при необходимости установите флаг в поле «Децимальный номер», после чего введите децимальный номер, [Рис. 27](#).

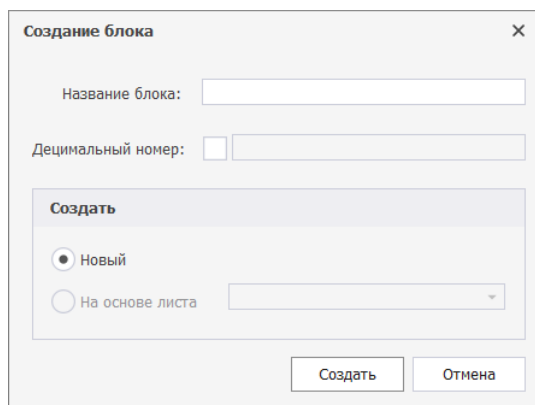


Рис. 27 Окно «Создание блока»

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

3 SPICE-блоки

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

3.1 Добавление SPICE-блоков на схему

Добавление на схему текстового объекта доступно несколькими способами:

1. С помощью главного меню «SimOne» → «SPICE-текст», см. [Рис. 28](#).

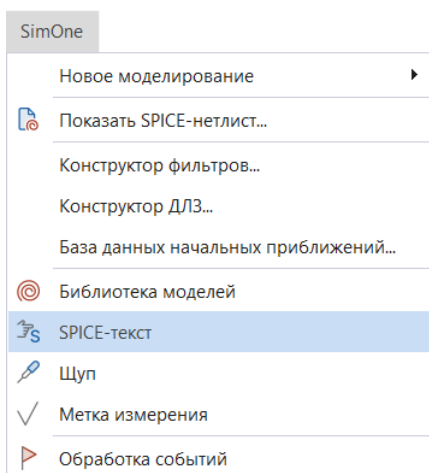


Рис. 28 Добавление объекта SPICE-блока

2. При помощи инструмента «Разместить SPICE-текст», расположенного на панели инструментов «Схема», см. [Рис. 29](#).

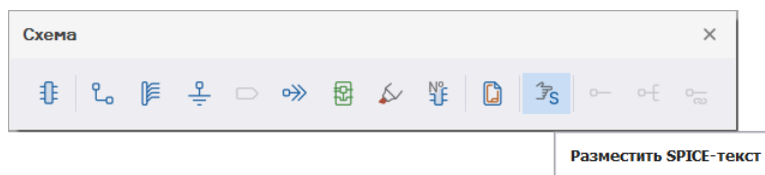


Рис. 29 Добавление объекта SPICE-блока с помощью панели инструментов

3. Через вызов контекстного меню на схеме → «Инструменты» → «Разместить SPICE-текст», см. [Рис. 30](#).

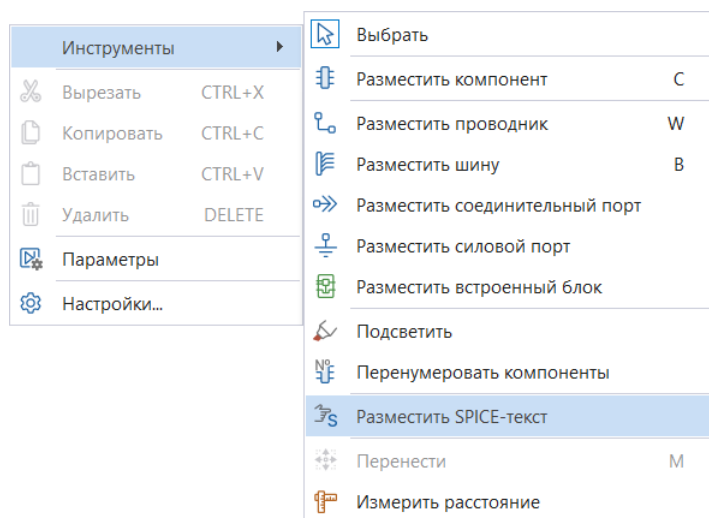


Рис. 30 Добавление объекта SPICE-блока с помощью контекстного меню

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

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

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

3.2 Редактирование объектов SPICE-блоков

Для введения нового SPICE-текста или редактирования исходного объекта, см. [Рис. 31](#).

- Выделить объект и выбрать пункт контекстного меню «Редактировать».

- Выделить объект и нажать кнопку F2.

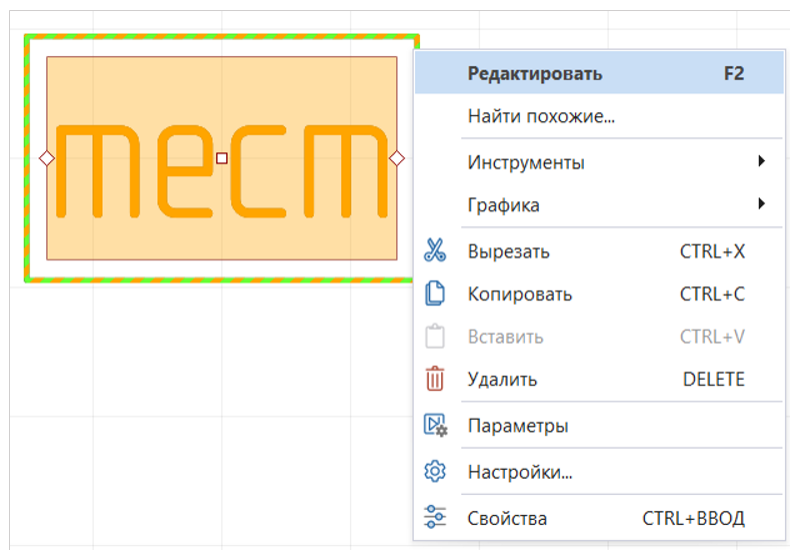


Рис. 31 Редактирование SPICE-текста

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

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

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

На [Рис. 32](#) 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.

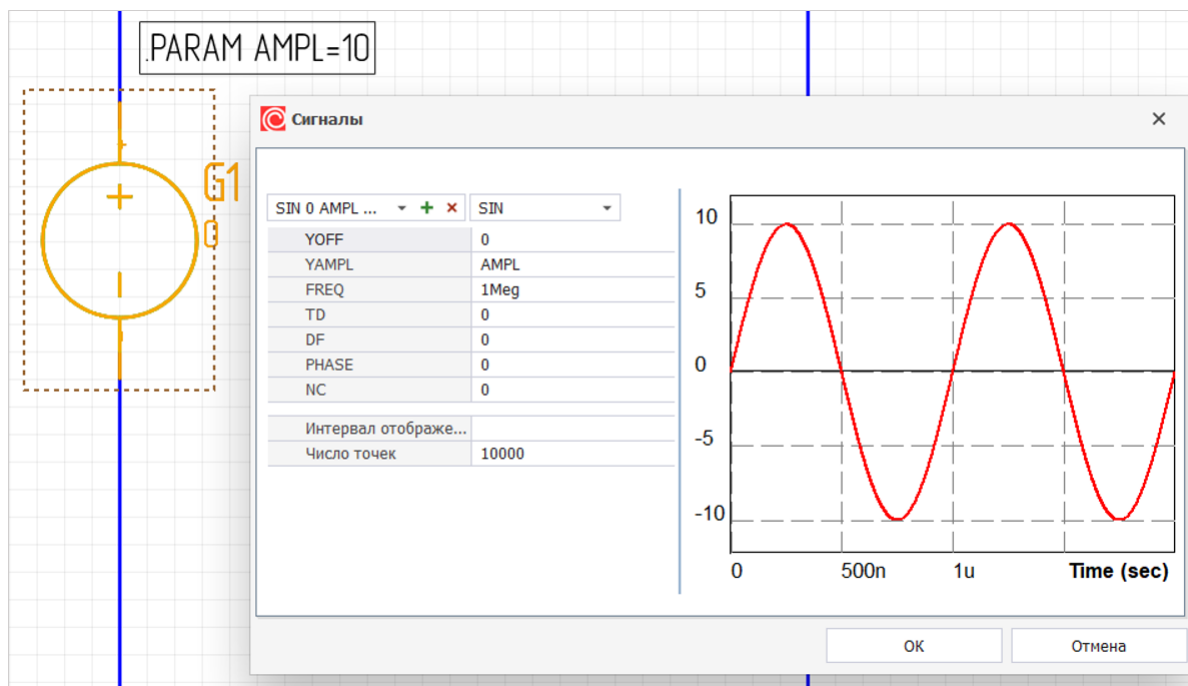


Рис. 32 Использование SPICE-блока для задания глобального параметра

4 Библиотека компонентов

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

4.1 Общие сведения

Библиотека компонентов содержит следующие основные каталоги:

- Прimitives – набор компонентов, имеющих определённые модели по умолчанию.
- Библиотеки – в первую очередь, это база компонентов SimOne, которая появляется путем подключения папки SimOneLib, входящей в поставку программы. База содержит каталогизированный список моделей существующих электронных компонентов, в отличие от примитивов, содержащих абстрактные модели. Также мы можем подключить для работы и любые другие SPICE-библиотеки – папки с текстовыми файлами с расширением *.lib.
- Фильтры и линии задержки – возможность создания библиотечного компонента со SPICE-моделью. Реализует заданные фильтры и дисперсионные линии задержки в виде текстовых подсхем (см. разделы [Фильтры](#), [Дисперсионные линии задержки](#)).

Открыть панель «Модели» можно одним из способов:

1. Через главное меню «Вид» → «Модели», см. [Рис. 33](#).

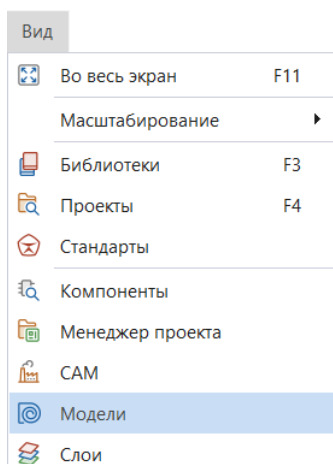


Рис. 33 Вызов панели «Модели» из главного меню «Вид»

2. Через главное меню «SimOne» → «Библиотека моделей», см. [Рис. 34](#).

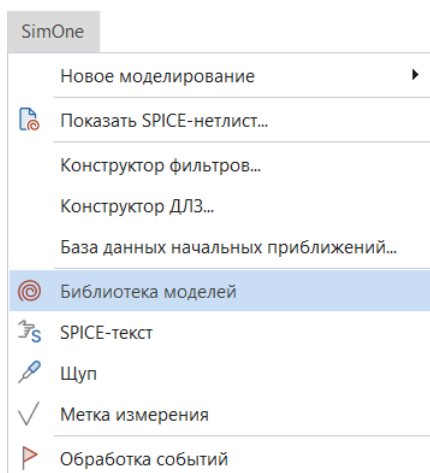


Рис. 34 Вызов панели «Модели» из главного меню «SimOne»

Добавить базу компонентов SimOne или SPICE-библиотеку можно с помощью кнопки «Подключить библиотеку...», расположенной на панели «Модели», см. [Рис. 35](#).

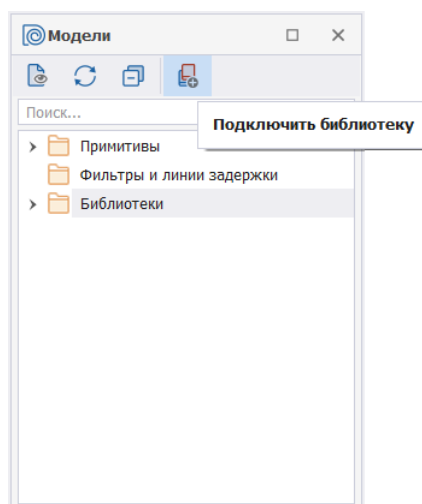


Рис. 35 Добавление базы компонентов SimOne или SPICE-библиотеки

Если библиотека больше не нужна для работы, ее можно отключить, нажав «Отключить» в контекстном меню, см. [Рис. 36](#).

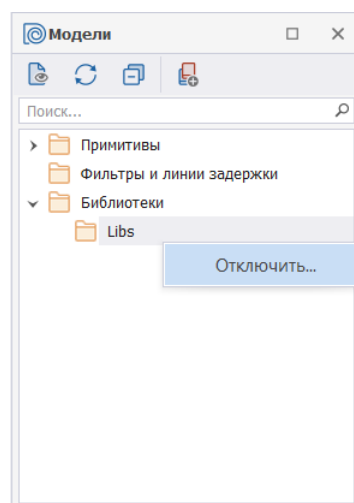






Рис. 36 Отключение библиотеки














4.2 Примитивы

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

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

Таблица 4 Поддерживаемые примитивы

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

Символ	Наименование инструмента
	Двухполюсник
	Четырехполюсник
	Шестиполюсник
Пассивные элементы	
	Взаимная индуктивность
	Двухобмоточный трансформатор
	Диод
	Длинная линия
	Индуктивность
	Конденсатор
	Переключатель, управляемый напряжением
	Переключатель, управляемый током
	Резистор
	Резистор-потенциометр

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

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

4.2.1 Добавление примитивов на схему

Размещение примитива на схеме доступно несколькими способами:

1. В панели «Модели» вызвать контекстное меню для выбранного примитива → нажать «Разместить» см. [Рис. 37](#);

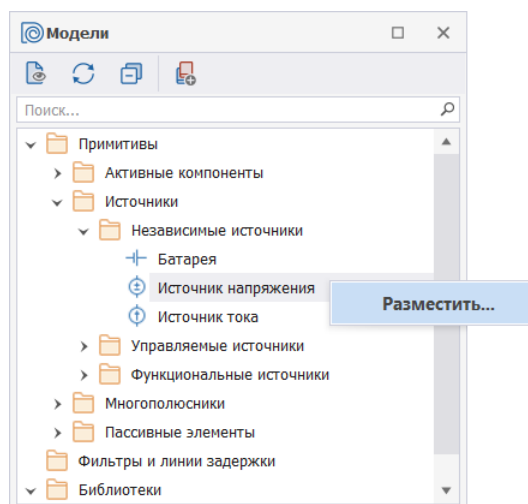


Рис. 37 Добавление элементов на схему

2. Дважды кликнуть по выбранному примитиву;
3. Использовать механизм «drag-and-drop».

После добавления на схему компонента инструмент размещения доступен для размещения второго и последующих компонентов только при использовании команды «Разместить».

Если при размещении объект пересекается с уже имеющимися на схеме объектами, система подсветит размещаемый компонент красным цветом, см. [Рис. 38](#).

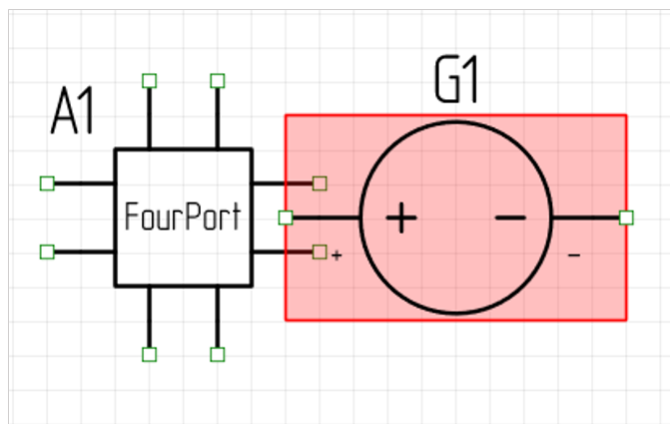


Рис. 38 Запрет на размещение

Разрешенное подключение обозначается зелеными квадратами, см. [Рис. 39](#).

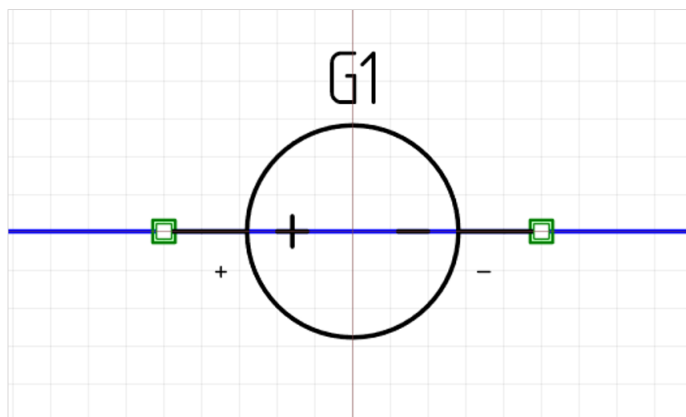


Рис. 39 Разрешенное размещение

Для выхода из режима размещения необходимо нажать клавишу Escape или кнопку «Отменить», расположенную в верхней правой части рабочей области или контекстном меню, см. [Рис. 40](#).

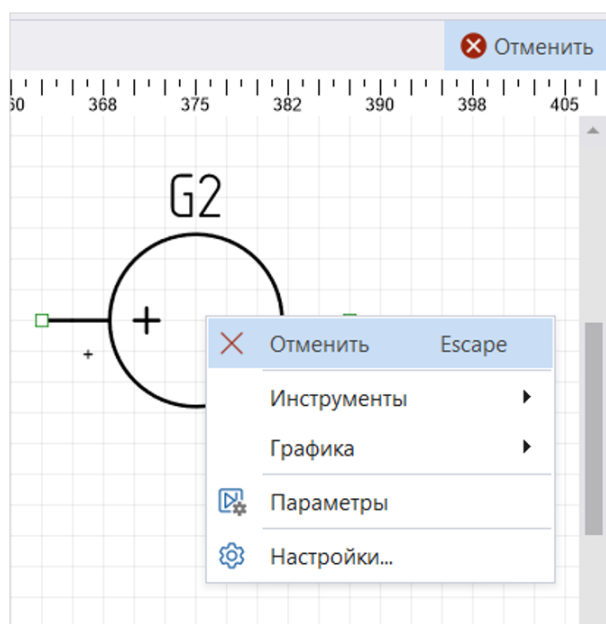
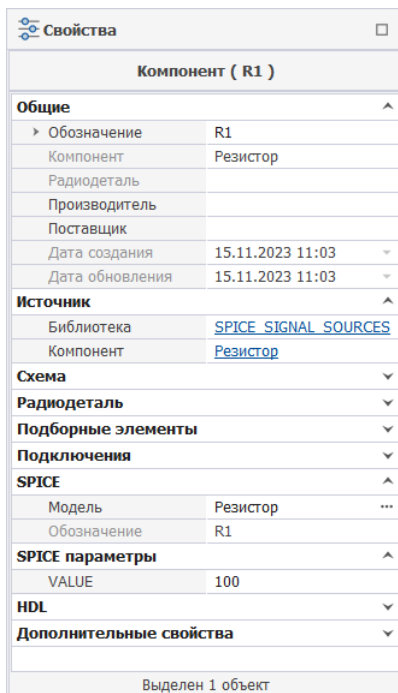


Рис. 40 Выход из режима размещения

4.2.2 Редактирование параметров модели компонента

Редактирование параметров модели компонента осуществляется в панели «Свойства», см. [Рис. 41](#).



Компонент (R1)	
Общие	
Обозначение	R1
Компонент	Резистор
Радиодеталь	
Производитель	
Поставщик	
Дата создания	15.11.2023 11:03
Дата обновления	15.11.2023 11:03
Источник	
Библиотека	SPICE SIGNAL SOURCES
Компонент	Резистор
Схема	
Радиодеталь	
Подборные элементы	
Подключения	
SPICE	
Модель	Резистор
Обозначение	R1
SPICE параметры	
VALUE	100
HDL	
Дополнительные свойства	

Выделен 1 объект

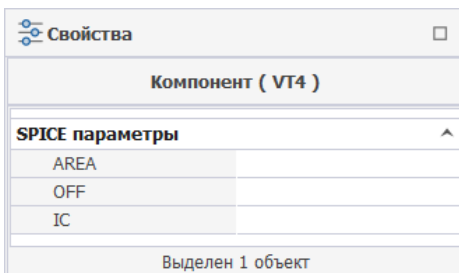
Рис. 41 Редактирование параметров модели компонента

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

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

4.2.3 Активные компоненты

У активных компонентов есть общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 42](#).



Компонент (VT4)	
SPICE параметры	
AREA	
OFF	
IC	

Выделен 1 объект

Рис. 42 Общие входные редактируемые SPICE-параметры компонента

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

Если указано значение OFF, оно 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 параметров IC задаются начальные условия на p-n-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы.

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

4.2.3.1 Арсенид-галлиевый полевой транзистор

УГО компонента представлено на [Рис. 43](#).

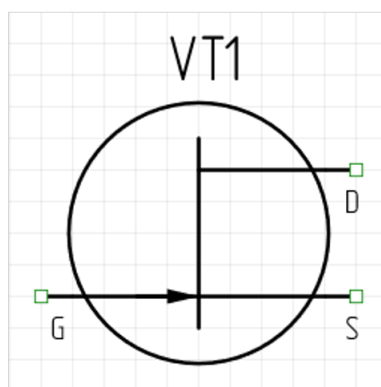


Рис. 43 УГО компонента

Кроме [общих параметров](#) активных компонентов для редактирования доступен также SPICE-параметр LEVEL, см. [Рис. 44](#).

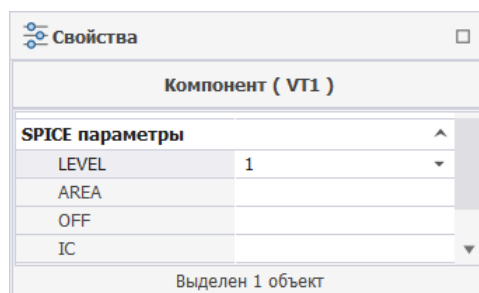


Рис. 44 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр LEVEL позволяет выбрать модель для математического моделирования.

Подробнее см. [Табл. 5](#).

[Таблица 5](#) Модели для математического моделирования

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

4.2.3.2 Биполярный транзистор N-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 45](#).

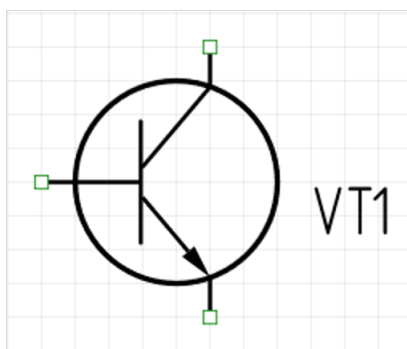


Рис. 45 УГО компонента

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

4.2.3.3 Биполярный транзистор N-типа с подложкой

УГО компонента представлено на [Рис. 46](#).

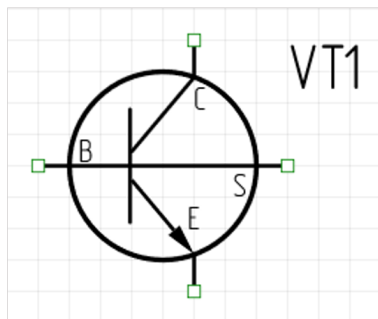


Рис. 46 УГО компонента

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

4.2.3.4 Биполярный транзистор Р-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 47](#).

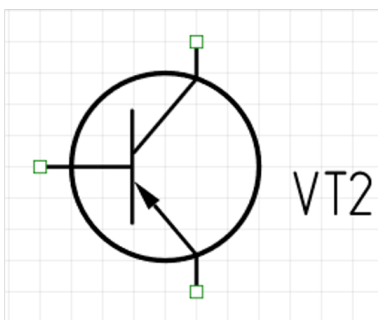


Рис. 47 УГО компонента

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

4.2.3.5 Биполярный транзистор Р-типа с подложкой

УГО компонента представлено на [Рис. 48](#).

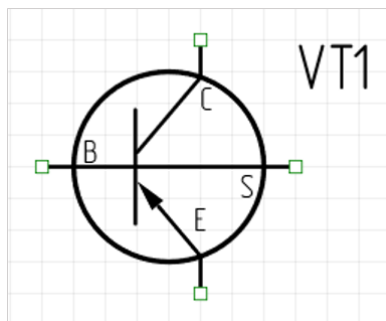


Рис. 48 УГО компонента

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

4.2.3.6 МОП-транзисторы (Полевые транзисторы с изолированным затвором)

Кроме [общих параметров](#) активных компонентов для редактирования доступен SPICE-параметр LEVEL, см. [Рис. 49](#).

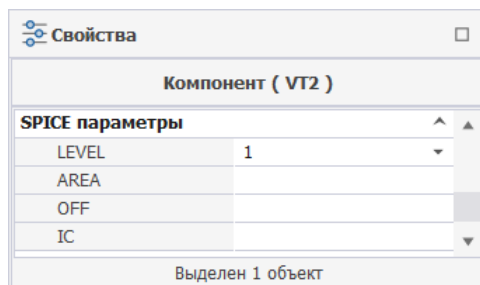


Рис. 49 Редактируемые SPICE-параметры

Параметр LEVEL позволяет выбрать модель для математического моделирования.

Подробнее см. [Табл. 6](#).

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

Параметр LEVEL	Имя модели
1 (по умолчанию)	Модель Шихмана–Ходжеса
2	MOS2 аналитическая модель Грув– Хоффмана
3	MOS3, полуэмпирическая модель

4.2.3.6.1 МОП-транзистор DN-типа

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

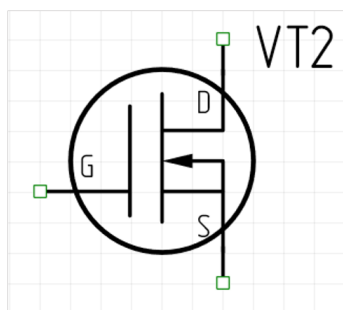


Рис. 50 УГО компонента

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

4.2.3.6.2 МОП-транзистор DP-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 51](#).

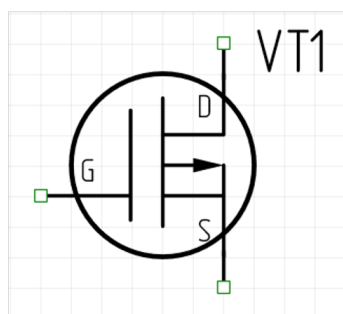


Рис. 51 УГО компонента

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

4.2.3.6.3 МОП-транзистор N-типа

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

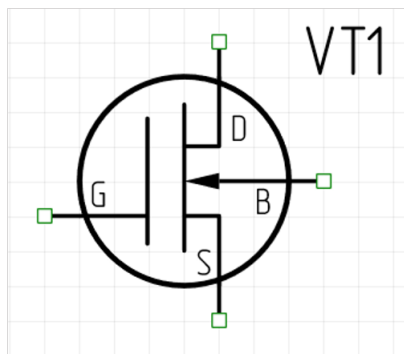


Рис. 52 УГО компонента

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

4.2.3.6.4 МОП-транзистор Р-типа

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

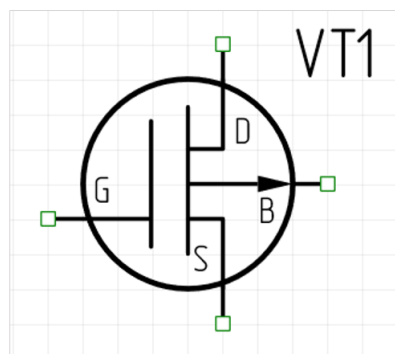


Рис. 53 УГО компонента

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

4.2.3.7 Операционный усилитель

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

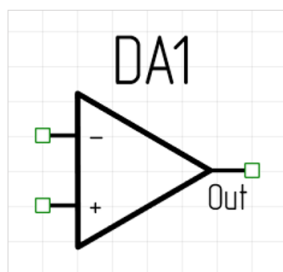


Рис. 54 УГО компонента

Для операционного усилителя для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 55](#).

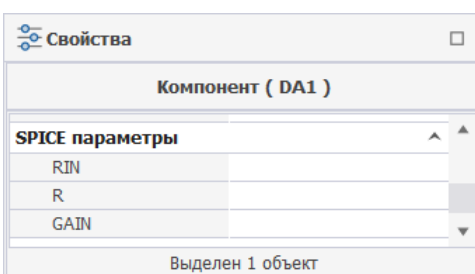


Рис. 55 Редалируемые параметры компонента

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

[Таблица 7](#) Редалируемые параметры операционного усилителя

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

4.2.3.8 Полевой транзистор N-типа

УГО компонента представлено на [Рис. 56](#).

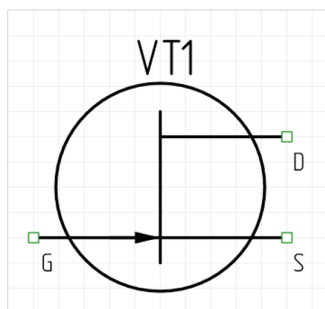


Рис. 56 УГО компонента

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

4.2.3.9 Полевой транзистор Р-типа

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

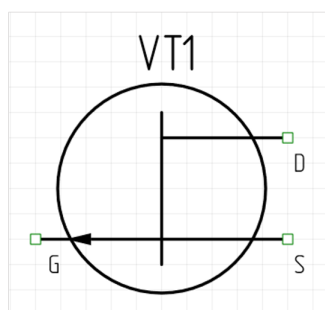


Рис. 57 УГО компонента

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

4.2.4 Источники

4.2.4.1 Независимые источники

4.2.4.1.1 Батарея

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

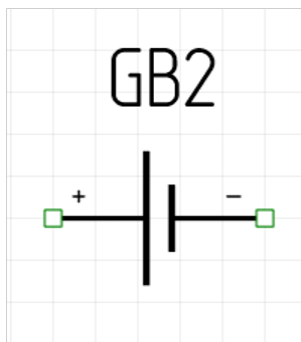


Рис. 58 УГО

Для редактирования доступен SPICE-параметр VOLTAGE, см. [Рис. 59](#).

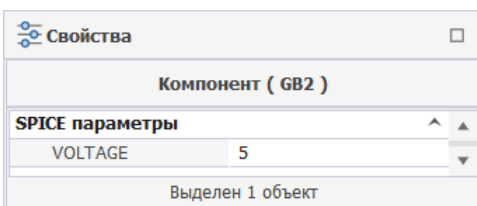


Рис. 59 SPICE-параметр VOLTAGE

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

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

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

4.2.4.1.2 Источник напряжения

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

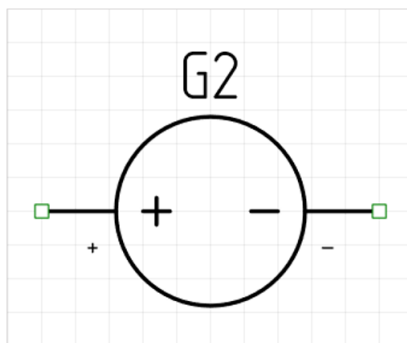


Рис. 60 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 61](#).



Рис. 61 Редактируемые SPICE-параметры

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

[Таблица 9](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VOLTAGE (DC)	Уровень постоянного напряжения	0	В
ACMAGNITUDE	Амплитуда гармонического сигнала	0	В
ACPHASE	Фаза гармонического сигнала	0	Град.
Rser	Внутреннее сопротивление источника	0	Ом
SIGNAL	Функция от времени (см. раздел Сигналы)	Не задан	-

4.2.4.1.3 Источник тока

УГО компонента представлено на [Рис. 62](#).

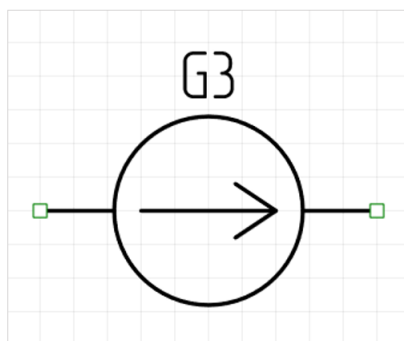


Рис. 62 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 63](#).

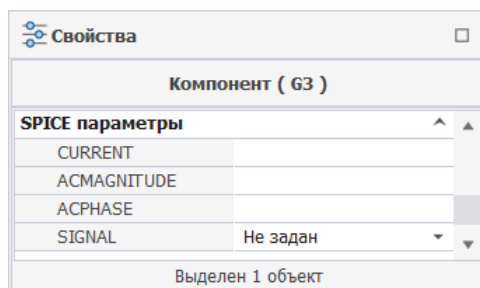


Рис. 63 Редалируемые SPICE-параметры

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

Таблица 10 Редалируемые SPICE-параметры

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

4.2.4.2 Управляемые источники

У управляемых источников для редактирования доступен SPICE-параметр GAIN - коэффициент усиления (по умолчанию = 1), [Рис. 64](#).

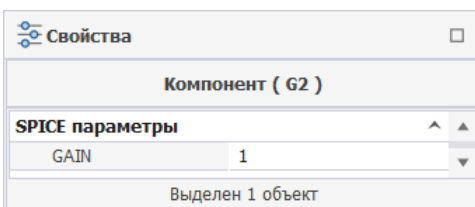


Рис. 64 Редактируемый
SPICE-параметр GAIN

4.2.4.2.1 Источник напряжения, управляемый напряжением

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

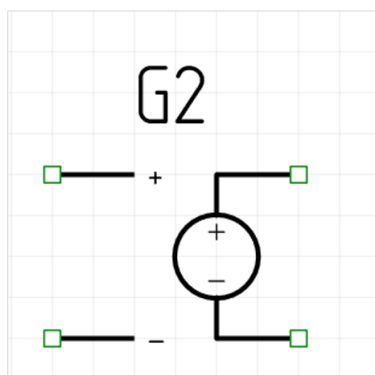


Рис. 65 УГО компонента

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

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

4.2.4.2.2 Источник напряжения, управляемый током

УГО компонента представлено на [Рис. 66](#).

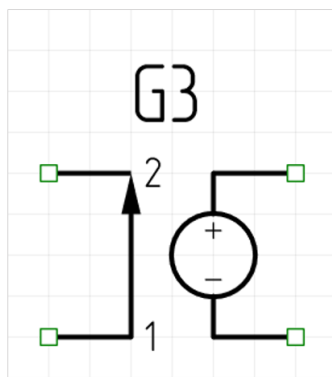


Рис. 66 УГО компонента

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

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

4.2.4.2.3 Источник тока, управляемый напряжением

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

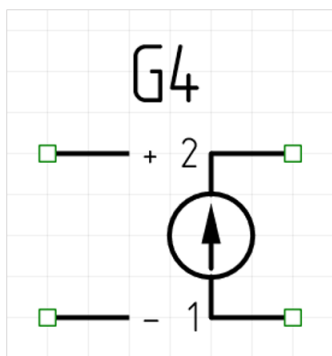


Рис. 67 УГО компонента

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

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

4.2.4.2.4 Источник тока, управляемый током

УГО компонента представлено на [Рис. 68](#).

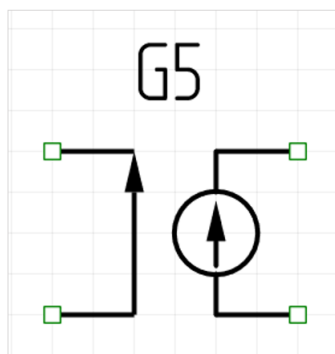


Рис. 68 УГО компонента

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

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

4.2.4.3 Функциональные источники

У функциональных источников для редактирования доступен SPICE-параметр Expression (выражение), см. [Рис. 69](#).

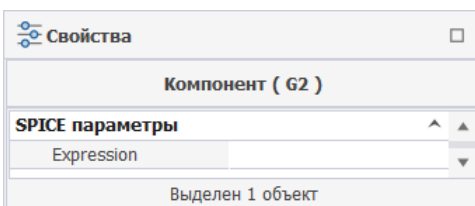


Рис. 69 Редактируемый SPICE-параметр Expression

4.2.4.3.1 Функциональный источник напряжения

УГО компонента представлено на [Рис. 70](#).

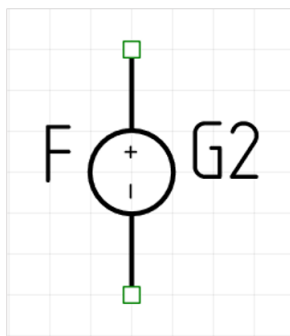


Рис. 70 УГО компонента

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

4.2.4.3.2 Функциональный источник тока

УГО компонента представлено на [Рис. 71](#).

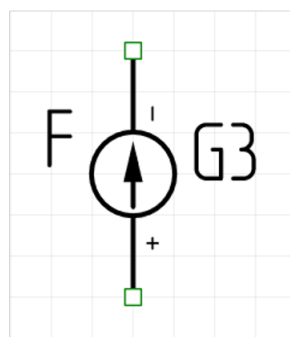


Рис. 71 УГО компонента

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

4.2.5 Многополюсники

У многополюсников есть общие входные SPICE-параметры, доступные для редактирования, см. [Рис. 72](#).

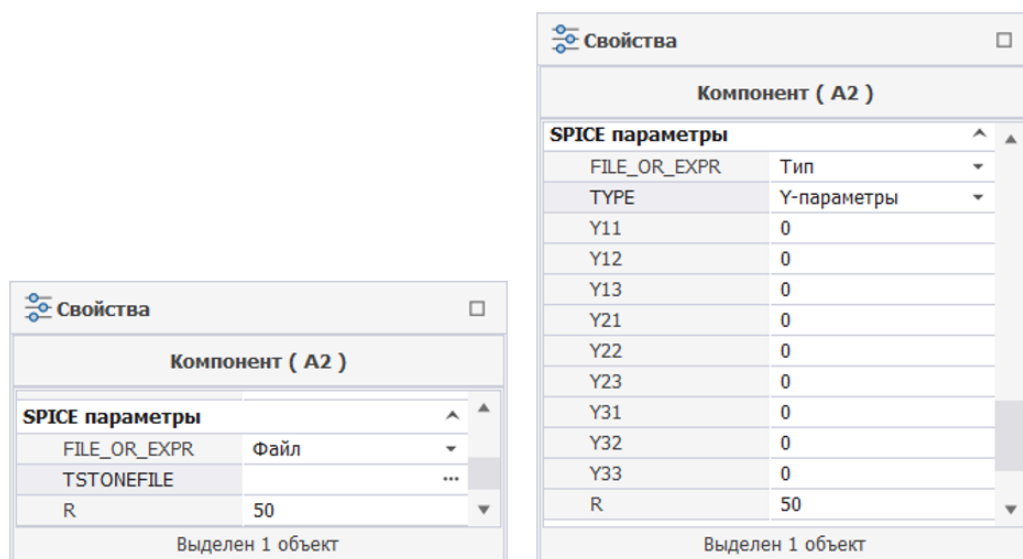


Рис. 72 Общие входные редактируемые SPICE-параметры многополюсников

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

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

Возможны следующие типы:

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

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

4.2.5.1 Восьмиполюсник

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

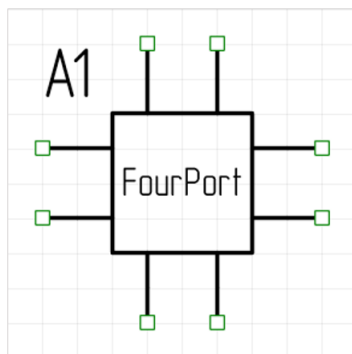


Рис. 73 УГО компонента

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

4.2.5.2 Двухполюсник

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

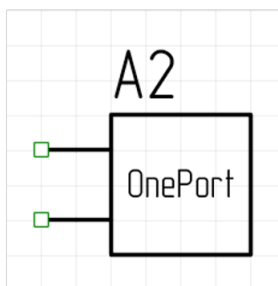


Рис. 74 УГО компонента

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

4.2.5.3 Четырехполюсник

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

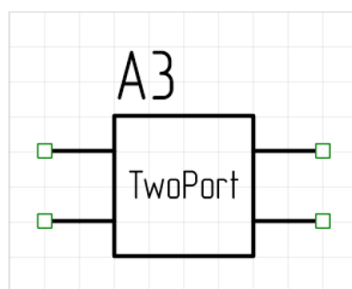


Рис. 75 УГО компонента

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

4.2.5.4 Шестиполюсник

УГО компонента представлено на [Рис. 76](#).

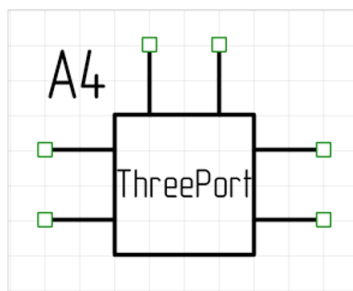


Рис. 76 УГО компонента

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

4.2.6 Пассивные элементы

4.2.6.1 Взаимная (магнитосвязная) индуктивность

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



Рис. 77 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 78](#).

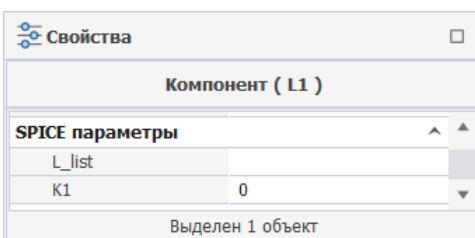


Рис. 78 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 11](#).

[Таблица 11](#) Редактируемые SPICE-параметры

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
K	Коэффициент магнитной связи	0	-
L_list	Список катушек индуктивности	-	-

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

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

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

Порядок перечисления имён индуктивностей в списке не имеет значения.

4.2.6.2 Двухобмоточный трансформатор

УГО компонента представлено на [Рис. 79](#).

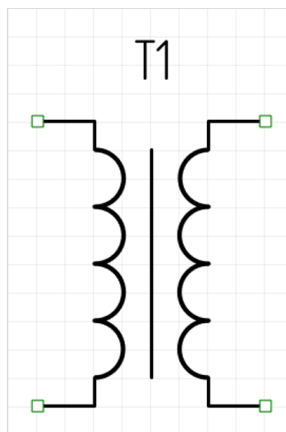


Рис. 79 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 80](#).

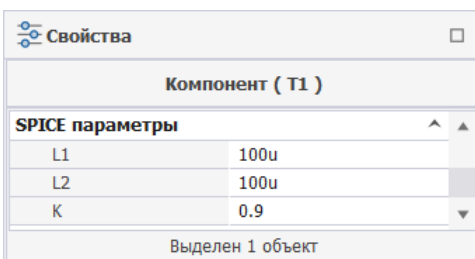


Рис. 80 Редалируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 12](#).

[Таблица 12](#) Редалируемые SPICE-параметры

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

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

4.2.6.3 Диод

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

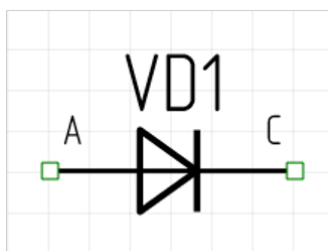


Рис. 81 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 82](#).

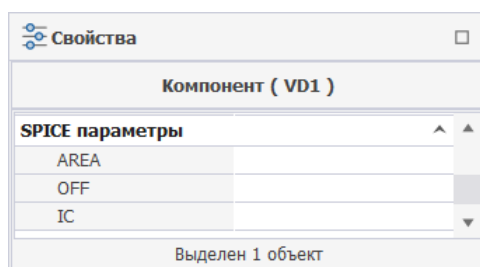


Рис. 82 Редактируемые SPICE-параметры

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

Если указано значение OFF, оно указывает на отключение диода на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

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

С помощью параметра IC задаются начальные условия на диоде при расчёте переходных режимов схемы.

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

4.2.6.4 Длинная линия

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

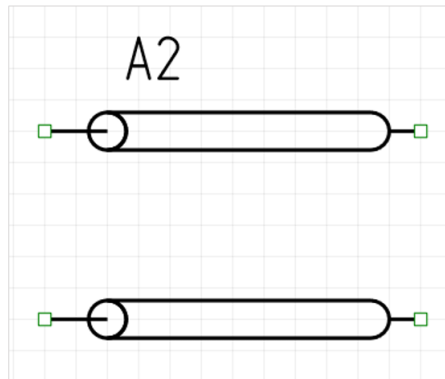


Рис. 83 УГО компонента

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



Рис. 84 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 13](#).

Таблица 13 Редактируемые SPICE-параметры

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

4.2.6.5 Индуктивность

УГО компонента представлено на [Рис. 85](#).

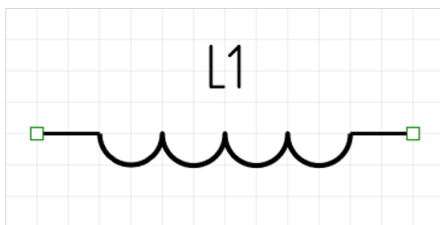


Рис. 85 УГО компонента

Для редактирования доступны следующие SPICE-параметры, см. [Рис. 86](#).

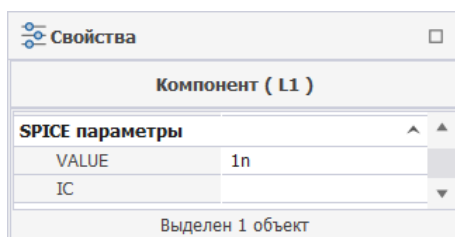


Рис. 86 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 14](#).

[Таблица 14](#) Редактируемые SPICE-параметры

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

4.2.6.6 Конденсатор

УГО компонента представлено на [Рис. 87](#).

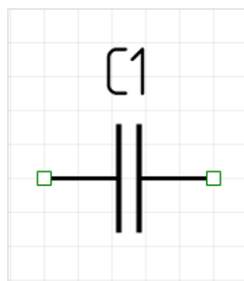


Рис. 87 УГО компонента

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

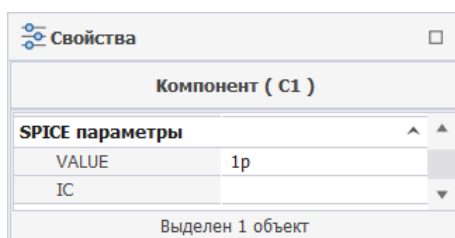


Рис. 88 Редактируемые SPICE-параметры

Подробнее см. [Табл. 15](#).

[Таблица 15](#) Редактируемые SPICE-параметры

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

4.2.6.7 Переключатель, управляемый напряжением

УГО компонента представлено на [Рис. 89](#).

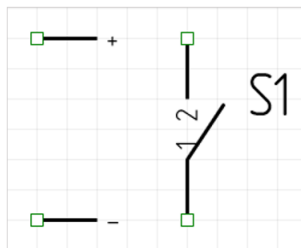
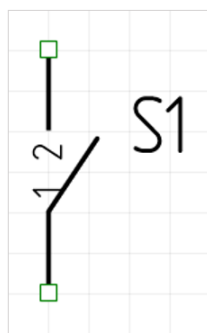


Рис. 89 УГО

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

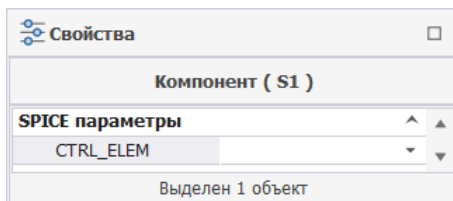
4.2.6.8 Переключатель, управляемый током

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

Рис. 90 УГО
компонента

[Рис. 91](#).

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

Рис. 91 Редактируемый
SPICE-параметр CTRL_ELEM

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

4.2.6.9 Резистор

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

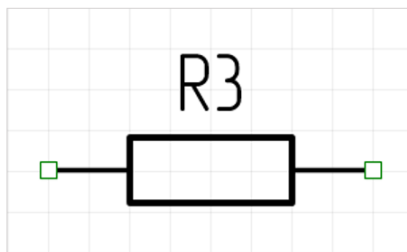


Рис. 92 УГО компонента

Для редактирования доступен SPICE-параметр VALUE, см. [Рис. 93](#).

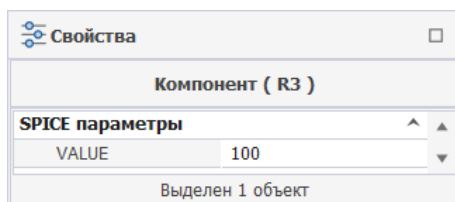


Рис. 93 Редактируемый SPICE-параметр VALUE

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

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

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

4.2.6.10 Резистор-потенциометр

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

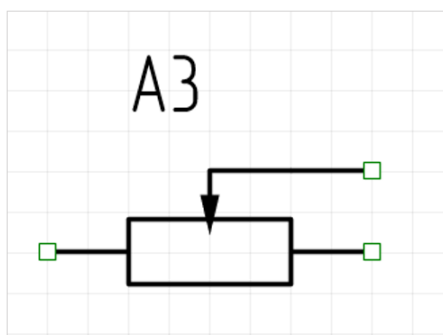


Рис. 94 УГО компонента

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



Рис. 95 Редактируемые SPICE-параметры

POTMODEL - модель (зависимость сопротивления), может быть выбрана из вариантов: линейная, степенная, логарифмическая и обратная логарифмическая.

R - номинальное сопротивление.

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

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

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

В зависимости от выбранной модели параметры RTAP и TAP (соответствующие точке (TAP, R-RTAP) на графике зависимости сопротивления от коэффициента wiper) имеют разные значения по умолчанию. Параметры TAP и RTAP можно менять в пределах (0 .. 1) и (0 .. R) соответственно. Подробнее см. [Табл. 17](#).

[Таблица 17](#) Зависимости сопротивления

Обозначение	Зависимость сопротивления	Значение по умолчанию RTAP	Значение по умолчанию TAP
pot_lin	линейная	0	0
pot_pow	степенная	100	0.5
pot_plog	логарифмическая	0.1	0.001
pot_nlog	обратная логарифмическая	0.1	0.999

4.3 Библиотеки

4.3.1 Предустановленная библиотека

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

Модели в базе компонентов объединены в разделы и группы:

SMPS Примитивы

Диоды

- Pin-диоды;
- Варисторы;
- Выпрямительные мосты;
- Выпрямительные пары;
- Диоды общего назначения;
- Диоды стабилизации тока;
- Диоды Шотки;
- Светодиоды;
- Стабилитроны;
- Туннельные диоды;
- Фотодиоды.

Компараторы

Операционные усилители

Пассивные компоненты

- Варисторы;
- Катушки индуктивности;
- Конденсаторы;
- Резисторы;
- Соединители;
- Терморезисторы;
- Трансформаторы;
- Ферритовые фильтры.

Переключатели

Разное

- Кристаллы;
- Оптопары;
- Сенсоры;
- Таймеры;
- Фильтры;
- Электронные лампы.

Российские компоненты

- Биполярные транзисторы (NPN, PNP);
- Диоды;
- Компараторы;
- МОП-транзисторы (N-типа, P-типа);
- Операционные усилители;
- Полевые транзисторы (N-типа, P-типа).

Силовые компоненты

- RMS-DC Преобразователи;
- Импульсные стабилизаторы напряжения;
- Источники опорного напряжения;
- Контроллеры источников питания;
- Ограничители выбросов напряжения;
- Преобразователи постоянного тока;
- Стабилизаторы напряжения;
- Широтно-импульсные модуляторы.

Тиристоры

- МОП-контролируемые тиристоры (MCT);
- PUT-тиристоры;
- SCR-тиристоры;

- Симисторы;
- Симметричные тиристоры (DIAC).

Транзисторы

- Арсенид-галлиевые транзисторы;
- Биполярные транзисторы;
- IGBT-модули;
- Пары Дарлингтона (NPN, PNP);
- СВЧ-транзисторы (NPN, PNP);
- Силовые транзисторы (NPN, PNP);
- Транзисторно-резистивные сборки (NPN, PNP);
- Транзисторы общего назначения (NPN, PNP).
- МОП-транзисторы;
- СВЧ-транзисторы (N-типа);
- Силовые транзисторы (N-типа, P-типа);
- Транзисторные сборки;
- Транзисторы общего назначения;
(N-типа, P-типа).
- Полевые транзисторы (N-типа, P-типа).

Добавление компонента из базы на схему происходит аналогично тому, как это описано выше в разделе [Примитивы](#), см. [Рис. 96](#).

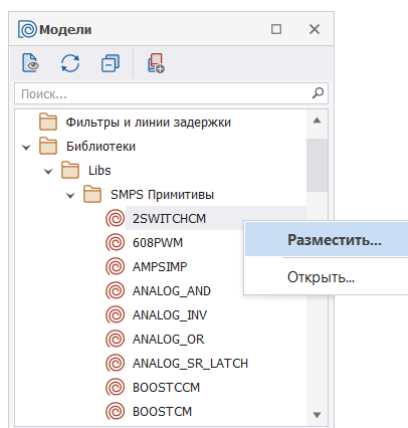


Рис. 96 Добавление компонента на схему из предустановленной

Пункт «Открыть» контекстного меню раскрывает описание компонента, его УГО, таблицу контактов компонентов, модель и параметры, см. [Рис. 97](#).

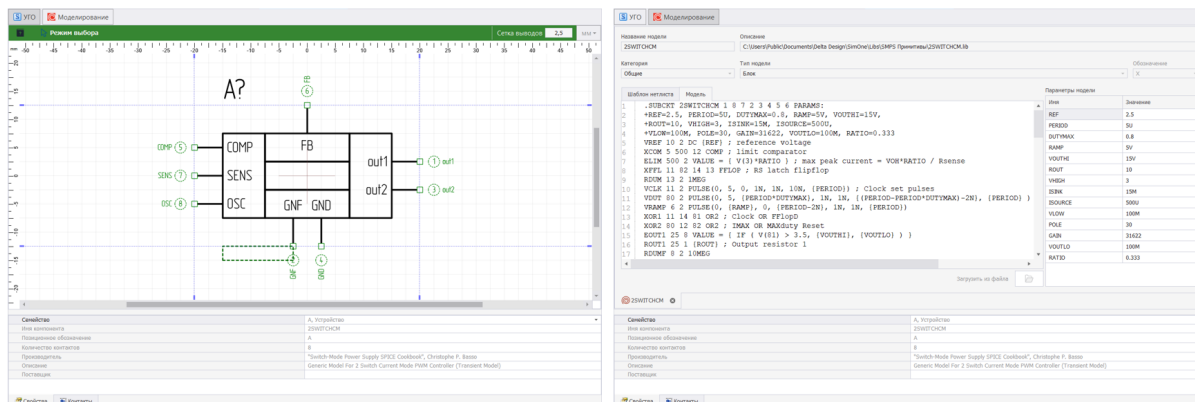



Рис. 97 Пункт «Открыть» контекстного меню компонента

4.3.2 Пользовательские SPICE-библиотеки

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

Для подключения используется кнопка  в верхней части панели «Модели», см. [Рис. 98](#).

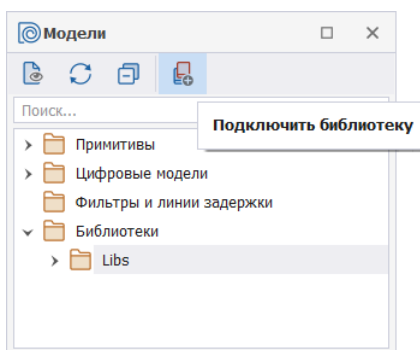


Рис. 98 Подключение

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. 99](#).

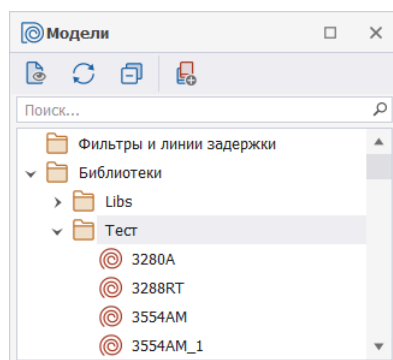


Рис. 99 Отображение подключенной библиотеки

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, см. [Рис. 100](#).

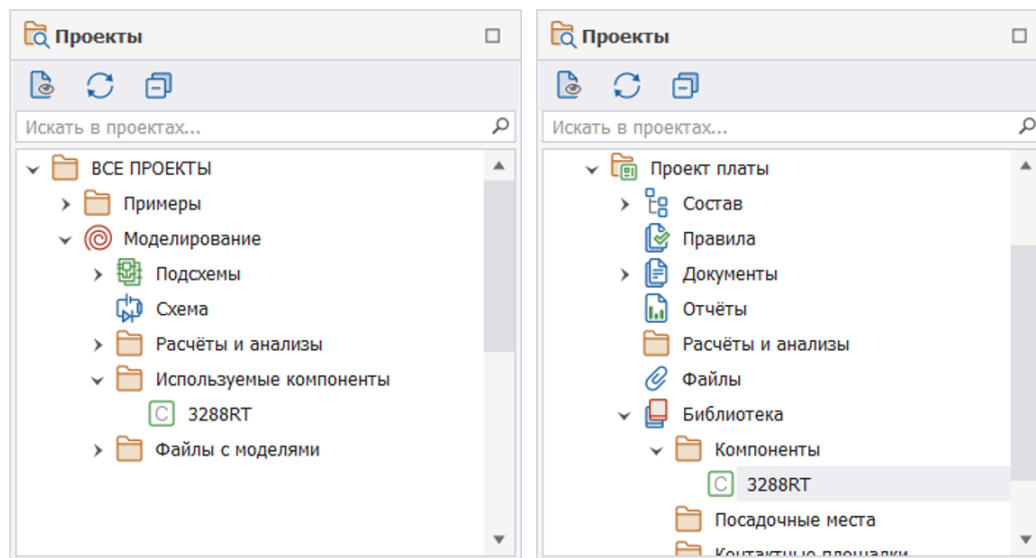


Рис. 100 Отображение добавленных компонентов в локальной библиотеке

5 Сигналы

5.1 Общие сведения

Сигналы – это функции временного аргумента, с помощью которых подаются входные воздействия на схему.

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

Сигналы могут быть созданы следующими способами:

- Для установленного на схему источника вызвать контекстное меню и выбрать пункт «Задать сигнал...», что вызовет диалоговое окно управления сигналами;
- Для установленного на схему источника в панели «Свойства» выбрать SPICE-параметр SIGNAL, см. [Рис. 101](#).

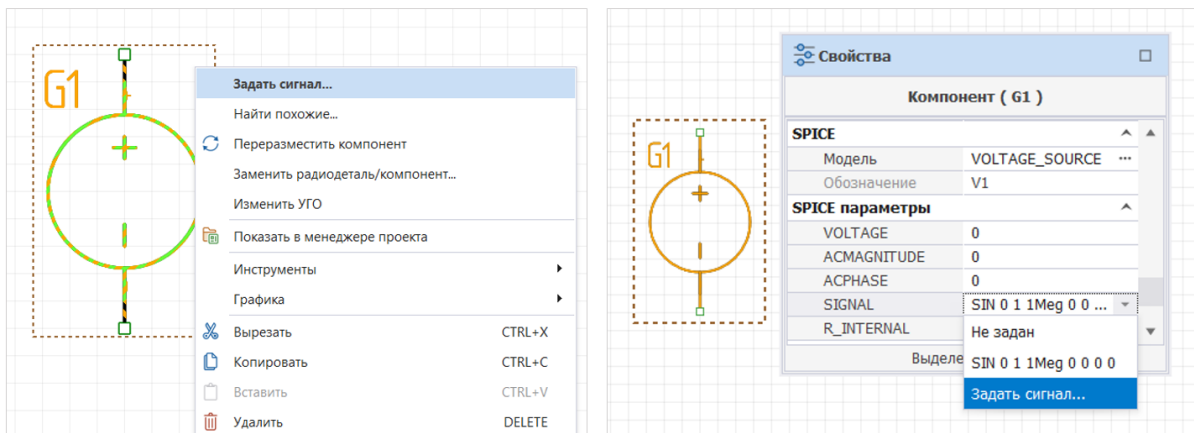


Рис. 101 Создание сигнала

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

Выбор «Задать сигнал...» вызовет диалоговое окно управления сигналами.



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

Диалоговое окно позволяет создавать новые сигналы, редактировать параметры существующих сигналов, удалять их из списка, см. [Рис. 102](#).

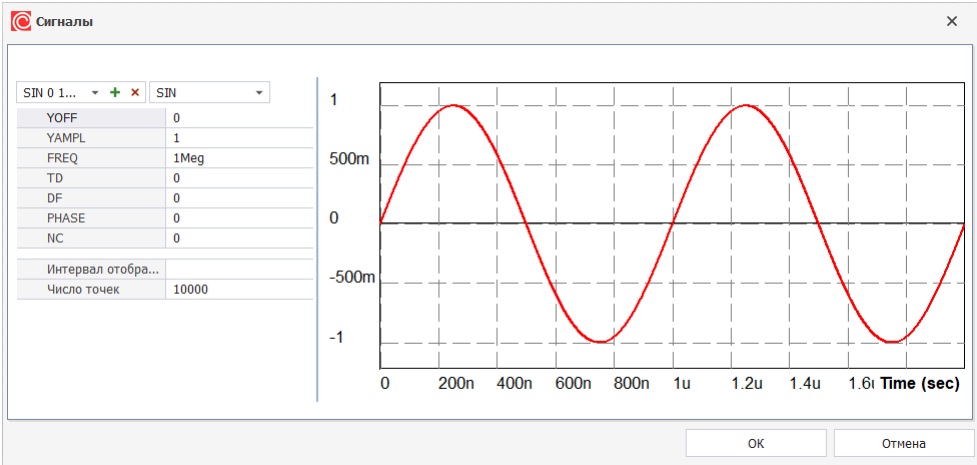


Рис. 102 Диалоговое окно «Сигналы»

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. 18](#) представлен общий интерфейс диалогового окна редактирования сигнала.

[Таблица 18](#) Общий интерфейс диалогового окна редактирования сигнала

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Выпадающий список 1	Содержит строки, соответствующие сигналу на источнике, и сигналам, заданным в рамках схемы. «Не задан», если сигнал на источнике отсутствует.	«Не задан» или текущий сигнал.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Выпадающий список 2	Тип сигнала. Доступны следующие типы сигналов: <ul style="list-style-type: none"> • EXP – экспоненциальный сигнал • PULSE – импульсный сигнал • PWL – кусочно-линейный сигнал • SIN – синусоидальный сигнал • SFFM – частотно-модулированный сигнал • NOISE – шумовой сигнал • GAUSSIAN – сигнал Гаусса • AMS – амплитудно-модулированный сигнал • WAV – сигнал в аудиоформате • SLFM – линейно частотно-модулированный сигнал 	SIN
Интервал отображения	Интервал отображения сигнала в окне предварительного просмотра	-
+	Кнопка создания нового сигнала	-
x	Удаление выбранного сигнала из списка доступных	-

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

5.2 Экспоненциальный сигнал (EXP)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 103](#).

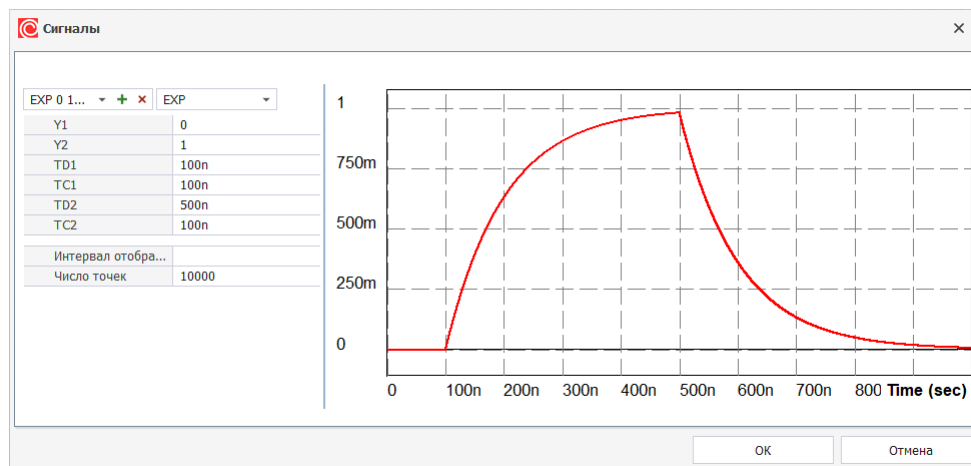


Рис. 103 Параметры экспоненциального сигнала

Подробнее параметры экспоненциального сигнала описаны в [Табл. 19](#).

[Таблица 19](#) 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. 20](#).

[Таблица 20](#) Расчет значений сигнала

Интервал	Значение
$0 \leq t \leq TD1$	Y1
$TD1 < t \leq TD2$	$Y1 + (Y2 - Y1) * (1 - \exp(-t + TD1) / TC1)$
$TD2 < t \leq TSTOP$	$Y1 + (Y2 - Y1) * (1 - \exp(-t + TD1) / TC1) - (1 - \exp(-t + TD2) / TC2)$

TSTOP – конечное время анализа переходного процесса.

5.3 Импульсный сигнал (PULSE)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 104](#).

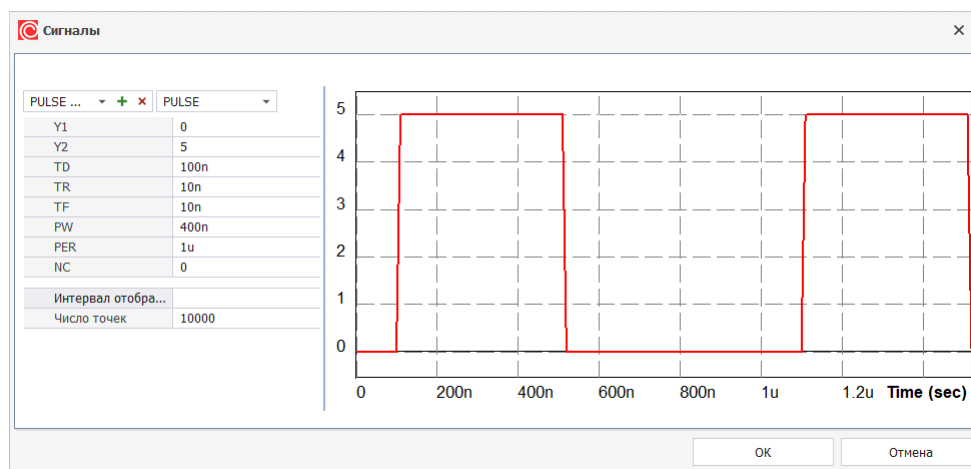


Рис. 104 Параметры импульсного сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 21](#).

[Таблица 21](#) Параметры импульсного сигнала

Обозначение	Параметр
Y1	Начальное значение
Y2	Максимальное значение
TD	Начало переднего фронта
TR	Длительность переднего фронта
TF	Длительность заднего фронта
PW	Длительность плоской части импульса
PER	Период повторения
NC	Количество периодов. 0 соответствует отсутствию ограничения

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 22](#).

[Таблица 22](#) Расчет значений сигнала

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

5.4 Кусочно-линейный сигнал (PWL)

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

Такой тип сигналов задаётся списком параметров:

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

В секции (точки_отсчёта) помещаются следующие данные:

- (<tn, yn>) – координаты точек;
- FILE <имя_файла> – чтение координат точек из файла;
- REPEAT FOR <n> (точки_отсчёта)* ENDREPEAT – повторение n раз;
- REPEAT FOREVER (точки_отсчёта)* ENDREPEAT – бесконечное повторение.

Примеры задания pwL-сигналов представлены на [Рис. 105](#).

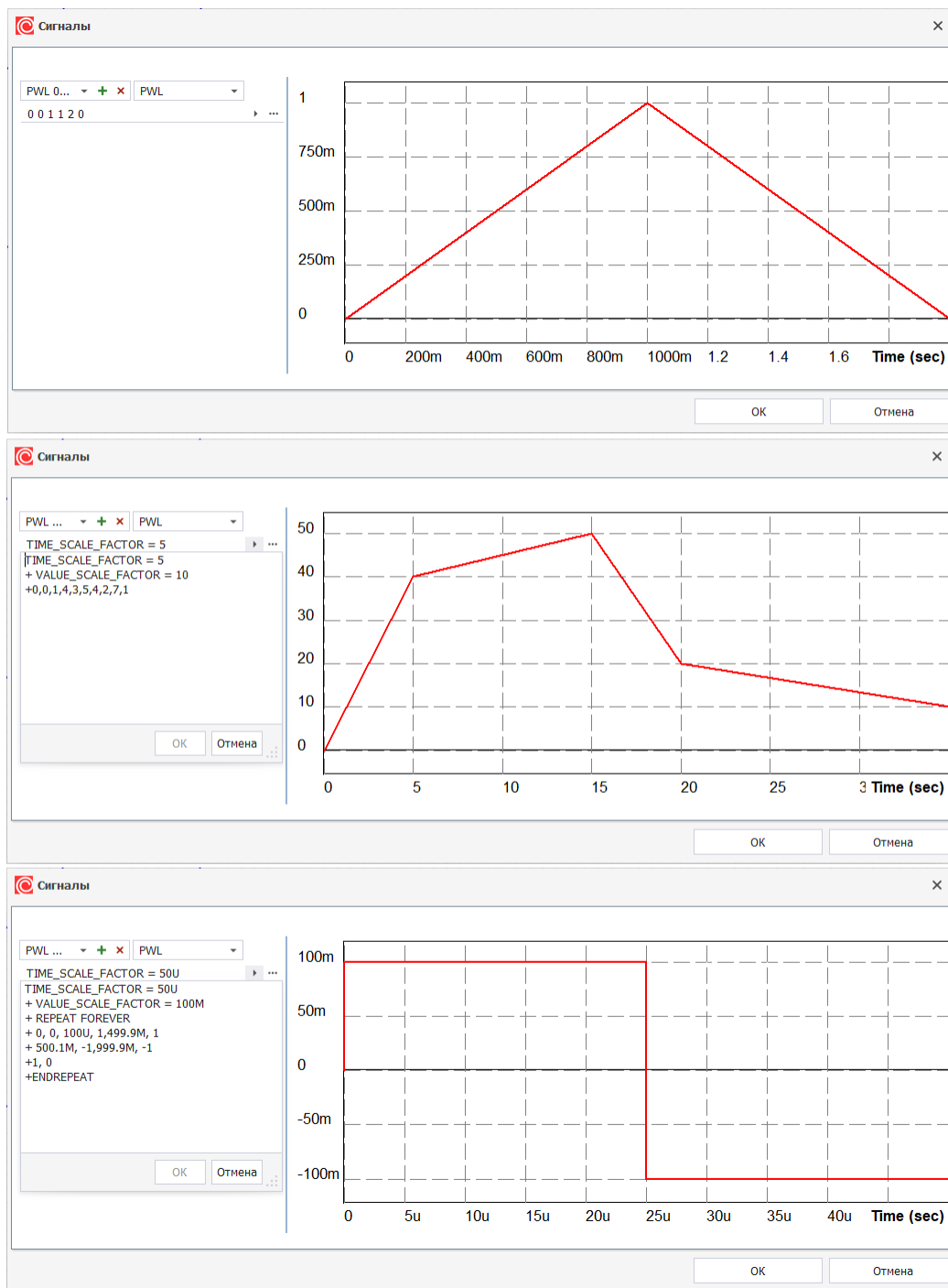


Рис. 105 Примеры задания pwl-сигналов

Также pwl-сигнал может быть задан с помощью файлов с расширением .dat или .txt, см. [Рис. 106](#).

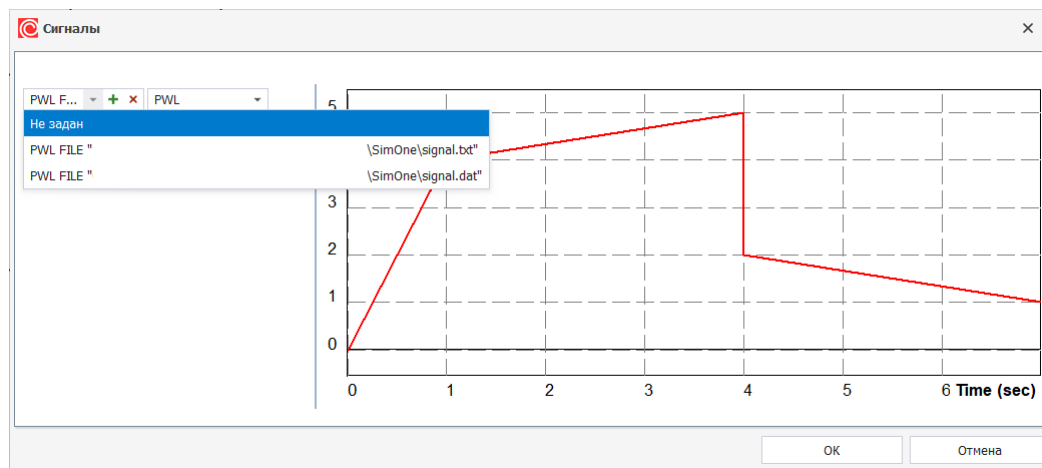


Рис. 106 Задание pwl-сигнала с помощью файла

Пример файла, содержащего точки отсчета, представлен на [Рис. 107](#).

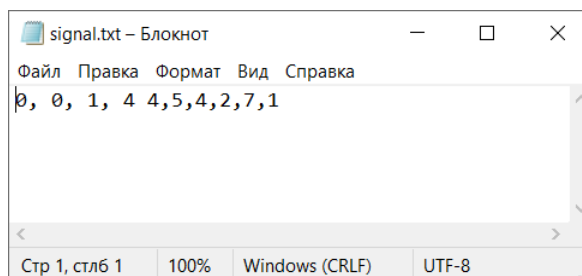


Рис. 107 Пример файла, содержащего точки отсчета

5.5 Синусоидальный сигнал (SIN)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 108](#).

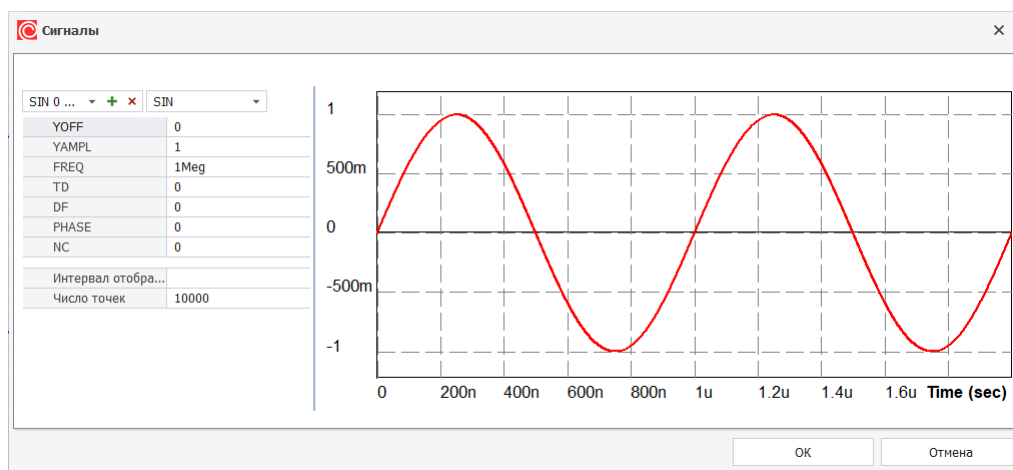


Рис. 108 Параметры синусоидального сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 23](#).

[Таблица 23](#) Параметры синусоидального сигнала

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

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 24](#).

[Таблица 24](#) Расчет значений сигнала

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

5.6 Частотно-модулированный синусоидальный сигнал (SFFM)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 109](#).

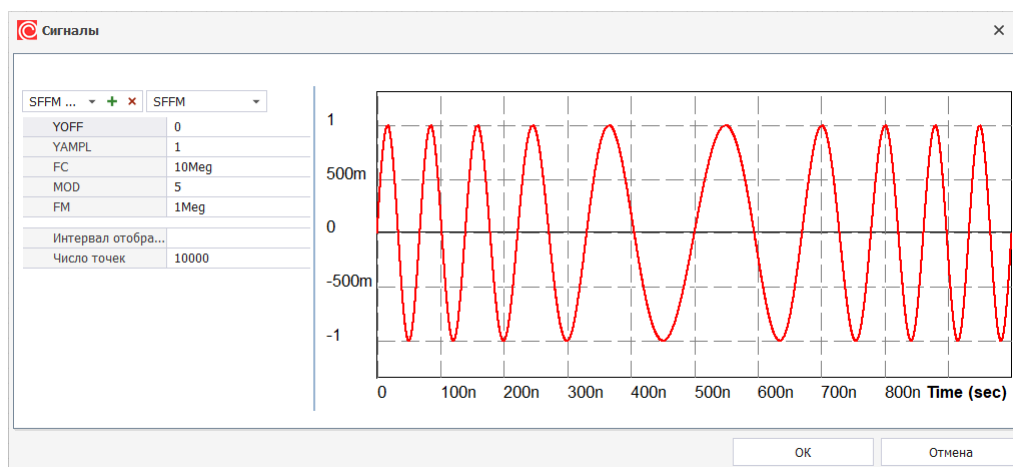


Рис. 109 Параметры частотно-модулированного синусоидального сигнала

Подробнее параметры описаны в [Табл. 25](#).

[Таблица 25](#) Параметры частотно-модулированного синусоидального сигнала

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

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 26](#).

[Таблица 26](#) Расчет значений сигнала

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

5.7 Шумовой сигнал (NOISE)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 110](#).

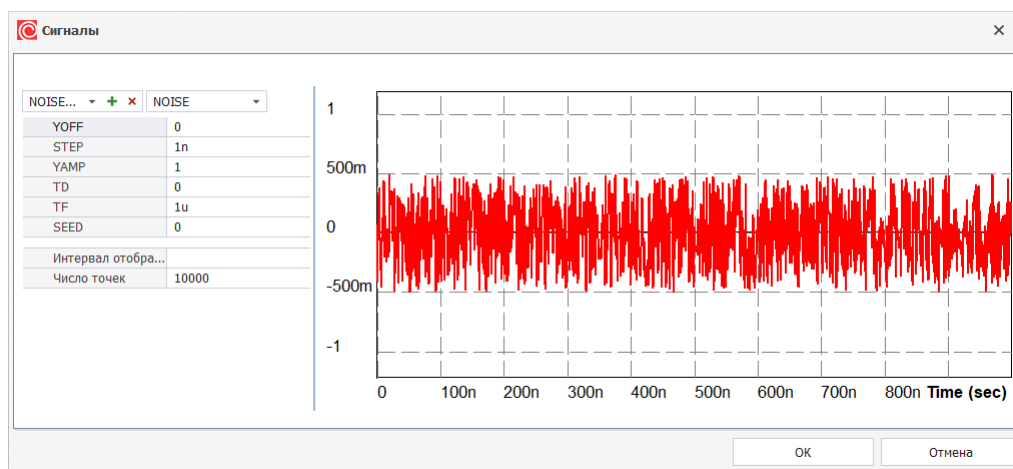


Рис. 110 График шумового сигнала

Подробнее параметры шумового сигнала объясняются в [Табл. 27](#).

[Таблица 27](#) Параметры шумового сигнала

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

Шумовой сигнал задаётся от значения YOFF в момент TD и далее его значения появляются последовательно через временной интервал STEP, находясь при этом в промежутке между $YAMP/2$ и $-YAMP/2$ относительно базового уровня YOFF. Описанный процесс генерации случайных значений продолжается до момента времени TF, далее сигнал принимает постоянное значение YOFF.

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

Если параметр генератора случайных чисел SEED не равен 0, то случайная последовательность остается неизменной от запуска к запуску. В противном случае последовательности отличаются между собой при каждом новом запуске.

5.8 Гауссов импульс (GAUSSIAN)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 111](#).

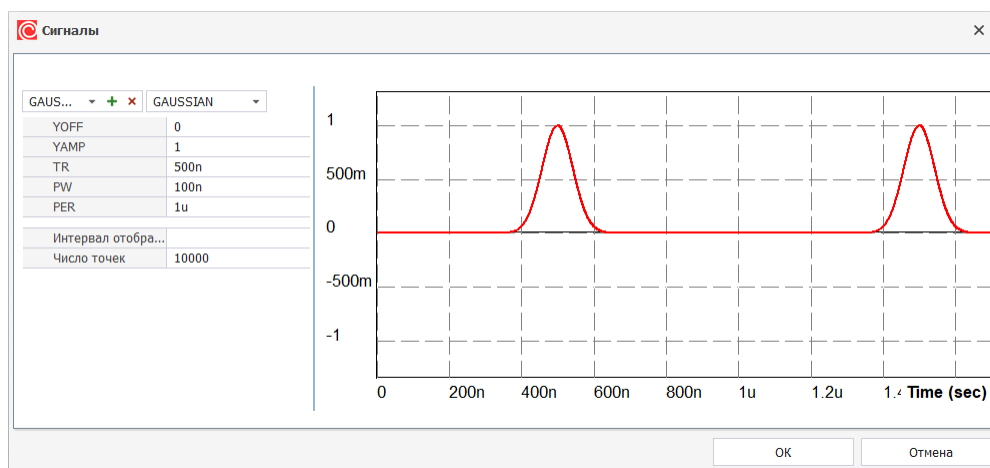


Рис. 111 Параметры Гауссова импульса

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

[Таблица 28](#) 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 $g(t) = YOFF + YAMP \cdot \exp(-4 \cdot \ln(2) \cdot ((t \bmod PER) - TR)^2 / PW^2)$, где \exp - функция расчёта экспоненты, \ln - функция расчёта натурального логарифма, \bmod - оператор

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

5.9 Амплитудно-модулированный сигнал (AMS)

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

График сигнала и значения по умолчанию приведены на [Рис. 112](#).

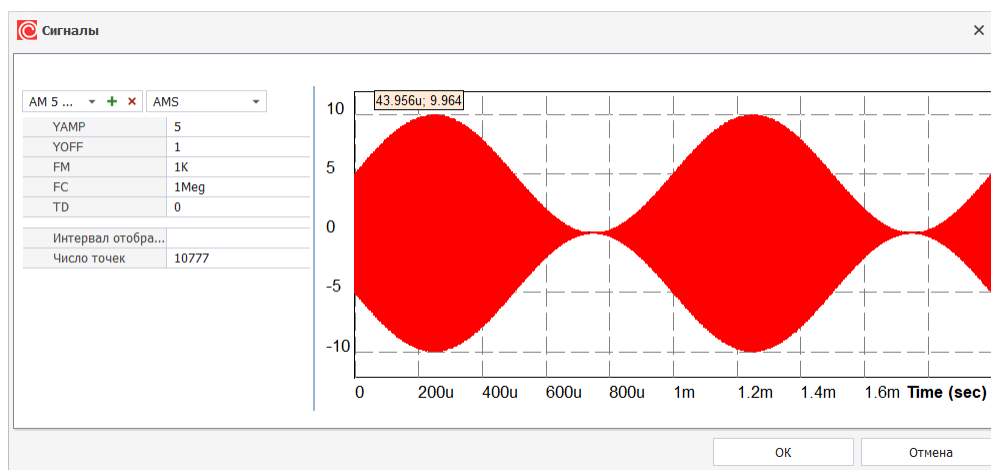


Рис. 112 Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Подробнее параметры амплитудно-модулированного сигнала объясняются в [Табл. 29](#).

[Таблица 29](#) Параметры амплитудно-модулированного сигнала

Обозначение	Параметр
YAMP	Амплитуда
YOFF	Постоянная составляющая
FM	Частота модуляции
FC	Несущая частота
TD	Время задержки

Значения сигнала рассчитываются согласно [Табл. 30](#).

[Таблица 30](#) Расчет значений сигнала

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

5.10 Сигнал в аудиоформате (WAV)

Сигнал в аудиоформате задаётся командой `wavefile=<filename> [chan=<номер канала>]`.

- `<filename>` – полный путь к файлу хранения аудио данных с расширением `.wav` ;
- `<номер канала>` – номер канала записи аудио данных в этом файле, по умолчанию 0.

График сигнала приведён на [Рис. 113](#).

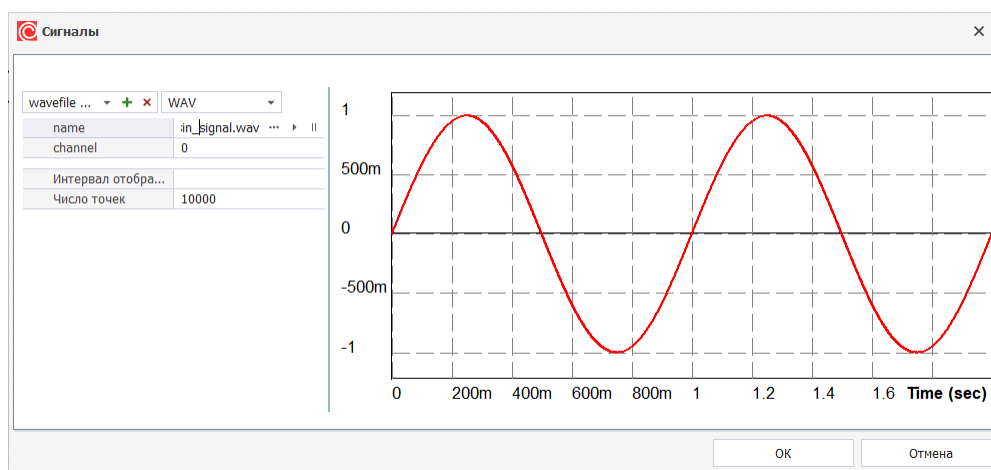


Рис. 113 График аудиосигнала

Подробнее параметры аудиосигнала объясняются в [Табл. 31](#).

[Таблица 31](#) Параметры аудиосигнала

Обозначение	Параметр
name	Полный путь к файлу хранения аудио данных с расширением <code>.wav</code>
channel	Номер канала записи аудио данных в файле
Воспроизвести	Вывести звуковой канал на динамики компьютера
Остановить	Остановить воспроизведение



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

5.11 Линейно-частотно-модулированный сигнал (SLFM)

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

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

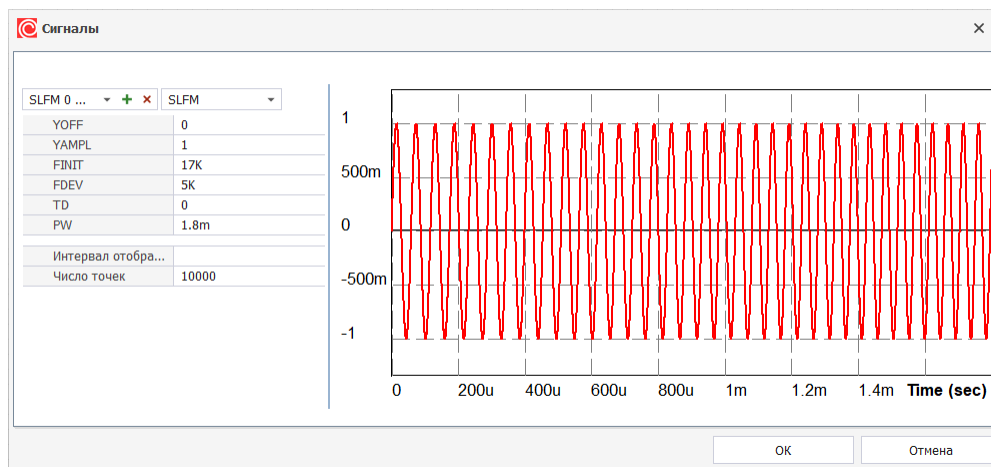


Рис. 114 Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

Подробнее параметры линейно-частотно-модулированного сигнала приведены в [Табл. 32](#).

[Таблица 32](#) Параметры линейно-частотно-модулированного сигнала

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

6 Моделирование

6.1 Общие сведения

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

- Анализ схемы по постоянному току. Сюда относятся расчёт рабочей точки схемы, построение статических характеристик схемы при изменении параметров компонентов, температуры, расчёт чувствительности по постоянному току.
- Анализ схемы в режиме малого сигнала. Включает в себя расчёт переменных схемы на указанной частоте воздействия, построение частотных характеристик схемы, исследование устойчивости схемы.
- Анализ временных процессов схемы. 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/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 текущего проекта отображаются в функциональной панели «Проекты» → папка «Моделирование» → раскрыть дерево выбранного проекта → перейти в папку «Расчёты и анализы», см. [Рис. 115](#).

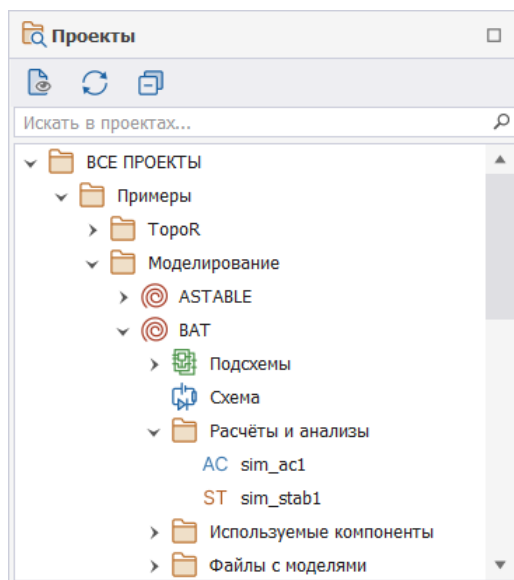


Рис. 115 Отображение симуляций для выбранного проекта

Из контекстного меню симуляции проекта доступны следующие действия, см. [Рис. 116](#):

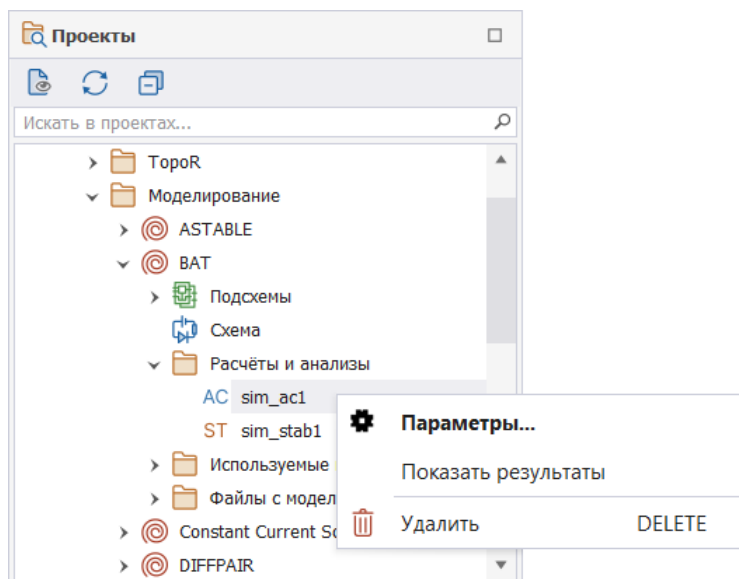


Рис. 116 Действия, доступные из контекстного меню для имеющейся симуляции

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

6.2 Окно параметров моделирования

Создание любого вида анализа схемы вызывается из главного меню «SimOne» → «Новое моделирование» или из дерева проекта в панели «Проекты» → контекстное меню узла «Расчеты и анализы», см. [Рис. 117](#).

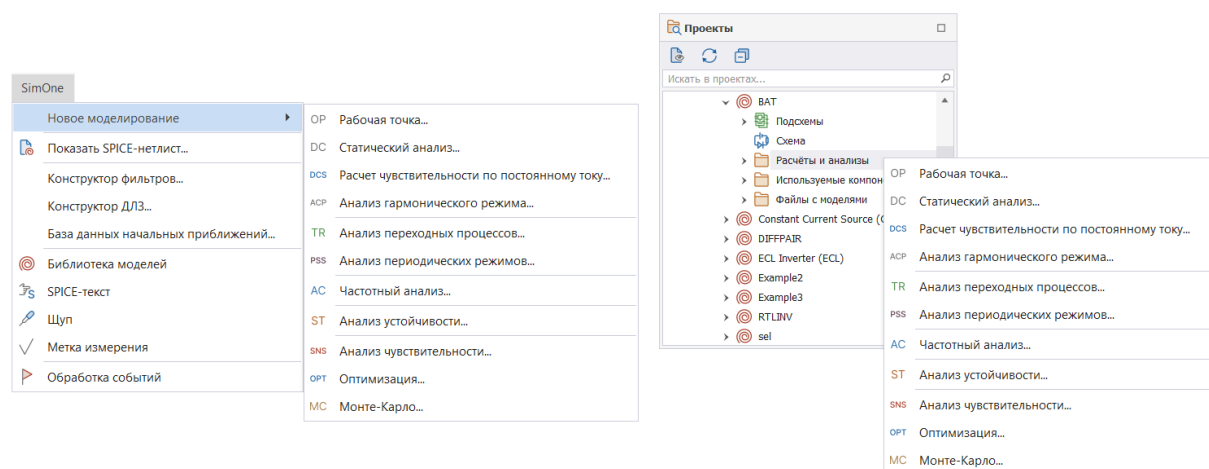


Рис. 117 Выбор типа моделирования

После выбранного в меню вида анализа схемы открывается диалоговое окно для задания параметров моделирования, см. [Рис. 118](#).

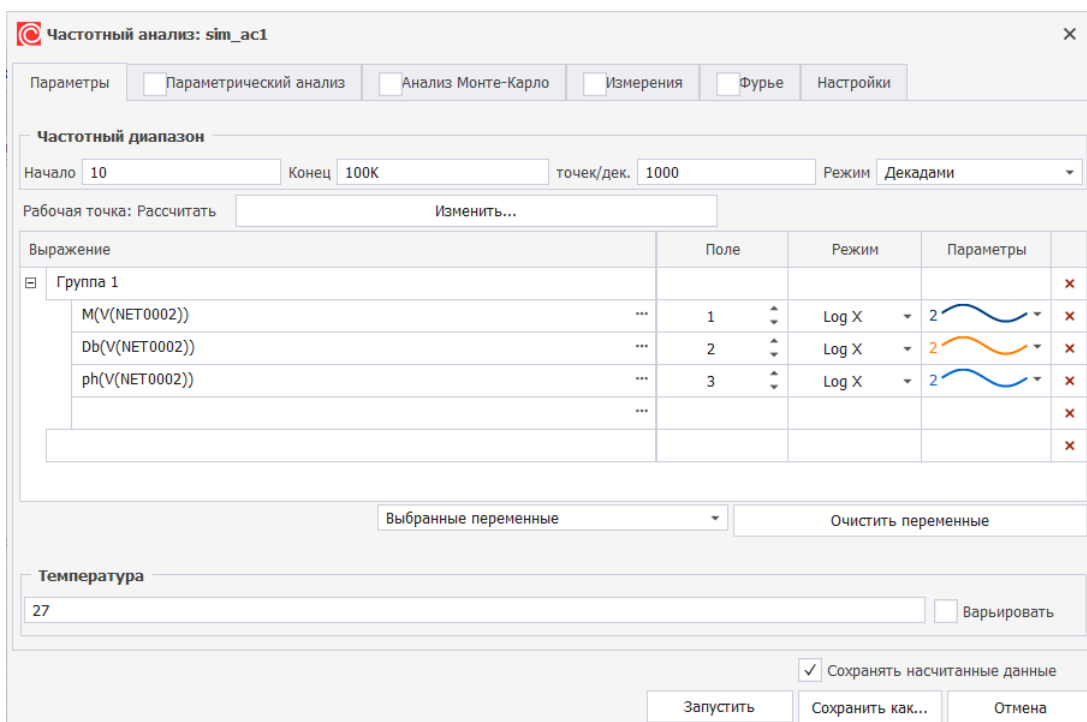


Рис. 118 Окно настройки параметров моделирования для выбранного типа анализа схемы

Окно содержит в себе 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. Они могут включать в себя потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и др., а также математические выражения от них. Расположенный ниже выпадающий список позволяет выбрать 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. 119](#).

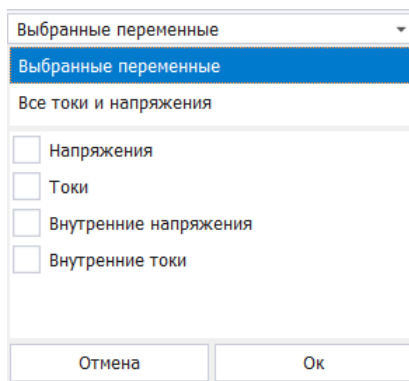


Рис. 119 Выбор учитываемых выражений

Некоторые типы моделирования содержат опцию выбора «Сохранять насчитанные данные». Файлы с расчетными данными для таких видов анализа схемы могут иметь очень большой размер, и по этой причине хранить их на диске компьютера имеет смысл, если только результаты моделирования должны быть востребованы снова без повторного запуска процесса их получения.

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

6.3 Расчёт рабочей точки схемы

6.3.1 Общие сведения

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

Результаты расчёта рабочей точки отображаются в таблице.

6.3.2 Интерфейс расчёта рабочей точки

На [Рис. 120](#) приведено окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы.

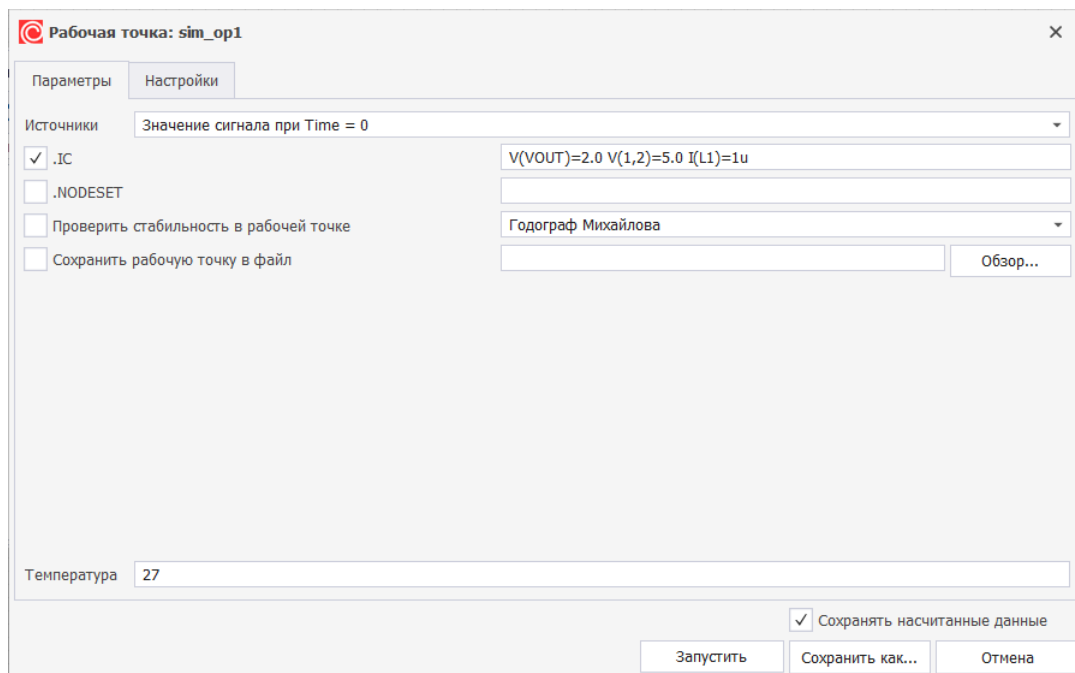


Рис. 120 Окно задания параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 33](#).

[Таблица 33](#) Описание параметров симуляции расчёта рабочей точки схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия в соответствующей строке.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения в соответствующей строке.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Сохранить рабочую точку в файл	Позволяет сохранить рассчитанную рабочую точку в файл для последующего использования в других видах анализа схем	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт	27 °C

6.3.3 Методы расчёта рабочей точки

В модуле SimOne предлагаются четыре основных метода нахождения рабочей точки:

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

6.3.4 Задание начальных условий .IC и .NODESET

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

.IC V(<узел1>[,<узел2>]) = <значение>

.IC I(<имя индуктивности>) = <значение>



Пример!

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

Команда .NODESET служит для задания начальных значений потенциалов узлов, падений напряжений, токов индуктивностей схемы. В отличие от команды .IC, эти значения являются первыми приближениями для

расчёта рабочей точки схемы и могут изменить своё значение при завершении расчёта. Синтаксис команды следующий:

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

.NODESET I(<имя индуктивности>) = <значение>



Пример!

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

Задать начальные условия можно из окна 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.

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

Команда .NODESET предназначена для помощи в выборе такого удачного начального приближения. Её использование может помочь в тех случаях, когда найти рабочую точку с помощью обычных методов не получается. Если в задании симуляции расчёта рабочей точки указывается команда .IC, команда .NODESET не используется. Команда .NODESET может использоваться как при расчёте рабочей точки, так и при нахождении первой точки передаточной функции по постоянному току (DC Sweep).

6.4 Анализ чувствительности схемы по постоянному току

6.4.1 Общие сведения

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

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

Нормированная чувствительность определяется следующим образом:

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

где Par – номинальное значение варьируемого параметра,

$f(Xstat)$ – 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:

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

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

Опция DCSensDev по умолчанию равна $1e-2$ и настраивается в окне задания параметров симуляции статического анализа → вкладка «Настройки».

Для расчета чувствительностей измерений в SimOne указываются:

- компоненты схемы и их параметры, чувствительность к изменениям которых будет рассчитываться;
- интересные 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 выведет численные значения чувствительностей и гистограммы их относительных значений.

6.4.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы по постоянному току

На [Рис. 121](#) приведено окно задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току.

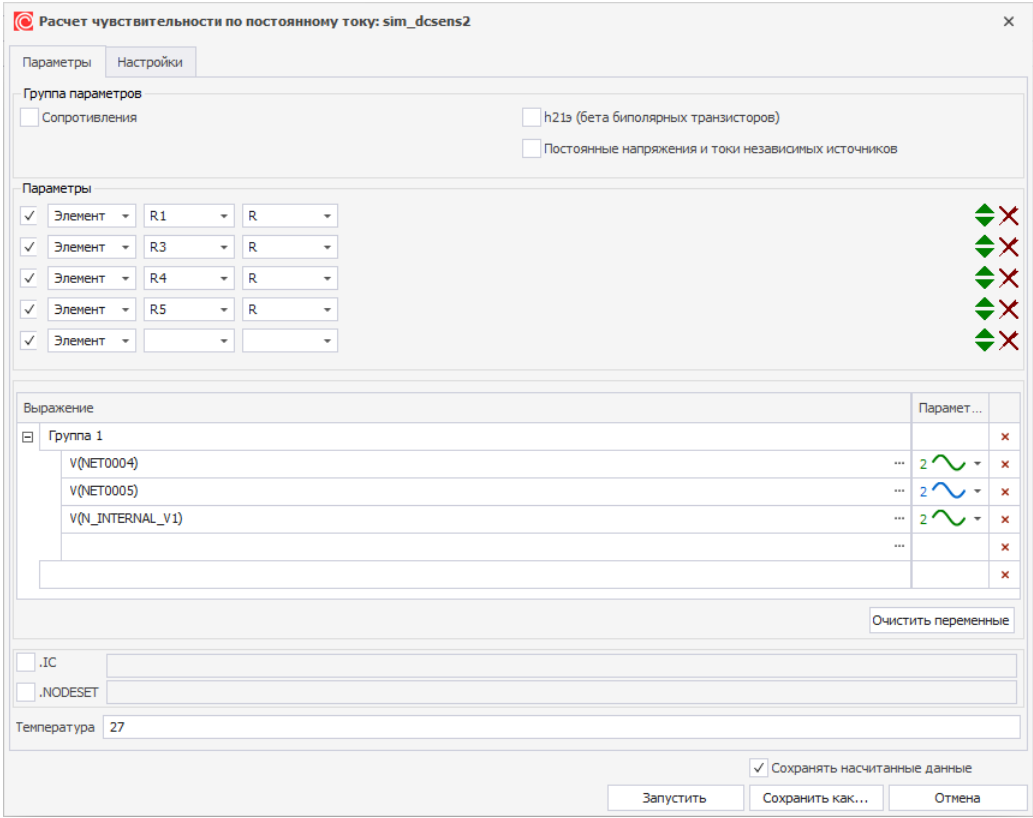



Рис. 121 Окно задания параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 34](#).

[Таблица 34](#) Описание параметров расчета чувствительности схемы по постоянному току

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Группа параметров		
Группа параметров	Выбор группы параметров, по которым производится расчет: <ul style="list-style-type: none">• Сопровождающие• h21a (бета биполярных транзисторов)• Постоянные напряжения и токи независимых источников	-
Параметры		
Тип	Выбор параметра, по которому производится расчет: <ul style="list-style-type: none">• Элемент. Одиночный элемент схемы• Модель. Параметр варьируется для всех элементов схемы с указанной моделью	Элемент

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
	<ul style="list-style-type: none"> Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM, либо в окне задания глобальных параметров 	
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	-
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них	-
	Удалить выражение	-
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	-
Опции расчёта рабочей точки		
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения.	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой производится расчёт	27 °C

После окончания расчёта чувствительности схемы по постоянному току для каждого из выбранных выражений в окне результатов создаётся вкладка с таблицей, см. [Рис. 122](#).



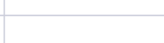


sim_dcsens1				
Параметр	Абсолютная Чувствительность	Нормированная Чувствительность	Гистограмма	%
R4.R	-126.499u	-1.265m		100.0%
R3.R	2.72u	816.13u		2.2%
R1.R	0	0		0.0%
R5.R	0	0		0.0%
R_V1.R	0	0		0.0%
<div> V(N_INTERNAL_V1) V(NET0004) V(NET0007) </div> <div> <input checked="" type="radio"/> Абс. <input type="radio"/> Отн. </div>				

Рис. 122 Отображение выражений в окне результатов

6.5 Анализ передаточных функций по постоянному току

6.5.1 Общие сведения

Расчёт передаточных функций по постоянному току делается при варьировании одного или нескольких параметров цепи. Это могут быть параметры отдельного компонента схемы, модели, сигнала или глобальные параметры, заданные с помощью 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 варьироваемых параметров.

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

6.5.2 Интерфейс задания параметров моделирования

На [Рис. 123](#) приведено окно задания параметров анализа передаточных функций по постоянному току.

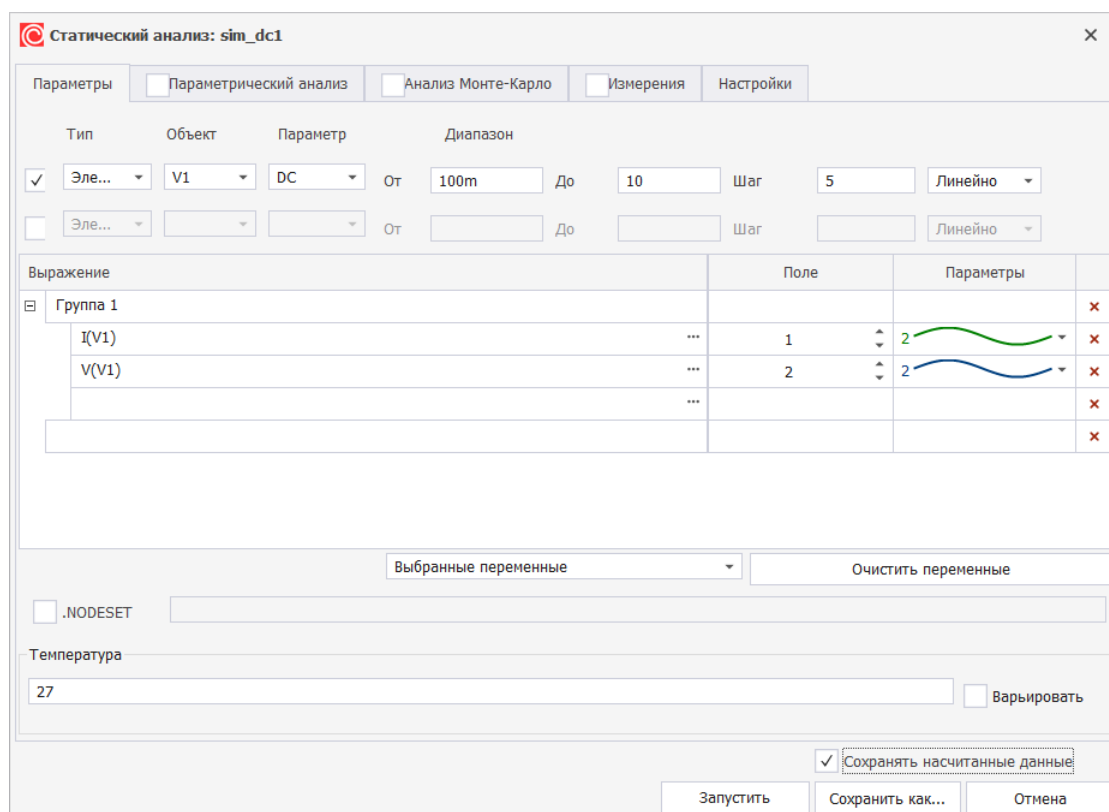

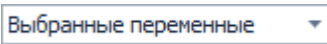


Рис. 123 Окно задания параметров анализа передаточных функций по постоянному

Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 35](#).

[Таблица 35](#) Описание параметров анализа передаточных функций по постоянному току.

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Варьируемые переменные		
Тип	<p>Выбор компонента варьирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM 	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	-
От	Начальная граница интервала варьирования выбранного параметра	-
До	Конечная граница интервала варьирования выбранного параметра	-
С шагом	<p>Определяет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 	-

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них.	-
Окно	Окно, в которое будет выведен график	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Поле	Номер поля графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	-
	Удалить график	-
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными.	-
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	-
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Параметрический анализ».	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Анализ Монте-Карло».	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	-

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
С шагом	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> • 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 	-
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

6.6 Анализ гармонического режима схемы

6.6.1 Общие сведения

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

Расчёт малосигнальных параметров схемы происходит следующим образом:

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

6.6.2 Интерфейс анализа гармонического режима схемы

На [Рис. 124](#) приведено окно задания параметров анализа гармонического режима схемы.

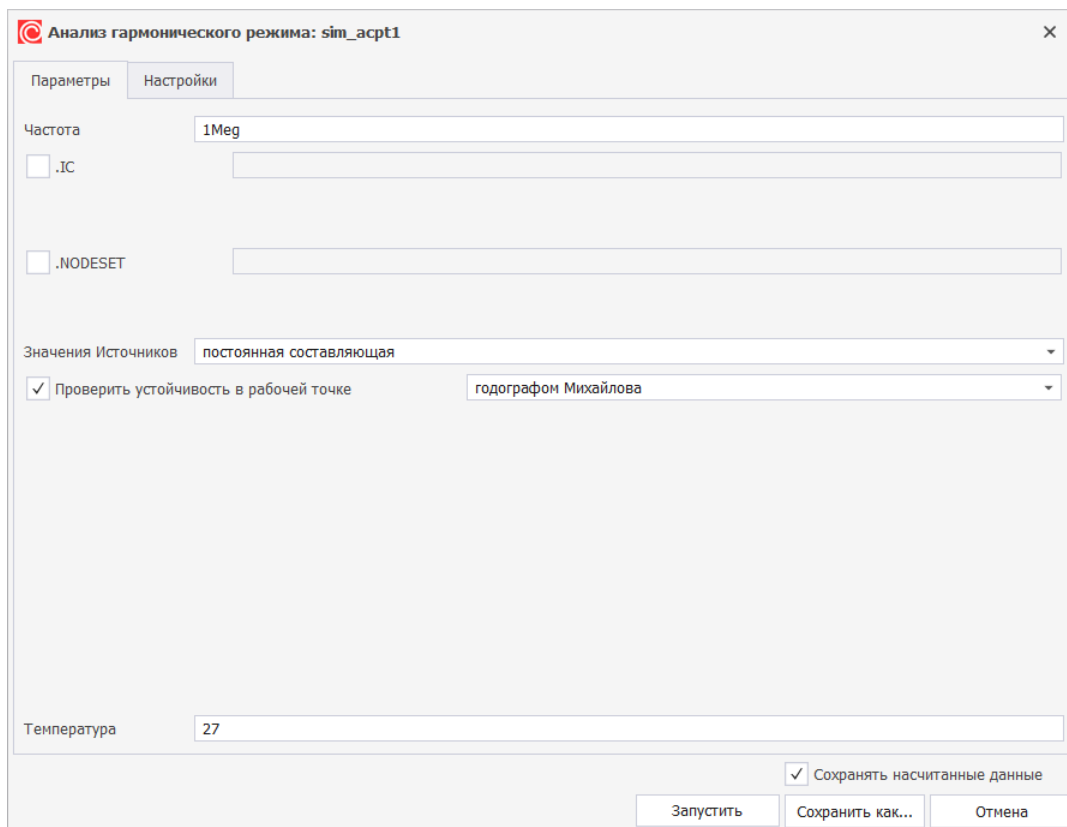


Рис. 124 Окно задания параметров анализа гармонического режима схемы

Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 36](#).

[Таблица 36](#) Описание параметров анализа гармонического режима схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Частота	Значение частоты, для которой рассчитываются параметры	1МГц
Рабочая точка		
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке	Выкл.
Температура	Температура, 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 таблице пользователь может выбрать варианты отображения:

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

Также выбираются варианты формата вывода рассчитанных комплексных значений:

- Амплитуда-Фаза;
- Вещественная-мнимая части.

6.7 Частотный анализ

6.7.1 Общие сведения

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

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

Первые четыре характеристики схемы представляются графической зависимостью от частоты на заданном интервале.

Амплитудно-фазовая характеристика представляет собой годограф комплексной функции на комплексной плоскости, построенный при изменении частоты в заданном пользователем диапазоне.

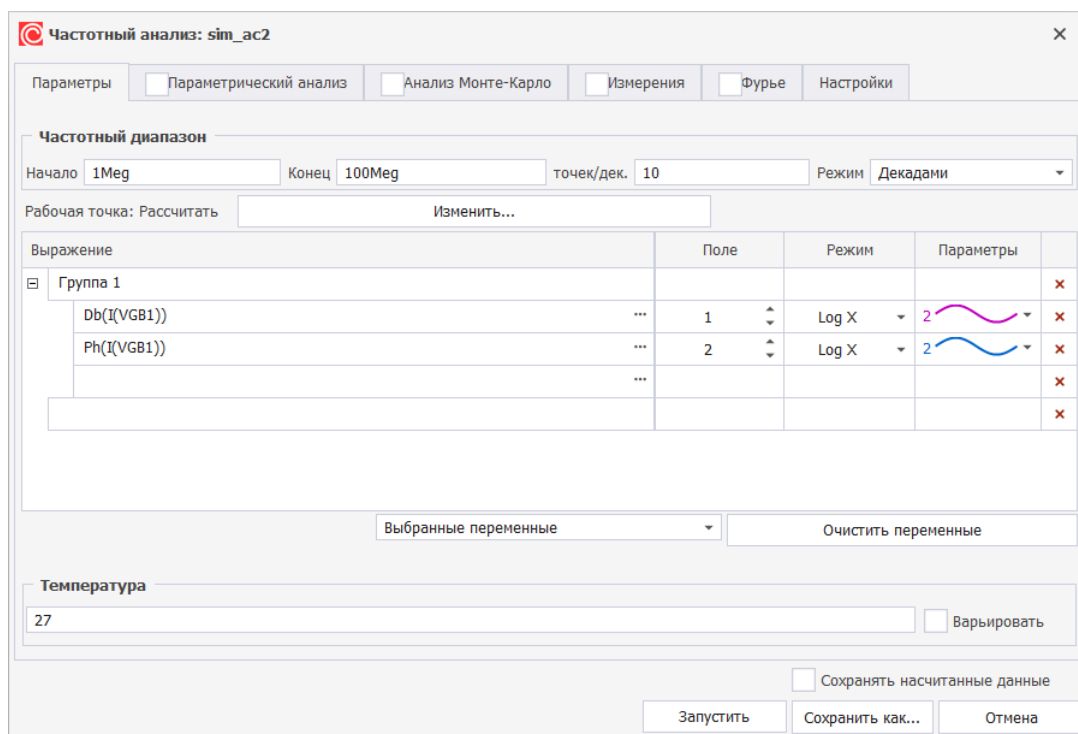
Все частотные характеристики строятся для линеаризованной в окрестности рабочей точки схемы при воздействии гармонических источников тока и напряжения одинаковой частоты.

Получение частотных характеристик схемы происходит следующим образом:

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

6.7.2 Интерфейс расчёта частотных характеристик схемы

На [Рис. 125](#) приведено окно задания параметров симуляции расчёта частотных характеристик схемы.



Частотный анализ: sim_ac2

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

Частотный диапазон

Начало 1Meg Конец 100Meg точек/дек. 10 Режим Декадами

Рабочая точка: Рассчитать Изменить...

Выражение	Поле	Режим	Параметры
Группа 1			
Db(I(VGB1))	1	Log X	2
Ph(I(VGB1))	2	Log X	2

Выбранные переменные Очистить переменные

Температура 27 ☐ Варьировать


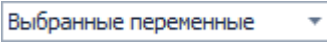
☐ Сохранять рассчитанные данные

Запустить Сохранить как... Отмена

Рис. 125 Окно задания параметров расчёта частотных характеристик схемы

Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 37](#).

Таблица 37 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
Кол-во точек	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> число точек на диапазон для линейного способа измерения частоты число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения частоты 	10 точек на декаду
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами	декадами
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них	
Группа	Название окна, в которое будет выводиться график	Группа 1
Поле	Номер поля графика в окне	1
Режим	Режим шкалы оси абсцисс – логарифмический (Log X) или линейный (Linear).	Log X
Цвет	Цвет графика	-
	Удалить график	
Сохранять на рассчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Вкл.
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными	-
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений	-
Опции расчета рабочей точки		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах .IC, .NODESET.	Вкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будет загружена рабочая точка, предварительно	Вкл.

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
	рассчитанная в расчёте рабочей точки и сохранённая в соответствующий файл.	
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Параметрический анализ».	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Анализ Монте-Карло».	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	-
С шагом	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры • точные значения температуры, при которых будет делаться расчёт, если указан способ её изменения – списком 	-
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

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

После установки интервала варьирования частоты, выбора расчётных выражений и запуска пользователем расчёта, программа произведет расчёт частотных характеристик и построит соответствующие графики.

6.8 Анализ переходных процессов

6.8.1 Общие сведения

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

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

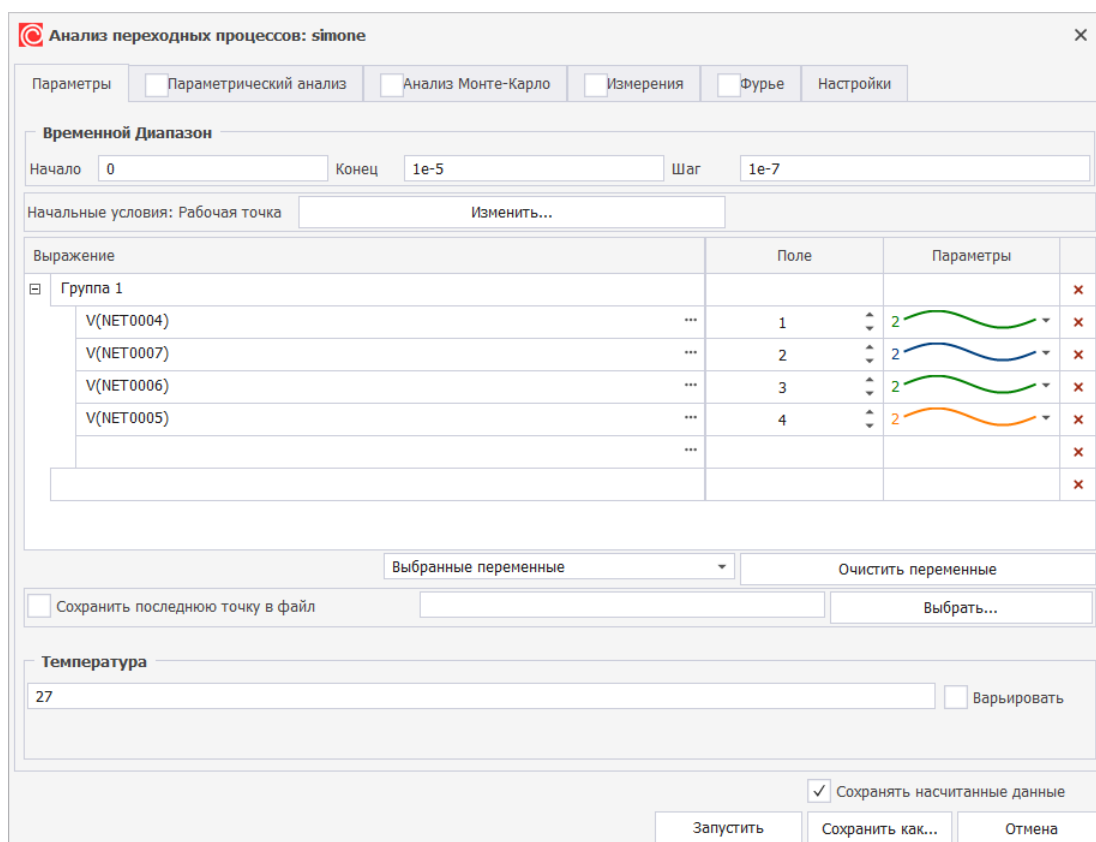
Получение временных диаграмм переходного процесса схемы происходит следующим образом:

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

7. Если отклонение выходит за допустимые пределы, уменьшается шаг расчёта и вычисляется новое значение времени, меньшее текущего. Если шаг приращения по времени становится слишком малым, то процесс построения временных диаграмм заканчивается с сообщением об ошибке расчёта. Решение продолжается с п. [3](#).
8. Если отклонение находится в допустимых пределах, решение принимается и ставится точка на диаграмму.
9. Решение продолжается с п. [2](#).

6.8.2 Интерфейс расчёта переходных процессов схемы

На [Рис. 126](#) приведено окно 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.



Анализ переходных процессов: simone

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

Временной Диапазон

Начало 0 Конец 1e-5 Шаг 1e-7

Начальные условия: Рабочая точка

Выражение	Поле	Параметры
Группа 1		
V(NET0004)	1	2
V(NET0007)	2	2
V(NET0006)	3	2
V(NET0005)	4	2

Выбранные переменные

☐ Сохранить последнюю точку в файл

Температура

27 ☐ Варьировать

☒ Сохранять начисленные данные

Рис. 126 Окно задания параметров анализа переходных процессов

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

6.9 Анализ периодических режимов

6.9.1 Общие сведения

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

1. Для периодического входного сигнала с затуханием всех переходных составляющих. Период процесса определяется периодом входного сигнала источников.
2. Автоколебания. Период определяется свойствами самой схемы и не зависит от периодичности входного воздействия.

В первом случае программа сама определяет период искомого периодического процесса, а во втором – период должен быть задан пользователем.

Нахождение периодического режима ведётся в модуле SimOne с помощью Пристрелочного метода Ньютона решения граничной задачи дифференциальных уравнений. С помощью итераций Ньютона решается следующая система уравнений:

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

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

В качестве выходных переменных схемы могут быть использованы, например, потенциалы узлов, падения напряжений на элементах, токи через них, потребляемая мощность и т.п. и любые математические выражения от них.

Результаты анализа представляются в виде временных диаграмм полученного периодического процесса на указанном интервале времени. Пользователь может посмотреть, как строилось решение по итерациям, выбрав опцию «Отображать графики итераций».

Нахождение периодического процесса схемы происходит следующим образом:

1. Вручную или автоматически определяется период искомого периодического процесса (автоматически – программа анализирует периоды входных воздействий и выбирает наименьший из них; вручную – период задаётся пользователем).
2. Рассчитывается интервал периодичности = Период*Число периодов стабилизации.
3. Задаются или рассчитываются начальные условия для вектора переменных состояния.

4. Выбранным численным методом с указанными настройками точности и максимальным шагом интегрирования решается система дифференциальных уравнений цепи до конца интервала.
5. Рассчитывается разность векторов состояния в начальной точке и в конце интервала. Вычисляется поправка.
6. Если поправка незначительна и укладывается в допустимое отклонение, либо число итераций превышает заданное максимальное число, то процесс определения периодического режима останавливается, и для полученных начальных условий строятся временные диаграммы заданных выражений в указанном временном интервале.
7. Начальные условия корректируются с учётом полученной поправки, решение продолжается с п. [4](#).

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

6.9.2 Интерфейс расчёта периодических режимов схемы

На [Рис. 127](#) показано окно задания параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы.

Анализ периодических режимов: pss_euler

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

Период

☒ Определять автоматически

☐ Задать значение

Диапазон построения графиков

Количество периодов Точек на период ☒ Отображать графики итераций

Начальные условия: Рабочая точка

Выражение	Поле	Параметры
Группа 1		
I(V2)	2	2
V(NET0006)	1	2
V(NET0007)	1	2

Выбранные переменные

☐ Сохранить расчетную точку в файл

Температура ☐ Варьировать

☒ Сохранять рассчитанные данные



Запустить Сохранить как... Отмена

Рис. 127 Окно задания параметров анализа переодических режимов

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

[Таблица 38](#) Описание параметров симуляции расчёта периодического процесса схемы

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Период		
Определять автоматически	Программа анализирует периоды входных воздействий и наименьший из них выбирает в качестве периода искомого периодического режима.	Вкл.
Задать значение	Период искомого процесса указывается пользователем	Выкл.
Диапазон построения графиков		
Количество периодов	Определяет конечное время для построения графиков	10

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Точек на период	Определяет величину максимального шага интегрирования временного процесса	20
Отображать графики итераций	Отображение промежуточных результатов нахождения периодического режима по итерациям	Выкл.
Переменные и выражения		
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. раздел Выражения .	-
Поле	Номер поля графика в окне	1
Группа	Номер группы графика в окне	1
Цвет	Цвет графика	-
	Удалить график	-
Сохранять насчитанные данные	Сохраняет расчетные данные моделирования на диск компьютера	Выкл.
	Выпадающий список управления сохраняемыми в симуляции переменными	-
Очистить список переменных	Производит очистку заполненного списка переменных и выражений.	-
Начальные условия		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах .IC, .NODESET.	Вкл.
UIC	Рабочая точка не вычисляется, в качестве начальных условий используются токи и напряжения компонентов, потенциалы узлов схемы, заданные с помощью команды .IC.	Выкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будут загружены начальные условия.	Выкл.
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения.	Выкл.

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим многовариантного (параметрического) анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Многовариантный анализ».	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Анализ Монте-Карло».	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой производится расчёт. При выборе «Варьировать температуру» предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	-
С шагом	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения; • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры; • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком 	-
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

После запуска расчёта периодических режимов программа ищет вектор начальных условий, при котором периодический режим устанавливается сразу. Результатом расчёта будут временные диаграммы периодического процесса.

Если за указанное число итераций с заданной точностью периодический режим не будет найден, то программа выдаст сообщение «Ошибка расчёта периодического режима» или «Достигнуто максимально число итераций» и

нарисует временные диаграммы, построенные из последнего рассчитанного вектора начальных условий.

6.10 Анализ устойчивости схемы

6.10.1 Общие сведения

Анализ устойчивости схемы позволяет определять, устойчива ли схема в текущей рабочей точке или нет, находить запас устойчивости при изменении температуры или параметров моделей компонентов.

Анализ устойчивости производится по первой теореме Ляпунова. Согласно первой теореме Ляпунова об устойчивости, исходная нелинейная система устойчива в малом в окрестности текущей точки равновесия, если устойчива соответствующая ей линеаризованная в этой точке система. Если линеаризованная система не является устойчивой в окрестности текущей точки равновесия, то исходная нелинейная система тоже будет неустойчивой.

Применительно к исследуемой электрической схеме это означает, что если её линеаризованная в рабочей точке схема неустойчива, то и исходная схема будет неустойчива, т.е. при подаче воздействий на источники сигналов схема будет генерировать свой режим работы – осциллировать.

Для проверки устойчивости линеаризованной схемы в SimOne предлагаются два критерия:

- [критерий собственных частот схемы](#);
- [критерий Михайлова](#).

6.10.1.1 Критерий собственных частот схемы

Чтобы линейная система была устойчива в окрестности точки равновесия, необходимо и достаточно, чтобы все собственные частоты системы имели бы отрицательные вещественные части. Если хотя бы одна собственная частота имеет положительную вещественную часть, линейная система неустойчива в исходной точке равновесия.

При выборе данного критерия модуль SimOne производит расчёт собственных частот линеаризованной в рабочей точке схемы.

Расчёт производится либо до последней найденной собственной частоты схемы, либо до обнаружения первой частоты с положительной вещественной частью.

Результатом расчёта является вывод таблицы собственных частот и сообщение о результате проверки устойчивости в панели «Журналы», см. [Рис. 128](#).

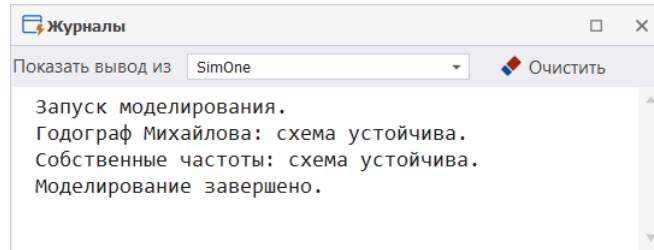


Рис. 128 Отображение результатов проверки устойчивости в панели «Журналы»

6.10.1.2 Критерий Михайлова

Годограф Михайлова – кривая, представляющая собой геометрическое место концов переменного вектора, определяемого значениями характеристического полинома системы при замене независимой переменной на I^*w :

$D(I^*w) = \det(I^*wB + A)$, где B и A – матрицы линейной системы, в нашем случае – матрицы линеаризованной в рабочей точке исходной схемы.

Чтобы линейная система была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы вектор $D(I^*w)$ при изменении частоты от нуля до бесконечности повернулся, нигде не обращаясь в 0, вокруг начала координат против часовой стрелки на угол $N \cdot \pi/2$, где N – количество собственных частот системы.

Применительно к линейным системам с постоянными коэффициентами, в частности, к линеаризованным в рабочей точке нелинейным схемам для устойчивости требуется, чтобы фаза функции Михайлова непрерывно возрастала.

Таким образом, чтобы линеаризованная в окрестности рабочей точки схема была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы годограф Михайлова при изменении частоты от нуля до бесконечности, начинаясь на вещественной полуоси, обходил строго против часовой стрелки последовательно N квадрантов координатной плоскости, где N – число собственных частот схемы.

Проверка устойчивости схемы с помощью годографа Михайлова осуществляется в модуле SimOne в автоматическом и ручном режимах. В автоматическом режиме программа сама строит годограф Михайлова и определяет по нему, устойчива схема или нет. Результатом такой проверки является вывод кривой на комплексную плоскость и сообщения в Окно сообщений. В ручном режиме пользователь сам указывает частотный диапазон построения годографа и сам по виду кривой определяет, устойчива ли схема.

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

6.10.2 Интерфейс анализа устойчивости схемы

На [Рис. 129](#) показано окно задания параметров анализа устойчивости схемы (в том числе таких, как годограф Михайлова, рабочая точка, температурный анализ).

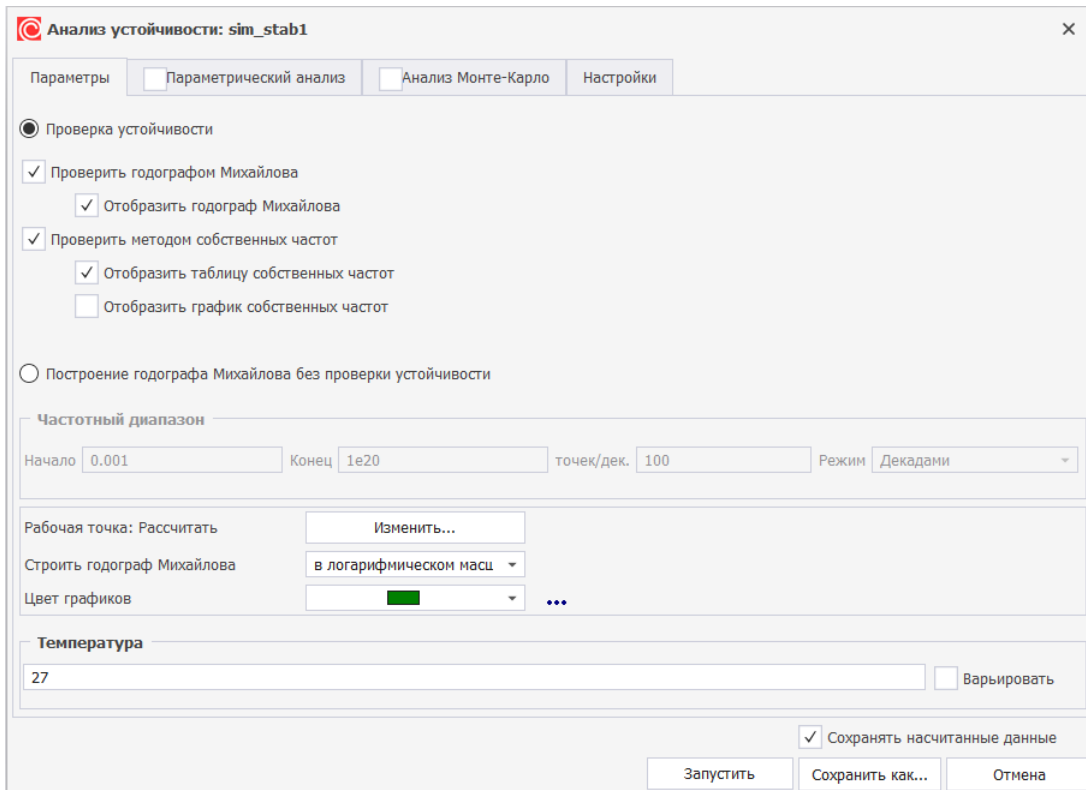


Рис. 129 Окно задания параметров анализа устойчивости схемы

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

[Таблица 39](#) Описание параметров анализа устойчивости схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Автоматическая проверка устойчивости		
Критерий Михайлова	Произвести анализ устойчивости по критерию Михайлова	Вкл.
Отобразить годограф Михайлова	Отображает в указанном масштабе кривую Михайлова на комплексной плоскости	Вкл.
Собственные частоты	Произвести анализ устойчивости расчётом собственных частот схемы	Вкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Отобразить таблицу собственных частот	Отображать рассчитанные собственные частоты схемы в таблице	Выкл.
Отобразить график собственных частот	Отображать расположение рассчитанных собственных частот схемы на комплексной плоскости	Выкл.
Построение годографа Михайлова		
Частотный диапазон		
От	Начальная частота варьирования	1m Hz
До	Конечная частота варьирования	1e12 Hz
С шагом	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> • величину шага приращения частоты для линейного способа его изменения • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения частоты • точные значения частоты, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком 	100 точек на декаду
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	декадами
Строить годограф Михайлова		
В логарифмическом масштабе	Кривая Михайлова строится на комплексной плоскости в логарифмическом масштабе	Вкл.
В линейном масштабе	Кривая Михайлова строится на комплексной плоскости в линейном масштабе	Выкл.
Цвет графиков	выбор цвета годографа	-
Рабочая точка		
Рассчитать	Производится расчёт рабочей точки при указанных командах .IC, .NODESET	Вкл.
Загрузить из файла	Указывается имя файла, из которого будет загружена рабочая точка, предварительно рассчитанная в расчёте рабочей точки и сохраненная в соответствующий файл.	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
.IC	Включает команду SPICE .IC и позволяет задавать необходимые начальные условия.	Выкл.
.NODESET	Включает команду SPICE .NODESET и позволяет задавать необходимые начальные приближения.	Выкл.
Проверить устойчивость в рабочей точке	Запускает расчёт устойчивости схемы в полученной рабочей точке.	Выкл.
Многовариантный анализ		
Проводить параметрический анализ	Включает режим параметрического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Параметрический анализ».	Выкл.
Проводить анализ Монте-Карло	Включает режим статистического анализа схемы. Запуск текущего расчёта повторяется при изменении параметров, указанных на вкладке «Анализ Монте-Карло».	Выкл.
Температура		
Температура	Температура, при которой делается расчёт. При выборе Варьировать температуру предоставляется интерфейс выбора диапазона и способа изменения температуры	27 °C
От	Начальное значение температуры	27 °C
До	Конечное значение температуры	-
С шагом	Определяет: <ul style="list-style-type: none"> • величину шага приращения температуры для линейного способа его изменения • число точек на декаду (октаву) при соответствующем выборе способа изменения температуры • точные значения температуры, при которых будет сделан расчёт, если указан способ её изменения – списком 	-
Способ варьирования	линейно, декадами, октавами, списком.	линейно

После окончания расчёта устойчивости схемы результаты выводятся на соответствующую вкладку, см. [Рис. 130](#).

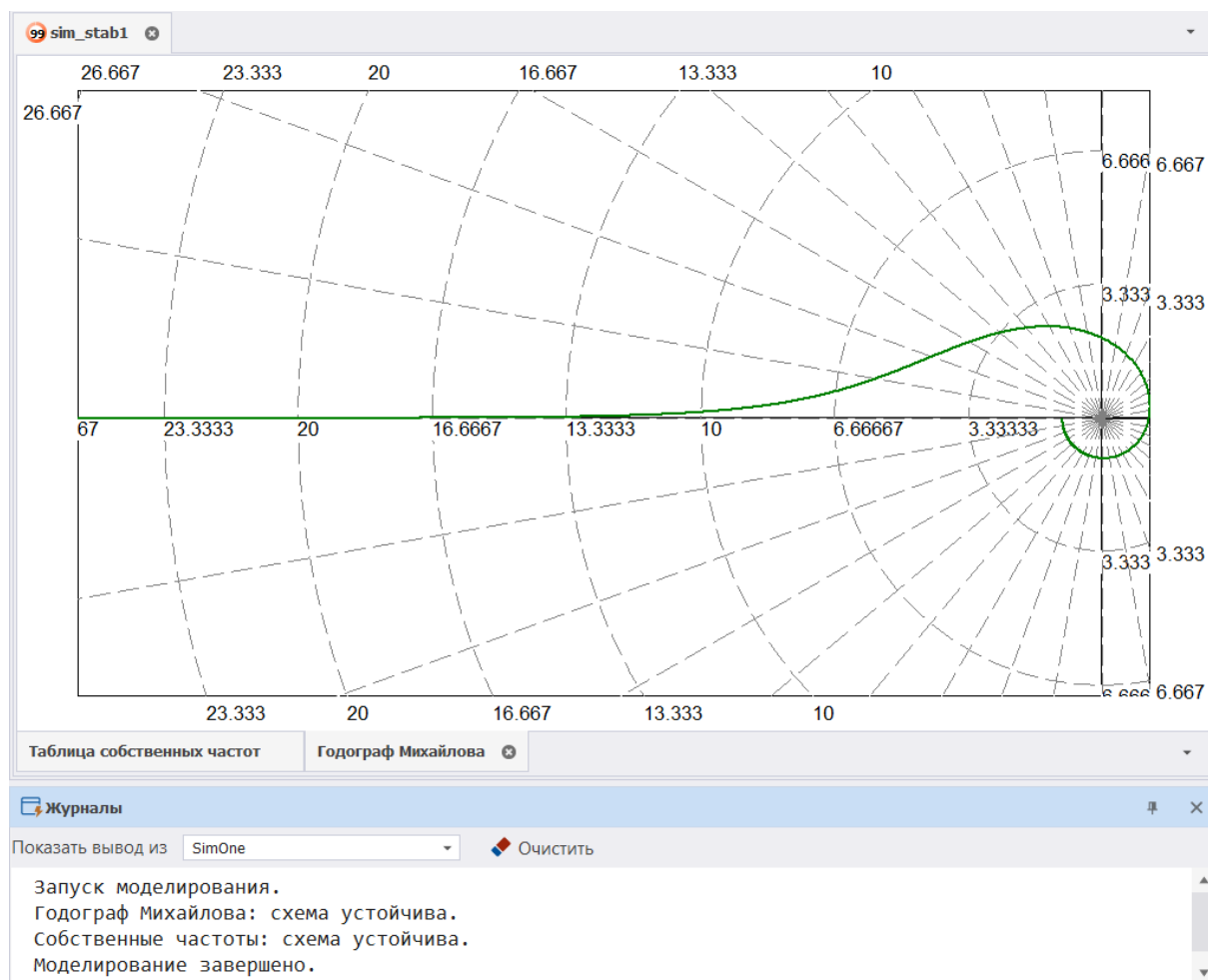


Рис. 130 Отображение результатов моделирования

6.11 Многовариантные типы анализа схем

6.11.1 Общие сведения

Многие виды анализа схемы могут быть запущены многократно при изменении различных параметров схемы (параметрический анализ, анализ Монте-Карло, анализ худшего случая), температуры (температурный анализ). Для каждого значения варьируемых параметров проводится выбранный анализ схемы с построением семейств графических характеристик или таблиц.

К таким видам анализа относятся:

- анализ передаточных функций по постоянному току;
- частотный анализ;
- анализ переходных процессов;
- анализ периодических процессов;
- анализ устойчивости схемы.

Все типы многовариантных анализов схемы могут быть запущены совместно.

6.11.2 Температурный расчёт схемы

Запуск расчётов при варьировании рабочей температуры схемы можно осуществить с помощью установки флага в поле «Варьировать», расположенного на основной вкладке окна параметров симуляции, указав при этом диапазон изменения температуры, способ изменения, количество значений, см. [Рис. 131](#).

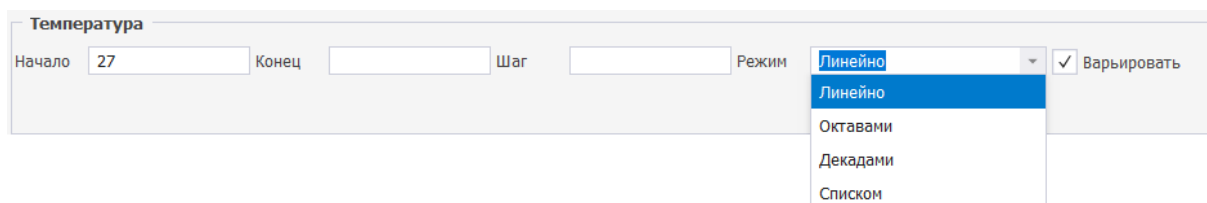


Рис. 131 Включение/Выключение варьирования температуры

Тип варьирования температуры может быть следующий:

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

6.11.3 Параметрический анализ схемы

Основные типы анализа схемы могут быть запущены многократно при изменении различных параметров схемы.

Этими параметрами могут быть:

- параметр отдельного элемента схемы;
- параметр модели компонентов;
- параметр сигнала источников;
- глобальный параметр – параметр, который может входить в выражения, используемые для задания параметров элементов схемы, моделей, сигналов. Определяется с помощью команды .PARAM.

6.11.3.1 Настройки вкладки «Параметрический анализ»

Окно настройки параметрического анализа выглядит следующим образом, [Рис. 132](#).

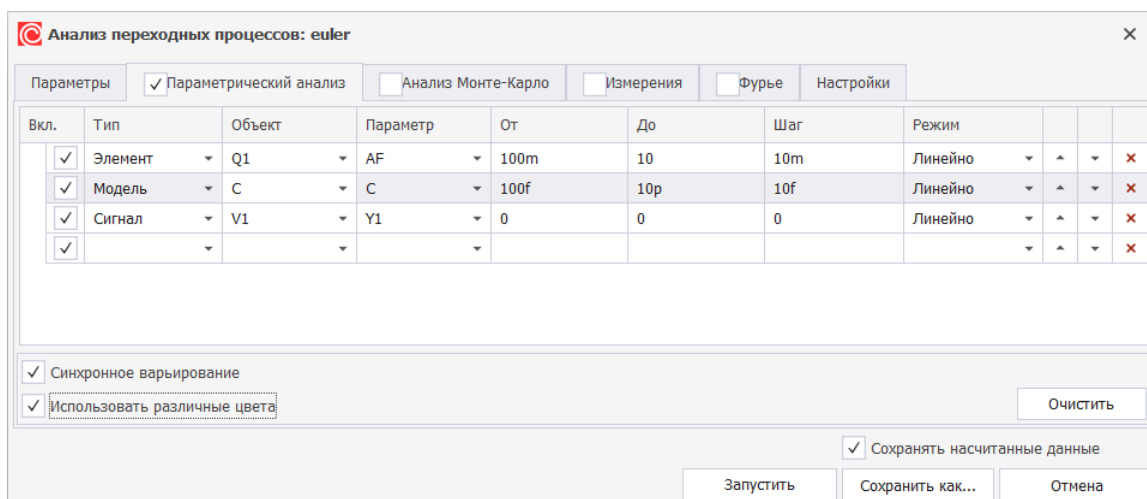


Рис. 132 Окно настройки параметрического анализа

Варьирование нескольких заданных параметров может осуществляться как последовательно, так и синхронно.

Данный способ варьирования устанавливается опцией «Синхронное варьирование».

При последовательном запуске общее число запусков параметрического расчёта определяется как произведение числа запусков по каждому варьируемому параметру.

При синхронном запуске число стартов расчёта равно минимальному числу запусков по каждому варьируемому параметру.

Для проведения параметрического анализа схемы следует включить опцию «Параметрический анализ» на заголовке вкладки.

Запуск каждого расчёта схемы для текущего значения варьируемого параметра производится в отдельном потоке, таким образом, в параметрическом анализе схемы используются технологии параллельных вычислений и поддержка многоядерных систем.

6.11.4 Анализ Монте-Карло и наихудшего случая

Анализ Монте-Карло позволяет производить анализ схемы с учётом разброса параметров её компонентов.

Этими параметрами могут быть:

- параметр отдельного элемента схемы;
- параметр модели компонентов;
- параметр сигнала источников;
- глобальный параметр.

Для каждого из перечисленных параметров схемы могут быть заданы диапазон разброса и закон распределения.

Анализ Монте-Карло производится, если для всех параметров выбран вероятностный закон распределения. Он многократно повторяет анализ схемы при изменении её параметров по указанному закону. Анализ наихудшего случая производится, если для всех параметров выбран граничный закон распределения – Wcase или AWCase. В этом случае на каждом запуске расчёта варьируемый параметр будет принимать только граничные значения.

Если для одних параметров выбраны вероятностные, а для других - граничные законы распределения, то производится "смешанный" тип статистического анализа.

Результатами расчётов при всех типах анализа являются полученные семейства графиков схемы, а также гистограммы распределения исследуемых характеристик.

Для проведения статистических расчётов схем в SimOne:

- указываются компоненты схемы, которые будут изменяться, диапазон варьирования их параметров и закон распределения плотности вероятности;
- с помощью механизма Измерений выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

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

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

6.11.4.1 Настройки вкладки «Анализ Монте-Карло»

Окно настройки анализа Монте-Карло выглядит следующим образом, [Рис. 133](#).

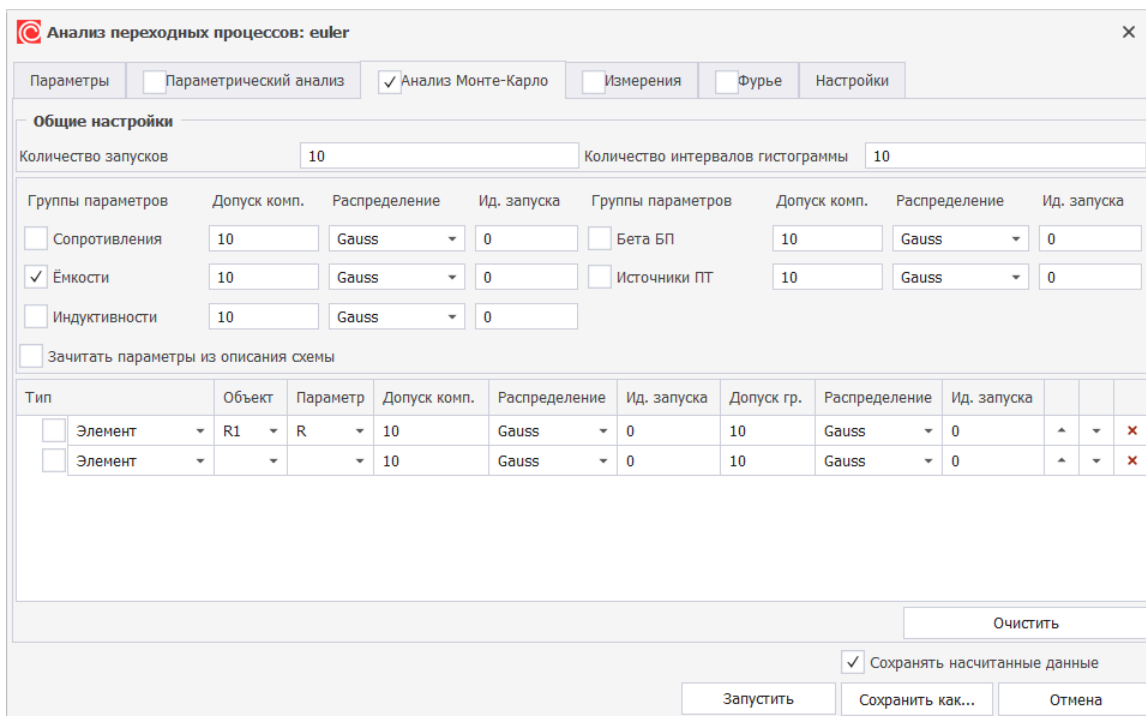


Рис. 133 Окно настройки анализа Монте-Карло

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

Таблица 40 Описание параметров анализа Монте-Карло

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие параметры		
Количество запусков	Количество запусков указанных расчётов схемы при изменении параметров.	10
Количество интервалов гистограмм	Определяет число, на которое будут разбиты гистограммы. Если указан 0, то количество интервалов будет задано формулой $1 + \log_2(\text{Количество запусков})$	10
Групповое варьирование		
Тип группы	Для группового варьирования доступны следующие группы компонентов: <ul style="list-style-type: none"> • Сопротивления резисторов • Емкости конденсаторов • Индуктивности 	Выкл.
Зачитать параметры из схемы	При включённом флаге происходит чтение значений всех варьируемых параметров,	Выкл.

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	заданных с помощью полей LOT и DEV в описании их моделей.	
Варьирование индивидуальных параметров		
Тип	<p>Выбор компонента варьирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьируется для тех элементов схемы с указанной моделью, для которых значение параметра не было отредактировано пользователем. Если на схеме задано значение параметра, отличное от дефолтного, то по данному параметру такой элемент следует варьировать как одиночный • Сигнал. Параметр варьируется для всех источников схемы с указанным сигналом • Глобальный параметр. Параметр, определённый с помощью команды .PARAM 	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра	-
DEV	Значение девиации параметра компонента в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCCase.	10%
Распределение	<p>Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 • AWCCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска 	Gauss

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
LOT	Значение девиации модельного параметра в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCCase.	10%
Распределение	<p>Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 • AWCCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска. 	Gauss

6.12 Анализ чувствительности

6.12.1 Общие сведения

Анализ чувствительности измерений предназначен для определения тех компонентов схемы, параметры которых оказывают наибольшее влияние на ее выходные характеристики.

Анализ чувствительности обычно предшествует оптимизации схемы, позволяя существенно ограничить круг варьируемых параметров схемы и тем самым повысить скорость и эффективность оптимизации. Также анализ чувствительности позволяет выделить компоненты схемы, разброс параметров которых может оказать существенное влияние на ее характеристики. Таким образом, его результаты используются в анализе Монте-Карло/наихудшего случая схемы.

В качестве инструмента оценки влияния параметров схемы на ее характеристики используются функции чувствительностей – абсолютные и

нормированные. Абсолютная чувствительность является производной выходной характеристики (измерения) схемы по проверяемому параметру:

$$\text{Абс. Чувств.} = d\text{Meas}/d\text{Par},$$

Нормированная чувствительность определяется следующим образом:

$$\text{Норм. Чувств.} = d\text{Meas}/d\text{Par} * \text{Par}/100\%,$$

где Par – номинальное значение варьируемого параметра, Meas – значение Измерения при номинальных значениях всех варьируемых параметров.

В SimOne производная заменяется конечной разностью – используется небольшое приращение варьируемого параметра и вычисляется приращение выходной характеристики. Оценка чувствительности считается как отношение соответствующих приращений.

Небольшое приращение варьируемого параметра dPar задается следующим образом:

$$d\text{Par} = V * \text{Par}, \text{ если } \text{Par} \neq 0$$

$$d\text{Par} = V, \text{ если } \text{Par} = 0.$$

где V – Относительное отклонение – задается в настройках Анализа чувствительности схемы → вкладка «Настройки» и по умолчанию равно $1e-6$.

Для расчета чувствительностей измерений в модуле SimOne:

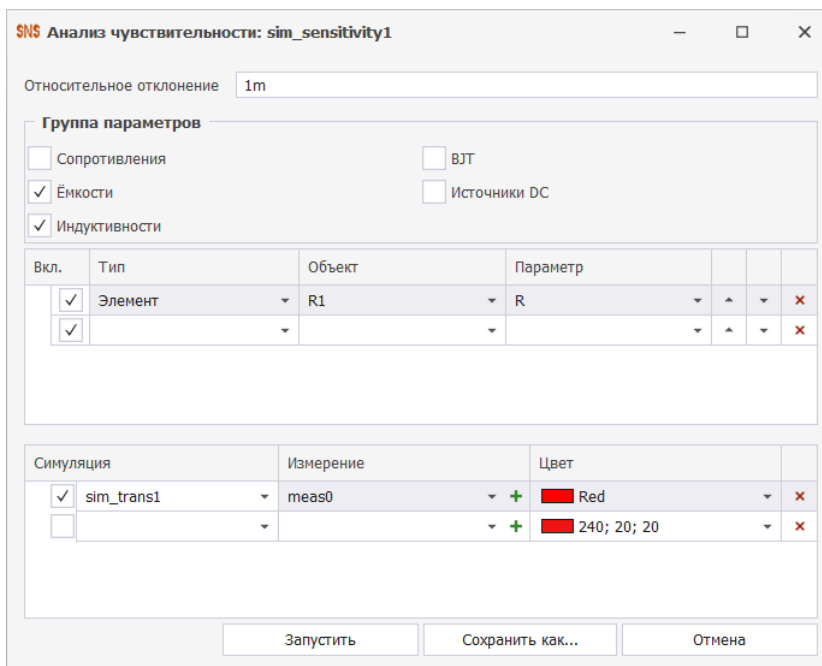
- указываются компоненты схемы и их параметры, чувствительность к изменениям которых будет рассчитываться;
- с помощью механизма Измерений выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска расчета чувствительностей программа сначала запускает соответствующие виды анализа схемы при номинальных значениях параметров, а затем последовательно проводит расчеты при отклонении каждого из них от своего номинального значения на заданную величину.

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

6.12.2 Интерфейс анализа чувствительности схемы

На [Рис. 134](#) показано окно задания параметров анализа чувствительности схемы.



СНС Анализ чувствительности: sim_sensitivity1

Относительное отклонение: 1m

Группа параметров

☐ Сопротивления ☐ BJT

☒ Емкости ☐ Источники DC

☒ Индуктивности

Вкл.	Тип	Объект	Параметр				
<input checked="" type="checkbox"/>	Элемент	R1	R				×
<input checked="" type="checkbox"/>							×

Симуляция	Измерение	Цвет	
<input checked="" type="checkbox"/> sim_trans1	meas0	Red	×
<input type="checkbox"/>		240; 20; 20	×

Запустить Сохранить как... Отмена

Рис. 134 Окно задания параметров анализа чувствительности схемы

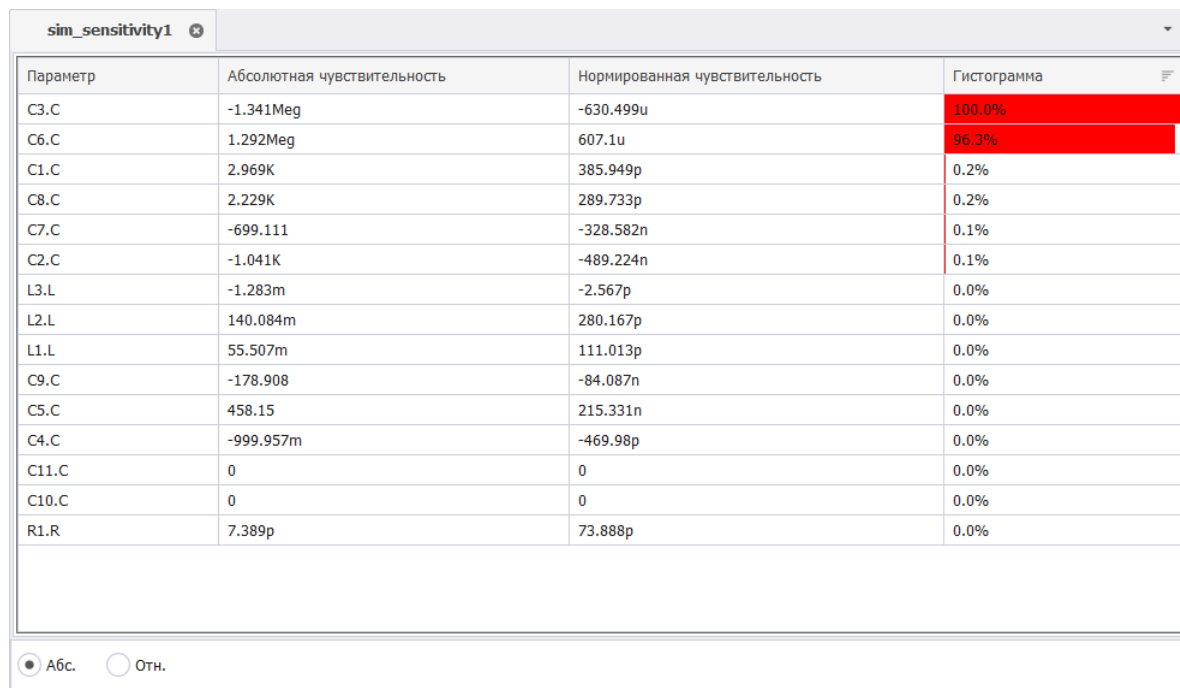
Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 41](#).

[Таблица 41](#) Описание параметров анализа чувствительности схемы

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Общие		
Относительное отклонение	Величина относительного отклонения варьируемого параметра.	1e-2
Параметры		
Тип	Выбор параметра, по которому рассчитывается: <ul style="list-style-type: none"> • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Варьируется модельный параметр для всех элементов схемы с указанной моделью • Сигнал. Варьируется сигнальный параметр для всех источников схемы с указанным сигналом • Глобальный параметр 	Элемент
Объект	Имя элемента, модели сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	-
Измерения		

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	-
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	-
+	Возможность добавить новое измерение, по которому будет производиться оптимизация	-
✗	Удалить измерение	-

Результаты анализа чувствительности будут сгруппированы по заданным измерениям и представлены на соответствующих вкладках, см. [Рис. 135](#).



Параметр	Абсолютная чувствительность	Нормированная чувствительность	Гистограмма
C3.C	-1.341Meg	-630.499u	100.0%
C6.C	1.292Meg	607.1u	96.3%
C1.C	2.969K	385.949p	0.2%
C8.C	2.229K	289.733p	0.2%
C7.C	-699.111	-328.582n	0.1%
C2.C	-1.041K	-489.224n	0.1%
L3.L	-1.283m	-2.567p	0.0%
L2.L	140.084m	280.167p	0.0%
L1.L	55.507m	111.013p	0.0%
C9.C	-178.908	-84.087n	0.0%
C5.C	458.15	215.331n	0.0%
C4.C	-999.957m	-469.98p	0.0%
C11.C	0	0	0.0%
C10.C	0	0	0.0%
R1.R	7.389p	73.888p	0.0%

☒ Абс.
 ☐ Отн.

Рис. 135 Отображение результатов анализа чувствительности схемы

Значения абсолютных и нормированных чувствительностей предоставляются в таблице. Сравнительные гистограммы отображаются для указанного типа чувствительности.

6.13 Оптимизация

6.13.1 Общие сведения

Модуль SimOne даёт возможность оптимизировать схемы. Параметрическая оптимизация необходима для проведения настройки

характеристик схем на заданные значения с помощью изменения параметров её компонентов. Также оптимизация используется для нахождения таких значений параметров компонентов, при которых характеристики схемы достигают максимальных или минимальных значений, например, максимальный коэффициент усиления на заданной частоте, минимальное значение полосы пропускания фильтра и т.п.

Для проведения оптимизации схем:

1. Указываются компоненты схемы, которые можно изменять, и пределы варьирования их параметров.
2. В режиме «Подгонка измерений»: с помощью механизма Измерений выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо улучшать или контролировать.
3. В режиме «Подгонка кривой» указываются текстовый файл, содержащий точки графика, и выражение, значения которого будут подгоняться к значениям указанного графика.
4. Выбирается алгоритм проведения оптимизации.

После запуска процесса оптимизации программа, согласно выбранному алгоритму, упорядоченным образом меняет указанные параметры компонентов схемы, чтобы максимально удовлетворить выбранным критериям оптимизации схемы: привести к максимуму или к минимуму заданные характеристики, либо ограничить их в указанном диапазоне, в зависимости от того, что будет выбрано пользователем.

6.13.2 Интерфейс оптимизации схемы

На [Рис. 136](#) показано окно задания параметров оптимизации схемы.

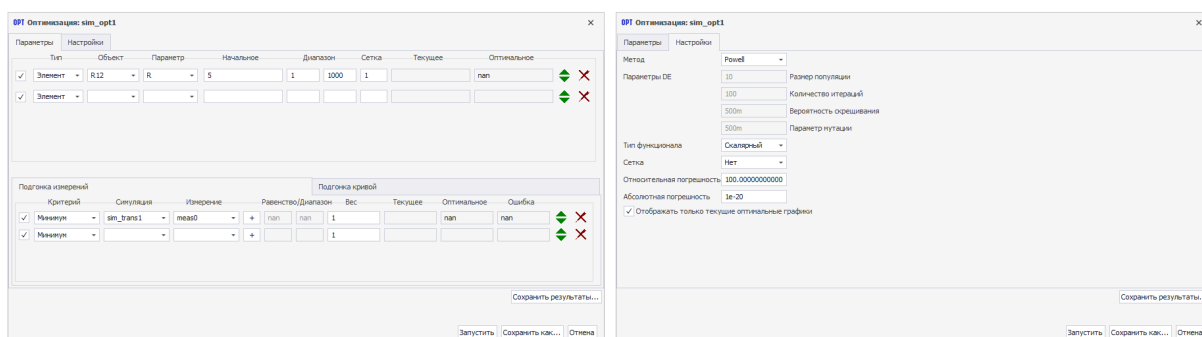


Рис. 136 Окно задания параметров оптимизации схемы

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

Таблица 42 Описание параметров оптимизации схемы

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Варьируемые переменные		
Тип	Выбор компонента варьирования: <ul style="list-style-type: none"> • Элемент. Одиночный элемент схемы • Модель. Параметр варьруется для всех элементов схемы с указанной моделью • Сигнал. Параметр варьруется для всех источников схемы с указанным сигналом • Глобальный параметр 	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	-
Начальное значение	Начальное значение параметра	Текущее значение
Нижняя граница	Нижняя граница интервала варьирования выбранного параметра	Текущее значение/10
Верхняя граница	Верхняя граница интервала варьирования выбранного параметра	Текущее значение*10
Сетка	Доступна, если выбраны опции Сетка или Подобласти в Настройках оптимизации.	Текущее значение/100
Текущее значение	Значение параметра на текущем шаге оптимизации	-
Оптимальное значение	Значение параметра, оптимальное на текущий момент процесса оптимизации	-
Критерии		
Подгонка измерений		
Критерий	Выбор типа критерии оптимизации: <ul style="list-style-type: none"> • Максимум. Будет осуществляться поиск максимального значения указанной характеристики • Минимум. Будет осуществляться поиск минимального значения указанной характеристики • Равенство. Характеристика будет устремляться к заданному значению 	Максимум

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	<ul style="list-style-type: none"> Ограничение. Характеристика будет ограничиваться заданным диапазоном 	
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	-
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	-
+	Возможность добавить новое измерение, по которому будут идти оптимизации	-
Равенство/Диапазон	Поля ввода значений при проверке на Равенство или Ограничения выбранного измерения	-
Вес	Значение весового коэффициента текущего критерия	1
Текущее значение	Значение выбранного измерения на текущем шаге оптимизации	-
Оптимальное значение	Значение выбранного измерения, оптимальное на текущий момент процесса оптимизации	-
Ошибка	Разность в процентах между оптимальным значением и указанным Равенством/Диапазоном	-
Подгонка кривой		
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	-
Выражения	Потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и т.п., а также математические выражения от них. Подробнее см. раздел Выражения .	-
+	Возможность добавить новое выражение, которое будет подгоняться к заданной кривой.	-
Файл	Текстовый файл формата csv, который содержит точки графиков.	-
График	График, к которому подгоняется выражение	-
Точность	Точность, с которой программа будет добиваться совпадения графиков выражения и эталонного графика кривой	-

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
Вес	Значение весового коэффициента текущего критерия	1
Ошибка	Среднеквадратичная ошибка совпадения графиков выражения и эталонного графика кривой	-
Дополнительно		
Сохранить результаты	Сохраняет результаты оптимизации в текстовый файл	Выкл.
Вкладка «Настройки»		
Метод	Выбор метода оптимизации: <ul style="list-style-type: none"> • Nelder-Mead. Оптимизация по методу Нелдера-Мида • Powell. Поиск глобального оптимума по методу Пауэлла • DE 	Powell
Тип функционала	Выбор типа функционала оптимизации: <ul style="list-style-type: none"> • Скалярный • Векторный 	Скалярный
Сетка	Использование сетки для указанных алгоритмов оптимизации: <ul style="list-style-type: none"> • Сетка. В этом случае вся область оптимизации делится равномерной сеткой на части; из каждого узла сетки проводится оптимизация по выбранному алгоритму • Подобласти. В этом случае вся область оптимизации делится равномерной сеткой на подобласти оптимизации, и в каждой подобласти проводится оптимизация по выбранному алгоритму. 	Нет
Относительная погрешность	Относительная погрешность оптимизации	100u
Абсолютная погрешность	Абсолютная погрешность оптимизации	1e-20
Отображать только текущие оптимальные графики	Если включено, то на вкладках симуляций отображаются графики только тех шагов оптимизации, на которых их характеристики имеют значения, приближающееся к оптимальным.	Вкл.

Наименование/ Символ	Описание	Значение по умолчанию
	Если выключено, то на вкладках симуляций отображаются графики всех шагов.	

После запуска процесса оптимизации программа создаёт вкладку с именем симуляции, на которую выводятся графики симуляций, используемых для получения значения измерений – критериев, по которым ведется оптимизация. При этом окно задания параметров на оптимизацию остается открытым, а в поля этого окна выводятся результаты процесса оптимизации:

- текущее значение критерия оптимизации;
- оптимальное значение критерия;
- текущее значение параметра схемы;
- оптимальное значение параметра схемы;
- ошибка – отклонение оптимизируемого критерия от желаемого;
- ошибка – отклонение оптимизируемого выражения от заданной кривой.

6.14 Анализ Монте-Карло и наихудшего случая

6.14.1 Общие сведения

Модуль SimOne позволяет производить анализ схемы с учётом разброса параметров её компонентов. Для любого параметра схемы (параметра отдельного элемента, параметра модели компонентов, параметра сигнала источников или глобального параметра) могут быть заданы диапазон разброса и закон распределения.

Анализ Монте-Карло производится, если для всех параметров выбран вероятностный закон распределения. Он многократно повторяет анализ схемы при изменении её параметров по указанному закону. Анализ наихудшего случая производится, если для всех параметров выбран граничный закон распределения – Wcase или AWCase. В этом случае на каждом запуске расчёта варьируемый параметр будет принимать только граничные значения.

Если для одних параметров выбраны вероятностные, а для других – граничные законы распределения, то производится "смешанный" тип статистического анализа.

Результатами расчётов при всех типах анализа являются полученные семейства графиков схемы, а также гистограммы распределения исследуемых характеристик.

Для проведения статистических расчётов схем в SimOne:

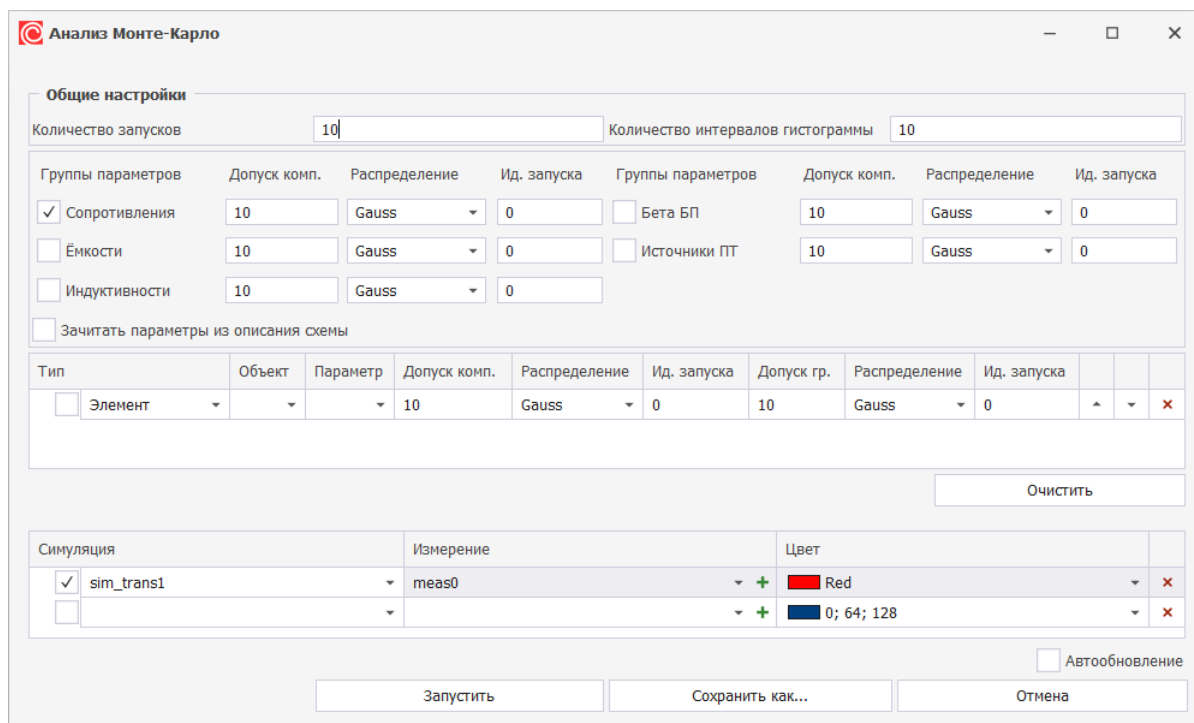
- указываются компоненты схемы, которые будут изменяться, диапазон варьирования их параметров и закон распределения плотности вероятности;
- с помощью механизма Измерений выбираются интересующие характеристики схемы, которые необходимо контролировать.

После запуска статистического расчёта программа заданное количество раз изменяет значения выбранных варьируемых параметров согласно указанным законам, после чего запускает соответствующие виды анализа схемы, получая значения требуемых характеристик.

После проведённого расчёта программа строит гистограммы распределения этих характеристик и выводит на экран статистическую информацию.

6.14.2 Интерфейс статистического анализа схемы

На [Рис. 137](#) показано окно задания параметров статистического анализа схемы.



Анализ Монте-Карло

Общие настройки

Количество запусков: 10 | Количество интервалов гистограммы: 10

Группы параметров	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска	Группы параметров	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска
<input checked="" type="checkbox"/> Сопротивления	10	Gauss	0	<input type="checkbox"/> Бета БП	10	Gauss	0
<input type="checkbox"/> Ёмкости	10	Gauss	0	<input type="checkbox"/> Источники ПТ	10	Gauss	0
<input type="checkbox"/> Индуктивности	10	Gauss	0				

☐ Зачитать параметры из описания схемы

Тип	Объект	Параметр	Допуск комп.	Распределение	Ид. запуска	Допуск гр.	Распределение	Ид. запуска			
<input type="checkbox"/> Элемент			10	Gauss	0	10	Gauss	0			

Очистить

Симуляция	Измерение	Цвет
<input checked="" type="checkbox"/> sim_trans1	meas0	Red
<input type="checkbox"/>		0; 64; 128

Автообновление ☐

Запустить | Сохранить как... | Отмена

Рис. 137 Окно задания параметров статистического анализа схемы

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

Таблица 43 Описание параметров оптимизации схемы

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Общие параметры		
Количество запусков	Количество запусков указанных расчётов схемы при изменении параметров.	10
Количество интервалов гистограмм	Определяет число, на которое будут разбиты гистограммы. Если указан 0, то количество интервалов будет задано формулой $1 + \log_2(\text{Количество запусков})$	10
Варьируемые переменные		
Групповое варьирование		
Тип группы	Для группового варьирования доступны следующие группы компонентов: <ul style="list-style-type: none"> • Сопротивления резисторов • Емкости конденсаторов • Индуктивности 	Выкл.
Зачитать параметры из схемы	При включённом флаге происходит чтение значений всех варьируемых параметров, заданных с помощью полей LOT и DEV в описании их моделей.	Выкл.
Варьирование индивидуальных параметров		
Тип	Выбор компонента варьирования: <ul style="list-style-type: none"> • 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 	Элемент
Объект	Имя элемента, модели, сигнала, глобального параметра	-
Параметр	Имя варьируемого входного параметра элемента, модели, сигнала	-
DEV	Значение девиации параметра компонента в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCCase.	10%

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Распределение	<p>Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 • AWCCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска 	Gauss
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
LOT	Значение девиации модельного параметра в процентах для распределений Uniform, Gauss, WCase и в абсолютных значениях для распределений AUniform, AGauss, AWCCase.	10%
Распределение	<p>Указывается закон распределения плотности вероятности. Доступны следующие типы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 • AWCCase – худший случай. Значения считаются абсолютными и берутся только на границах интервала допуска. 	Gauss

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Идентификатор запуска	Идентификатор запуска случайной последовательности. Если он равен нулю, то на каждом запуске расчёта генерируется новая случайная последовательность	0
Измерения и Гистограммы		
Симуляция	Выбор симуляции из выпадающего списка симуляций схемы	-
Измерение	Выбор измерения из выпадающего списка измерений симуляции	-
+	Добавление нового измерения, по которому будет производиться оптимизации	-

Результаты расчёта в виде таблиц статистической информации и гистограммы группируются по заданным измерениям и представляются на соответствующих вкладках, см. [Рис. 138](#).

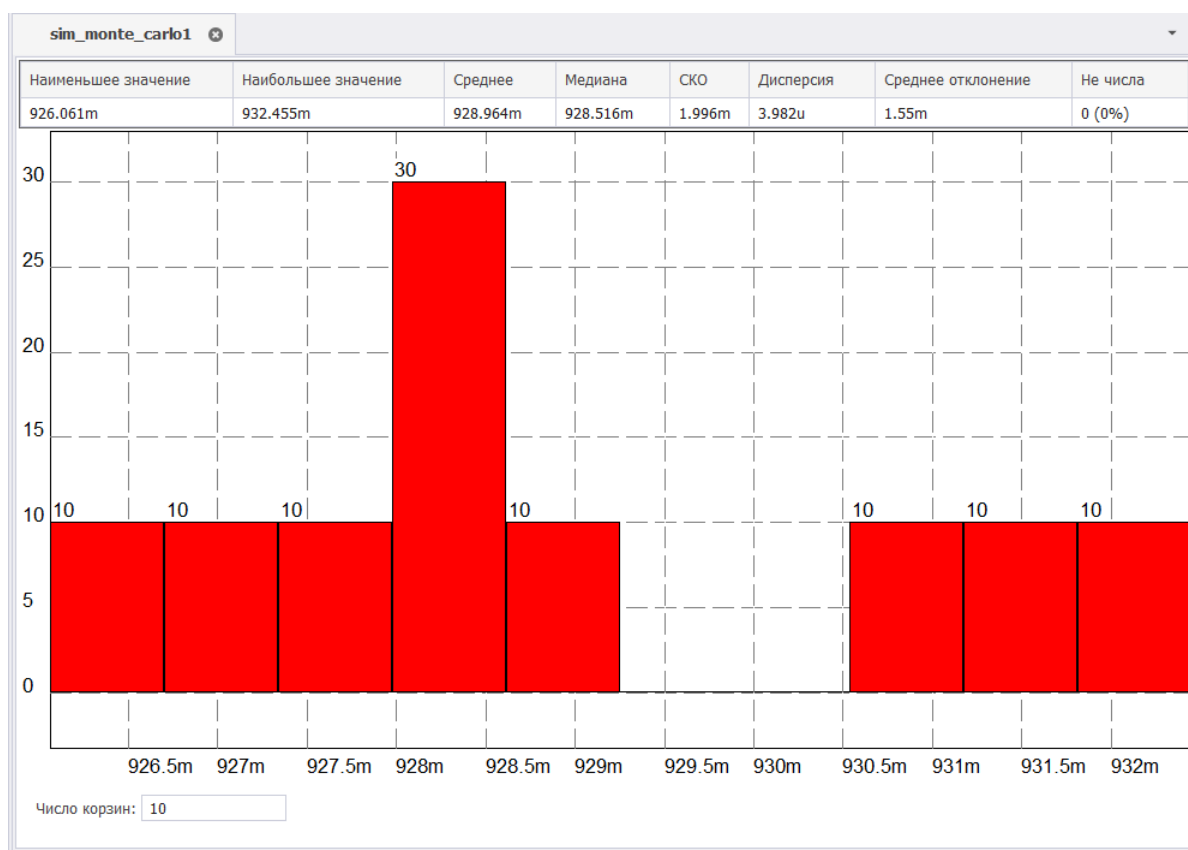


Рис. 138 Отображение результатов расчёта

6.15 Настройки

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

Для удобства использования эти настройки сгруппированы по типам анализа схемы. Некоторые настройки являются общими для разных типов анализа, см. [Рис. 139](#).

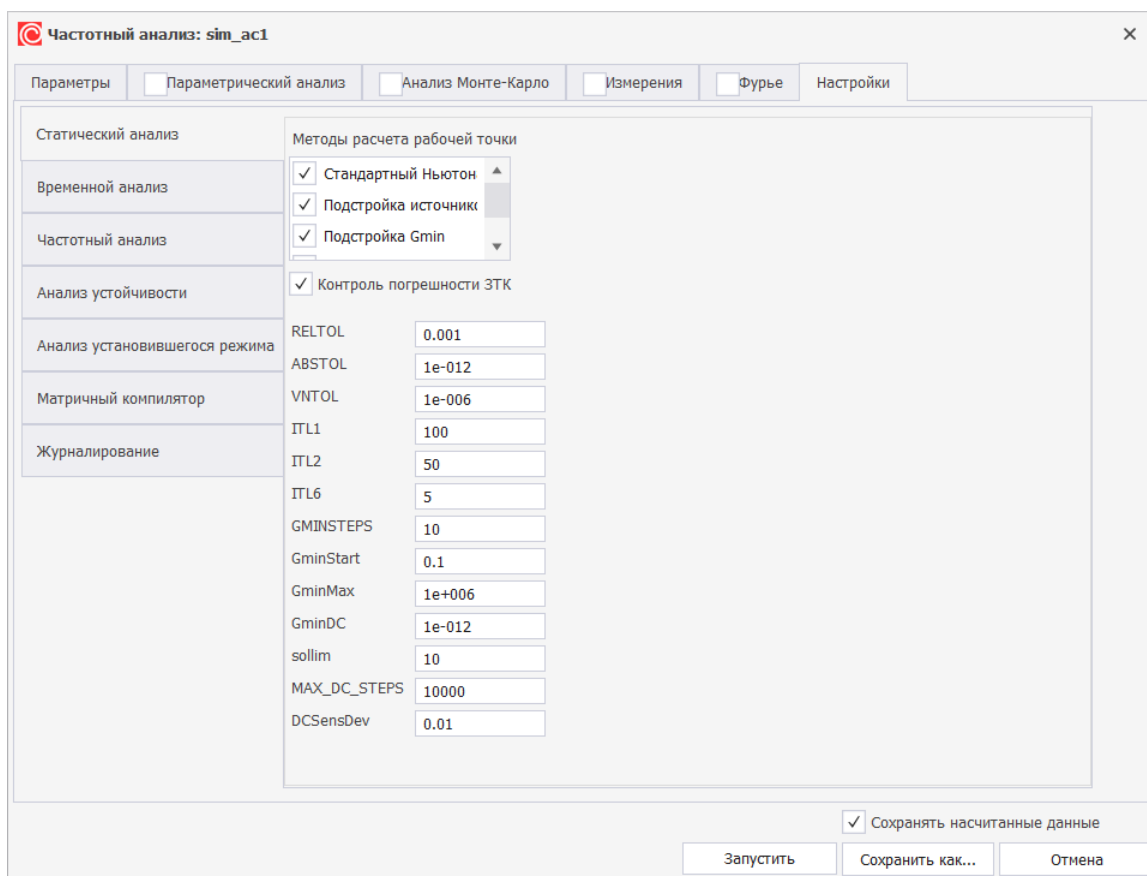


Рис. 139 Вкладка настроек в окне моделирования

Подробнее параметры настроек описаны в [Табл. 44](#).

[Таблица 44](#) Параметры настроек моделирования

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Настройки статистического анализа		
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	Standart Newton-Raphson Source stepping Gmin stepping

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
		Junction Gmin stepping
Контроль погрешности ЗТК	В процессе нахождения рабочей точки схемы SimOne позволяет контролировать выполнение закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это необходимо для защиты от ложной сходимости итерационных методов	Вкл.
RELTOL	Допустимая относительная погрешность расчёта напряжений и токов в итерационном процессе решения нелинейной системы	1e-3
ABSTOL	Допустимая абсолютная погрешность расчёта токов в итерационном процессе решения нелинейной системы	1e-12 A
VNTOL	Допустимая абсолютная погрешность расчёта напряжений в итерационном процессе решения нелинейной системы	1e-6 B
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	1e-2

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	чувствительностей по постоянному току	
Настройки временного анализа		
Метод интегрирования	Метод интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих поведение схемы во времени	Метод трапеций
Контроль погрешности ЗТК	В процессе нахождения текущей точки временного процесса SimOne позволяет контролировать выполнение закона токов Кирхгофа для узлов схемы. Это позволяет вести более точный расчёт	Вкл.
Порядок метода Гира (MAXORD)	Максимальный порядок метода Гира интегрирования дифференциальных уравнений	2
LTERELTOL	Допустимая относительная величина локальной погрешности расчёта на шаге интегрирования	1e-3
LTEABSTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта токов на шаге интегрирования	1e-6 A
LTEVNTOL	Допустимая абсолютная величина локальной погрешности расчёта напряжений на шаге интегрирования	1e-6 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:	2

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	<ul style="list-style-type: none"> итерационный: LVTIM=1; по оценке локальной погрешности на шаге интегрирования: LVTIM=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: <ul style="list-style-type: none"> true - оригинальный метод, контролирующий наклон функции false - стандартный метод 	true
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
Настройки частотного анализа		
FREQ_MIN	Минимальная частота при построении частотных характеристик схемы, если выбран логарифмический способ её изменения	0.1 Гц
Настройки анализа устойчивости		
LocusTOL1	Относительная погрешность нахождения корня полинома годографа Михайлова	1e-6
LocusTOL2	Определяет близость полученного полинома к постоянной функции; служит для обнаружения окончания поиска корней полинома годографа Михайлова	1e-6
LocusITL	Максимальное количество итераций для нахождения корня полинома годографа Михайлова	200
ChekToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней полинома годографа Михайлова	false

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Locus PL Points	Количество точек годографа Михайлова при повороте на 180 градусов	100
Locus PL To End	Количество точек годографа Михайлова после последнего пересечения ординаты	300
Locus PL Min	Минимальное значение частоты при построении годографа Михайлова в ручном режиме, если выбран логарифмический способ её изменения	0.001
EigenFreqTOL 1	Относительная погрешность нахождения корня характеристического полинома	1e-6
EigenFreqTOL 2	Определяет близость полученного полинома к постоянной функции; служит для обнаружения окончания поиска корней характеристического полинома	1e-6
EigenFreqITL	Максимальное количество итераций для нахождения корня характеристического полинома	500
EFCheckToITL	Включение алгоритма дополнительной проверки на окончание поиска корней характеристического полинома	false
EigenFreqRITOL	Величина отношения мнимой и вещественной частей собственной частоты схемы, при которой мнимая часть считается равной нулю	1e-12
EigenFreqABS	Минимальное по модулю значение собственной частоты схемы	1e-6
FMAX	Максимальное по модулю значение собственной частоты схемы	1e20
Настройки анализа периодических режимов		
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

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
GMRES Tolerance	Точность решения системы линейных алгебраических уравнений методом GMRES	1e-8
PSS ABSTOL	Максимальное значение погрешности определения токов и напряжений	1e-6
Матричный компилятор		
Использовать помощник симуляции	Помощник симуляции – оригинальная программная технология SimOne, позволяющая существенно ускорить процесс моделирования при запуске многовариантных видов анализа схемы	Выкл.
Matrix Solver	<p>Выбор алгоритма разложения матрицы. Доступны следующие алгоритмы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. Производит автоматический выбор алгоритма из списка, исходя из размерности схемы и типа запускаемого анализа. 	Auto
Matrix Compiler	<p>Выбор технологии проведения матричных операций. Доступны следующие технологии:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Code Matrix Processor – оригинальная программная технология SimOne – Кодовый Матричный Процессор. • Objective code – оригинальный вариант технологии SPICE3f5. • No code. Разложение матрицы проводится каждый раз заново на каждой итерации расчёта. 	Code Matrix Processor
Pivot Strategy	<p>Выбор стратегии выделения ведущего элемента при LU-разложении матрицы. Доступны следующие виды:</p>	Submatrix

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	<ul style="list-style-type: none"> Submatrix – выбор ведущего элемента из всей подматрицы системы. Column – выбор ведущего элемента из столбца подматрицы. Preorder – используется алгоритм предварительной перестановки строк и столбцов. 	
PIVREL	Минимальная относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента	1e-3
PIVTOL	Минимальная абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для выделения его в качестве ведущего элемента	1e-13
PIVRELRatioDC	В статических расчётах схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: $\text{PIVREL_by_Code} = \text{PIVREL}/\text{PIVRELRatioDC}$	1000
PIVRELRatio	Для временных расчётов схемы: соотношение между допуском на величину ведущего элемента разложения матрицы при её полном разложении к допуску на него при разложении по коду с использованием технологии Code Matrix Processor: $\text{PIVREL_by_Code} = \text{PIVREL}/\text{PIVRELRatio}$	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: $\text{PIVREL_by_Code} = \text{PIVREL}/\text{PIVRELRatioStab}$	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	10

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

7 Просмотр и обработка результатов моделирования

7.1 Общие сведения

Результаты проведённого моделирования схемы в разделе модуля SimOne могут быть представлены в графическом, табличном и текстовом виде. После запуска выбранной симуляции для отображения и обработки её результатов программа открывает вкладку с именем выполняемой симуляции в модуле визуализации и обработки результатов моделирования, см. [Рис. 140](#).

Модуль визуализации и обработки результатов моделирования позволяет:

- отображать результаты моделирования;
- добавлять новые произвольные графики с помощью математических выражений;
- добавлять гистограммы распределений значений графических кривых;
- использовать функции курсоров для измерения параметров кривых;
- рассчитывать и отображать коэффициенты ряда Фурье выбранных графиков;
- производить измерения широкого набора параметров графиков;
- добавлять графики выбранных измерений как функции от варьируемых параметров схемы.

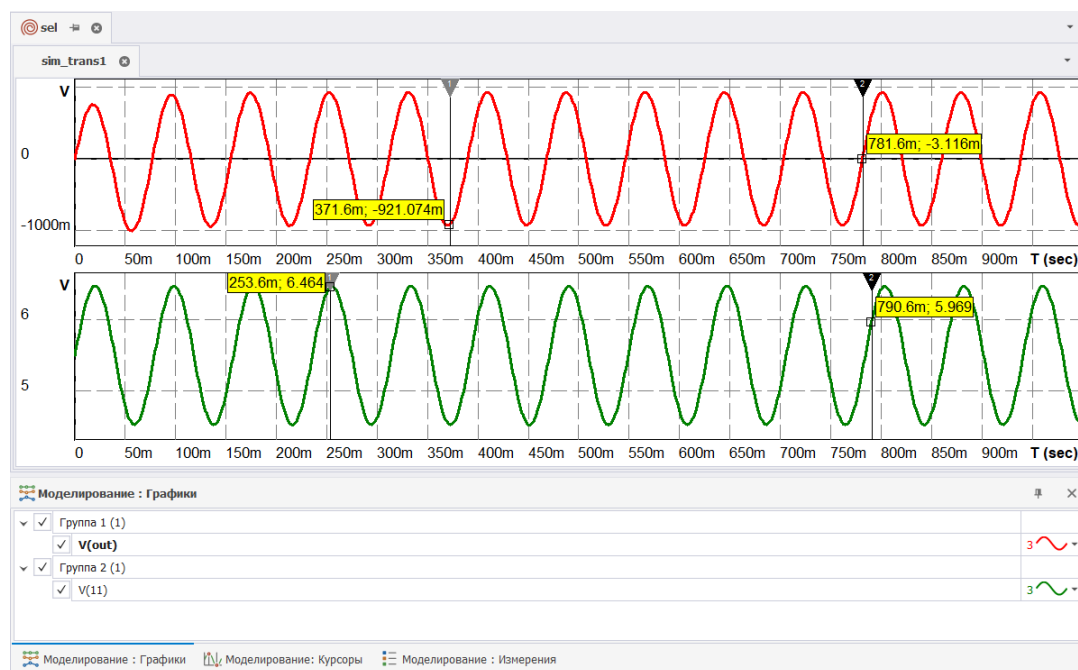


Рис. 140 Общий вид модуля визуализации и обработки результатов моделирования

Модуль визуализации и обработки результатов моделирования содержит:

- Окно графиков. Позволяет отображать любое количество графиков. Каждая симуляция может иметь произвольное количество окон графиков, каждое окно графиков может иметь произвольное количество полей;
- Панель графиков. Содержит список отображаемых графиков;
- Панель измерений. Отображает численные значения измерений, проведенных по результатам моделирования;
- Панель курсоров. Отображает текущие координаты курсоров, а также соотношения между ними;
- Окно добавления новых графиков;
- Окно добавления новых измерений;
- Окно добавления графиков измерений;
- Окно быстрого преобразования Фурье.

7.2 Работа с графиками

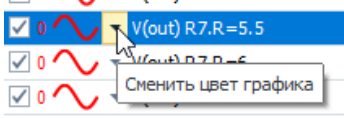
В [Табл. 45](#) описаны команды доступные при работе с графиками.







Таблица 45 Команды работы с графиками

Команда	Способ задания
Добавление нового графика	Главное меню: раздел «Графики» → пункт «Добавить график». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .



Примечание! Для осуществления действий по масштабированию необходимо сделать окно результатов активным, кликнув по заголовку с именем симуляции.

Приблизить график	Мышь: прокрутка колеса от себя.
Приблизить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Прокрутка колеса мыши от себя при нажатой клавише Ctrl.
Приблизить график по вертикальной оси – оси ординат	Прокрутка колеса мыши от себя при нажатой клавише Shift.
Отдалить график	Мышь: прокрутка колеса к себе.
Отдалить график по горизонтальной оси – оси абсцисс	Прокрутка колеса мыши к себе при нажатой клавише Ctrl.
Отдалить график по вертикальной оси – оси ординат	Прокрутка колеса мыши к себе при нажатой клавише Shift.
Увеличить область графика	При нажатой кнопке мыши – сдвинуть курсор из II квадранта в IV квадрант (слева сверху – вправо вниз).
Вернуть отображение графиков в исходное состояние	Мышь: двойной клик на графике.
Отображать/скрыть выбранный график/группу графиков	Флаг в поле <input checked="" type="checkbox"/> на панели «Моделирование: Графики» рядом с именем графика. С помощью контекстного меню: Скрыть/Показать.
Изменить цвет выбранного графика	Кнопка выбора цвета  на панели «Моделирование: Графики» рядом с именем графика.

Команда	Способ задания
Изменить толщину, цвет и стиль графиков	<p>Двойным кликом на имени графика в списке графиков в панели «Моделирование: Графики».</p> <p>Нажать на иконку графика . Откроется окно с настройками.</p> <p>При помощи контекстного меню: пункт «Настройки графика».</p>
Удалить выбранный график	Выбрать график в списке. В контекстном меню выбрать пункт «Удалить».
Отобразить маркеры расчётных точек на графиках	<p>Иконка  на панели инструментов «SimOne Graphics».</p> <p>Главное меню: «Графики» → «Отобразить маркеры точек на графиках».</p>
Логарифмировать ось X	<p>Главное меню: «Графики» → «Режим» → «Логарифмировать ось X».</p> <p>Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .</p>
Логарифмировать ось Y	<p>Главное меню: «Графики» → «Режим» → «Логарифмировать ось Y».</p> <p>Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .</p>
Отобразить график на комплексной плоскости	<p>Главное меню: «Графики» → «Режим» → «Полярные координаты».</p> <p>Доступно только для частотного анализа.</p> <p>Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .</p>
Отобразить график на диаграмме Вольперта-Смита	<p>Главное меню: «График» → «Режим» → «Диаграмма Смита».</p> <p>Доступно только для частотного анализа.</p> <p>Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .</p>

7.3 Панель «Моделирование: Графики»

На панели «Моделирование: Графики» отображаются доступные (для отображения и работы) графики текущих окна и вкладки результатов для выбранной симуляции.

Отображение панели «Моделирование: Графики» включается с помощью главного меню «Графики» → «Список графиков», см. [Рис. 141](#).

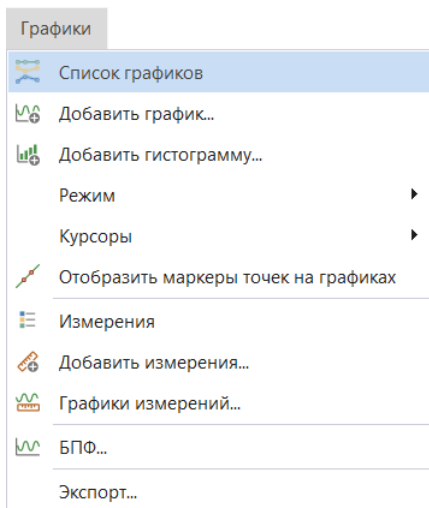


Рис. 141 Вызов панели «Моделирование: Графики»

По умолчанию панель «Моделирование: Графики» выключена, а при запуске отображается внизу рабочей области и имеет следующий вид, см. [Рис. 142](#).

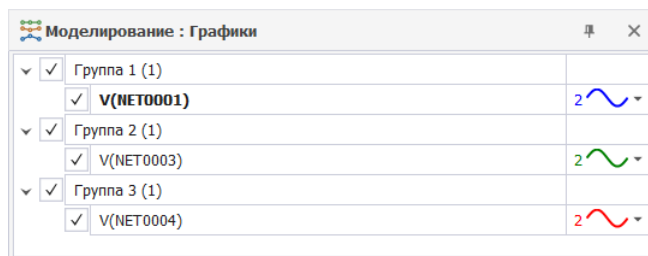


Рис. 142 Панель «Моделирование: Графики»

Панель содержит информацию об именах графиков, их цветовом представлении и номерах групп в текущем окне графика.

Панель позволяет:

- изменить группу расположения графика;
- изменить цвет, стиль и толщину графика;
- отключить отображение графика;
- удалить график с поля графиков.

Для изменения группы расположения графика следует вызвать контекстное меню с выбранного графика выбрать пункт «Переместить в группу» → выбрать группу из выпадающего списка, см. [Рис. 143](#).

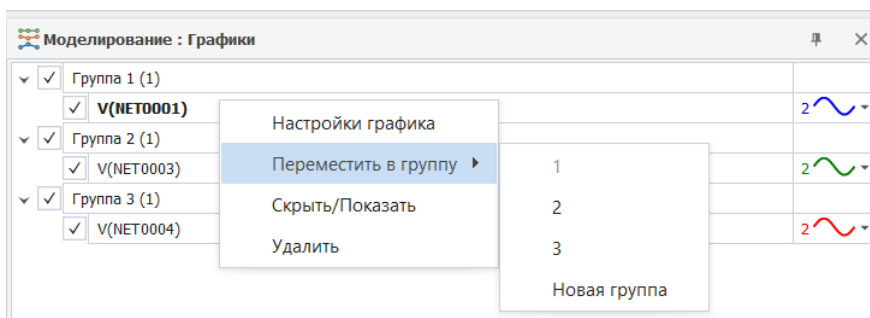



Рис. 143 Изменение группы расположения графика

Быстрое изменение цвета можно сделать, нажав на  рядом с иконкой [Рис. 144](#).

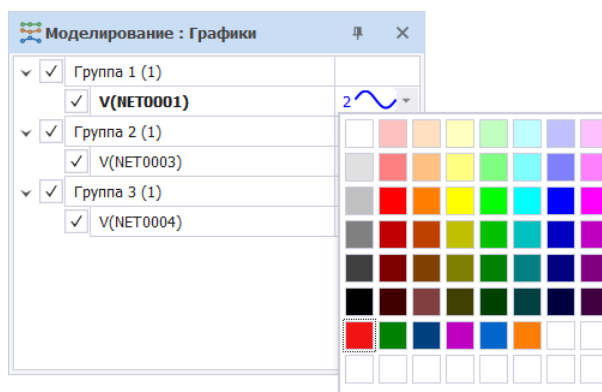



Рис. 144 Выбор цвета

Изменение цвета, стиля или толщины отображения графика вызывается с помощью:

- Двойного клика на пункте графика в панели «Моделирование: Графики»;
- Нажатия по иконке  выбранного графика;
- Вызова контекстного меню и выбора пункта «Настройки графика».

На экран будет выведено окно «Настройки», в котором необходимо выбрать раздел и затем пункт из выпадающего списка предложенных вариантов.

Чтобы скрыть график или снова включить его отображение, необходимо установить/снять флаг в поле ☒, расположенном напротив имени графика. Или


с помощью контекстного меню, вызванного с графика, выбрав один из вариантов «Скрыть/Показать».

Чтобы скрыть все графики группы, следует установить флаг в поле ☒, расположенном напротив имени выбранной группы.

Чтобы удалить график, вызовите контекстное меню на графике в списке и выберите пункт «Удалить».

7.4 Окно добавления графиков

С помощью окна добавления графиков создаются новые типы графиков и указываются места их отображения в окне результатов текущей симуляции. Окно добавления графиков вызывается с помощью:

- главного меню: «Графики» → «Добавить график...»;
- панели инструментов «SimOne Graphics» → «Добавить график...» .

Примечание!

Добавлять графики можно для следующих симуляций:

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



Окно имеет следующий вид, см. [Рис. 145](#).

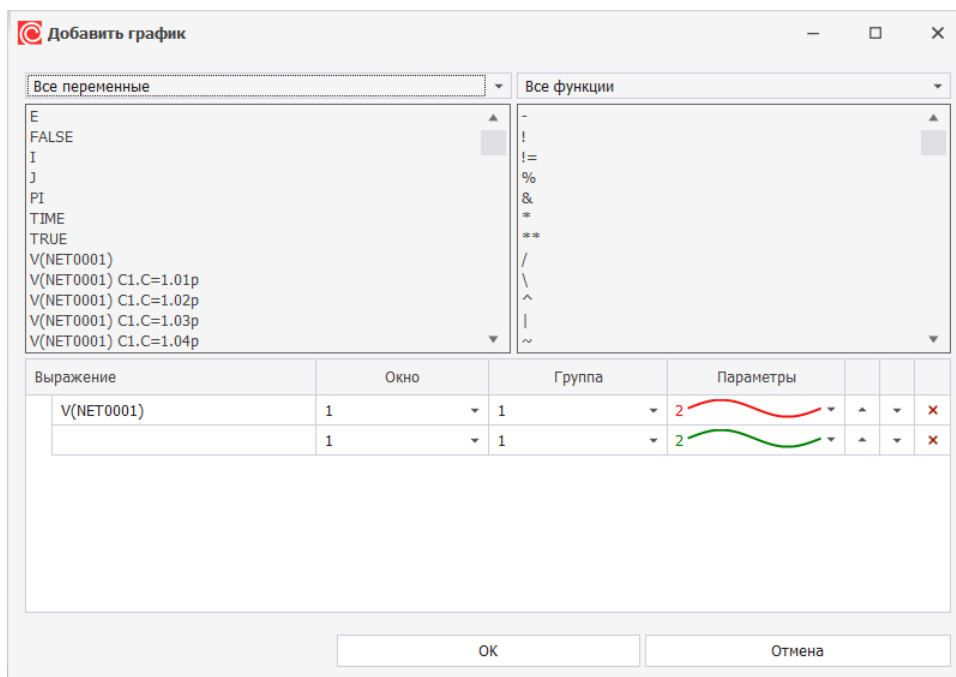


Рис. 145 Окно добавления новых графиков

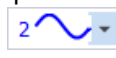
Для добавления нового графика пользователь может сконструировать или записать вручную в поле «Выражение» любое математическое выражение с использованием предлагаемого списка переменных и функций.


В качестве переменных доступны:


- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;
- независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции.

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

Пользователь может выбрать страницу (поле «Окно») и группу (поле «Группа»), в которые будет выводиться добавляемый график.

Цвет графика выбирается из выпадающего списка доступных цветов с помощью нажатия на стрелку рядом с иконкой графика , расположенную в конце строки выражения.

Для смены толщины и стиля линии нужно нажать на иконку графика .

Удаление ненужных графиков из списка выполняется кнопкой , расположенной в конце строки.

После нажатия на кнопку «ОК» график будет добавлен в указанную группу с именем, соответствующим введенному математическому выражению.

7.5 Окно добавления гистограмм

Гистограммы являются альтернативным способом представления результатов измерений в моделировании и показывают распределение численных значений графических кривых на интересующих интервалах в процентах.

С помощью окна добавления гистограмм создаются новые типы гистограмм и указываются места их отображения в окне результатов текущей симуляции. Окно добавления гистограмм вызывается с помощью:

- Главного меню: «Графики» → «Добавить гистограмму...»;
- панели инструментов «SimOne Graphics» → «Добавить гистограмму...»



Окно имеет следующий вид, см. [Рис. 146](#).

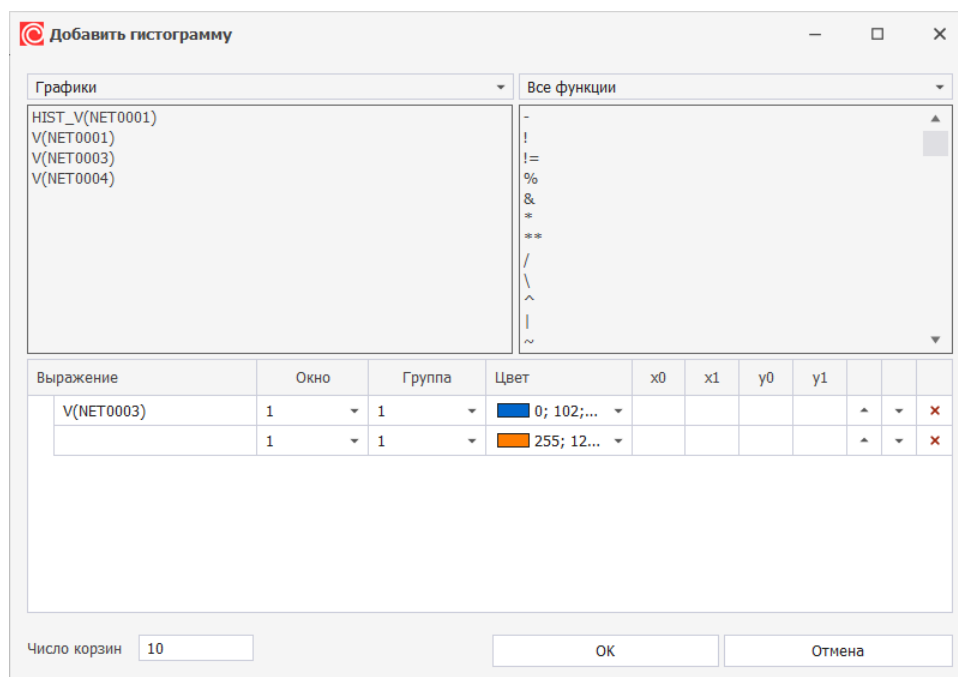


Рис. 146 Окно добавления гистограмм

Примечание!




Добавлять гистограммы можно для следующих симуляций:

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

Для добавления новой гистограммы пользователь может сконструировать или записать вручную в поле «Выражение» любое математическое выражение с использованием предлагаемого списка переменных и функций. В качестве переменных доступны:



- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;
- независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции.

С помощью полей «x0/x1» и «y0/y1» может быть указана область графика, для которой будет построена гистограмма. По умолчанию эти поля пустые и гистограмма строится для распределений на всей площади графика.

Цвет гистограммы выбирается из выпадающего списка доступных цветов  255;... . Удаление ненужных гистограмм из списка выполняется кнопкой , расположенной в конце строки.

7.6 Работа с курсорами




Курсоры позволяют пользователю найти интересующую его точку на графике, а также производить измерения различных параметров графика. На каждой группе графиков можно использовать одну пару курсоров:






- курсор  управляется с помощью левой кнопки мыши;
- курсор  управляется с помощью правой кнопки мыши.

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

Команды работы с курсорами перечислены в [Табл. 46](#).

[Таблица 46](#) Команды для работы с курсорами


Команда	Способ задания
Включение курсоров на графиках	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Отобразить курсоры». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .
Переместить первый курсор в заданную точку на графике	<ul style="list-style-type: none"> • нажать левую кнопку мыши в требуемой точке графика; • навести курсор мыши на первый курсор и перетянуть его в нужную точку.
Переместить второй курсор в заданную точку на графике	<ul style="list-style-type: none"> • нажать правую кнопку мыши в требуемой точке графика; • навести курсор мыши на второй курсор и перетянуть его в нужную точку.
Сделать курсор активным	Нажать левую кнопку на нужном курсоре.
Установить активный курсор в точку со значением X по оси абсцисс графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в координату X...» Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .
Установить активный курсор в точку со значением Y по оси ординат графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в координату Y...» Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .

Команда	Способ задания
Установить курсоры в точки с координатами, соответствующими вычисленному значению выбранного измерения	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в измерение...» Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  . Команда вызывает окно выбора измерения со списком доступных измерений.
Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному максимуму графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в пик». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .
Установить активный курсор в точку, соответствующую ближайшему справа от курсора локальному минимуму графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить во впадину». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .
Установить активный курсор в точку, соответствующую максимуму графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в максимум». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .
Установить активный курсор в точку, соответствующую минимуму графика	Главное меню: «Графики» → «Курсоры» → «Установить в минимум». Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка  .

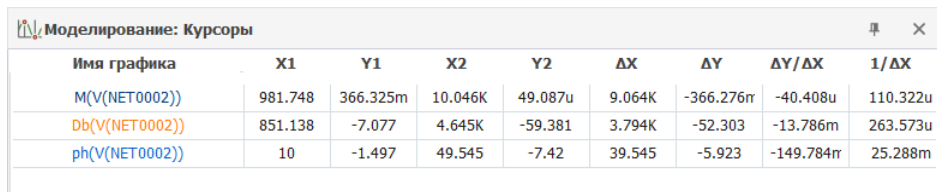
7.6.1 Панель курсоров

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»: иконка .

По умолчанию панель «Моделирование: Курсоры» отображается слева от рабочей области и имеет следующий вид, см. [Рис. 147](#).



Имя графика	X1	Y1	X2	Y2	ΔX	ΔY	ΔY/ΔX	1/ΔX
M(V(NET0002))	981.748	366.325m	10.046K	49.087u	9.064K	-366.276m	-40.408u	110.322u
Db(V(NET0002))	851.138	-7.077	4.645K	-59.381	3.794K	-52.303	-13.786m	263.573u
ph(V(NET0002))	10	-1.497	49.545	-7.42	39.545	-5.923	-149.784m	25.288m

Рис. 147 Пример отображения панели «Моделирование: Курсоры»


Список полей панели приведён в [Табл. 47](#).

[Таблица 47](#) 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: $1 / \Delta X = 1 / (X1 - X2)$

7.6.2 Окно установки курсоров

Для установки курсоров в точки с координатами, соответствующими вычисленным значениям измерения, используется окно установки курсоров в измерение. Окно вызывается следующими способами:

- Главное меню «Графики» → «Курсоры» → «Установить в измерение...», см. [Рис. 148](#).
- Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .

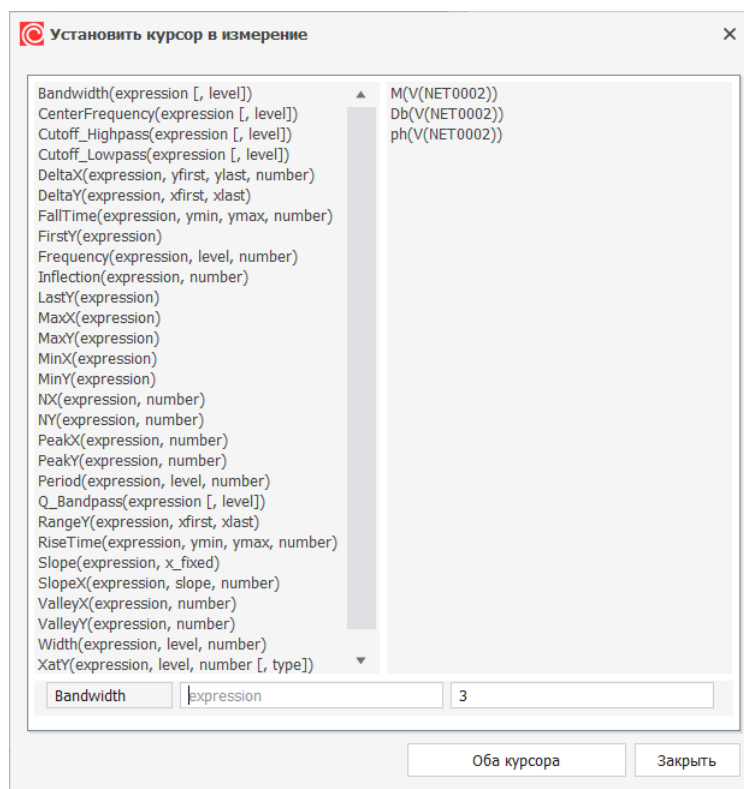


Рис. 148 Окно установки курсоров в измерение

На панели «Моделирование: Измерения» находится список доступных измерений. Необходимое измерение выбирается из списка кликом мыши. Необходимый график можно выбрать кликом по имени графика в списке графиков. Измерение может иметь дополнительные параметры, которые задаются в соответствующем поле.

Подробнее об измерениях и их параметрах см. раздел [Измерения](#).

Нажатие на кнопку «Оба курсора» (или «Установить курсор 1/2», в зависимости от типа выбранного измерения) устанавливает курсоры на графике в рассчитанные координаты, см. [Рис. 149](#).

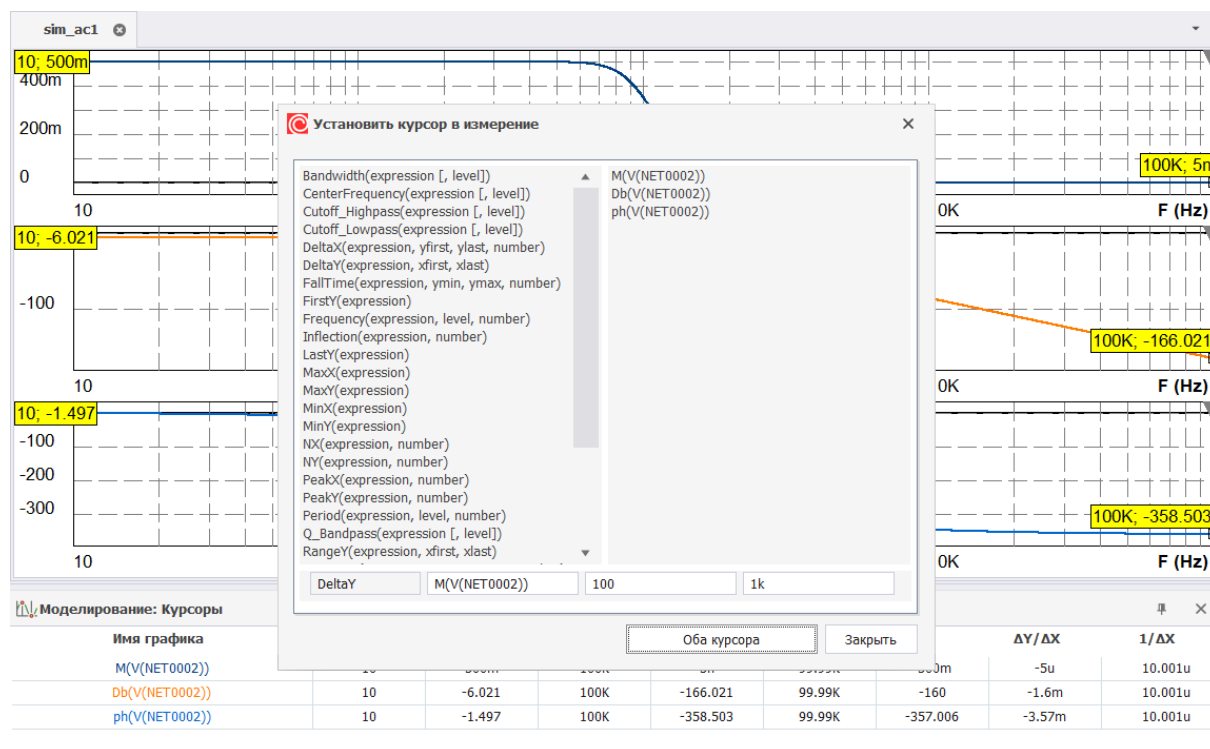


Рис. 149 Применение кнопки «Оба курсора»

8 Измерения

Для оценки качества выходных характеристик схемы в SimOne используется механизм Измерений. Измерения позволяют определять различные параметры графиков кривых, полученных в результате моделирования.

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

В SimOne измерения могут быть заданы следующим образом:

- в окне задания симуляции – вкладка «Измерения»;
- в модуле просмотра и обработки результатов измерения с помощью окна добавления нового измерения.

8.1 Вкладка «Измерения» окна параметров симуляции

Измерения могут быть заданы на этапе создания общего задания на моделирование с помощью вкладки «Измерения» окна задания параметров симуляции. Пример задания измерений приведён на [Рис. 150](#).

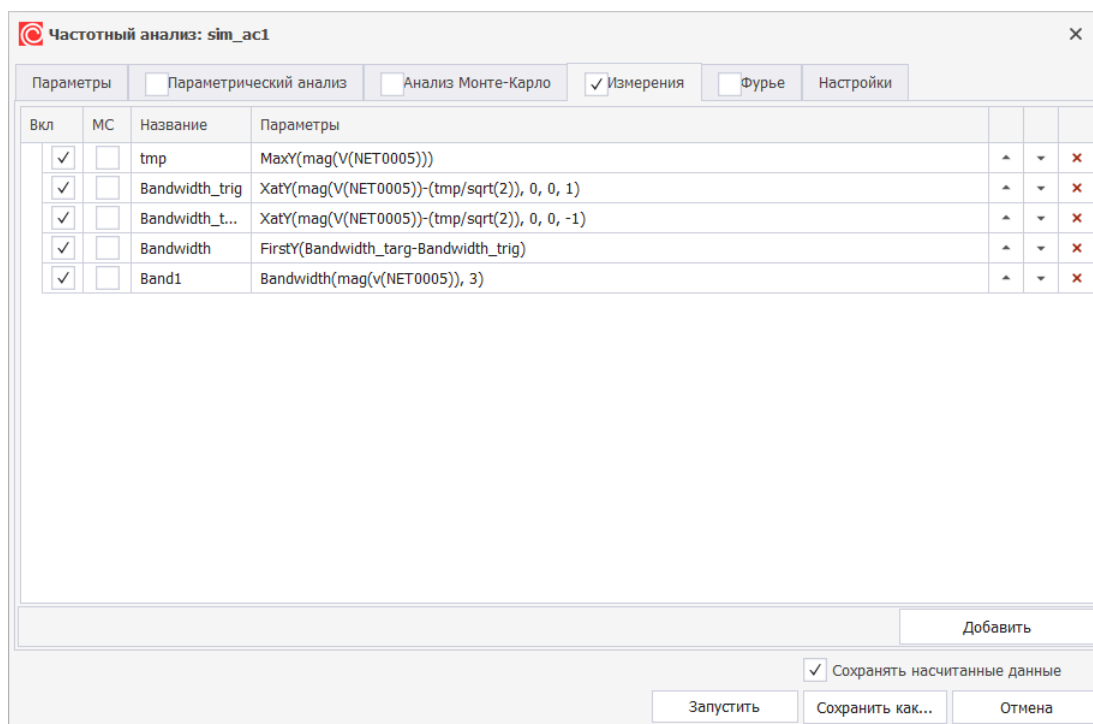


Рис. 150 Задание измерений с помощью вкладки «Измерения»


Подробнее описание параметров приведено в [Табл. 48](#).

Таблица 48 Параметры задаваемых измерений

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Вкл./Выкл.	Произвести вычисление указанного измерения.	Вкл.
МС	Построить гистограмму указанного измерения при проведении многовариантного расчета Монте-Карло.	Выкл.
Наименование	Имя измерения и его тип.	-
Добавить	Кнопка вызова диалогового окна создания новых измерений.	-

8.2 Окно добавления нового измерения

Новые типы измерений добавляются с помощью окна «Измерения», см. [Рис. 151](#). Оно вызывается с помощью:

- главного меню: «Графики» → «Добавить измерения...»;
- панели инструментов «SimOne Graphics»: иконка .

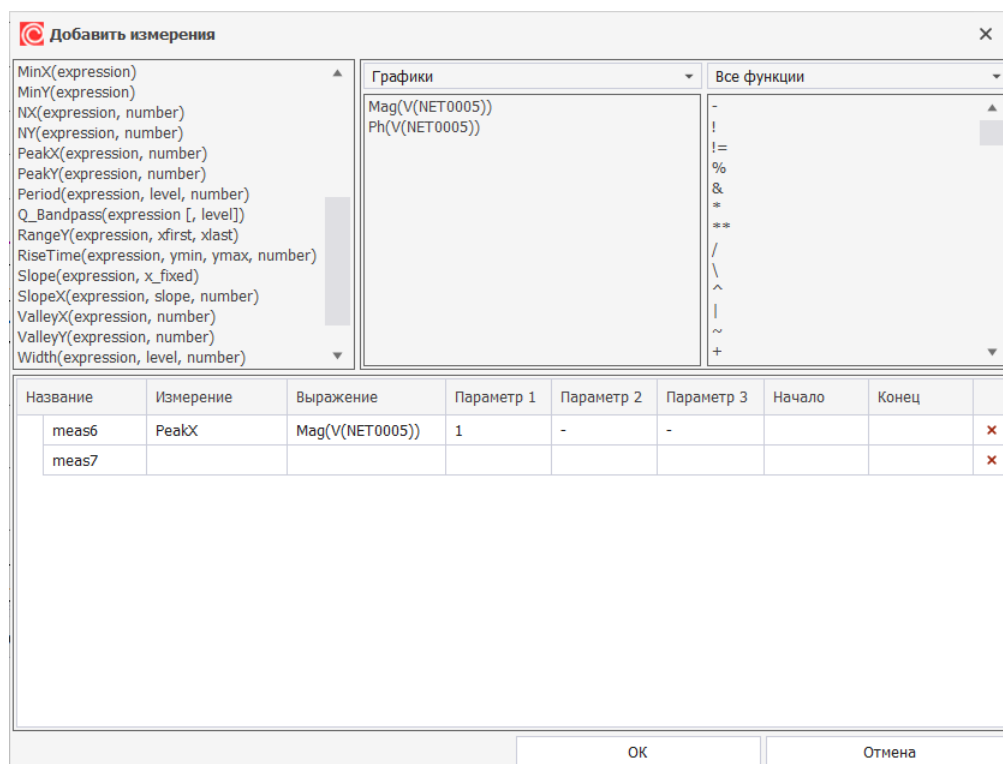


Рис. 151 Пример отображения окна добавления новых измерений

Для добавления нового измерения пользователю предложены три области:

- Область со списком доступных функций измерений. Расположена в левой части окна «Добавить измерения».
- Область со списком рассчитанных и сохранённых в результате симуляции переменных схемы и выражений от них. Списки объединены в группы: Все переменные, Графики, Потенциалы узлов, Измерения, Независимые переменные, Константы. По умолчанию выбрана группа Графики. Расположена в средней части окна «Добавить измерения».
- Область со списком доступных математических функций. Списки объединены в группы: Все функции, Арифметические, Булевы, Гиперболические, Измерения, Булевы, Интегральные, Комплексные, Логарифмы и экспоненты, Остальные, Случайные, Тригонометрические, Функциональные преобразования, Фурье анализ. По умолчанию выбрана группа «Все функции». Область расположена в правой части окна «Добавить измерения»

В качестве переменных доступны:

- выбранные переменные схемы, значения которых были получены в результате симуляции;

- независимая переменная симуляции (время – для временных анализов, частота – для частотного и т.п.);
- числовые значения рассчитанных измерений симуляции;
- созданные ранее измерения;
- константы (TRUE, FALSE, I, J, PI, E).

Новое измерение добавляется следующими действиями:

1. В поле «Название» введите имя создаваемого измерения.
2. В поле «Измерение» из списка выберите тип создаваемого измерения.
3. Введите выражение для измерения. Оно может быть введено текстом или составлено из функций и переменных в списках.

Если тип измерения предполагает задание дополнительных параметров, то они вводятся в соответствующие поля.

4. Укажите диапазон по оси абсцисс, если измерение необходимо произвести на определённом интервале.

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

8.3 Список доступных измерений

8.3.1 Bandwidth <выражение> [<level>]

Ширина полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

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

8.3.2 CenterFrequency <выражение> [<level>]

Центральная частота полосы пропускания уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

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

8.3.3 Cutoff_Highpass <выражение> [<level>]

Верхняя граница полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика Y_{\max} .
- Вычисляется пороговый уровень: $Y_0 = Y_{\max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется ближайшая точка по уровню Y_0 справа от максимума на спуске графика.

8.3.4 Cutoff_Lowpass <выражение> [<level>]

Нижняя граница полосы пропускания по уровню <level> дБ.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимум графика Y_{\max} .
- Вычисляется пороговый уровень: $Y_0 = Y_{\max} / 10^{(<level>/20)}$.
- Определяется ближайшая точка по уровню Y_0 слева от максимума на подъёме графика.

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

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <Yfirst> и точкой с ординатой <Ylast>, встречающимися в <number>-й раз.

Определяется следующим образом:

- По <number>-му значению <Yfirst> определяется абсцисса X_{first} .

- По значению $\langle Y_{last} \rangle$ определяется ближайшая большая X_{first} абсцисса X_{last} .
- Вычисляется разность $X_{last} - X_{first}$.

8.3.6 DeltaY <выражение> <Xfirst> <Xlast>

Расстояние по оси ординат между точкой с абсциссой $\langle X_{first} \rangle$ и точкой с абсциссой $\langle X_{last} \rangle$.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение Y_{first} в точке $\langle X_{first} \rangle$.
- Ищется значение Y_{last} в точке $\langle X_{last} \rangle$.
- Вычисляется разность $Y_{last} - Y_{first}$.

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

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой $\langle y_{max} \rangle$ и точкой с ординатой $\langle y_{min} \rangle$ на $\langle number \rangle$ -ом спуске.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение $\langle y_{max} \rangle$ на требуемом спуске ($\langle number \rangle$ -ом спуске); определяется её абсцисса X_{max} .
- Ищется значение $\langle y_{min} \rangle$ на требуемом спуске ($\langle number \rangle$ -ом спуске); определяется её абсцисса X_{min} .
- Вычисляется разность $X_{min} - X_{max}$.

8.3.8 FirstY <выражение>

Возвращает значение <выражения> в первой точке графика.

8.3.9 Frequency <выражение> <y_fixed> [<number>]

Частота – величина, обратная расстоянию по оси абсцисс между двумя соседними точками с ординатой $\langle y_{fixed} \rangle$ с одинаковым знаком производной в этих точках, встретившихся в $\langle number \rangle$ -й раз по счёту.

Определяется следующим образом:

- Ищутся пары соседних значений <выражения>, равных $\langle y_{fixed} \rangle$ и имеющих одинаковый знак производной.
- Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению $\langle number \rangle$.
- Для этой пары находятся соответствующие $\langle y_{fixed} \rangle$ значения по оси абсцисс X_{left} , X_{right} .

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

8.3.10 Inflection <выражение> [<number>]

Возвращает абсциссу точки <number>-го по счёту перегиба графика.

Определяется следующим образом:

- Ищутся точки перегиба кривой.
- Определяется точка, соответствующая по порядковому номеру значению <number>.
- Определяется её абсцисса $X_{inflect}$.

8.3.11 LastY <выражение>

Возвращает значение <выражения> в последней точке графика.

8.3.12 MaxY <выражение>

Возвращает максимальное значение графика (ординату точки максимума).

8.3.13 MaxX <выражение>

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает максимальное значение.

8.3.14 MinY <выражение>

Возвращает минимальное значение графика (ординату точки).

8.3.15 MinX <выражение>

Возвращает абсциссу точки, в которой график принимает минимальное значение.

8.3.16 NX <выражение> [<number>]

Возвращает абсциссу <number>-ой точки выражения.

8.3.17 NY <выражение> [<number>]

Возвращает значение выражения в <number>-ой точке.

8.3.18 PeakX <выражение> [<number>]

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

8.3.19 PeakY <выражение> [<number>]

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

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

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>-ый раз.

Определяется следующим образом:

- Ищутся пары ближайших значений <выражения>, 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: $X_{right} - X_{left}$.

8.3.21 Q_Bandpass <выражение> [<level>]

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

8.3.22 RangeY <выражение> <xfirst> <xlast>

Максимальный перепад на интервале от <xfirst> до <xlast>.

Определяется следующим образом:

- Ищется максимальное значение на Y_{max} интервале от <xfirst> до <xlast>.
- Ищется минимальное значение на Y_{min} интервале от <xfirst> до <xlast>.
- Вычисляется разность $Y_{max} - Y_{min}$.

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

Расстояние по оси абсцисс между точкой с ординатой <ymin> и точкой с ординатой <ymax> на <number>-ом подъёме.

Определяется следующим образом:

- Ищется значение <ymin> на требуемом подъёме (<number>-ом подъёме); определяется её абсцисса Xmin.

- Ищется значение $\langle y_{\max} \rangle$ на требуемом подъёме ($\langle \text{number} \rangle$ -ом подъёме); определяется её абсцисса X_{\max} .
- Вычисляется разность $X_{\max} - X_{\min}$.

8.3.24 Slope <выражение> <x_fixed>

Возвращает тангенс угла наклона в $\langle x_{\text{fixed}} \rangle$.

8.3.25 SlopeX <выражение> <slope> [<number>]

Возвращает абсциссу точки, в которой тангенс угла наклона равен $\langle \text{slope} \rangle$ и встречается с порядковым номером $\langle \text{number} \rangle$.

8.3.26 ValleyX <выражение> [<number>]

Возвращает абсциссу локального минимума функции, имеющего порядковый номер $\langle \text{number} \rangle$.

8.3.27 ValleyY <выражение> [<number>]

Возвращает значение функции в локальном минимуме, имеющем порядковый номер $\langle \text{number} \rangle$.

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

Расстояние по оси абсцисс между двумя ближайшими точками с ординатой $\langle y_{\text{fixed}} \rangle$, встретившейся в $\langle \text{number} \rangle$ -ый раз.

Определяется следующим образом:

- Находятся пары ближайших значений $\langle \text{выражения} \rangle$, равных $\langle y_{\text{fixed}} \rangle$
- Определяется пара, соответствующая по порядковому номеру значению $\langle \text{number} \rangle$.
- Для этой пары находятся соответствующие $\langle y_{\text{fixed}} \rangle$ точки с абсциссами X_{left} и X_{right} .
- Определяется разность: $X_{\text{right}} - X_{\text{left}}$.

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

Возвращает абсциссу точки на графике с ординатой, равной $\langle y_{\text{fixed}} \rangle$ и встреченной $\langle \text{number} \rangle$ -ый раз на требуемом участке: подъёме функции, спуске или простом пересечении.

Определяется следующим образом:

- Ищутся значения $\langle \text{выражения} \rangle$, равные $\langle y_{\text{fixed}} \rangle$

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

8.3.30 YatX <выражение> <x_fixed>

Возвращает значение <выражения> в точке <x_fixed>.

8.4 Панель измерений

На панели измерений отображаются вычисленные значения заданных пользователем измерений для всех проведённых симуляций. Отображение панели измерений включается с помощью:

- главного меню: «Графики» → «Измерения».

По умолчанию панель измерений отображается внизу рабочей области. Окно имеет следующий вид, см. [Рис. 152](#).

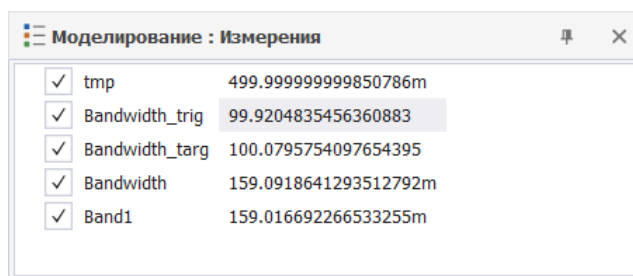


Рис. 152 Пример отображения панели измерений

Пример списка полей панели курсоров приведён в [Табл. 49](#).

[Таблица 49](#) Поля панели курсоров

Поле	Описание
<input checked="" type="checkbox"/>	Пересчитывать измерение при перезапуске симуляции
Bandwidth_trig	Поле, содержащее имя измерения
99.9204835456360883	Поле с численным значением измерения

При наведении мыши на имя измерения всплывает подсказка, содержащая описание измерения в формате SPICE.

Вызов контекстного меню на любом измерении дает доступ к следующим функциям, см. [Рис. 153](#).

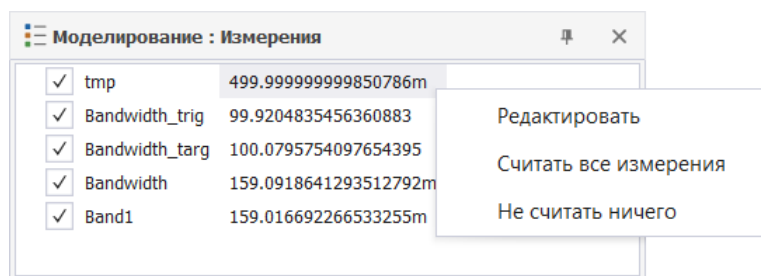



Рис. 153 Доступные действия с измерением из контекстного меню

- Редактировать. Этим пунктом вызывается окно «Редактировать измерения» для правки, добавления и удаления измерений, см. [Рис. 154](#). Удаление выполняется кнопкой .

При добавлении или редактировании измерений в поле выбора типа измерения и поле ввода шаблона выражения доступны всплывающие подсказки.

- «Считать все измерения». Нажатие на этот пункт проставит галки у каждого измерения, соответственно, активирует их пересчет при следующих запусках симуляции.
- «Не считать ничего». Снимает галки со всех измерений.

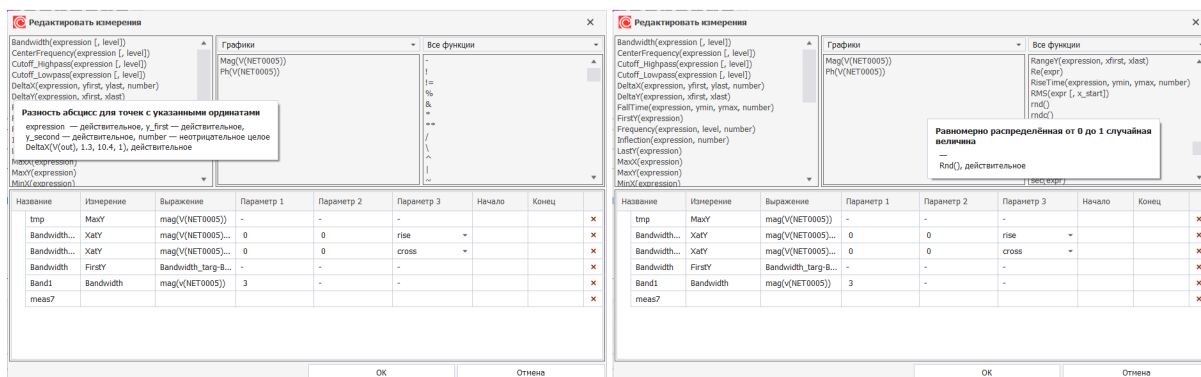



Рис. 154 Окно редактирования измерений

8.5 Графики измерений

Численные значения измерений могут быть представлены в модуле SimOne в графическом виде. Такое представление особенно актуально, если проводится многовариантный анализ схемы с варьированием различных её параметров: номиналов значений компонентов, моделей и т.п. В этом случае графики измерений позволяют наглядно оценить, как ведут себя интересные характеристики схемы при варьировании её параметров.

Графики измерений можно добавить следующим образом:

- Главное меню: «Графики» «Графики измерений...», см. [Рис. 155](#);
- Панель инструментов «SimOne Graphics»: иконка .

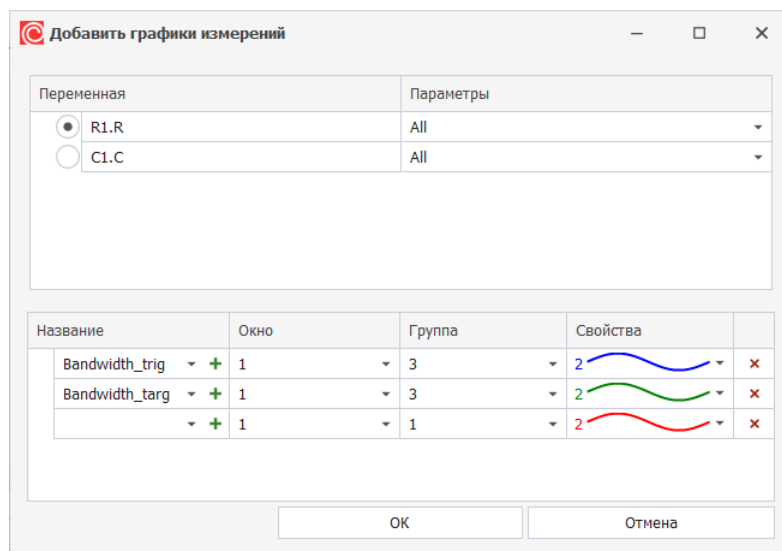





Рис. 155 Пример отображения окна добавления новых графиков измерений

Окно добавления графиков измерений содержит в себе два основных поля:

- Поле выбора параметров переменных графиков;
- Поле выбора измерений для графиков.

В качестве независимой переменной, от которой строится график измерений, выбирается один из варьировавшихся схемных параметров. Выбор производится с помощью клика на параметре (он будет выделен синим цветом) в списке параметров. Для независимой переменной при построении графиков будут взяты все её значения. Для остальных переменных могут быть выбраны значения из списка значений или взяты все значения.

Измерение, для которого строится график, может быть выбрано по имени из списка уже имеющихся измерений либо добавлено в этот список с помощью кнопки . Возможно указать окно (поле «Окно») и группу (поле «Группа»), в которые будет выводиться добавляемый график.

Для изменения цвета графика необходимо кликнуть на стрелке рядом с иконкой графика  в соответствующей строчке – при этом появится выпадающая палитра цветов. Для изменения остальных параметров графика нужно нажать на саму иконку графика .

После нажатия на кнопку «ОК» все указанные графики будут добавлены в указанную группу. Имя графика будет иметь следующий синтаксис: MEAS

(<имя измерения>), где (<имя измерения>) соответствует введенному имени измерения. На [Рис. 156](#) приведена панель «Моделирование: Графики», содержащая имена построенных графиков измерений.

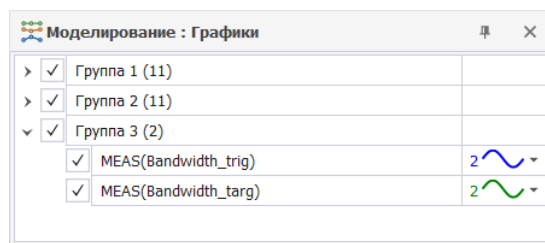


Рис. 156 Панель списка графиков с именами графиков измерений

9 Преобразование Фурье

Прямое и обратное преобразование Фурье выполняется на основе алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ). С помощью БПФ определяются гармоники разложения в ряд Фурье выходных характеристик схемы.

Выражения для преобразования Фурье могут быть заданы следующим образом:

- с помощью вкладки «Фурье» в окне задания на симуляцию;
- с помощью окна преобразования Фурье в постпроцессной обработке.

9.1 Вкладка преобразования Фурье

Вкладка преобразования Фурье, см. [Рис. 157](#), доступна при следующих видах анализа схемы:

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

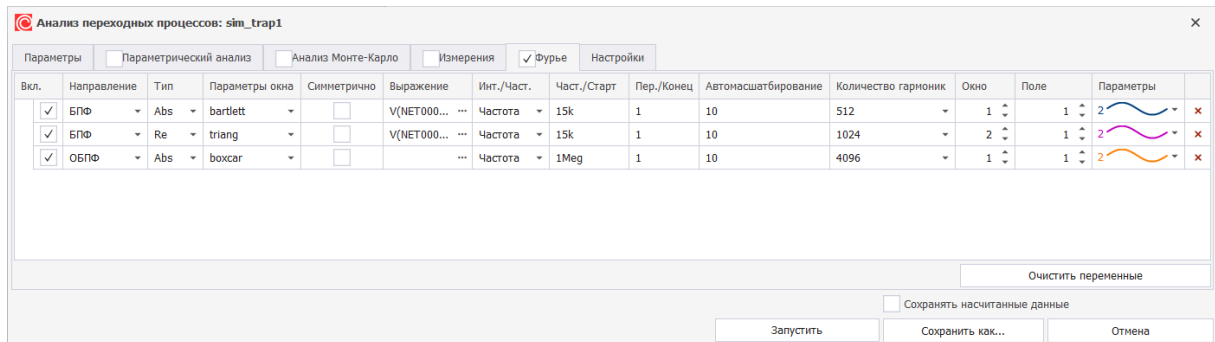




Рис. 157 Пример вкладки преобразования Фурье

Подробнее описание полей вкладки приведено в [Табл. 50](#).

Таблица 50 Вкладка «Фурье»

Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
Направление	Выбор направления преобразования: <ul style="list-style-type: none"> БПФ – прямое преобразование Фурье ОБПФ – обратное преобразование Фурье 	БПФ ОБПФ – для частотного анализа.
Тип	Выбор типа арифметических действий над полученными комплексными результатами БПФ: <ul style="list-style-type: none"> 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: Бартлетта, Блэкмана, Блэкмана-Харриса, Чебышева, Гаусса, Хэмминга, Кайзера, Велча, Наттолла, плоской вершины, Ланцоша, Ханна, прямоугольное, треугольное, Парзена и другие.	boxcar(0, 1)
Выражение	Выражение задается строкой и может быть сконструировано с помощью	-


Наименование/Символ	Описание	Значение по умолчанию
	вспомогательного окна, вызываемого кнопкой  .	
Интервал\Частота	Задается либо интервал, на котором будет применяться преобразование Фурье, при этом указываются значения верхнего и нижнего предела, либо фундаментальная частота преобразования, при этом указывается ее значение и количество периодов с конца данных расчета.	Весь интервал расчета.
Автомасштабирование	Количество гармоник автомасштабирования при выводе графика	10
Количество гармоник	Число точек входных данных преобразования	1024
Окно	Окно, в которое будет выведен график	1
Поле	Номер поля для размещения графика в окне	1
Цвет	Цвет и стиль графика	-
	Удалить график	-



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

9.2 Окно преобразования Фурье

Окно преобразования Фурье, см. [Рис. 158](#), вызывается командами:

- главное меню: «Графики» → «БПФ»;
- панели инструментов «SimOne Graphics»: иконка .

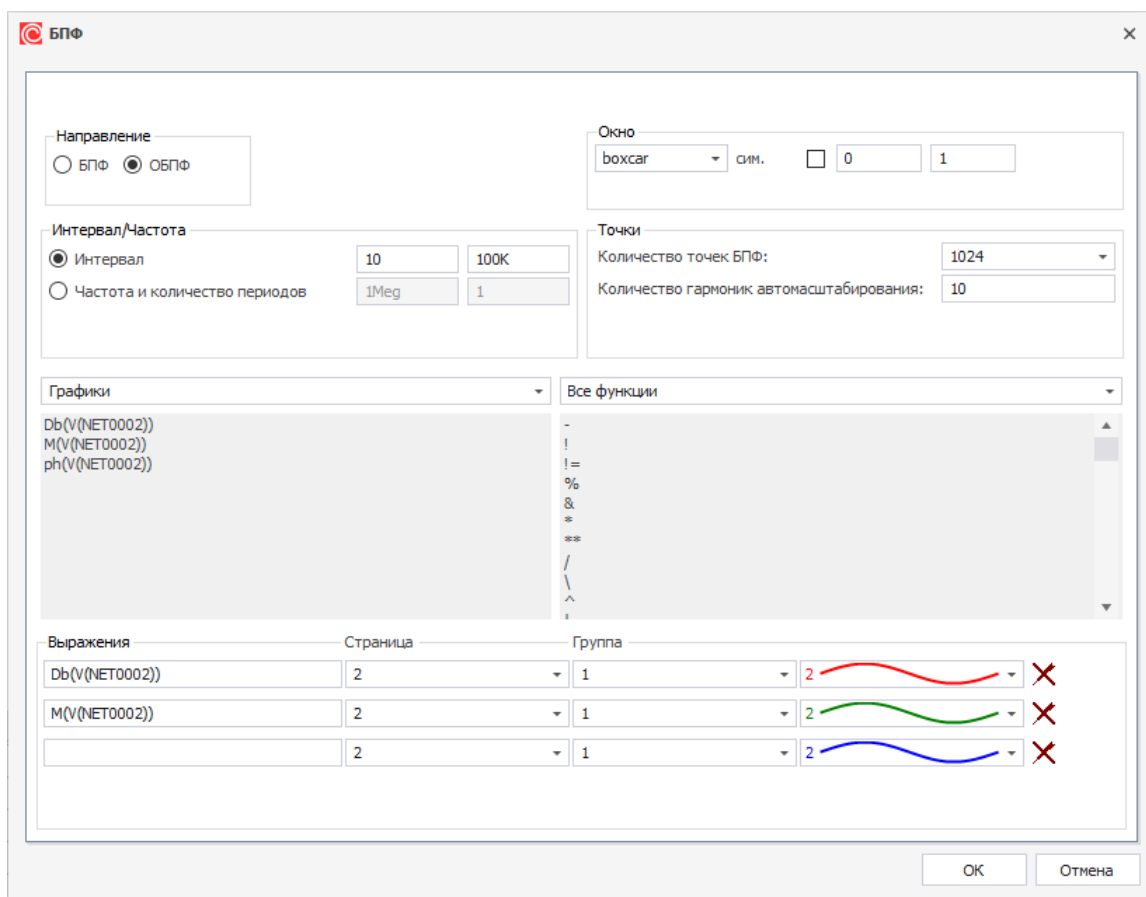


Рис. 158 Окно преобразования Фурье

Окно содержит:


- Направление. Кнопка переключения между типами преобразования, которые будут применены к введённым выражениям:
 - а. БПФ – прямое быстрое преобразование Фурье. Используется по умолчанию;
 - б. ОБПФ – обратное быстрое преобразование Фурье.
- Тип. Кнопка переключения между типами арифметических действий над полученными комплексными результатами БПФ:
 - а. abs – выводить на график модуль комплексных значений БПФ;
 - б. phase – выводить на график фазу комплексных значений БПФ;
 - в. Re – выводить на график вещественную часть комплексных значений БПФ;
 - г. Im – выводить на график мнимую комплексных значений БПФ.

- Окно. Выбор оконной функции и параметров для нее.
- Интервал/Частота. Интервал, на котором будут взяты значения выражения для преобразования. Фундаментальная частота преобразования будет считаться равной обратной величине интервала.
- Панели для конструирования задаваемых выражений:
 - а. Панель с доступными переменными схемы и выражениями;
 - б. Панель с математическими функциями.

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

Пользователь может выбрать страницу (поле «Страница») и группу (поле «Группа»), в которые будет выводиться добавляемый график. Для изменения цвета необходимо кликнуть на стрелке рядом с иконкой графика



в соответствующей строчке – при этом появится выпадающая палитра цветов. Для изменения других параметров стиля графика необходимо нажать на саму иконку графика .

Раздел «Точки» окна преобразования Фурье содержит две настройки:

- Количество точек БПФ – число точек, используемых в алгоритме БПФ. По умолчанию – 1024.
- Количество гармоник автомасштабирования – указывает число гармоник, которые будут выведены в видимую область графика. По умолчанию – 10. Остальные гармоники можно будет увидеть на графике, используя его масштабирование.

После нажатия на кнопку «ОК» графики будут добавлены в указанную группу с именем, соответствующим введённому математическому выражению, и аббревиатурой fft или ift в начале имени.



Примечание! Созданные в постпроцессной обработке графики преобразования Фурье автоматически добавляются на вкладку «Фурье» общего задания на моделирование текущей симуляции. При последующих запусках симуляции они будут пересчитываться и перерисовываться автоматически.

10 Выражения

10.1 Общие сведения

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.

10.2 Числа и константы

Числовые значения выражений могут быть заданы:

- действительным числом: 10.0, 0.05, 1200;
- действительным числом с плавающей точкой: 1E1, 5E-2, 1.2E3;
- действительным числом с плавающей точкой в нотации, принятой в SPICE. В этом случае после цифры может быть добавлена буква, обозначающая приставку, см. [Табл. 51](#). Пример: 50m=50E-3=0.005, 1.2K=1k2=1.2E3=1200.

[Таблица 51](#) 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.

10.3 Переменные

В выражениях могут быть использованные следующие переменные:

- V(<имя узла1>) – потенциалы узлов схемы;
- V(<имя узла1>, <имя узла2>) – напряжение между узлами схемы;

- $I(<\text{имя источника напряжения}>)$ – токи источников напряжения – независимых, управляемых, функциональных;
- $I(<\text{имя индуктивности}>)$ – токи индуктивностей;
- расчётные параметры моделей компонентов;
- символьные переменные;
- переменные состояния схемы.

Имена узлов схемы не могут содержать запятую ",", точку "." и двоеточие ":". Последние два знака являются разделителями. Например:

$X1.input$, $X1:input$ – узел с именем *input* внутри подсхемы $X1$.

$X1.R1$, $X1:R1$ – компонент $R1$, находящийся внутри подсхемы $X1$.

$X1.R1.tc1$, $X1:R1:tc1$ – параметр $TC1$ компонента $R1$, находящегося внутри подсхемы $X1$.

Узлы схемы, имена которых начинаются с символов $\$G_$, являются глобальными – их областью видимости является вся схема.



Примечание! В расчётах по постоянному току переменные $Time$, F , $Hertz$ принимаются равными нулю; в расчётах частотных характеристик и гармонического режима схемы переменная $Time$ принимается равной нулю; в расчёте переходных процессов и периодических режимах схемы переменные F , $Hertz$, принимаются равными нулю.



Примечание! Расчётные параметры моделей компонентов могут использоваться только в выражениях для построения графиков.

10.4 Расчётные параметры моделей компонентов

Параметры моделей компонентов, доступные для использования в качестве переменных в Выражениях, и их обозначения приведены в [Табл. 52](#).

[Таблица 52](#) Обозначения параметров моделей компонентов

Компонент	Напряжения, потенциалы	Ток	Ёмкости/Индуктивности	Заряд/Потокосцепление	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	-

Компонент	Напряжения, потенциалы	Ток	Ёмкости/Индуктивности	Заряд/Потоко сцепление	Мощность	Энергия	Другое
Длинная линия Т	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,VB E, VBS,VC E, VSE,VS C	IB, IC, IE, IS	CBC, CBE, CSC	QBC,QB E, QSC	PD,PS	ED,ES	-
Полевой транзистор J	VG,VD, VS, VGD,VG S,VDS	IG, ID, IS	CGD, CGS	QGD,Q GS	PD,PS	ED,ES	-
МОП-транзистор M	VB,VG, VD,VS, VGB,VG D,VGS, VDS,VB D,VBS	IG, ID, IS	CGB,CG D, CGS,CBD , CBS	QGB,Q GD, QGS,QB D, QBS	PD,PS	ED,ES	-

Для обращения к расчетному параметру компонента необходимо указать его обозначение согласно таблице и в скобках указать имя компонента, параметр которого будет использован.

Примеры параметров моделей:

Q(C1) – заряд на ёмкости C1;

CBC(Q1) – ёмкость перехода база-коллектор биполярного транзистора Q1;

VGD(J1) – напряжение перехода затвор-сток полевого транзистора J1.

10.5 Символьные переменные

Символьные переменные схемы – это глобальные параметры, определённые с помощью команд .PARAM.

Символьные переменные могут быть использованы при задании параметров моделей компонентов, сигналов источников и задаваться в качестве переменных в многовариантных анализах схемы. Использование символьных переменных существенным образом повышает удобство разработки схем.

Примеры символьных переменных:

.PARAM Tper = 1us

10.6 Переменные состояния схемы

Переменные состояния схемы – это напряжения и токи схемы, с помощью которых определяется состояние схемы в любой заданный момент времени.

В модуле SimOne в качестве таких переменных используются потенциалы всех узлов схемы V(<имя узла>), токи индуктивных элементов I(<имя индуктивности>), токи источников напряжений всех типов – независимых, управляемых, функциональных I(<имя источника напряжения>).

10.7 Математические операторы и функции

Модуль SimOne реализует вычисление большого спектра разных математических операций и функций. Их описание приведено в разделах ниже.

10.7.1 Арифметические операторы



Примечание! Операнды, названные **expr** или **expression**, могут являться выражениями, в то время как операнды с другими именами не могут быть выражениями и должны представлять собой числовые константы.

- Оператор: +

Название: Сложение

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

Пример: $V(\text{net1}) + V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: -

Название: Вычитание

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

Пример: $V(\text{net1}) - V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: %

Название: Остаток от деления

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

Пример: $V(\text{net1}) - V(\text{net2})$, комплексное

Синоним: **mod**

Раздел: Арифметические

- Оператор: *

Название: Умножение

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

Пример: $V(\text{net1}) * V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: **

Название: Возведение в степень

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

Пример: $V(\text{net1}) ** V(\text{net2})$, комплексное

Синонимы: **^**, **pow**

Раздел: Арифметические

- Оператор: **^**

Название: Возведение в степень

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

Пример: $V(\text{net1}) \wedge V(\text{net2})$, комплексное

Синонимы: ******, **pow**

Раздел: Арифметические

- Оператор: **/**

Название: Деление

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

Пример: $V(\text{net1}) / V(\text{net2})$, комплексное

Раздел: Арифметические

- Оператор: ****

Название: Деление нацело

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

Пример: $V(\text{net1}) \setminus V(\text{net2})$, целое

Синоним: **div**

Раздел: Арифметические

10.7.2 Булевы операторы

- Оператор: **!**

Название: НЕ (отрицание)

Операнд: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Синоним: **~**

Раздел: Булевы

- Оператор: **!=**

Название: Проверка неравенства

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

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

Раздел: Булевы

- Оператор: **&**

Название: И (конъюнкция)

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

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

Синоним: **and**

Раздел: Булевы

- Оператор: **|**

Название: ИЛИ (дизъюнкция)

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

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

Синоним: **or**

Раздел: Булевы

- Оператор: **~**

Название: НЕ (отрицание)

Операнд: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Синоним: **!**

Раздел: Булевы

- Оператор: <

Название: Меньше

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

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

Раздел: Булевы

- Оператор: <=

Название: Меньше или равно

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

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

Раздел: Булевы

10.7.3 Арифметические функции



Примечание! Параметры, названные **`expr`** или **`expression`**, могут являться выражениями, в то время как параметры с другими именами не могут быть выражениями и должны представлять собой числовые константы.

10.7.3.1 **`abs`**

Функция: **`abs(expr)`**

Название: Модуль

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

Пример: `abs(V(out))`, действительное

Синонимы: **`m`**, **`mag`**

Раздел: Арифметические

10.7.3.2 **`ceil`**

Функция: **`ceil(expr)`**

Название: Округление в большую сторону

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

Пример: `ceil(V(out))`, комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.3 **`fact`**

Функция: **`fact(expr)`**

Название: Факториал

Аргумент: `expr` — неотрицательное целое, где `expr` — выражение

Пример: `fact(3)`, натуральное

Раздел: Арифметические

10.7.3.4 **`floor`**

Функция: **`floor(expr)`**

Название: Округление в меньшую сторону

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

Пример: floor(V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.5 int

Функция: **int(expr)**

Название: Сокращение до целого

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: int(V(out)), комплексное

Синоним: **trunc**

Раздел: Арифметические

10.7.3.6 JN



Примечание! Параметры в квадратных скобках не являются обязательными, если значение такого параметра не определено пользователем при вызове функции, то используется значение по умолчанию.

Функция: **JN([n,] expr)**

Название: Функция Бесселя 1-го рода порядка n

Аргументы: n — целое, expr — комплексное, где n - порядок функции Бесселя, expr - комплексный аргумент функции Бесселя

Значение аргументов по умолчанию: n=0

Пример: JN(V(out)), JN(2, V(out)), JN(-1, V(out)), комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.7 nint

Функция: **nint(expr)**

Название: Математическое округление

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: nint(V(out)), комплексное

Синоним: **round**

Раздел: Арифметические

10.7.3.8 sqrt

Функция: **sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

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

Пример: `sqrt(V(out))`, комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.3.9 YN

Функция: **YN([n,] expr)**

Название: Функция Бесселя 2-го рода порядка `n`

Аргументы: `n` — целое, `expr` — комплексное, где `n` - порядок функции Бесселя, `expr` - комплексный аргумент функции Бесселя

Значение аргументов по умолчанию: `n=0`

Пример: `YN(V(out))`, `YN(2, V(out))`, `YN(-1, V(out))`, комплексное

Раздел: Арифметические

10.7.4 Булевы функции

10.7.4.1 buf

Функция: **buf(expr)**

Название: Повторитель по уровню 0.5

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

Пример: `buf(V(net1))`, логическое

Раздел: Булевы

10.7.4.2 inv

Функция: **inv(expr)**

Название: Инвертор по уровню 0.5

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

Пример: `inv(V(net1))`, логическое

Раздел: Булевы

10.7.5 Гиперболические функции

10.7.5.1 Acosh

Функция: **Acosh(expr)**

Название: Гиперболический ареакосинус

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

Пример: `acosh(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arcosh**, **arch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.2 Acoth

Функция: **Acoth(expr)**

Название: Гиперболический ареакотангенс

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

Пример: `acoth(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arcoth**, **arcth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.3 Acsch

Функция: **Acsch(expr)**

Название: Гиперболический ареакосеканс

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

Пример: `acsch(V(net1))`, комплексное

Синоним: **arcsch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.4 Asech

Функция: **Asech(expr)**

Название: Гиперболический ареасеканс

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

Пример: `asech(V(net1))`, комплексное

Синоним: **arsech**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.5 Asinh

Функция: **Asinh(expr)**

Название: Гиперболический ареасинус

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

Пример: `asinh(V(net1))`, комплексное

Синонимы: **arsinh**, **arsh**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.6 Atanh

Функция: **Atanh(expr)**

Название: Гиперболический аретангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: atanh(V(net1)), комплексное

Синонимы: **artanh, arth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.7 Cosh

Функция: **Cosh(expr)**

Название: Гиперболический косинус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: cosh(V(net1)), комплексное

Синоним: **ch**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.8 Coth

Функция: **Coth(expr)**

Название: Гиперболический котангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: coth(V(net1)), комплексное

Синоним: **cth**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.9 Csch

Функция: **Csch(expr)**

Название: Гиперболический косеканс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: csch(V(net1)), комплексное

Раздел: Гиперболические

10.7.5.10 Sech

Функция: **Sech(expr)**

Название: Гиперболический секанс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: sech(V(net1)), комплексное

Раздел: Гиперболические

10.7.5.11 Sinh

Функция: **Sinh(expr)**

Название: Гиперболический синус

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: sinh(V(net1)), комплексное

Синоним: **sh**

Раздел: Гиперболические

10.7.5.12 Tanh

Функция: **Tanh(expr)**

Название: Гиперболический тангенс

Аргумент: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: tanh(V(net1)), комплексное

Синоним: **th**

Раздел: Гиперболические

10.7.6 Измерения



Примечание! Функции измерения графиков вычисляются по завершении расчёта. Поэтому выражения, содержащие функции измерений, будут рассчитаны также по завершении расчёта, и соответствующий график выражения будет представлять собой константу.

10.7.6.1 Bandwidth

Функция: **Bandwidth(expression [, level])**

Название: Ширина полосы пропускания по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение (АЧХ), level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: $\text{Bandwidth}(\text{db}(V(\text{out})/V(\text{input})), 3.1)$, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.2 CenterFrequency

Функция: **CenterFrequency(expression [, level])**

Название: Центральная частота сигнала

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение (АЧХ), level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: $\text{CenterFrequency}(\text{db}(V(\text{out})/V(\text{input})), 6)$, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.3 CutOff_Highpass

Функция: **CutOff_Highpass(expression [, level])**

Название: Верхняя граничная частота полосы пропускания

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение (АЧХ), level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: $\text{CutOff_Heighpass}(\text{db}(V(\text{out})/V(\text{input})), 6)$, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.4 Cutoff_Lowpass

Функция: **Cutoff_Lowpass(expression [, level])**

Название: Нижняя граничная частота полосы пропускания

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, где expression — выражение (АЧХ), level — уровень

Значение аргументов по умолчанию: level = 3

Пример: $\text{CutOff_Lowpass}(\text{db}(V(\text{out})/V(\text{input})), 6)$, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.5 DeltaX

Функция: **DeltaX(expression, y_first, y_last, number)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами

Аргументы: expression — действительное, y_first — действительное, y_second — действительное, number — неотрицательное целое, где expression —

выражение, y_first — ордината первой точки, y_last — ордината второй точки, number — номер пересечения выражением указанных ординат (0 — последняя)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: DeltaX(V(out), 1.3, 10.4, 1), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.6 DeltaY

Функция: **DeltaY(expression, x_first, x_second)**

Название: Разность ординат для точек с указанными абсциссами

Аргументы: expression — действительное, y_first — действительное, y_second — действительное, где expression — выражение, x_first — абсцисса первой точки, x_second — абсцисса второй точки

Пример: DeltaY(V(in), 10m, 24m), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.7 FallTime

Функция: **FallTime(expression, y_min, y_max, number)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами на спаде сигнала

Аргументы: expression — действительное, y_min — действительное, y_max — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, y_min — ордината точки минимума, y_max — ордината точки максимума, number — номер спада сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: FallTime(V(out), 1.5, 3.7, 10), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.8 FirstY

Функция: **FirstY(expression)**

Название: Ордината первой точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: FirstY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.9 Frequency

Функция: **Frequency(expression, level, number)**

Название: Частота сигнала по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень измерения, number — номер периода сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Frequency(V(out), 0.5, 2), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.10 Inflection

Функция: **Inflection(expression, number)**

Название: Абсцисса заданной точки перегиба

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер точки перегиба (0 — последняя)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Inflection(V(in), 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.11 LastY

Функция: **LastY(expression)**

Название: Ордината последней точки сигнала

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: LastY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.12 MaxX

Функция: **MaxX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.13 MaxY

Функция: **MaxY(expression)**

Название: Ордината точки глобального максимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MaxY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.14 MinX

Функция: **MinX(expression)**

Название: Абсцисса точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinX(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.15 MinY

Функция: **MinY(expression)**

Название: Ордината точки глобального минимума

Аргументы: expression — действительное, где expression — выражение

Пример: MinY(V(out)), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.16 NX

Функция: **NX(expression, number)**

Название: Абсцисса указанной вычисленной точки

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, pointNum — номер вычисленной точки

Пример: NX(db(V(out)/V(in)), 52), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.17 NY

Функция: **NY(expression, number)**

Название: Ордината указанной вычисленной точки

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, pointNum — номер вычисленной точки

Пример: NY(db(V(out)/V(in)), 18), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.18 PeakX

Функция: **PeakX(expression, number)**

Название: Абсцисса локального максимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального максимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: PeakX(V(out) , 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.19 PeakY

Функция: **PeakY(expression, number)**

Название: Ордината локального максимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального максимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: PeakY(V(out), 5), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.20 Period

Функция: **Period(expression, level, number)**

Название: Период сигнала по заданному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень измерения, number — номер периода сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Period(V(out), 0.3 , 10), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.21 Q_Bandpass

Функция: **Q_Bandpass(expression [,level])**

Название: Добротность в полосе пропускания по заданному уровню

Аргументы: *expression* — действительное, *level* — действительное, где *expression* — выражение, *level* — уровень

Значение аргументов по умолчанию: *level* = 3

Пример: `Q_Bandpass(db(V(out)/V(in)),6)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.22 RangeY

Функция: **RangeY(*expression*, *x_first*, *x_last*)**

Название: Диапазон изменения сигнала на заданном отрезке

Аргументы: *expression* — действительное, *x_first* — действительное, *x_last* — действительное, где *expression* — выражение, *x_first* — абсцисса первой точки отрезка, *x_last* — абсцисса последней точки отрезка

Пример: `RangeY(V(out), 1.3e-3, 5e-3)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.23 RiseTime

Функция: **RiseTime(*expression*, *y_min*, *y_max*, *number*)**

Название: Разность абсцисс для точек с указанными ординатами на подъёме сигнала

Аргументы: *expression* — действительное, *y_min* — действительное, *y_max* — действительное, *number* — неотрицательное целое, где *expression* — выражение, *y_min* — ордината точки минимума, *y_max* — ордината точки максимума, *number* — номер подъёма сигнала (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: *number* = 1

Пример: `RiseTime(V(out), 1.5, 3.7, 10)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.24 Slope

Функция: **Slope(*expression*, *x_fixed*)**

Название: Наклон сигнала в заданной точке

Аргументы: *expression* — действительное, *x_fixed* — действительное, где *expression* — выражение, *x_fixed* — абсцисса точки измерения

Пример: `Slope(V(out), 1e-3)`, действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.25 SlopeX

Функция: **SlopeX(expression, slope, number)**

Название: Абсцисса точки с заданным наклоном

Аргументы: expression — действительное, slope — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, slope — коэффициент наклона (производная), number — номер подходящего наклона (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: SlopeX(V(Vout), 1e5, 3), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.26 ValleyX

Функция: **ValleyX(expression, number)**

Название: Абсцисса локального минимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального минимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: ValleyX(V(out), 4), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.27 ValleyY

Функция: **ValleyY(expression, number)**

Название: Ордината локального минимума

Аргументы: expression — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, number — номер локального минимума (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: ValleyY(V(out), 5), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.28 Width

Функция: **Width(expression, level, number)**

Название: Ширина сигнала по указанному уровню

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, где expression — выражение, level — уровень, number — номер отрезка (0 — последний)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1

Пример: Width(V(out), 0.5, 4), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.29 XatY

Функция: **XatY(expression, level, number [, type])**

Название: Абсцисса точки с указанной ординатой

Аргументы: expression — действительное, level — действительное, number — неотрицательное целое, доп. type — действительное (по умолчанию 0), где expression — выражение, level — уровень, number — номер пресечения выражением заданного уровня (0 — последний), type — тип пересечения (-1 — спад, 1 — нарастание, 0 — любой)

Значение аргументов по умолчанию: number = 1, type = 0

Пример: XatY(V(out), 3, 4, -1), действительное

Раздел: Измерения

10.7.6.30 YatX

Функция: **YatX(expression, x_fixed)**

Название: Ордината точки с указанной абсциссой

Аргументы: expression — действительное, x_fixed — действительное, где expression — выражение, x_fixed — абсцисса точки измерения

Пример: YatX(V(out), 5e-2), действительное

Раздел: Измерения

10.7.7 Интегральные функции

10.7.7.1 Avg

Функция: **Avg(expr [, x_start])**

Название: Скользящее среднее по независимой переменной

Аргументы: expr — действительное, x_start — действительное, где expr — выражение, x_start — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: x_start=0

Пример: Avg(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.2 DD

Функция: **DD(expr [, x_start])**

Название: Численная производная по независимой переменной

Аргументы: *expr* — действительное, *x_start* — действительное, где *expr* — выражение, *x_start* — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: *x_start*=левая граница диапазона

Пример: DD(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.3 DDT

Функция: **DDT(expr)**

Название: Численная производная по времени

Аргументы: *expr* — действительное, где *expr* — выражение

Пример: DDT(V(out)), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.4 DDX

Функция: **DDX(expr(x), X)**

Название: Вычисленная символьная производная по переменной состояния

Аргументы: *expr(x)* — строка, *X* — строка, где *expr(x)* — выражение от переменных состояния, *X* — одна из переменных состояния

Пример: DDX(time*V(1)^2, V(1)), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.5 IDT

Функция: **IDT(expr [, base [, condition]])**

Название: Численный интеграл по времени

Аргументы: *expr* — действительное, *base* — действительное, *condition* — логическое, где *expr* — выражение, *base* — начальное значение, *condition* — логическое выражение или неравенство, интегрирование выполняется только при значении false

Значение аргументов по умолчанию: *base* = 0, *condition* = FALSE

Пример: IDT(V(out), 3, V(1) > 300m), действительное

Синоним: **SDT**

Раздел: Интегральные

10.7.7.6 IDTMod

Функция: **IDTMod(expr [, base [, module [, offset]]])**

Название: Численный интеграл с циклическим результатом

Аргументы: *expr* — действительное, *base* — действительное, *module* — действительное, *offset* — действительное, где *expr* — выражение, *base* — начальное значение, *module* — модуль результата, при достижении которого результат принимает начальное значение, *offset* — смещение результата

Значение аргументов по умолчанию: *base* = 0, *module* = ∞ , *offset* = 0

Пример: IDTMod(V(out), 5, 10, 1), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.7 RMS

Функция: **RMS(expr [, x_start])**

Название: Скользящее среднее квадратическое по независимой переменной

Аргументы: *expr* — действительное, *x_start* — действительное, где *expr* — выражение, *x_start* — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: *x_start*=0

Пример: RMS(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.8 RunMax

Функция: **RunMax(expr [, x_start])**

Название: Скользящий максимум по независимой переменной

Аргументы: *expr* — действительное, *x_start* — действительное, где *expr* — выражение, *x_start* — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: *x_start*=0

Пример: RunMax(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.9 RunMin

Функция: **RunMin(expr [, x_start])**

Название: Скользящий минимум по независимой переменной

Аргументы: *expr* — действительное, *x_start* — действительное, где *expr* — выражение, *x_start* — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Значение аргументов по умолчанию: *x_start*=0

Пример: RunMin(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.10 SD

Функция: **SD(*expr* [, *x_start*])**

Название: Численный интеграл по независимой переменной

Аргументы: *expr* — действительное, *x_start* — действительное, где *expr* — выражение, *x_start* — ордината точки, до которой выражение считается равным 0

Пример: SD(V(out), 1e-3), действительное

Раздел: Интегральные

10.7.7.11 SDT

Функция: **SDT(*expr* [, *base* [, *condition*]])**

Название: Численный интеграл по времени

Аргументы: *expr* — действительное, *base* — действительное, *condition* — логическое, где *expr* — выражение, *base* — начальное значение, *condition* — логическое выражение или неравенство, интегрирование выполняется только при значении false

Значение аргументов по умолчанию: *base* = 0, *condition* = FALSE

Пример: SDT(V(out), 3, V(1)>300m), действительное

Синоним: **IDT**

Раздел: Интегральные

10.7.8 Комплексные функции

10.7.8.1 Abs

Функция: **Abs(*expr*)**

Название: Модуль или магнитуда

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

Пример: Abs(V(out)), действительное

Синонимы: **m**, **mag**

Раздел: Комплексные

10.7.8.2 GD

Функция: **GD(expr)**

Название: Групповая задержка

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: GD(V(out)), действительное

Раздел: Комплексные

10.7.8.3 Im

Функция: **Im(expr)**

Название: Мнимая часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Im(V(out)), действительное

Синонимы: **img, imag**

Раздел: Комплексные

10.7.8.4 Mag

Функция: **Mag(expr)**

Название: Магнитуда или модуль

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Mag(V(out)), действительное

Синонимы: **m, abs**

Раздел: Комплексные

10.7.8.5 Re

Функция: **Re(expr)**

Название: Действительная часть

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Re(V(out)), действительное

Синоним: **real**

Раздел: Комплексные

10.7.8.6 Ph

Функция: **Ph(expr)**

Название: Фаза

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Ph(V(out)), действительное

Синонимы: **phase, p, arg**

Раздел: Комплексные

10.7.9 Логарифмы и экспоненты

10.7.9.1 Db

Функция: **Db(expr [, base])**

Название: Децибелы

Аргументы: expr — комплексное, base — действительное, где expr — выражение (обычно используют отношение измеряемой величины к базовому уровню), base — базовый уровень, относительно которого вычисляются децибелы (обычно используют, если выражение не является отношением)

Значение аргументов по умолчанию: base = 1

Пример: Db(V(out)*I(R1), 1e-3), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.2 Exp

Функция: **Exp(expr)**

Название: Экспонента

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Exp(V(out)), комплексное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.3 ExpL

Функция: **ExpL(expr, x_linear)**

Название: Экспонента, переходящая в линейную функцию

Аргументы: expr, x_linear — комплексное, где expr — выражение, x_linear — абсцисса точки, начиная с которой функция становится линейной

Пример: ExpL(V(out), 10), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.4 Lg

Функция: **Lg(expr)**

Название: Логарифм по основанию 10

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Lg(V(out)), комплексное

Синоним: **log10**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.5 LimExp

Функция: **LimExp(expr)**

Название: Экспонента с ограничением аргумента на приращение

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение,

Примечание: функция запоминает абсциссу x_0 предыдущей точки и возвращает значение для текущей точки $\exp(\min(x, 2 \cdot x_0))$

Пример: LimExp(V(out)), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.6 Ln

Функция: **Ln(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Ln(V(out)), комплексное

Синоним: **log**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.7 Log

Функция: **Log(expr)**

Название: Натуральный логарифм

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log(V(out)), комплексное

Синоним: **ln**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.8 Log10

Функция: **Log10(expr)**

Название: Логарифм по основанию 10

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Log10(V(out)), комплексное

Синоним: **Ig**

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.9 Pow

Функция: **Pow(expr1, expr2)**

Название: Возведение в степень

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

Пример: Pow(V(out), 2), комплексное

Синонимы: **^**, ******

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.10 Pwr

Функция: **Pwr(expr1, expr2)**

Название: Возведение модуля основания в степень

Аргументы: expr1, expr2 — действительное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Pwr(V(out), 2), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.11 PwrS

Функция: **PwrS(expr1, expr2)**

Название: Возведение в степень с сохранением знака

Аргументы: expr1, expr2 — действительное, где expr1, expr2 — выражение

Пример: Pwrs(V(out), 2), действительное

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.9.12 Sqrt

Функция: **Sqrt(expr)**

Название: Корень квадратный

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Раздел: Логарифмы и экспоненты

10.7.10 Остальные функции

10.7.10.1 AbsDelay

Функция: **AbsDelay(expr, t, t_max)**

Название: Ограниченное запаздывание по времени

Аргументы: *expr*, *t*, *t_max* — действительное, где *expr* — выражение, *t* — задержка, *t_max* — максимальная задержка

Пример: $\text{AbsDelay}(V(\text{out}), V(\sin), 10)$

Раздел: Остальные

10.7.10.2 Delay

Функция: **Delay(expr, t)**

Название: Запаздывающее на время *t* значение

Аргументы: *expr*, *t* — действительное, где *expr* — выражение, *t* — запаздывание

Пример: $\text{Delay}(V(\text{out}), 1\text{e-}3)$, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.3 Hypot

Функция: **Hypot(expr1, expr2)**

Название: Длина гипотенузы (корень из суммы квадратов)

Аргументы: *expr1*, *expr2* — комплексное, где *expr1* — выражение (первый катет), *expr2* — выражение (второй катет)

Пример: $\text{Hypot}(2, 3)$, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.4 If

Функция: **If(condition, expr1, expr2)**

Название: Выражение по условию

Аргументы: *condition* — логическое, *expr1*, *expr2* — комплексное, где *condition* — логическое выражение, *expr1* — выражение для истинного результата логического выражения, *expr2* — выражение для ложного результата логического выражения

Пример: $\text{If}(V(\text{out}) > 3.3, V(n1), V(n2))$, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.5 Impulse

Функция: **Impulse(x)**

Название: Импульс с заданной амплитудой и единичной площадью

Аргументы: x — действительное, где x — амплитуда импульса

Пример: `Impulse(3)`, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.6 Limit

Функция: **Limit(expr, x1, x2)**

Название: Ограничение значения выражения

Аргументы: `expr` — комплексное, $x1$, $x2$ — комплексное, где `expr` — выражение, $x1$ — нижний предел действительной и мнимой частей, $x2$ — верхний предел действительной и мнимой частей

Пример: `Limit(V(out), -2, 2)`, комплексное

Раздел: Остальные



Примечание! Границы могут быть заданы и в другом порядке, и даже в смешанном виде действительные и мнимые части, так как они определяются как $[\min(\operatorname{Re}(x1), \operatorname{Re}(x2)), \max(\operatorname{Re}(x1), \operatorname{Re}(x2))]$ — действительная, и $[\min(\operatorname{Im}(x1), \operatorname{Im}(x2)), \max(\operatorname{Im}(x1), \operatorname{Im}(x2))]$ — мнимая.

Например, при `Limit(expr, 5 + i, 8 - i)` границы будут $[5, 8] + i[-1, 1]$

10.7.10.7 Max

Функция: **Max(expr1, expr2)**

Название: Максимум мнимых и действительных частей

Аргументы: `expr1`, `expr2` — комплексное, где `expr1`, `expr2` — выражение

Пример: `Max(V(out1), V(out2))`, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.8 Min

Функция: **Min(expr1, expr2)**

Название: Минимум мнимых и действительных частей

Аргументы: `expr1`, `expr2` — комплексное, где `expr1`, `expr2` — выражение

Пример: `Min(V(out1), V(out2))`, комплексное

Раздел: Остальные

10.7.10.9 Poly

Функция: **Poly(dimension) list factors**

Название: Полином в формате SPICE

Аргументы: dimension — натуральное, list — строковые выражения через запятую, factors — действительные числа через запятую, где dimension — размерность полинома, list — перечень переменных полинома (количество переменных должно быть равно размерности), factors — коэффициенты полинома

Пример: Poly(2) V(net1), V(net2) 0, 1.2, 1.5, 0, 3.4, 5.8, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.10 PWL

Функция: **PWL(expr, x1, y1, ..., xn, yn)**

Название: Кусочно-линейная функция с интерполяцией промежуточных значений

Аргументы: expr, x1, y1, xn, yn — действительное, где expr — выражение, определяющее абсциссу точки, в которой вычисляется функция, x1 — абсцисса первой точки, y1 — ордината первой точки, xn — абсцисса последней точки, yn — ордината последней точки

Пример: PWL(V(out), 0, 1, 2, 4, 3, 10)

Синоним: **table**

Раздел: Остальные

10.7.10.11 Schedule

Функция: **Schedule(x1, y1, ..., xn, yn)**

Название: Кусочно-постоянная функция

Аргументы: x1, y1, xn, yn — действительное, где x1 — абсцисса первой точки, y1 — ордината первой точки, xn — абсцисса последней точки, yn — ордината последней точки

Пример: Schedule(0, 1, 2, 4, 3, 10)

Раздел: Остальные

10.7.10.12 Sgn

Функция: **Sgn(expr)**

Название: Сигнум

Аргументы: *expr* — действительное, где *expr* — выражение

Пример: *Sgn(V(out))*, действительное

Синоним: **signum**

Раздел: Остальные

10.7.10.13 Slew

Функция: **Slew(*expr*, *rise*, *fall*)**

Название: Ограничение наклона выражения

Аргументы: *expr* — действительное, *rise* — неотрицательное, *fall* — неположительное, где *expr* — выражение, *rise* — предельный наклон возрастания (передний фронт), *fall* — предельный наклон убывания (задний фронт)

Пример: *Slew(V(out), 10, 5)*, действительное

Раздел: Остальные

10.7.10.14 Stp

Функция: **Stp(*expr*)**

Название: Единичная ступенька

Аргументы: *expr* — действительное, где *expr* — выражение

Пример: *Stp(V(out))*, действительное

Синоним: **u**

Раздел: Остальные

10.7.10.15 Table

Функция: **Table(*expr*, *x1*, *y1*, ... *xn*, *yn*)**

Название: Кусочно-линейная функция с интерполяцией промежуточных значений

Аргументы: *expr*, *x1*, *y1*, *xn*, *yn* — действительное, где *expr* — выражение, определяющее абсциссу точки, в которой вычисляется функция, *x1* — абсцисса первой точки, *y1* — ордината первой точки, *xn* — абсцисса последней точки, *yn* — ордината последней точки

Пример: *Table(V(out), -10, 0, 10, 1)*, действительное

Синоним: **pwl**

Раздел: Остальные

10.7.10.16 U

Функция: **U(expr)**

Название: Единичная ступенька (функция Хевисайда)

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: U(V(out)), действительное

Синоним: **stp**

Раздел: Остальные

10.7.10.17 URamp

Функция: **URamp(expr)**

Название: Положительная часть выражения

Аргументы: expr — действительное, где expr — выражение

Пример: URamp(V(out), 5), действительное

Раздел: Остальные

10.7.11 Случайные функции

10.7.11.1 AGaussRnd

Функция: **AGaussRnd(mean, sigma_nom, sigma_den)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: mean — действительное, sigma_nom — действительное, sigma_den — действительное, не ноль, где mean — среднее, sigma_nom — числитель стандартного отклонения, sigma_den — знаменатель стандартного отклонения

Пример: AGaussRnd(10, 2, 3), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.2 AUnifRnd

Функция: **AUnifRnd(mean, radius)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: mean — действительное, radius — действительное, где mean — математическое ожидание, radius — радиус диапазона

Пример: AUnifRnd(10, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.3 BimodRnd

Функция: **BimodRnd(mean1, mean2, sigma1, sigma2)**

Название: Бимодально распределённая случайная величина

Аргументы: mean1, mean2, sigma1, sigma2 — действительное, где mean1 — первое математическое ожидание, mean2 — второе математическое ожидание, sigma1 — первое стандартное отклонение, sigma2 — второе стандартное отклонение

Пример: BimodRnd(-10, 10, 5, 5), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.4 BinomRnd

Функция: **BinomRnd(n, p)**

Название: 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

10.7.11.5 DbExpRnd

Функция: **DbExpRnd(mean, base)**

Название: Случайная величина с двойным экспоненциальным распределением

Аргументы: mean — действительное, base — действительное, где mean — математическое ожидание, base — базис стандартного отклонения

Пример: DbExpRnd(1, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.6 ExpRnd

Функция: **ExpRnd(rate)**

Название: Экспоненциально распределённая случайная величина

Аргументы: rate — действительное, не ноль, где rate — интенсивность

Пример: ExpRnd(1), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.7 GammaRnd

Функция: **GammaRnd(k, theta)**

Название: Случайная величина с гамма-распределением

Аргументы: k , θ — действительное, где k — параметр формы, θ — масштабный параметр

Пример: `GammaRnd(3.0, 2.0)`, действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.8 GaussRnd

Функция: **GaussRnd(mean, sigma_nom_factor, sigma_den)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: mean — действительное, sigma_nom_factor — действительное, sigma_den — действительное, не ноль, где mean — среднее, sigma_nom_factor — отношение числителя стандартного отклонения к среднему, sigma_den — знаменатель стандартного отклонения

Пример: `GaussRnd(5, 0.4, 3)`, действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.9 NormalRnd

Функция: **NormalRnd(mean, sigma)**

Название: Нормально распределённая случайная величина

Аргументы: mean , sigma — действительное, где mean — математическое ожидание, sigma — стандартное отклонение

Пример: `NormalRnd(2.5, 1.1)`, действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.10 PoissRnd

Функция: **PoissRnd(mean)**

Название: Распределённая по Пуассону случайная величина

Аргументы: mean — действительное, где mean — математическое ожидание

Пример: `PoissRnd(2.5)`, действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.11 Rnd

Функция: **Rnd()**

Название: Равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: `Rnd()`, действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.12 Rndc

Функция: **Rndc()**

Название: Однократно вычисляемая равномерно распределённая от 0 до 1 случайная величина

Аргументы: —

Пример: Rndc(), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.13 UnifRnd

Функция: **UnifRnd(mean, radius_factor)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: mean, radius_factor — действительное, где mean — середина диапазона, radius_factor — отношение радиуса диапазона к его середине

Пример: UnifRnd(1, 1), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.14 URnd

Функция: **URnd(a, b)**

Название: Равномерно распределённая случайная величина

Аргументы: a, b — действительное, где a — первая граница диапазона, b — вторая граница диапазона

Пример: URnd(1, 10), действительное

Раздел: Случайные

10.7.11.15 WeibRnd

Функция: **WeibRnd(k, lambda)**

Название: Распределённая по Вейбуллу случайная величина

Аргументы: k, lambda — действительное, где k — параметр формы, lambda — масштабный параметр

Пример: WeibRnd(3, 2), действительное

Раздел: Случайные

10.7.12 Тригонометрические функции

10.7.12.1 Acos

Функция: **Acos(expr)**

Название: Арккосинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acos(V(out)), комплексное

Синоним: **arccos**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.2 Acot

Функция: **Acot(expr)**

Название: Арккотангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acot(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccot, arcctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.3 Acsc

Функция: **Acsc(expr)**

Название: Арккосеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Acsc(V(out)), комплексное

Синонимы: **arccsc, arccosec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.4 Asec

Функция: **Asec(expr)**

Название: Арксеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Asec(V(out)), комплексное

Синонимы: **arcsec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.5 Asin

Функция: **Asin(expr)**

Название: Арксинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Asin(V(out)), комплексное

Синонимы: **arcsin**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.6 Atan

Функция: **Atan(expr)**

Название: Арктангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Atan(V(out)), комплексное

Синонимы: **atn, arctan, arctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.7 Atan2

Функция: **Atan2(expr1, expr2)**

Название: Арктангенс отношения expr2/expr1

Аргументы: expr1, expr2 — комплексное, где expr1 — выражение делитель, expr2 — выражение делимое

Пример: Atan2(V(in), V(out)), комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.8 Cos

Функция: **Cos(expr)**

Название: Косинус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: Cos(2*pi*time), комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.9 Cot

Функция: **Cot(expr)**

Название: Котангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Синоним: **ctg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.10 Csc

Функция: **Csc(expr)**

Название: Косеканс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Синоним: **cosec**

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.11 Sec

Функция: **Sec(expr)**

Название: Секанс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

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

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.12 Sin

Функция: **Sin(expr)**

Название: Синус

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Sin}(5 \cdot \pi \cdot \text{time})$, комплексное

Раздел: Тригонометрические

10.7.12.13 Tan

Функция: **Tan(expr)**

Название: Тангенс

Аргументы: expr — комплексное, где expr — выражение

Пример: $\text{Tan}(0.45 \cdot \pi \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot \text{time}))$, комплексное

Синоним: **tg**

Раздел: Тригонометрические

10.7.13 Функциональные преобразования

10.7.13.1 Freq_db

Функция: **Freq_db(signal, w1, db1, deg1, ... wN, dbN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, deg1, wn, dbn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), deg1 — фаза первой точки (градус), ..., wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_db(V(net0001), 98.4, -136.694, 80.848, 99.6, -76.234, 52.998, 100, -6.021, -360.004, 100.4, -76.061, -772.848, 101.6, -136.01, -800.702), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.2 Freq_db_deg

Функция: **Freq_db_deg(signal, w1, db1, deg1, ... wN, dbN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, deg1, wn, dbn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), deg1 — фаза первой точки (градус), ..., wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_db_deg(V(net0001), 98.4, -136.694, 80.848, 99.6, -76.234, 52.998, 100, -6.021, -360.004, 100.4, -76.061, -772.848, 101.6, -136.01, -800.702), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.3 Freq_db_rad

Функция: **Freq_db_rad(signal, w1, db1, rad1, ... wN, dbN, radN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, db1, rad1, wn, dbn, radn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), db1 — коэффициент передачи первой точки (децибел), rad1 — фаза первой точки (радиан), wN — частота последней точки (герц), dbN — коэффициент передачи последней точки (децибел), radN — фаза последней точки (радиан)

Пример: Freq_db_rad(V(net0001), 98.4, -136.694, 1.4110638, 99.6, -76.234, 0.9249896, 100, -6.021, -6.2832551, 100.4, -76.061, -13.488742, 101.6, -136.01, -13.974886), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.4 Freq_ma

Функция: **Freq_ma(signal, w1, mag1, deg1, ... wN, magN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, deg1, wn, magn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (герц), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), deg1 — фаза первой точки (градус), wN — частота последней точки (герц), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_ma(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 80.848, 99.6, 1.543E-04, 52.998, 100, 5.000E-01, -360.004, 100.4, 1.574E-04, -772.848, 101.6, 1.583E-07, 1.583E-07), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.5 Freq_ma_deg

Функция: **Freq_ma_deg(signal, w1, mag1, deg1, ... wN, magN, degN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, deg1, wn, magn, degn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (2π радиан/секунда), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), deg1 — фаза первой точки (градус), wN — частота последней точки (радиан/секунда), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), degN — фаза последней точки (градус)

Пример: Freq_ma_deg(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 80.848, 99.6, 1.543E-04, 52.998, 100, 5.000E-01, -360.004, 100.4, 1.574E-04, -772.848, 101.6, 1.583E-07, 1.583E-07), действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.6 Freq_ma_rad

Функция: **Freq_ma_rad(signal, w1, mag1, rad1, ... wN, magN, radN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: signal — комплексное, w1, mag1, rad1, wn, magn, radn — действительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, w1 — частота первой точки (2π радиан/секунда), mag1 — магнитуда первой точки (единица измерения выражения), rad1 — фаза первой точки (радиан), wN — частота

последней точки (радиан/секунда), magN — коэффициент передачи последней точки (единица измерения выражения), radN — фаза последней точки (радиан)

Пример: `Freq_ma_rad(V(net0001), 98.4, 1.463E-07, 1.4110638, 99.6, 1.543E-04, 0.9249896, 100, 5.000E-01, -6.2832551, 100.4, 1.574E-04, -13.488742, 101.6, 1.583E-07, -13.974886)`, действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.7 Freq_ri

Функция: **Freq_ri(signal, w1, real1, imag1, ... wN, realN, imagN)**

Название: Свёртка с функцией, заданной дискретно в частотной области

Аргументы: `signal` — комплексное, `w1`, `real1`, `imag1`, `wn`, `realn`, `imagn` — действительное, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `w1` — частота первой точки (2π радиан/секунда), `real1` — действительная часть первой точки (единица измерения выражения), `imag1` — мнимая часть первой точки (единица измерения выражения), `wN` — частота последней точки (радиан/секунда), `realN` — действительная часть последней точки (единица измерения выражения), `imagN` — мнимая часть последней точки (единица измерения выражения)

Пример: `freq_ri(V(net0001), 98.4, 23.238n, 144.272n, 99.6, 92.888u, 123.236u, 100, 498.344m, -37.185u, 100.4, 95.088u, -125.472u, 101.6, 25.576n, -156.223n)`, действительное

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.8 Laplace

Функция: **Laplace(signal, function)**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом SimOne

Аргументы: `signal` — комплексное, `function` — строка, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `function` — заданная в s-области функция

Пример: `laplace(V(out), 1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3))`

Синоним: **Laplace_smn**

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.9 Laplace_euler

Функция: **Laplace_euler(signal, function[, min_tolerance])**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом Эйлера

Аргументы: `signal` — действительное, `function` — строка, `min_tolerance` — неотрицательное, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `function` — заданная в s-области функция, `min_tolerance` — порог нулевого значения абсолютного значения сигнала

Значения аргументов по умолчанию: $\text{min_tolerance} = 0.0$

Пример: `Laplace_euler(V(out), 1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3), 1e-3)`

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.10 Laplace_ift

Функция: **Laplace_ift(signal, function[, window = val_w] [, nfft = val_n] [, mtol = val_t] [, maxf | fmax = val_m])**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом Фурье

Аргументы: `signal` — комплексное, `function` — строка, `val_w` — неотрицательное, `val_n` — натуральное, степень 2, `val_t` — неотрицательное, `val_m` — положительное, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `function` — заданная в s-области функция, `val_w` — ширина окна свёртки, `val_n` — число гармоник в преобразовании Фурье, `val_t` — порог нулевого значения абсолютного значения сигнала, `val_m` — максимальная учитываемая частота

Значения аргументов по умолчанию: $\text{mtol} = 0.0$, $\text{nfft} = 8192$, $\text{fmax} = \text{nfft} / (2 * \text{tend})$

Пример: `Laplace_ift(V(out), 1/(1+s), window= 0.005, maxf = 100, nfft = 1024, mtol = 1e-3)`

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.11 Laplace_nd

Функция: **Laplace_nd(signal, {num}, {den})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и знаменателе

Аргументы: `signal` — комплексное, `num`, `den` — действительные через запятую, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `num` — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, `den` — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней

Пример: `Laplace_nd(V(out), {2, 1}, {1, 0.1, 1})` // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.12 Laplace_np

Функция: **Laplace_np(signal, {num}, {pole1[,pole2, ... poleN]})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и полюсами в знаменателе

Аргументы: `signal` — комплексное, `num` — действительные через запятую, `pole1`, `pole2`, `poleN` — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, где `signal` — сигнал или выражение от сигнала, `num` — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, `pole` — полюса в комплексном пространстве

Пример: Laplace_np(V(out), {2, 1}, {-0.05004, 0.9987,-0.05004, -0.9987}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.13 Laplace_smn

Функция: **Laplace_smn(signal, function)**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области, методом SimOne

Аргументы: signal — комплексное, function — строка, где signal — сигнал или выражение от сигнала, function — заданная в s-области функция

Пример: Laplace_smn(V(out),1/(1e-12*s^2-1e-6*s+3))

Синоним: **Laplace**

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.14 Laplace_zd

Функция: **Laplace_zd(signal, {zero1[, zero2, ... zeroN]}, {den})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области нулями в числителе и полиномиальными коэффициентами в знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, zero1, zero2, zeroN — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, den — действительные через запятую, где signal — сигнал или выражение от сигнала, zero — нули в комплексном пространстве, den — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней

Пример: Laplace_zd(V(out), {-2, 0}, {1, 0.1, 1.0}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.15 Laplace_zp

Функция: **Laplace_zp(signal, {zero1[, zero2, ... zeroM]}, {pole1[,pole2, ... poleN]})**

Название: Свёртка сигнала с функцией, заданной в s-области нулями в числителе и полюсами в знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, zero1, zero2, zeroM — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, pole1, pole2, poleN — пары действительных чисел (действительная и мнимая части комплексного полюса), записанные через запятую, где signal — сигнал или выражение от сигнала, zero — нули в комплексном пространстве, pole — полюса в комплексном пространстве

Пример: Laplace_zp(V(out), {-2, 0}, {-0.05004, 0.9987,-0.05004, -0.9987}) // $H(s) = (s + 2) / (s^2 + 0.1s + 1)$

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.13.16 ZTrans

Функция: **ZTrans(signal, {num}, {den} [, window = val_w] [, nfft = val_n] [, mtol = val_t] [, maxf | fmax = val_m])**

Название: Z-преобразование с функцией, заданной в s-области полиномиальными коэффициентами в числителе и знаменателе

Аргументы: signal — комплексное, num, den — действительные через запятую, val_w — неотрицательное, val_n — натуральное, степень 2, val_t — неотрицательное, val_m — положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, num — коэффициенты полинома числителя по возрастанию степеней, den — коэффициенты полинома знаменателя по возрастанию степеней, val_w — ширина окна свёртки, val_n — число гармоник в преобразовании Фурье, val_t — порог нулевого значения

Значения аргументов по умолчанию: mtol = 0.0, nfft = 8192, fmax = nfft / (2*tend)

Пример: ZTrans(V(out), {2, 1}, {1, 0.1, 1}, window= 0.005, maxf = 100, nfft = 1024, mtol = 1e-3)

Раздел: Функциональные преобразования

10.7.14 Фурье анализ

10.7.14.1 Fft

Функция: **Fft(signal [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Быстрое преобразование Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fft(V(net0001), 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ



Примечание! Параметр wnd_list_index может принимать значения от 0 до 23, если значение не определено, то оно принимается равным -1 по умолчанию.

10.7.14.2 Fftn

Функция: **Fftn(signal [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Нормированное по первой гармонике быстрое преобразование Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fftn(V(net0001), 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.3 Fourier

Функция: **Fourier(signal [, nr [, np [, frequency [, wnd_list_index]]]])**

Название: Сумма заданного числа членов ряда Фурье на последнем периоде сигнала для фундаментальной частоты

Аргументы: signal — комплексное, nr, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, nr — число членов ряда Фурье для суммирования, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: nr=np, np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Fourier((V(net0001), 10, 262144, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.4 Harm

Функция: **Harm(signal [, point_num [, np [, frequency [, wnd_list_index]]]])**

Название: Значение заданной гармоники

Аргументы: signal — комплексное, point_num, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, point_num — номер целевой гармоники, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота, wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: point_num=1, np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Harm(v(net0001), 1, 1024, 5)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.5 Thd

Функция: **Thd(signal, [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Коэффициент гармонических искажений

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота (герц), wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Thd(v(net0001), 0 , 1024, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.6 Thd_r

Функция: **Thd_r(signal, [, np [, frequency [, wnd_list_index]]])**

Название: Коэффициент нелинейных искажений

Аргументы: signal — комплексное, np — натуральное, frequency, wnd_list_index — целое положительное, где signal — сигнал или выражение от сигнала, np — количество гармоник преобразования Фурье (кратно степени 2), frequency — фундаментальная частота (герц), wnd_list_index — номер оконной функции

Значения аргументов по умолчанию: np=1024, frequency=1/Период, wnd_list_index=-1

Пример: Thd_r(v(net0001), 0 , 1024, 5, 0)

Раздел: Фурье анализ

10.7.14.7 Оконные функции

Оконные функции и их описание представлены в [Табл. 53](#).

[Таблица 53](#) 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
bartlettthann	9	Модифицированное окно Бартлетта-Хэнна
blackman	10	Окно Блэкмена
nuttall	11	Минимальное 4-членное окно Блэкмана-Харриса, определяемое по Наттолли
blackmannuttall	12	Окно Блэкмена-Нуттала
blackmanharris	13	Окно Блэкмена-Харриса
flattop	14	Взвешенное окно с плоским верхом
lanczos	15	Окно Ланцоша
gauss	16	Окно Гаусса
tukey	17	Окно Тьюки (взвешенный косинус)
plancktaper	18	Конусное окно Планка
kaiser	19	Окно Кайзера
planckbessel	20	Окно Планка-Беллеля
chebyshev	21	Окно Чебышева
poisson	22	Окно Пуассона
hannpoisson	23	Окно Хэнна-Пуассона



Примечание! Значение по умолчанию обрабатывается boxcar.

11 Фильтры

Модуль SimOne позволяет проводить параметрический синтез электронных схем активных и пассивных фильтров. Для этого он содержит свой собственный конструктор фильтров, использующий как классические схемы реализации, так и оригинальные.

Разработка фильтра производится в интерактивном режиме: любые внесенные пользователем изменения требований к характеристике фильтра вызывают автоматический пересчет параметров схемы и перестроение частотных характеристик в окне предварительного просмотра.

11.1 Окно конструктора фильтров

Окно конструктора фильтров вызывается двумя способами:

- Через главное меню: «SimOne» → «Конструктор фильтров...», см. [Рис. 159](#).

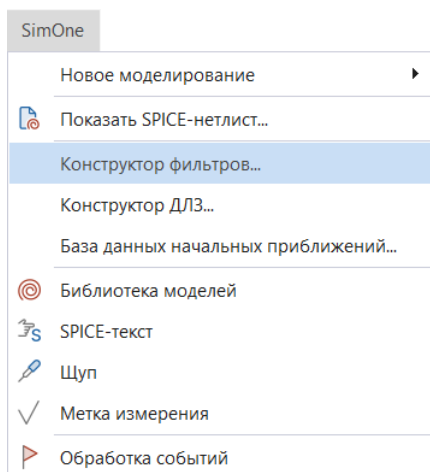


Рис. 159 Вызов конструктора фильтров из главного меню

- Через контекстное меню: «Модели» → «Фильтры» → «Создать фильтр...», см. [Рис. 160](#). Будет создан библиотечный компонент со SPICE-моделью, реализующей заданный фильтр в виде текстовой подсхемы.

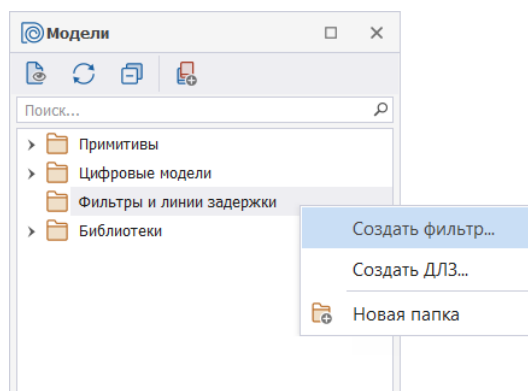


Рис. 160 Вызов конструктора фильтров из контекстного меню панели "Модели"

Пример окна конструктора фильтров приведено на [Рис. 161](#).

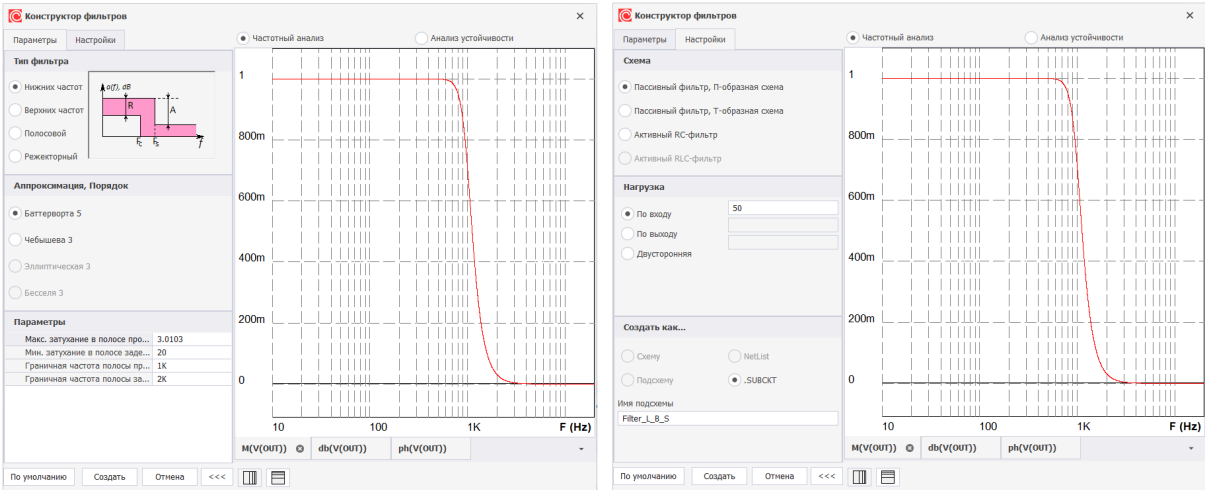
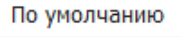
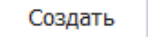
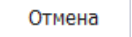
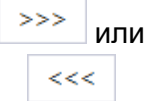




Рис. 161 Пример отображения окна конструктора фильтров

Описание параметров конструктора фильтров приведено в [Табл. 54](#).

[Таблица 54](#) Параметры конструктора фильтров

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
Параметры		
Тип фильтра	Доступны следующие типы фильтров: <ul style="list-style-type: none">• нижних частот• верхних частот• полосовой• режекторный	Нижних частот
Аппроксимация	Тип характеристики аппроксимации. Доступны следующие типы: <ul style="list-style-type: none">• Баттерворта• Чебышева	Баттерворта
Максимальное затухание в полосе пропускания	Определяет амплитуду колебаний АЧХ в полосе пропускания. Актуально для фильтров с характеристикой Чебышева	3дБ
Минимальное затухание в полосе задерживания	Определяет максимальную величину АЧХ в полосе задерживания	20дБ
Граничная частота полосы пропускания	Определяет спад АЧХ по уровню 3дБ. Актуально для фильтров нижних и верхних частот	1 КГц
Граничная частота полосы задерживания	Определяет спад АЧХ до минимального затухания в полосе задерживания.	2 КГц

Наименование	Описание	Значение по умолчанию
	Актуально для фильтров нижних и верхних частот	
Центральная частота	Определяет центральную частоту полосы пропускания. Актуально для полосовых и режекторных фильтров	1 КГц
Ширина полосы пропускания	Определяет спад АЧХ по уровню 3дБ. Актуально для полосовых и режекторных фильтров	100 Гц
Ширина полосы задерживания	Определяет спад АЧХ до минимального затухания в полосе задерживания. Актуально для полосовых и режекторных фильтров	200 Гц
Настройки		
Схема	Вид схемы реализации фильтра: <ul style="list-style-type: none"> • пассивный LC-фильтр П-образная схема • пассивный LC-фильтр Т-образная схема • активный RC-фильтр • активный RLC-фильтр 	Пассивный LC-фильтр П-образная схема
Нагрузка	Тип нагрузки и значение сопротивления: <ul style="list-style-type: none"> • По входу • По выходу • Двусторонняя 	Двусторонняя нагрузка, 50 Ом
Создать как..	Создать схему фильтра в качестве: <ul style="list-style-type: none"> • схемы (в графическом редакторе) • графической подсхемы • NetList (SPICE-текстом) • текстовой подсхемой в SPICE-формате 	Схема
Имя подсхемы	Задаёт имя создаваемой подсхемы	Filter_L_B_S
Кнопки		
	Установить значения по умолчанию	-
	Создать фильтр	-
	Закрыть окно конструктора фильтров без создания фильтра	-
	Развернуть/Свернуть окно предварительного просмотра частотных характеристик фильтра	-
	Логарифмировать ось X	Вкл.
	Логарифмировать ось Y	Выкл.

12 Дисперсионные линии задержки

Delta Design SimOne позволяет проводить параметрический синтез электронных схем дисперсионных линий задержки (далее – ДЛЗ). Для этого он содержит свой собственный конструктор схем, использующий оригинальные алгоритмы синтеза.



Примечание! Работа в конструкторе ДЛЗ производится в интерактивном (динамическом) режиме: любые внесенные пользователем изменения требований к характеристике дисперсионной линии задержки вызывают автоматический пересчет параметров схемы и перестроение частотных характеристик в окне предпросмотра.

12.1 Конструктор ДЛЗ

Окно конструктора фильтров вызывается из главного меню: «SimOne» → «Конструктор ДЛЗ...», см. [Рис. 162](#).

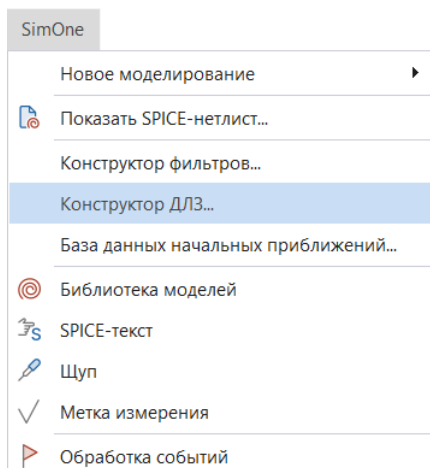



Рис. 162 Окно конструктора ДЛЗ

На [Рис. 163](#) приведено окно конструктора дисперсионных линий задержки. Нажатие кнопки  раскрывает отображение доступных анализов (частотный, переходных процессов и устойчивости).

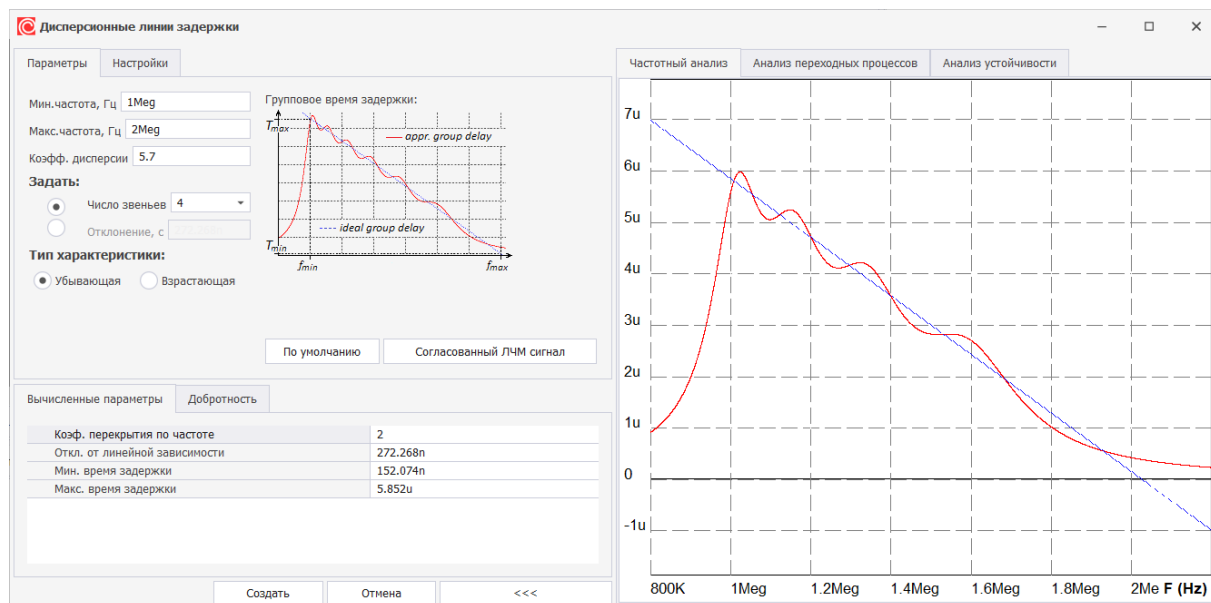


Рис. 163 Ввод параметров в окне конструктора ДЛЗ



Примечание! Вычислительные параметры, отображаемые в нижней части окна конструктора, изменяются динамически при изменении параметров задержки.

Подробнее описание параметров ДЛЗ приведено в [Табл. 55](#).

[Таблица 55](#) Параметры дисперсионных линий задержки

Наименование параметра	Описание	Значение по умолчанию
Задаваемые параметры		
Минимальная частота	Минимальная частота интервала	1MegГц
Максимальная частота	Максимальная частота интервала	2MegГц
Дисперсия	Коэффициент разброса относительно идеального ГВЗ" (для нас идеальное ГВЗ / групповое время задержки / group delay - синим пунктиром на графике). Определяет величину наклона линии группового времени задержки	5.7
Число звеньев	Определяет количество звеньев схемы	4
Отклонение	Величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	19.7u
Тип характеристики	Тип характеристики	убывающая
Расчетные параметры		

Наименование параметра	Описание	Значение по умолчанию
Коэффициент перекрытия	Отношение максимальной частоты к минимальной (F_{max} / F_{min}).	2
Отклонение от линейной зависимости	Сюда выводится величина максимального отклонения характеристики от заданного уровня	
Число звеньев	Количество звеньев синтезируемой схемы	
Минимальное время задержки	Минимальное время задержки синтезируемой схемы	
Максимальное время задержки	Максимальное время задержки синтезируемой схемы	
Добротность	Добротность каждого звена синтезируемой схемы	
Настройки		
Погрешность абсолютная	Максимальное значение абсолютной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	1e-10
Погрешность относительная	Максимальное значение относительной погрешности итерационного алгоритма синтеза схемы	1m
Итерации	Максимальное количество итераций алгоритма синтеза схемы	10
Создать как...	Создать схему фильтра в качестве: <ul style="list-style-type: none"> схемы (в графическом редакторе); графической подсхемы (* в разработке); NetList (SPICE-текстом); текстовой подсхемы в SPICE-формате (* в разработке). 	
Имя подсхемы (* в разработке)	Задаёт имя создаваемой подсхемы	
Базовая ёмкость	Значение базовой ёмкости, определяющее величины резисторов и ёмкостей схемы	1nФ
Кнопки		
<input type="button" value="По умолчанию"/>	Установить значения параметров по умолчанию	
<input type="button" value="Создать"/>	Создать фильтр	

Наименование параметра	Описание	Значение по умолчанию
Отмена	Заккрыть окно конструктора без создания фильтра	
Согласованный ЛЧМ сигнал	Окно задания параметров согласованного линейно частотно-модулированного сигнала	

В Delta Design SimOne при работе с дисперсионными линиями задержки доступен функционал по расширению базы данных начальных приближений дисперсии.

Окно выбора параметров и запуска формирования базы данных начальных приближений вызывается из главного меню: «SimOne» → «База данных начальных приближений...», [Рис. 164](#).

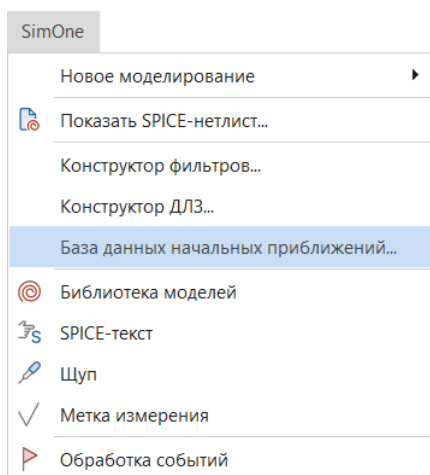


Рис. 164 Вызов окна ввода параметров приближений ограничений для дисперсии



Примечание! Вызов окна задания параметров для формирования базы данных начальных приближений доступен только при активном редакторе схемы.

На [Рис. 165](#) приведено окно формирования базы данных начальных приближений.

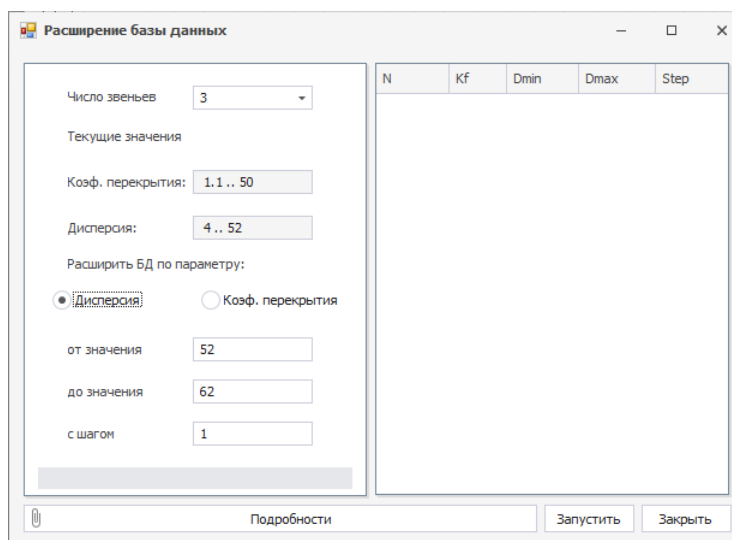


Рис. 165 Окно формирования базы данных начальных приближений

Подробнее описание параметров, задаваемых при формировании базы данных, приведено в [Табл. 56](#).

[Таблица 56](#) Параметры для формирования базы данных начальных приближений

Наименование параметра	Значение по умолчанию
Число звеньев	3
Текущие значения	
Кэффициент перекрытия (Отношение максимальной частоты к минимальной (F_{max} / F_{min}))	от 1.1 до 50
Дисперсия (Определяет величину наклона линии группового времени задержки)	от 4 до 52
Расширить базу данных по параметру: Дисперсия	
от значения	52
до значения	62
с шагом	1
Расширить базу данных по параметру: Кэффициент перекрытия	
от значения	50
до значения	51

Наименование параметра	Значение по умолчанию
с шагом	100m

13 Дополнительные возможности

13.1 Щуп

Щуп представляет собой графический объект и является альтернативным способом задания графиков как результатов моделирования без ручного ввода их параметров. Удобство также состоит в том, что графики добавятся сразу во все виды симуляций, которые их поддерживают:

- статический анализ (DC);
- анализ переходных процессов (TR);
- анализ периодических режимов (PSS);
- частотный анализ (AC).

Щуп может устанавливаться либо на участок цепи и измерять напряжение, либо на компонент схемы и измерять один из параметров на выбор.

Вызов инструмента «Щуп» осуществляется из главного меню, раздел «SimOne», см. [Рис. 166](#).

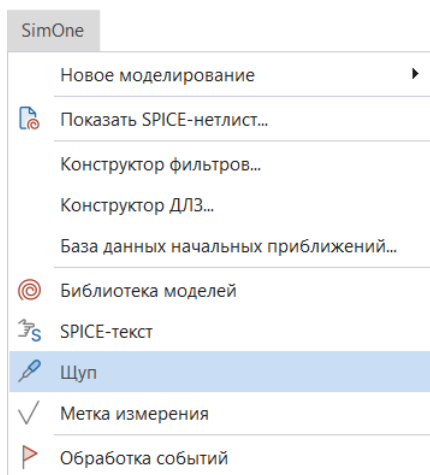


Рис. 166 Вызов инструмента

13.1.1 Работа инструмента

Для размещения щупа выполните следующие действия:



Пример! Применение щупа на примере из раздела "Моделирование" BAT.

1. Откройте схему и разместите два щупа: один - на индуктивность L1, второй - на цепь NET0002, см. [Рис. 167](#):

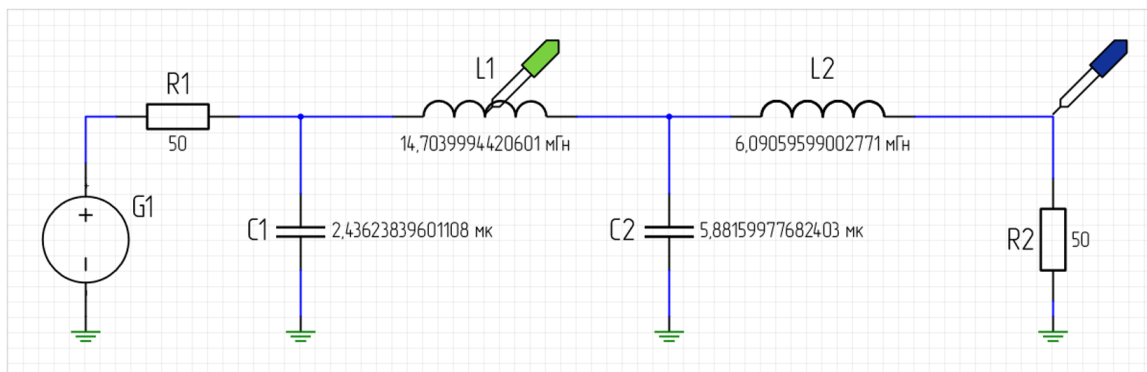


Рис. 167 Размещение щупов

На индуктивности L1 измерьте, например, ток I, см. [Рис. 168](#):

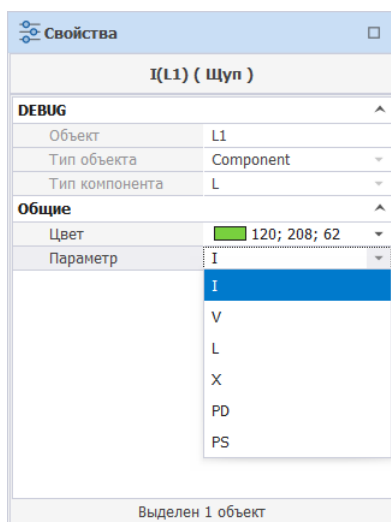


Рис. 168 Размещение щупа на индуктивности L1

А на цепи NET0002 - напряжение U, см. [Рис. 169](#):

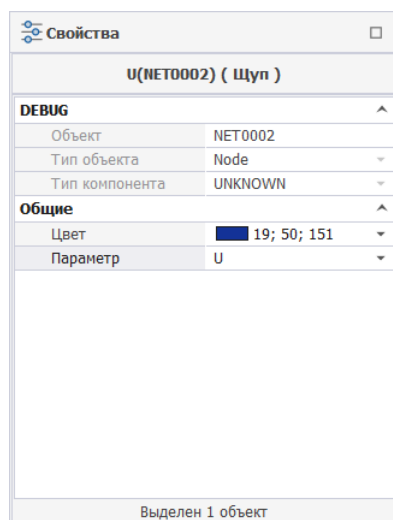


Рис. 169 Размещение щупа на цепи NET0002

- Откройте параметры частотного анализа sim_ac1, уже созданного в данном примере. В списке выражений в группе «Щупы» отображены заданные выражения, см. [Рис. 170](#).

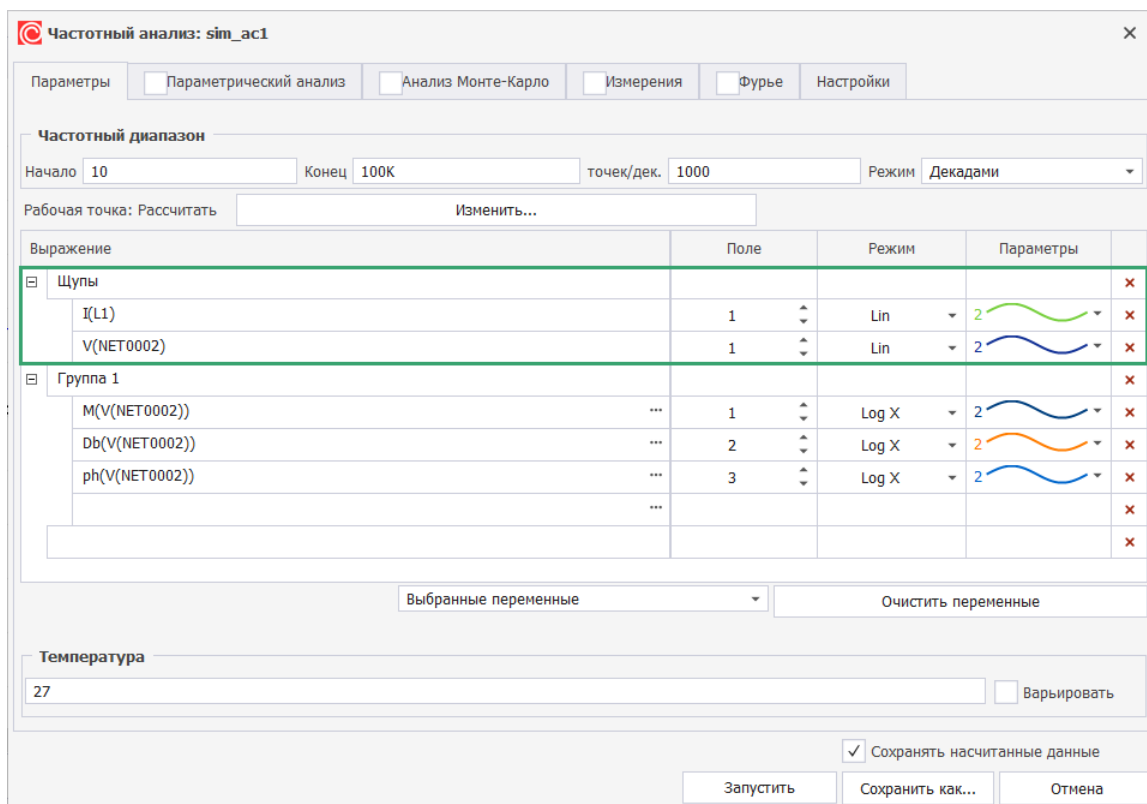


Рис. 170 Параметры частотного анализа sim_ac1

- На вкладке «Щупы» будут отображены нужные графики результатов моделирования I(L1) и V(NET0002), см. [Рис. 171](#).

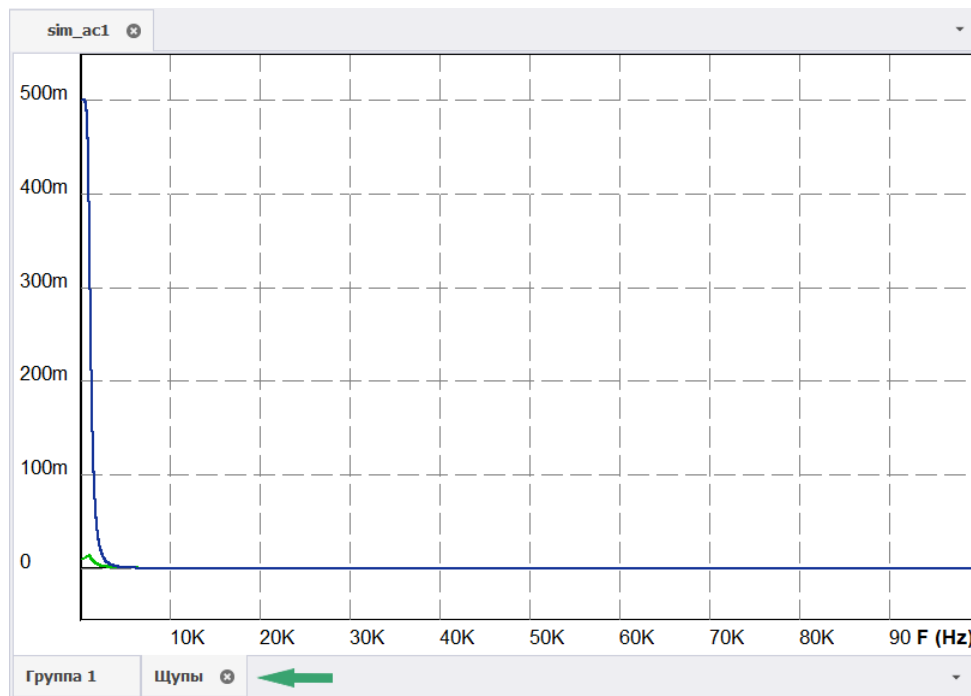


Рис. 171 Отображение графиков результатов моделирования

Имеется возможность создать любое моделирование из перечисленных выше. При этом на вкладке «Параметры» заданные выражения попадают в список выражений в группу «Щупы».

13.2 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, раздел «SimOne», см. [Рис. 172](#).

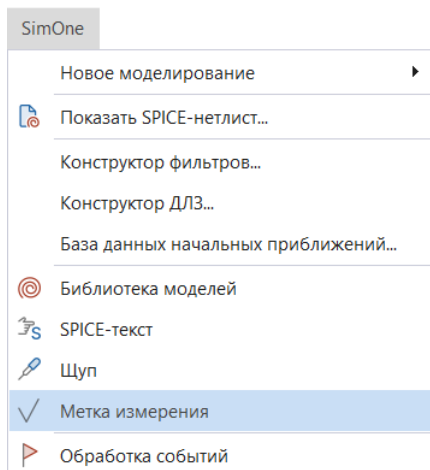


Рис. 172 Вызов инструмента

13.2.1 Работа инструмента

Для размещения метки измерения выполните следующие действия:



Пример! Применение меток измерения на примере из раздела "Моделирование" Split Time-Constant RC Circuit (RC).

1. Откройте схему и добавьте несколько меток измерения, см. [Рис. 173](#).

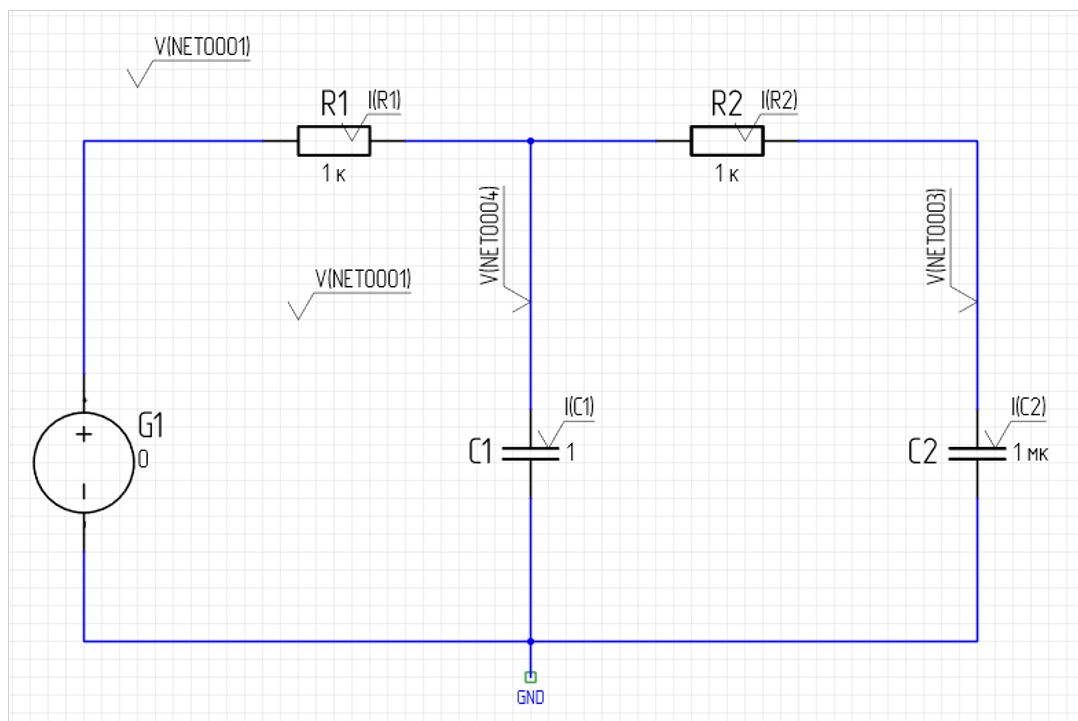


Рис. 173 Добавление меток измерения на схему

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. 174](#). Две метки были добавлены на схему без привязки к компоненту или цепи. По умолчанию они будут отображать значение потенциала узла цепи NET0001.

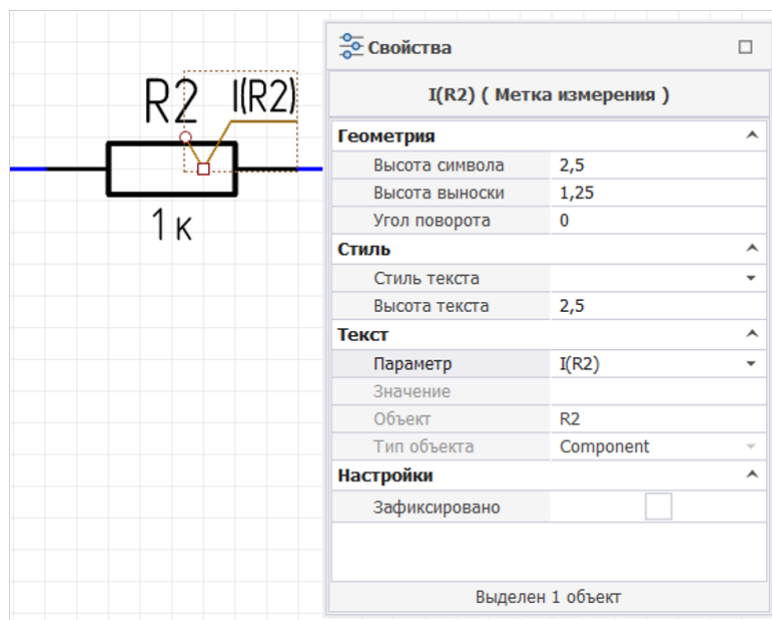


Рис. 174 Отображение параметра метки измерения

2. Измените у одной из меток, размещенных без привязки к цепи и/или компоненту, в панели «Свойства» параметр с заданного по умолчанию на I(G1), чтобы после запуска моделирования увидеть значение тока на батарее G1, см. [Рис. 175](#).

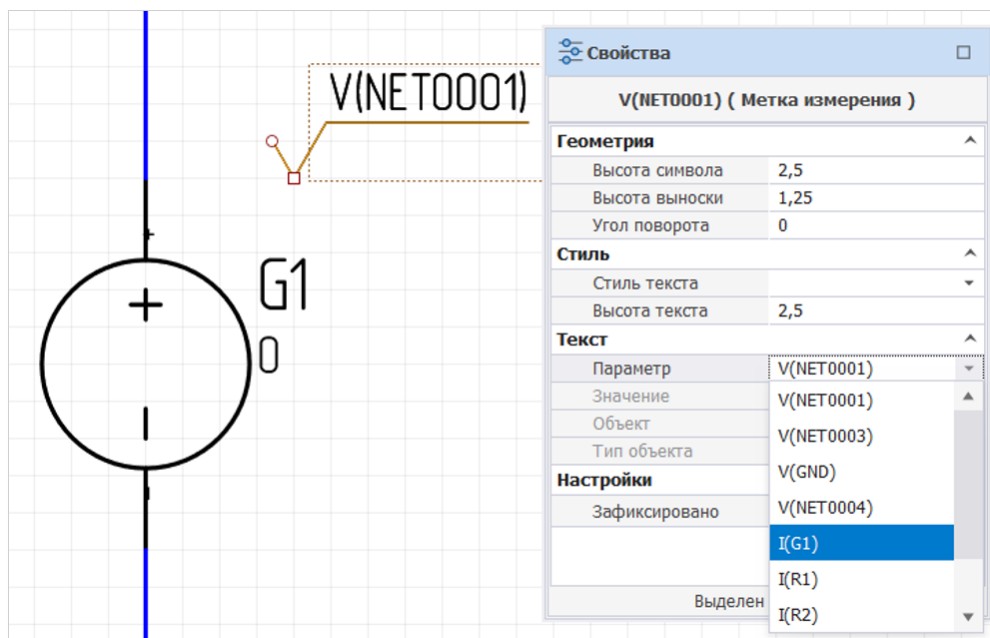


Рис. 175 Выбор метки измерения для замены параметра

Значение параметра метки будет изменено на выбранное из списка в панели «Свойства», см. [Рис. 176](#).

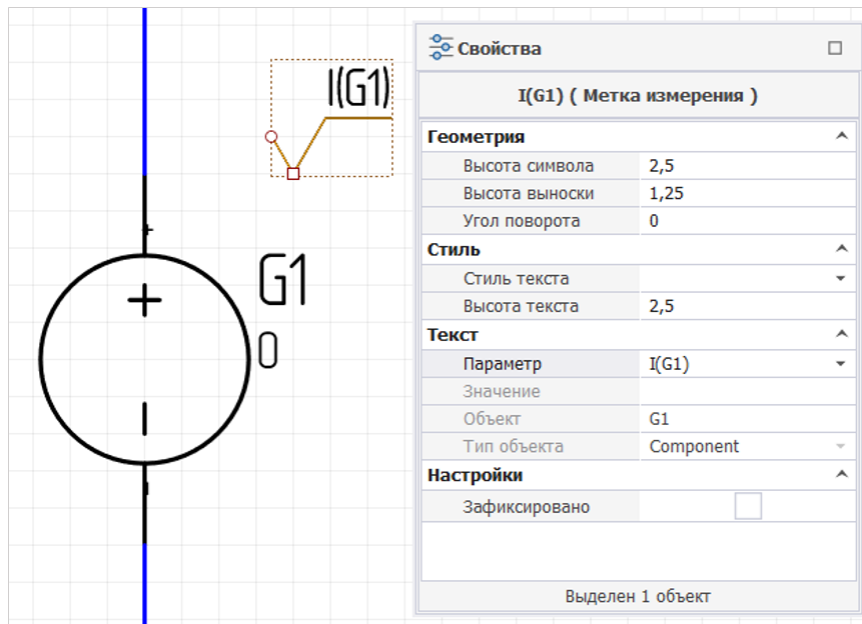


Рис. 176 Изменение параметра метки

3. 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. 177](#).

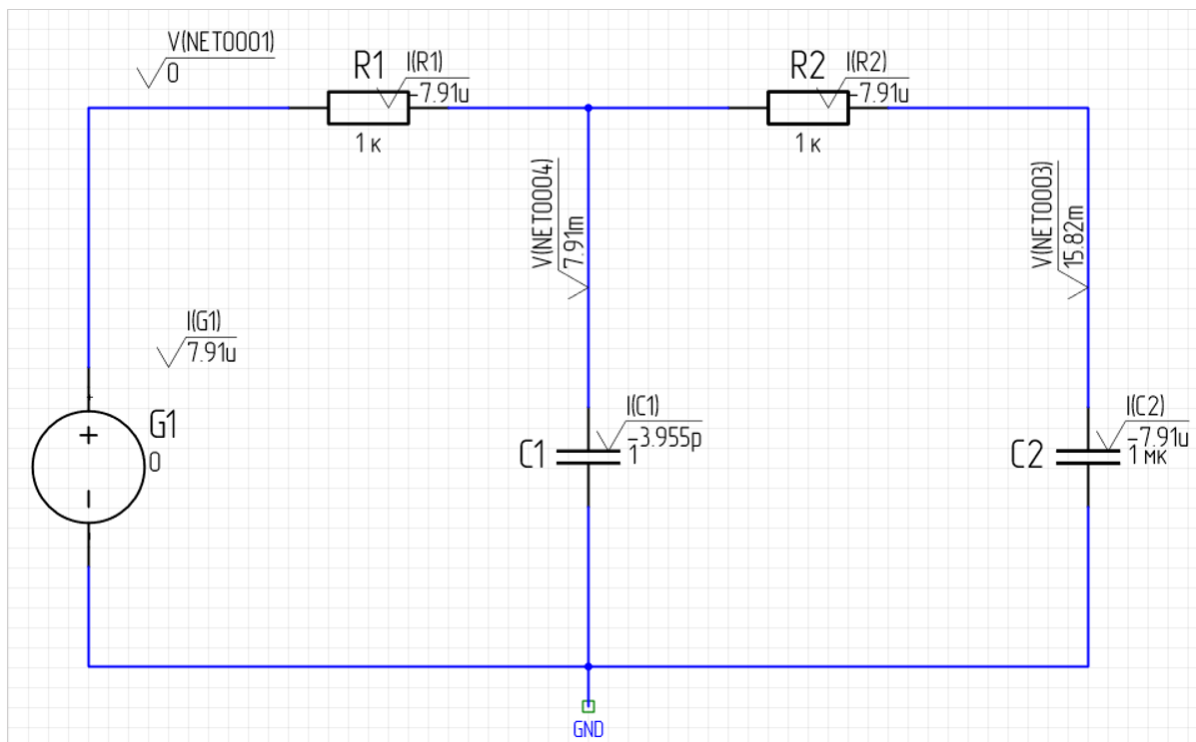


Рис. 177 Отображение рассчитанных значений параметров

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. 178](#).

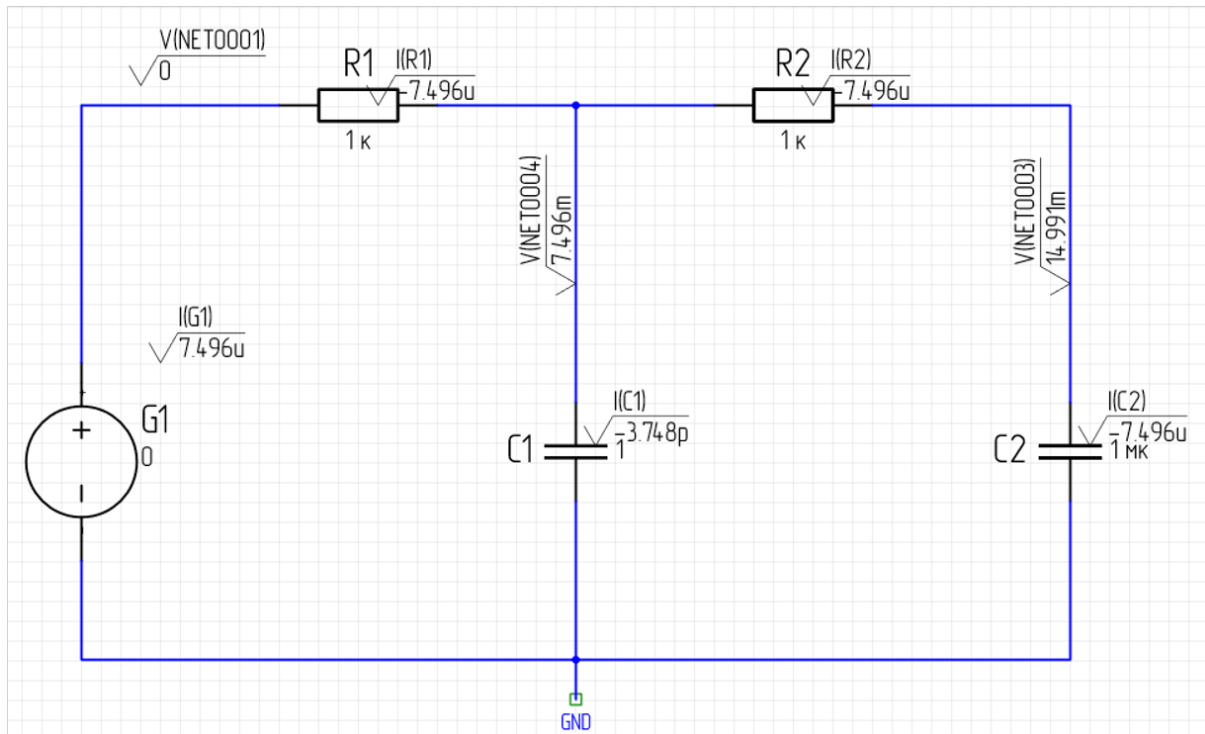


Рис. 178 Отображение рассчитанных значений параметров

5. Сохраните схему перед закрытием.

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 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.

13.3 Текущие значения

Delta Design SimOne в момент приостановки расчета схемы и/или его окончания для последнего значения независимой переменной рассчитывает:

- переменные состояния схемы (напряжения и токи схемы, с помощью которых определяется состояние схемы в любой заданный момент времени);
- все выходные параметры всех компонентов схемы.

Просмотр всех вышеуказанных значений доступен в панели «Текущие значения».



Примечание! Вызов панели доступен при активном окне симуляции. Отображаемые в панели параметры относятся именно к активной (открытой) симуляции.

Панель «Текущие значения» вызывается из главного меню: «SimOne» → «Текущие значения», см. [Рис. 179](#).

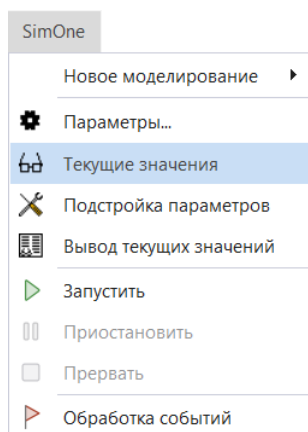


Рис. 179 Вызов панели



Примечание! В окне "Текущие значения" 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.

13.3.1 Работа с панелью

В случае если производится многовариантный расчет схемы, доступен просмотр ее состояния для различных расчетных потоков в момент приостановки расчета.

Для активации отображения текущих значений:



Пример! Использование инструмента «Текущие значения» на примере из раздела "Моделирование" sel.

1. Откройте схему проекта моделирования sel.
2. Разместите SPICE-текст, см. [Рис. 180](#).

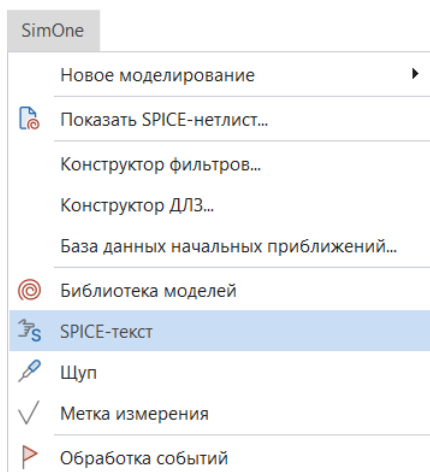


Рис. 180 Размещение
SPICE-текста

3. С помощью команды `.PARAM` задайте глобальный параметр, к примеру, `AMPL`, который в дальнейшем можно будет использовать в выражениях для задания амплитуды сигнала, см. [Рис. 181](#).

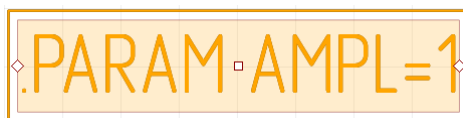


Рис. 181 Задание параметра

1. Запустите частотный анализ `sim_ac1`, уже созданный в данном примере, выбрав его в узле «Расчеты и анализы».
2. После выполнения моделирования откройте панель «Текущие значения» из главного меню. В панели будут отображены рассчитанные переменные состояния схемы, все входные и выходные параметры всех компонентов схемы и введенный нами глобальный параметр `AMPL=1`, см. [Рис. 182](#).

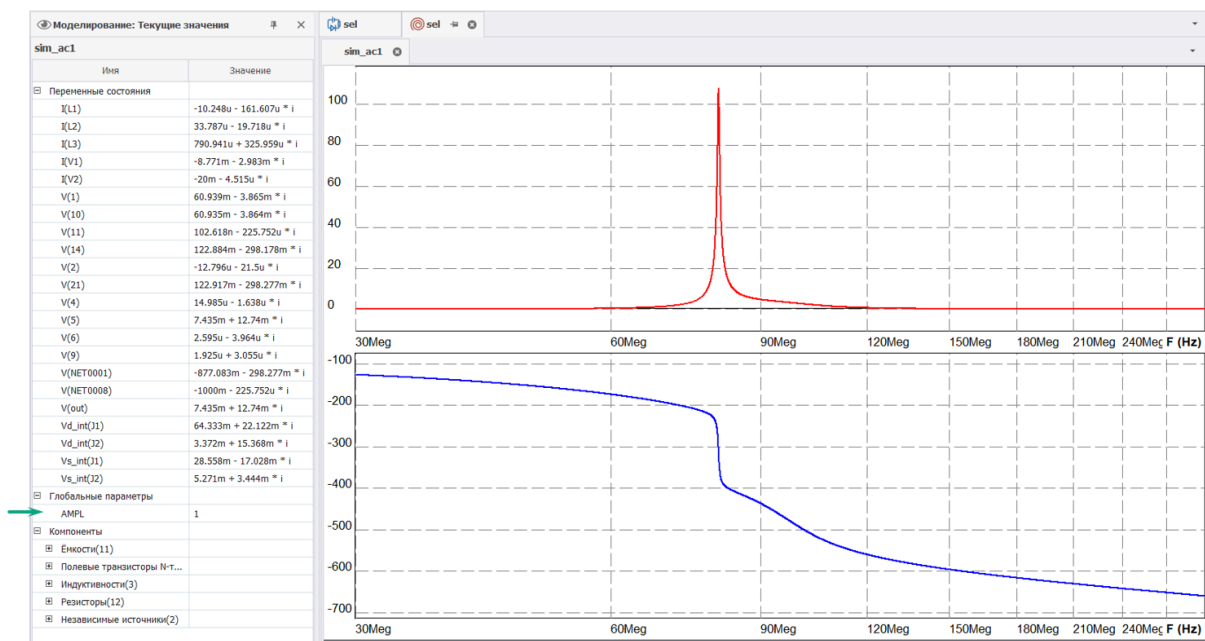


Рис. 182 Отображение текущих значений, в том числе заданного с помощью глобальной команды параметра

1. Запустите многовариантный (параметрический) анализ переходных процессов `sim_trans1`, также уже созданный в данном примере, выбрав его в узле «Расчеты и анализы», с варьированием по параметру `R` элемента схемы `R7`, предварительно выставив шаг расчета равным `1e-5`, см. [Рис. 183](#).

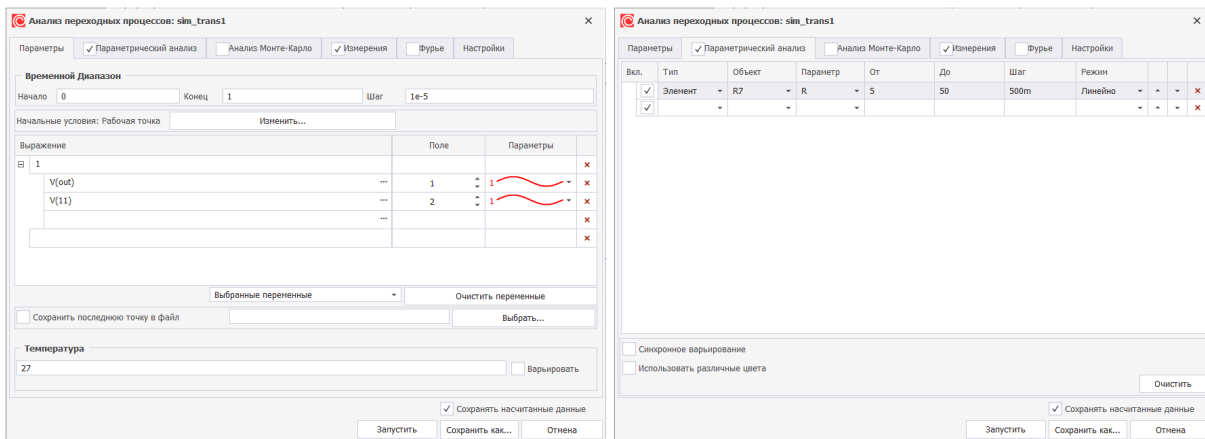


Рис. 183 Ввод параметров моделирования

2. Приостановите выполнение моделирования, см. [Рис. 184](#), и откройте панель «Текущие значения».

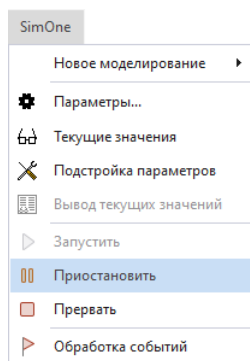


Рис. 184
Управление
процессом
моделирования

Приостановив его выполнение и воспользовавшись выпадающим списком в верхнем правом углу окна «Текущие значения», см. [Рис. 185](#), можно увидеть состояние схемы для различных расчетных потоков (в зависимости от варьируемого параметра R элемента схемы R7 и шага его варьирования 500 Ом).

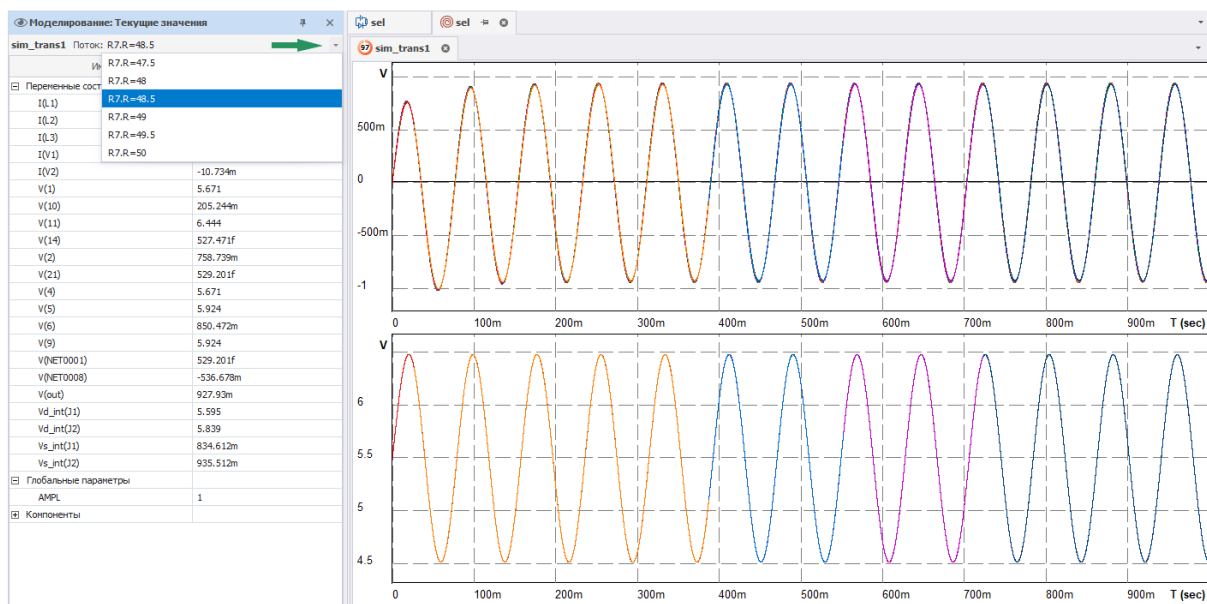


Рис. 185 Пример отображения текущих значений

13.4 Вывод текущих значений

Панель «Вывод текущих значений» – это текстовый документ, описывающий состояние схемы по завершении симуляции.



Примечание!

Вывод текущих значений доступен для всех видов моделирования, за исключением Анализа Чувствительности, Анализа Монте-Карло и Оптимизации.

В случае если моделирование осуществляет параметрический анализ, вывод текущих значений осуществляется для последней точки вычислений.



Важно! Вывод текущих значений доступен только для симуляций, завершивших свою работу.

Для вызова панели «Вывод текущих значений»: в главном меню перейдите в раздел «SimOne» → «Вывод текущих значений», см. [Рис. 186](#).

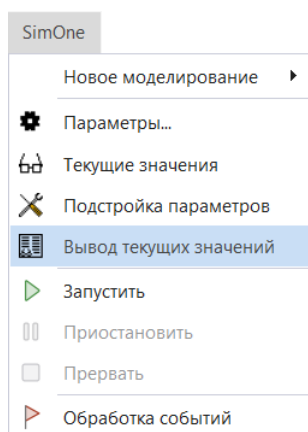


Рис. 186 Вызов панели вывода текущих значений

Пример отображения вывода текущих значений на примере из раздела "Моделирование" ВАР, см. [Рис. 187](#).

sim_acl

```
*****
**  SimOne ver 3.2.1
**  Вывод текущих значений
**  Схема:                                     \SimOne\BAT
**  Моделирование: Частотный анализ, sim_acl
**  Thu Dec 14 15:08:36 2023
*****

=====Входные данные=====

Ёмкости:
  C      C_MULT  VC1    VC2      TC1      TC2      T_ABS      T_MEASURED  T_REL_GLOBAL  T_REL_LOCAL
C1      2.436u   1      0      0      0      0      undefined  undefined    undefined    undefined
C2      5.882u   1      0      0      0      0      undefined  undefined    undefined    undefined

Индуктивности:
  L      L_MULT  R      IL1    IL2      TC1      TC2      T_ABS      T_MEASURED  T_REL_LOCAL
L2      6.091m   1      0      0      0      0      0      undefined  undefined    undefined
L1      14.704m  1      0      0      0      0      0      undefined  undefined    undefined

Независимые источники:
  DC      R
V1      0      0      SIGNAL: AC      AMP=1      PH=0

<----->
```

Группа 1

Щупы

data

Рис. 187 Пример отображения вывода текущих значений

13.5 Обработка событий

Delta Design SimOne позволяет отслеживать различные события, которые происходят в процессе моделирования схемы.

Для этого используется панель «Обработка событий», позволяющая задавать типы событий и виды действия при наступлении этих событий.



Примечание! Панель «Обработка событий» контекстно зависима. Панель вызывается как до запуска моделирования для схемы из проекта моделирования или проекта платы (то есть при открытой схеме проекта платы), так и после (при активном окне результатов моделирования).

Панель «Обработка событий» вызывается из главного меню: «SimOne» → «Обработка событий», см. [Рис. 188](#).

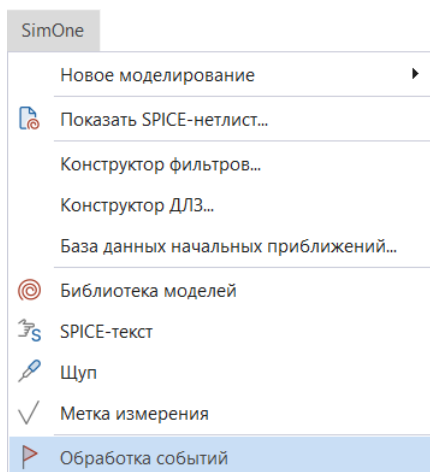


Рис. 188 Вызов панели

Панель «Обработка событий» содержит поля, см. [Рис. 189](#).

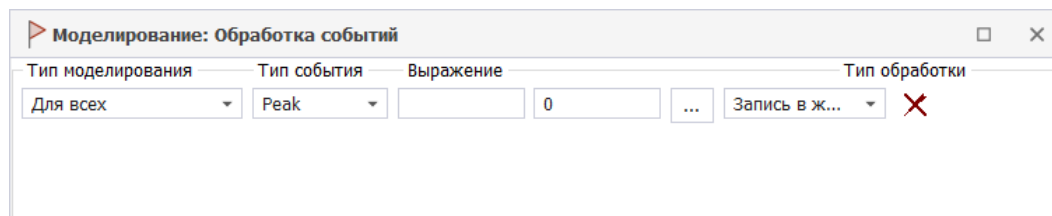


Рис. 189 Панель «Обработка событий»

- «Тип моделирования» – обработка событий доступна для двух типов моделирования (совместно и по отдельности):
 - Анализ переходных процессов – TR;
 - Анализ периодических режимов – PSS.
- «Тип события»:
 - Peak – Абсцисса локального максимума выражения;
 - Valley – Абсцисса локального минимума выражения;
 - Level – Пересечение выражением указанного значения y_{fixed} , при этом выбирается тип пересечения: cross – любое пересечение, fall – пересечение сверху-вниз и rise – пересечение снизу-вверх;
 - Slope – Величина наклона выражения в точке, равная slope;
 - Inflection – Точка перегиба выражения;
 - Condition – Условное выражение.

- «Выражение» может включать в себя потенциалы узлов, падения напряжений, токи элементов и пр., а также математические выражения от них;
- «Тип обработки» – доступны следующие действия:
 - Запись в журнал – событие фиксируется записью в панель «Список ошибок»;
 - Пауза – моделирование приостанавливается, при этом в случае многопоточного расчета приостанавливаются все потоки запуска, даже если событие наступило только для одного из потоков;
 - Остановка моделирования – моделирование полностью прекращается.



Важно! Панель «Обработка событий» запоминает введенные параметры из предыдущей сессии работы с панелью даже после ее переоткрытия.

13.5.1 Работа с панелью



Пример! Обработка события на примере из раздела "Моделирование" ASTABLE с записью в журнал.

Для вызова панели «Обработка событий»:

1. Откройте схему проекта моделирования ASTABLE.
2. Вызовите панель из главного меню → «SimOne» → «Обработка событий».
3. Создайте событие Peak (абсцисса локального максимума), см. [Рис. 190](#).

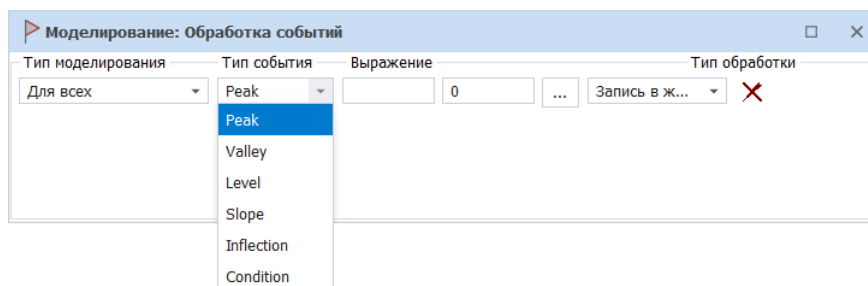


Рис. 190 Выбор типа события

4. Выберите Выражение V(NET0004), см. [Рис. 191](#)

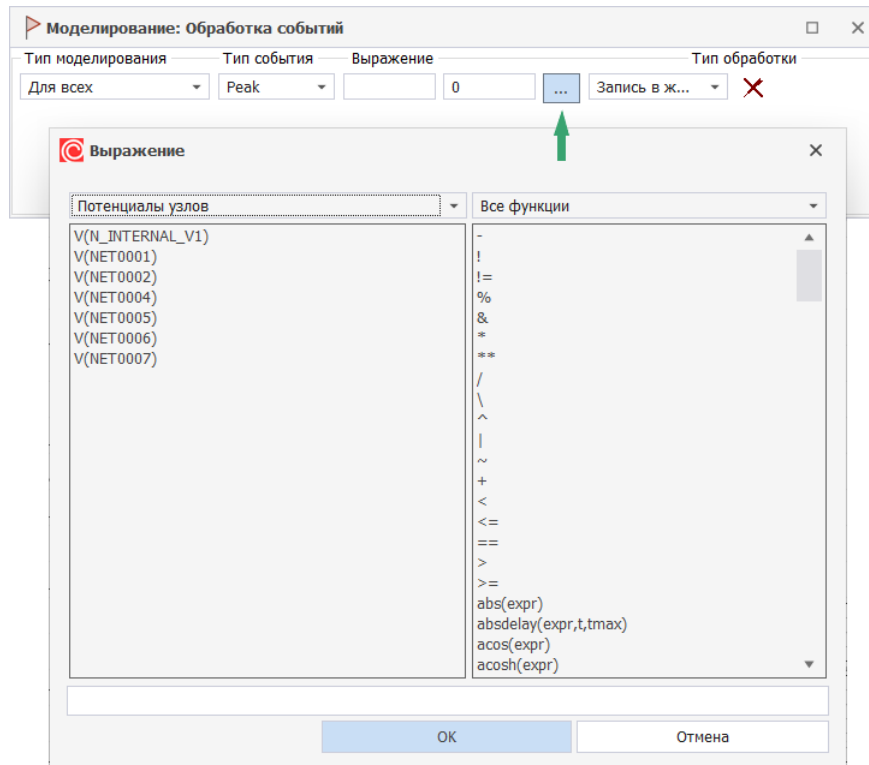


Рис. 191 Выбор выражения

5. Тип обработки укажите «Запись в журнал».

Панель «Обработка событий» можно закрыть, все введенные параметры по умолчанию сохранятся.

6. Откройте параметры анализа переходных процессов **euler** данного проекта и для проверки результата задайте соответствующие измерения, см. [Рис. 192](#), нажмите «Запустить».

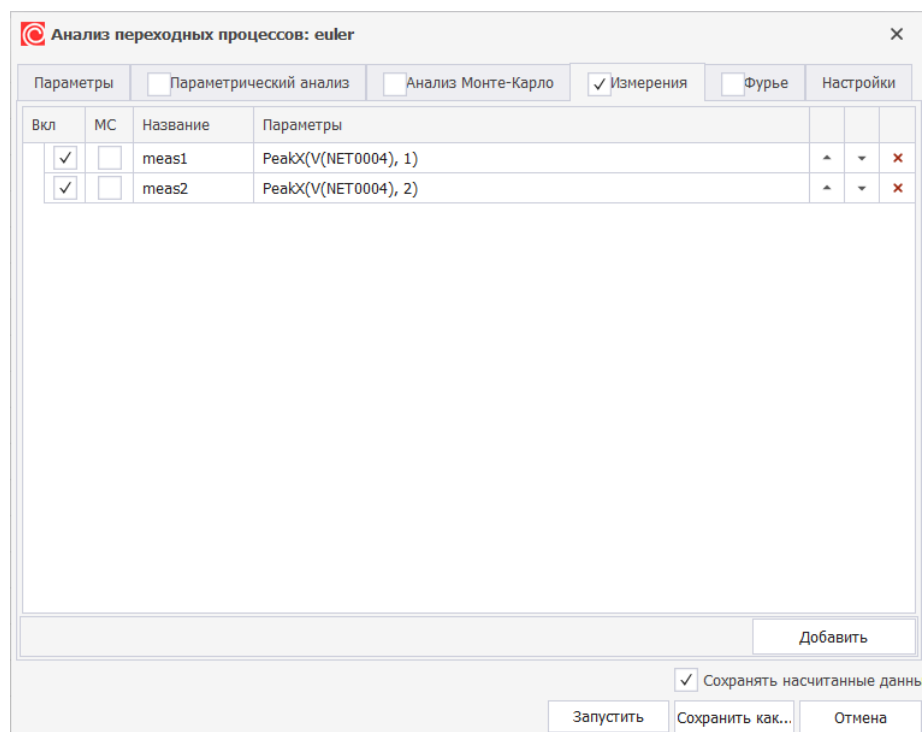


Рис. 192 Ввод параметров измерений

В панели «Журналы» будут выгружены данные о выполненном моделировании, см. [Рис. 193](#).

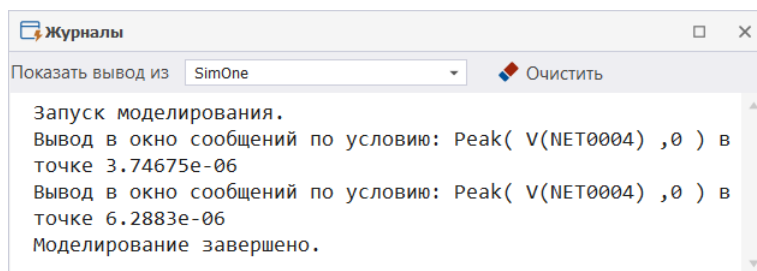


Рис. 193 Вывод сведений о процессе моделирования

Выполняем сравнение полученных данных: откройте панель измерений из главного меню → «Графики» → «Измерения», см. [Рис. 194](#), и сравните параметры с теми, что были получены ранее (панель «Журналы»).

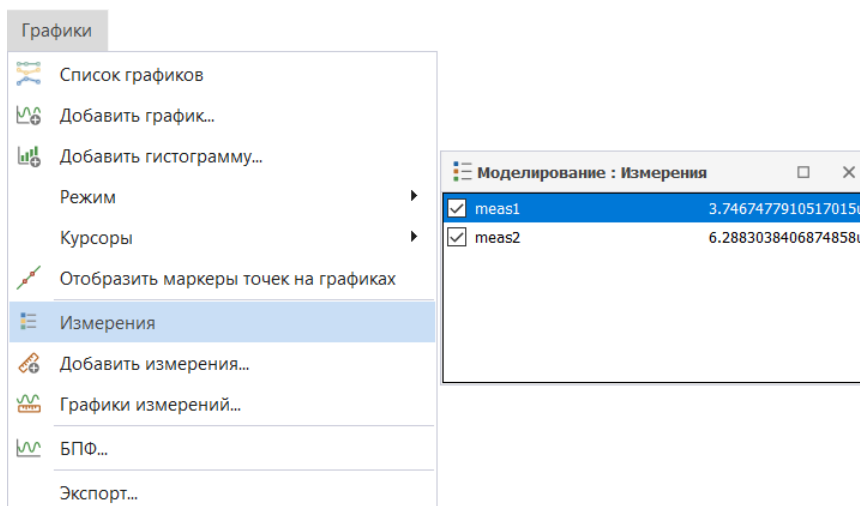


Рис. 194 Вызов панели измерений и сравнение полученных результатов

При необходимости измените тип обработки события в панели «Обработка событий» на «Пауза» и просмотрите интересующие значения измерений в точке наступления события с помощью панели «[Текущие значения](#)».

Нажатие кнопки «Запустить» в панели «SimOne» продолжит процесс моделирования до следующей точки наступления заданного события либо до завершения анализа, см..[Рис. 195](#).

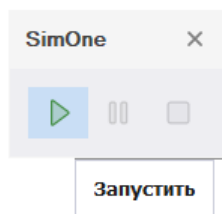


Рис. 195 Запустить моделирование

Примечание!



Для динамического просмотра текущих значений переменных состояния и параметров компонентов откройте панель «[Текущие значения](#)».

Также просмотр значений после завершения анализа возможен с помощью инструмента «[Вывод текущих значений](#)», который выводит значения переменных состояния и параметров компонентов в рабочую область в текстовом виде.

Изменение типа обработки события в панели «Обработка событий» на «Остановка моделирования» и запуск выбранного анализа выполнит

моделирование, которое будет прервано (завершено) в первой же точке наступления события.

14 Приложение. Модели электронных компонентов. SPICE-формат.

В данном приложении приводится синтаксис описания компонентов, которые могут быть использованы при создании пользовательских SPICE-моделей. Модели перечислены в алфавитном порядке по возрастанию префикса. Формат SPICE регистро-независимый.

14.1 А. 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:

B<имя> <плюс> <минус> I=<выражение> [[LAPLACE=<выражение>]
 [METHOD=<simone>] [WINDOW=<time>] [NFFT=<number>] [MTOL=<number>]]

<выражение> может включать в себя:

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

14.2 В. Арсенид-галлиевый полевой транзистор

SPICE-формат

Синтаксис:

B<имя> <drain> <gate> <source> <model name> [<AREA>] + [OFF]
[IC=<vds>[,vgs]]

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

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

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

Синтаксис описания модели

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

Примеры:

B1 1 2 3 B1

B2 4 5 6 B2 2

B3 4 5 6 GASFET_DEFAULT_MODEL

.MODEL B1 GASFET (VTO=-2 .0 LAMBDA=1m)

.MODEL B2 GASFET (ALPHA=2.5 BETA=0.1m)

.MODEL GASFET_DEFAULT_MODEL GASFET (LEVEL=1)

Нетлист модели со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL GASFET_DEFAULT_MODEL GASFET(ACGAM=0 AF=1 ALPHA=2
ALPHATCE=0 B=0.3 BETA=0.1 BETATCE=0 BTRK=0 CDS=0 CGD=0 CGDTCE=0
CGS=0 CGSTCE=0 DELTA=0 DVT=0 DVTT=0 EG=1.11 FC=0.5 GAMMA=0

GAMMATC=0 HFETA=0 HFE1=0 HFE2=0 HFGAM=0 HFG1=0 HFG2=0 IBD=0
IS=1e-14 KF=0 LAMBDA=0 LEVEL=1 LFGAM=0 LFG1=0 LFG2=0 M=0.5 MVST=0
MXI=0 N=1 ND=0 NG=0 P=2 Q=2 RD=0 RG=0 RS=0 TAU=0 TAUD=0 TAUG=0
TRD1=0 TRG1=0 TRS1=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=undefined VBD=1 VBI=1 VBITC=0.5
VDELTA=0.2 VMAX=0.5 VST=0 VTO=-2.5 VTOTC=0 XC=0 XL=1000 XTI=0 Z=0.5)

Подробнее описание поддерживаемых моделей приведено в [Табл. 57](#).

[Таблица 57](#) 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. 58](#).

[Таблица 58](#) Параметры модели арсенид-галлиевого полевого транзистора:

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

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
CGD	Ёмкость затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф
RG	Объёмное сопротивление области затвора	0	Ом
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RS	Объёмное сопротивление области истока	0	Ом
CGD	Ёмкость затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф
CDS	Ёмкость сток-исток фиксированная	0	Ф
DELTA	Параметр выходной обратной связи (LEVEL=3,4)	0	(AB) ⁻¹
EG	Ширина запрещенной зоны	1,11	эВ
FC	Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещенного р-п-перехода затвора	0,5	-
GAMMA	Параметр статической обратной связи (LEVEL=3,5)	0	-
IS	Ток насыщения р-п-перехода затвор-канал	1E-14	А
KF	Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума	0	-
LAMBDA	Параметр модуляции длины канала (LEVEL=1,2)	0	1/B
LEVEL	Тип модели: 1 – модель Куртиса, 2 – модель Рэйтеона, 3 – TOM – модель TriQuint, 4 – модель Паркера-Скеллерна, 5 – TOM-2 – модель TriQuint	1	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
M	Коэффициент плавности р-n-перехода затвора (LEVEL=1..3)	0,5	-
N	Коэффициент эмиссии р-n-перехода затвор-канал	1	-
Q	Показатель степени (LEVEL=3)	2	-
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
RG	Объёмное сопротивление области затвора	0	Ом
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом
TAU	Время переноса носителей заряда (LEVEL=1,..3,5)	0	с
TRD1	Линейный температурный коэффициент RD	0	1/°C
TRG1	Линейный температурный коэффициент RG	0	1/°C
TRS1	Линейный температурный коэффициент RS	0	1/°C
T_ABS	Абсолютная температура	-	°C
T_MEASURED	Температура измерения	-	°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	°C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа	-	°C
VBI	Контактная разность потенциалов р-n-перехода затвора	1	В
VDELTA	Напряжение, входящее в выражения для ёмкостей переходов (LEVEL=2,3)	0,2	В
VMAX	Максимальное напряжение, входящее в выражения для ёмкостей переходов (LEVEL=2, 3)	0,5	В

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VTO	Барьерный потенциал перехода Шоттки	-2,5	В
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	В/°C
XTI	Температурный коэффициент тока IS	0	-
Дополнительные параметры для модели уровня LEVEL=4			
ACGAM	Коэффициент модуляции ёмкости	0	-
HFETA	Параметр обратной связи напряжения VGS на высокой частоте	0	-
HFE1	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGS	0	1/В
HFE2	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGD	0	1/В
HFGAM	Параметр обратной связи напряжения VGD на высокой частоте	0	-
HFG1	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGS	0	1/В
HFG2	Коэффициент модуляции HFGAM напряжением VGD	0	1/В
IBD	Ток пробоя перехода затвора	0	А
LFGAM	Параметр обратной связи на низкой частоте	0	-
LFG1	Коэффициент модуляции LFGAM напряжением VGS	0	1/В
LFG2	Коэффициент модуляции LFGAM напряжением VGD	0	1/В
MVST	Параметр подпороговой модуляции	0	1/В
MXI	Параметр напряжения насыщения	0	-
P	Показатель степени	-	2
TAUD	Время релаксации временных процессов	0	с
TAUG	Время релаксации параметра обратной связи GAM	0	С

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
VBD	Потенциал пробоя перехода затвора	1	В
VST	Подпороговый потенциал	0	В
XC	Фактор уменьшения ёмкости заряда	0	-
XI	Параметр, определяющий точку излома потенциала насыщения	-	1000
Z	Параметр точки излома характеристики транзистора		0.5
Дополнительные параметры для модели уровня LEVEL=5			
ALPHATCE	Температурный коэффициент ALPHA	0	%/°C
BTRK	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	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	В
DVTT	Вспомогательный параметр для расчётов по методу Монте-Карло	0	В
GAMMATC	Температурный коэффициент GAMMA	0	-
ND	Параметр крутизны проходной характеристики в субпороговом режиме	0	-
VBITC	Максимальное напряжение при расчёте ёмкости затвор-исток	0.5	В

14.3 С. Конденсатор

SPICE-формат

Синтаксис:

C<имя><плюс> <минус> [имя модели] [значение] + [IC=<начальное значение напряжения>]

SimOne и HSPICE/LTSPICE-формат

C<имя><плюс> <минус> [C=]<выражение>

C<имя><плюс> <минус> [C=]'<выражение>'

C<имя><плюс> <минус> [C=](<выражение>)

C<имя><плюс> <минус> [C=]{<выражение>}

C<имя><плюс> <минус> Q=<выражение>

C<имя><плюс> <минус> Q='<выражение>'

C<имя><плюс> <минус> Q=(<выражение>)

C<имя><плюс> <минус> Q={<выражение>}

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения конденсатора. Полярность используется как для задания начальных условий на конденсаторе, так и для построения графиков тока $I(C<имя>)$ конденсатора и падения напряжения на нём $V(C<имя>)$.

[IC=<начальное значение напряжения>] задаёт начальное значение напряжения на ёмкости в расчёте переходных процессов схемы. [C=] – задание выражения для ёмкости.

Q= – задание выражения для заряда ёмкости.

<выражение> может включать:

- Потенциалы узлов, например, $V(1)$.
- Падения напряжений, например, $V(1,2)$.
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, $I(L1)$, $I(V1)$.
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

Синтаксис описания модели

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

Пример:

C1 1 0 1pF

C2 1 2 2.2n IC=1V

C3 1 0 2n+1n*sin(v(1))

C4 2 0 Q=2n*x

C5 2 0 Q=2n*v(2)

C6 3 4 CMOD 10uF

.MODEL CMOD CAP (C=100n TC1=0.01)

Нетлист модели конденсатора со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL      CAP_DEFAULT_MODEL      CAP(C=1      VC1=undefined
VC2=undefined TC1=0 TC2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=undefined)
```

Подробнее параметры модели конденсатора приведены в [Табл. 59](#).

[Таблица 59](#) 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
T_REL_LOCAL	Разность между температурой конденсатора и модели-прототипа	-	С

14.4 D. Диод

SPICE-формат

Синтаксис:

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

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

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение диода 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 диоде при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании IC см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Пример:

D1 1 2 1N3208 OFF IC=0.001

.MODEL MOD_ D (BV=100 CJO=105.p IBV=100p)

Нетлист модели диода со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL D_DEFAULT_MODEL D(AF=1 BV=infinity CJO=0 EG=1.11 FC=0.5
IBV=1e-10 IBVL=0 IKF=infinity IS=1e-14 ISR=0 KF=0 M=0.5 N=1 NBV=1 NBVL=1
NR=2 RL=infinity RS=0 TBV1=0 TBV2=0 TIKF=0 TRS1=0 TRS2=0 TT=0
T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined
T_REL_LOCAL=undefined VJ=1 XTI=3 )
```

Подробнее параметры модели диода приведены в [Табл. 60](#).

[Таблица 60](#) 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	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
IBV	Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (положительная величина)	10^{-10}	A
IBVL	Начальный ток пробоя низкого уровня	0	A
IKF	Предельный ток при высоком уровне инжекции	-	A
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	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
TBV2	Квадратичный температурный коэффициент BV	0	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
TIKF	Линейный температурный коэффициент IKF	0	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
TRS1	Линейный температурный коэффициент RS	0	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
TRS2	Квадратичный температурный коэффициент RS	0	$^{\circ}\text{C}^{-2}$
TT	Время переноса заряда	0	с

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
T_ABS	Абсолютная температура	-	С
T_MEASURED	Температура измерений	-	С
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	С
T_REL_LOCAL	Разность между температурой диода и модели-прототипа	-	С
VJ	Контактная разность потенциалов	1	В
XTI	Температурный коэффициент тока насыщения IS	3	-

14.5 Е. Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)

Моделирует ИНУН, ИН с функцией Лапласа, функциональный ИН, ИНУН с функцией Лапласа.

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

E<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+ <коэффициент передачи>

E<имя> <плюс> <минус> POLY(<значения>)

+ <+управляющий узел> <-управляющий узел> <полиномиальные коэффициенты>

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

E<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+TABLE = <входное значение>, <выходное значение> ...

E<имя> <плюс> <минус> TABLE(<выражение>) =

+ <входное значение>, <выходное значение> ...

E<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
+ LAPLACE = <передаточная функция Лапласа>

+ [[METHOD=<simone>] [WINDOW=<время>] [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

$E\langle\text{имя}\rangle \langle\text{плюс}\rangle \langle\text{минус}\rangle \text{LAPLACE} (\langle\text{выражение}\rangle) =$
 $+ \langle\text{передаточная функция Лапласа}\rangle$
 $+ \quad [[\text{METHOD}=\langle\text{simone}\rangle] \quad [\text{WINDOW}=\langle\text{время}\rangle] \quad [\text{NFFT}=\langle\text{число}\rangle]$
 $[\text{MTOL}=\langle\text{число}\rangle]]$
 $E \langle\text{имя}\rangle \langle\text{плюс}\rangle \langle\text{минус}\rangle \langle+\text{управляющий узел}\rangle \langle-\text{управляющий узел}\rangle$
 $+ \quad \text{freq} = \quad [[\text{DB} \quad | \quad \text{MAG}] \quad [\text{DEG} \quad | \quad \text{RAD}]] \quad | \quad [\text{R_I}]$
 $\langle\langle\text{частота1}\rangle, \langle\text{амплитуда1}\rangle, \langle\text{фаза1}\rangle \rangle, \quad \langle\langle\text{частота2}\rangle, \langle\text{амплитуда2}\rangle, \langle\text{фаза2}\rangle$
 $\rangle \dots$
 $E\langle\text{имя}\rangle \langle\text{плюс}\rangle \langle\text{минус}\rangle \text{FREQ} (\langle\text{выражение}\rangle) =$
 $+ \quad [[\text{DB} \quad | \quad \text{MAG}] \quad [\text{DEG} \quad | \quad \text{RAD}]] \quad | \quad [\text{R_I}] \quad \langle\langle\text{частота1}\rangle, \langle\text{амплитуда1}\rangle, \langle\text{фаза1}\rangle$
 $\rangle, \langle\langle\text{частота2}\rangle, \langle\text{амплитуда2}\rangle, \langle\text{фаза2}\rangle \rangle \dots$

$\langle\text{выражение}\rangle$ может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова 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. 61](#).

Примеры:

E1 2 0 1 0 5

E2 3 0 poly(2) 1 0 2 0 0 1e3 2e3

E3 3 0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(t)

E4 3 0 1 0 table = -10 -1 0 0 10 0.01

E5 3 0 table(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01

E6 3 0 1 0 laplace = $s/(2*s^2+s^2+1)$

E7 3 0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = $s/(2*s^2+3*s+1)$ method=ift mtol=1m

E8 3 0 1 0 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

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

Таблица 61 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	simone	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
	вычисления интеграла свертки. Доступны три метода: <ul style="list-style-type: none"> • SimOne - оригинальный метод • 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

14.5.1 ИНУН с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

14.5.2 Функциональный ИН

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

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

14.5.3 Функциональный ИН с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций freq_r(), freq_db(), freq_db_rad(), freq_ma(), freq_ma_rad(), подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

14.6 F. Источник тока, управляемый током (ИТУТ)

Моделирует ИТУТ, ИТУТ с функцией Лапласа

SPICE/PSpice/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

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

F <имя> <+узел> <-узел> POLY(<значения>) <имя управляющего источника напряжения>

<полиномиальные коэффициенты>

F <имя> <+узел> <-узел> VALUE = <выражение>

F <имя> <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения>
+TABLE = <входное значение>, <выходное значение> ...

```

F<имя> <+узел> <-узел> TABLE(<выражение>) =
<входное значение>,<выходное значение> ...

F<имя> <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения>
LAPLACE = <передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>]      [WINDOW=<время>]      [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

F<имя> <+узел> <-узел> LAPLACE (<выражение>) =
<передаточная функция Лапласа>

[[METHOD=<simone>]      [WINDOW=<время>]      [NFFT=<число>]
[MTOL=<число>]]

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

F<имя> <плюс> <минус> FREQ (<выражение>) =

[[DB | MAG] [DEG | RAD]] | [R_I] <<частота1>, <амплитуда1>, <фаза1> >,
<<частота2>,<амплитуда2>,<фаза2> >...

```

<выражение> может включать в себя:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово temp – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова laplace.

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

Примеры:

F1 2 0 V1 5

F2 3 0 POLY(2) V1 V2 0 1e3 2e3

F3 3 0 VALUE= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(time) +f^2

F4 3 0 V1 TABLE = -10 -1 0 0 10 0.01

F5 3 0 TABLE(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01

F6 3 0 V1 LAPLACE = s/(2*s^2+s*2+1)

F7 3 0 LAPLACE(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) METHOD=ift NFFT=8192

F8 3 0 v1 FREQ = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

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

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

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

14.6.1 ИТУТ с функцией Лапласа

Передаточная на управляемом источнике тока функция Лапласа может быть задана:

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

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

14.7 G. Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)

Моделирует ИТУН, ИТ с функцией Лапласа, функциональный ИТ, ИТУН с функцией Лапласа.

SPICE/PSPICE/LTSPICE/SimOne-форматы

Синтаксис:

G<имя> <плюс> <минус> <+управляющий узел> <-управляющий узел>
<коэффициент передачи>

G<имя> <плюс> <минус> POLY(<значение>)

<+управляющий узел> <-управляющий узел> <полиномиальные коэффициенты> G<имя> <плюс> <минус> VALUE = <выражение>

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 π – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции
- Ключевое слово `s` – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова `laplace`.

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

Примеры:

G1 2 0 1 0 5

G2 3 0 poly(2) 1 0 2 0 0 1e3 2e3

G3 3 0 value= sqrt(abs(v(1)))*v(2)-sin(t)

G4 3 0 1 0 table = -10 -1 0 0 10 0.01

G5 3 0 table(i(v1)*i(v2)) = -10 -1 0 0 10 0.01

G6 3 0 1 0 laplace = s/(2*s^2+s*2+1)

G7 3 0 laplace(v(1)+v(1)*v(2)) = s/(2*s^2+3*s+1) method=ift

G6 3 0 1 0 freq = mag 0,1,0,1,2,30,10,1.5,45

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

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

- С помощью коэффициента усиления: $I = \text{Gain} \cdot V_y$. 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_y , затем определяется соответствующий интервал в таблице значений, после чего с помощью линейной интерполяции на интервале определяется выходной ток.

14.7.1 ИТУН с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_ri()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

14.7.2 Функциональный ИТ

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

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

14.7.3 Функциональный ИТ с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_ri()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

14.8 Н. Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)

Моделирует ИТУТ, ИТУТ 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 π – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции
- Ключевое слово s – Лапласова переменная. Указывается в выражении для функции передачи Лапласа после ключевого слова `laplace`.

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

[Описание параметров модели совпадает с приведенным для ИНУН.](#)

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.

14.8.1 ИНУТ с функцией Лапласа

Передаточная функция Лапласа может быть задана:

- выражением - функцией от переменной s
- таблицей в частотной области - с помощью набора функций `freq_r()`, `freq_db()`, `freq_db_rad()`, `freq_ma()`, `freq_ma_rad()`, подробнее см. раздел [Математические функции](#).

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

14.9 I. Независимый источник тока

SPICE-формат

Синтаксис:

`I<имя> <+узел> <-узел> [[DC] <значение>]`

`[AC <модуль> [<фаза>]]`

`[STIMULUS=<имя сигнала>]`

[Сигнал]

[Rpar=<value>]

Параметр DC определяет постоянную составляющую источника напряжения. Для режима AC задаются модуль (ACmagnitude) и фаза (ACphase, в градусах) источника гармонического сигнала. После ключевого слова STIMULUS указывается имя сигнала, созданного с помощью программы команды .STIMULUS. С помощью параметра Rpar можно определить резистор, подключенный параллельно источнику тока. Параметр [Сигнал] описывает заданный сигнал, используемый во временном анализе схемы.

Примеры:

I1 1 0 5mA Rpar=50Ohm

I220AC190

Isin 4 0 DC 5 AC 1 SIN(5 1 1meg)

Ipulse 3 0 PULSE(-1m 1m 2ns 2ns 2ns 50ns 100ns)

Анализ схемы по постоянному току использует значения постоянного тока, заданные в поле DC.

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

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

При анализе переходных процессов и анализе периодических режимов схемы в качестве тока источника используются функции от времени, задаваемые в поле <Сигнал>.

Сигналы описаны подробно в разделе [Сигналы](#).

14.10 J. Полевой транзистор

Моделирует полевой транзистор N-типа и P-типа.

SPICE-формат

Синтаксис:

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

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

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [OFF] и [IC] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Синтаксис описания модели

.MODEL <model name> NJF [модельные параметры]

.MODEL <model name> PJF [модельные параметры]

Примеры:

J1 1 2 3 2N3684

J2 4 5 6 2N5020 2 OFF

J3 7 8 0 JMOD1 IC=1.0, 2.5

```
.MODEL      2N5020      PJF(AF=500.449309M      BETA=149.406917M
CGD=3.633806P      CGS=8.193691P      FC=500M      IS=10F      KF=231.313289F
LAMBDA=37.5M M=500m PB=4.447909 RS=509.288793 VTO=-3.180721)
```

```
.MODEL      2N3684      NJF(AF=500.524773M      BETA=2.953635M
CGD=2.783703P      CGS=3.164213P      FC=500M      IS=10F      KF=4.997636E-019
LAMBDA=9.999999M M=500m PB=1.937899 RS=286.385332 VTO=-2.342435)
```

```
.MODEL JMOD1 NJF(IS=1e-15)
```

Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом описываются моделью Шихмана–Ходжеса.

Нетлисты моделей полевого транзистора N-типа со всеми дефолтными параметрами (совпадают с дефолтными параметрами для P-типа):

```
.MODEL NJF_DEFAULT_MODEL NJF(AF=1 ALPHA=0 BETA=1e-4
BETATCE=0 CGD=0 CGS=0 FC=0.5 IS=1e-14 ISR=0 KF=0 LAMBDA=0 M=0.5 N=1
NR=2 PB=1.0 RD=0 RS=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=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 T_REL_LOCAL=undefined VK=0 VTO=-2.0 VTOTC=0
XTI=3)
```

Подробно описание параметров модели полевого транзистора приведено в [Табл. 62](#).

Таблица 62 Параметры модели полевого транзистора

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока	1	-
ALPHA	Коэффициент ионизации	1	В
BETA	Коэффициент пропорциональности (удельная передаточная проводимость)	1E-4	A/B ²
BETATCE	Температурный коэффициент BETA	0	%/°C
CGD	Ёмкость перехода затвор-сток при нулевом смещении	0	Ф
CGS	Ёмкость перехода затвор-исток при нулевом смещении	0	Ф
FC	Коэффициент нелинейности ёмкостей переходов при прямом смещении	0,5	-
IS	Ток насыщения р-п-перехода затвор-канал	1E-14	A
ISR	Параметр тока рекомбинации р-п перехода затвор-канал	0	A
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	В
RD	Объёмное сопротивление области стока	0	Ом

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
RS	Объёмное сопротивление области истока	0	Ом
T_ABS	Абсолютная температура	-	С
T_MEASURED	Температура измерения	-	С
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	С
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа	-	С
VK	Напряжение ионизации для перехода затвор-канал	0	В
VTO	Пороговое напряжение	-2	В
VTOTC	Температурный коэффициент VTO	0	В/°С
XTI	Температурный коэффициент тока IS	3	-

14.11 К. Магнитно-связанная индуктивность

Моделирует взаимную индуктивность, двухобмоточный трансформатор.

SPICE-формат

Синтаксис:

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

Примеры:

L1 1 0 1mH

L2 1 2 2.2mH

L3 3 4 10uH

K1 L1 L2 L3 0.5

Подробно описание параметров модели взаимной индуктивности приведено в [Табл. 63](#).

Таблица 63 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.

14.12 L. Индуктивность

SPICE-формат

Синтаксис:

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

SimOne и HSPICE/LTSPICE-форматы

L<имя><плюс> <минус> [L=]<выражение>

L<имя><плюс> <минус> [L=]'<выражение>'

L<имя><плюс> <минус> [L=](<выражение>)

L<имя><плюс> <минус> [L]={<выражение>}

L<имя><плюс> <минус> flux=<выражение>

L<имя><плюс> <минус> flux ='<выражение>'

L<имя><плюс> <минус> flux =(<выражение>)

L<имя><плюс> <минус> flux ={<выражение>}

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения индуктивности. Полярность используется как для задания

начального тока в индуктивности, так и для построения графиков тока $I(L<имя>)$ индуктивности и падения напряжения на ней $V(L<имя>)$.

$[IC=<начальное\ значение\ тока>]$ задаёт начальное значение тока в расчёте переходных процессов схемы.

$[L=]$ – задание выражения для индуктивности.

flux = – задание выражения для потокосцепления катушки индуктивности.

<выражение> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, $V(1)$.
- Падения напряжений, например, $V(1,2)$.
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, $I(L1)$, $I(V1)$.
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова π – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции.

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

Синтаксис описания модели

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

Примеры:

L1 1 0 1mH

L2 1 2 2.2n IC=1mA

L3 1 0 1u/(1+abs(I(L3)))

L4 2 3 flux=1u*ATAN(I(L4))

L5 4 5 flux=1u*ATAN(x)

L3 3 4 LMOD 10u

.MODEL LMOD IND (L=20m IL1=0.001)

Нетлист модели катушки индуктивности со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL IND_DEFAULT_MODEL IND(L=1 R=0 IL1=undefined
IL2=undefined TC1=0 TC2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=undefined)
```

Подробнее описание параметров модели катушки индуктивности приведено в [Табл. 64](#).

[Таблица 64](#) Параметры модели катушки индуктивности

Обозначение	Параметр
Номинал\Выражение	Номинал индуктивности или выражение для неё
FLUX	Выражение для потокосцепления индуктивности
R	Параметр внутреннего сопротивления
L	Масштабный множитель индуктивности
IL1	Линейный коэффициент тока
IL2	Квадратичный коэффициент тока
TC1	Линейный температурный коэффициент индуктивности
TC2	Квадратичный температурный коэффициент индуктивности
TOLERANCE	Допуск
T_ABS	Абсолютная температура
T_MEASURED	Температура измерений
T_REL_GLOBAL	Относительная температура
T_REL_LOCAL	Разность между температурой индуктивности и модели-прототипа

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

14.13 М. Полевой транзистор с изолированным затвором

Моделирует МОП-транзистор N-типа, DN-типа, P-типа и DP-типа.

SPICE-формат

Синтаксис:

M<имя> <сток> <затвор> <исток> <подложка> <имя модели>

[M=<значение>] [L=< значение >] [W=< значение >]

>] [AD=< значение >] [AS=< значение >] [PD=< значение >] [PS=< значение >]

[NRD=< значение >] [NRS=< значение >] [NRG=< значение >]

[NRB=< значение >]

[OFF][IC=<vds> [,vgs [,vbs]]]

[M] – скалярный множитель, позволяющий учитывать параллельное соединение нескольких 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:

$RD = NRD * RSH$, $RS = NRS * RSH$,

$RG = NRG * RSH$, $RS = NRB * RSH$.

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

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] и [OFF] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Для моделирования резисторов DN- и DP-типа следует подключить в одну цепь <исток> и <подложку>.

Синтаксис описания модели

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

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

Примеры:

M1 1 2 3 0 M1 L=25u W=12u ; МОП-транзистор N-типа

M2 4 5 6 0 M2 M=2 ; МОП-транзистор P-типа

M7 8 7 9 9 NMOS_DEFAULT_MODEL ; МОП-транзистор DN-типа

M9 2 3 5 5 PMOS_DEFAULT_MODEL ; МОП-транзистор DP-типа


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

Нетлист модели МОП-транзистора P-типа со всеми дефолтными параметрами (совпадают с дефолтными параметрами для N-типа):

```
.MODEL PMOS_DEFAULT_MODEL PMOS(AF=1 CBD=0 CBS=0 CGBO=0
CGDO=0 CGSO=0 CJ=0 CJSW=0 DELTA=0 ETA=0 FC=0.5 GAMMA=0 GDSNOI=1
IS=1e-14 JS=0 JSSW=0 KAPPA=0.2 KF=0 KP=2e-5 LAMBDA=0.0 LEVEL=1
LD=0.0 MJ=0.5 MJSW=0.33 N=1 NEFF=1.0 NFS=0.0 NLEV=2 NSS=undefined
NSUB=undefined PB=0.8 PBSW=PB PHI=0.6 RB=0 RD=0 RDS=infinity RG=0 RS=0
RSH=0 THETA=0.0 TOX=undefined TPG=1 TT=0 T_ABS=undefined
T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=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. 65](#).

[Таблица 65](#) Поддерживаемые модели

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

В [Табл. 66](#) представлено описание параметров модели МОП-транзистора.

[Таблица 66](#) Параметры модели МОП-транзистора

Обозначение	Значения LEVEL, при которых актуален параметр	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

Обозначение	Значения LEVEL, при которых актуален параметр	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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
LAMBDA	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
JSSW	1–3	Удельная плотность тока насыщения (на длину периметра)	0	A/м
PB	1–3	Напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	0,8	В
PBSW	1–3	Напряжение инверсии боковой поверхности р-п-перехода	PB	В
N	1–3	Коэффициент неидеальности перехода подложка-сток (исток)	1	-
CBD	1–3	Ёмкость донной части перехода сток-подложка при нулевом смещении	0	Ф

Обозначение	Значения LEVEL, при которых актуален параметр	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
CBS	1–3	Ёмкость донной части перехода исток-подложка при нулевом смещении	0	Ф
CJ	1–3	Удельная ёмкость донной части р-п-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода)	0	Ф/м ²
CJSW	1–3	Удельная ёмкость боковой поверхности перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на длину периметра)	0	Ф/м
MJ	1–3	Коэффициент, учитывающий плавность донной части перехода подложка-сток (исток)	0,5	-
MJSW	1–3	Коэффициент, учитывающий плавность бокового перехода подложка-сток (исток)	0,33	-
FC	1–3	Коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещенного перехода подложки	0,5	-
CGSO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-исток (за счёт боковой диффузии)	0	Ф/м
CGDO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-сток на длину канала (за счёт боковой диффузии)	0	Ф/м
CGBO	1–3	Удельная ёмкость перекрытия затвор-подложка (за счёт выхода затвора за пределы канала)	0	Ф/м
TT	1–3	Время переноса заряда через р-п-переход	0	с
NSUB	2, 3	Уровень легирования подложки	Нет	1/см ³
NSS	2, 3	Плотность медленных поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид	Нет	1/см ²

Обозначение	Значения LEVEL, при которых актуален параметр	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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
GDSN OI	1-3	Коэффициент дробового шума канала	1	-
NLEV	1-3	Выбор шумового уравнения	2	-
VMAX	2, 3	Максимальная скорость дрейфа носителей	0	м/с
NEFF	2	Эмпирический коэффициент коррекции концентрации примесей в канале	1	-
XQC	2, 3	Доля заряда канала, ассоциированного со стоком	0	-
DELTA	2, 3	Коэффициент влияния ширины канала на пороговое напряжение	0	-

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

14.14 Q. Биполярный транзистор

Моделирует биполярный транзистор N-типа, биполярный транзистор N-типа с подложкой, биполярный транзистор P-типа, биполярный транзистор P-типа с подложкой.

SPICE-формат

Синтаксис:

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

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

Присутствие ключевого слова [OFF] указывает на отключение транзистора на первой итерации расчёта рабочей точки по постоянному току.

С помощью ключевого слова [IC] задаются начальные условия на р-п-переходах база-эмиттер, коллектор-эмиттер транзистора при расчёте переходных режимов схемы. Подробнее об использовании [IC] и [OFF] см. раздел [Расчёт рабочей точки схемы](#).

Синтаксис описания модели

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

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

Примеры:

Q1 1 2 3 Q1 1 OFF IC=0.65, 0.35

Q2 1 2 3 4 Q2 3.0

Q3 26 25 27 PNP_DEFAULT_MODEL

Q2 21 20 23 22 NPN_DEFAULT_MODEL

.MODEL Q1 NPN (IS=1e-15 BF=45 TR=.5N)

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

.MODEL NPN_DEFAULT_MODEL NPN ()

.MODEL PNP_DEFAULT_MODEL PNP ()

Нетлист модели биполярного транзистора N-типа со всеми дефолтными параметрами (за исключением CN и D совпадают с дефолтными параметрами для P-типа):

```
.MODEL NPN_DEFAULT_MODEL NPN(AF=1 BF=100 BR=1 CJC=0 CJE=0
CJS=0 CN=2.42 D=0.87 EG=1.11 FC=0.5 GAMMA=1e-11 IKF=infinity IKR=infinity
IRB=infinity IS=1e-16 ISC=0 ISE=0 ISS=0 ITF=0 KF=0 MJC=0.33 MJE=0.33 MJS=0
NC=2 NE=1.5 NF=1 NK=0.5 NR=1 NS=1 PTF=0 QCO=0 QUASIMOD=0 RB=0
RBM=RB RC=0 RCO=0 RE=0 TF=0 TR=0 TRB1=0 TRB2=0 TRC1=0 TRC2=0
TRE1=0 TRE2=0 TRM1=0 TRM2=0 T_ABS=undefined T_MEASURED=undefined
T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=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. 67](#).

Таблица 67 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 квазинасыщения для подвижности дырок	2.42 для NPN 2.2 для PNP	-
D	Температурный коэффициент квазинасыщения 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
IKR	Ток начала спада зависимости BR от тока эмиттера в инверсном режиме	-	А
IS	Ток насыщения при температуре 27°C	10^{-16}	А
ISC	Ток насыщения утечки перехода база-коллектор	0	А

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
ISE	Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер	0	А
ISS	Ток насыщения р-п перехода подложки	0	А
ITF	Ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах	0	А
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
QCO	Множитель, определяющий заряд в эпитаксиальной области	0	Кл
RB	Объёмное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер	0	Ом

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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_MEASURED	Температура измерений	-	°C
T_REL_GLOBAL	Относительная температура	-	°C
T_REL_LOCAL	Разность между температурой транзистора и модели-прототипа	-	°C
VAF	Напряжение Эрли в нормальном режиме	-	В
VAR	Напряжение Эрли в инверсном режиме	-	В

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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.

14.15 R. Резистор

SPICE-формат

Синтаксис:

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

SimOne и HSPICE/LTSPICE-форматы

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

<плюс> и <минус> – положительный и отрицательный узлы подключения резистора. Полярность используется только для построения графиков тока I(R<имя>) резистора и падения напряжения на нём V(R<имя>).

[TC=<tc1>[,<tc2>]] – температурные коэффициенты сопротивления.

[R=] – задание выражения для сопротивления.

<выражение> может содержать:

- Потенциалы узлов, например, V(1).
- Падения напряжений, например, V(1,2).
- Токи индуктивностей и источников напряжений, например, I(L1), I(V1).
- Ключевое слово time – текущее время.
- Ключевое слово TEMP – температура.
- Ключевые слова hertz или f – частота.
- Ключевые слова pi – число $\pi = 3,14159265358979323846$ и e – число $e = 2,71828182845904523536$
- Математические функции

Подробнее о выражениях см. раздел [Выражения](#).

Синтаксис описания модели

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

Примеры:

R1 1 0 1K

R2 1 2 2k2 TC=5e-3

R4 1 2 {2+10*v(1)*v(1)}

R3 3 4 RMOD 10K

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

Нетлист модели резистора со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL RES_DEFAULT_MODEL RES(R=1 TCE=0 T_ABS=undefined
T_MEASURED=undefined T_REL_GLOBAL=undefined T_REL_LOCAL=undefined)

Описание параметров модели резистора приведено в [Табл. 68](#).

[Таблица 68](#) 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	-

Обозначение	Параметр	Значение по умолчанию	Единица измерения
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
T_REL_LOCAL	Разность между температурой резистора и модели-прототипа	-	C

Значение масштабного множителя сопротивления может быть положительным, отрицательным или нулевым.

14.16 S. Переключатель, управляемый напряжением

SPICE-формат

Синтаксис:

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

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

<управляющий узел>, <-управляющий узел> – номера узлов, разность потенциалов которых управляет ключом.

Синтаксис описания модели

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

Пример:

S1 1 2 3 4 MOD_SW1

S2 1 0 3 0 MOD_SW2

.MODEL MOD_SW1 VSWITCH (RON=1 ROFF=1e6 VON=1 VOFF=3.5)

.MODEL MOD_SW2 VSWITCH (RON=1 ROFF=1K VT=3 VH=1)

Нетлист модели переключателя, управляемого напряжением, со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL VSWITCH_DEFAULT_MODEL VSWITCH(ROFF=1e6 RON=1
VH=undefined VOFF=0 VON=1 VT=undefined)
```

Описание параметров модели ключа, управляемого напряжением, приведено в [Табл. 69](#).

[Таблица 69](#) 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.

14.16.1 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 $V_y > VON$ и разомкнут при $V_y < VOFF$.

На интервале $VOFF < V_y < VON$ сопротивление ключа плавно уменьшается от значения ROFF до RON. Если $VON < VOFF$, то ключ замкнут при $V_y < VON$ и разомкнут при $V_y > VOFF$.

На интервале $VON < V_y < VOFF$ сопротивление ключа плавно увеличивается от значения RON до ROFF. V_y – разность потенциалов узлов управления.

14.16.2 Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговое напряжение VT и величина гистерезиса VH.

Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от ROFF до RON при превышении управляющим напряжением значения $V_T + V_H$ и увеличивается резким скачком от ROT до ROFF 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.

14.17 Т. Длинная линия

SPICE-формат

Синтаксис:

T<имя> <+узел порта A> <-узел порта A>

+<+узел порта B> <-узел порта B> [model name]

[Z0=<значение> [TD=<значение>] | [F=<значение> [NL=<значение>]]]
+[IC= <напряжение порта A> <ток порта A> <напряжение порта B> +<ток порта B>]

[IC] устанавливает начальные значения для токов и напряжений на концах линии.

<напряжение порта A> напряжение на узлах <+узел порта A> и <-узел порта A>.

<ток порта A> ток через узлы <+узел порта A> и <-узел порта A>.

Аналогично – для порта B.

Синтаксис описания модели

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

Пример:

T1 1 2 3 4 Z0=50 TD=3.5ns

T2 1 2 3 4 Z0=150 F=125Meg NL=0.5

T3 2 3 4 5 TLMOD

.MODEL TIMOD TRN(Z0=50 TD=10ns)

Нетлист модели длинной линии со всеми дефолтными параметрами:

.MODEL TRN_DEFAULT_MODEL TRN(F=2 FADING=1 NL=0.2
TD=undefined Z0=50)

Описание параметров модели длинной линии приведено в [Табл. 70](#).

[Таблица 70](#) 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	-	-

14.18 V. Независимый источник напряжения

Моделирует независимый источник напряжения и независимый источник постоянного напряжения – батарею.

SPICE-формат

Синтаксис:

V<имя> <+узел> <-узел> [[DC] <значение>] [AC <модуль> [<фаза>]]

+ [STIMULUS=<имя сигнала>]

+ [Сигнал]

+ [Rser=<значение>]

<+узел> <-узел> – узлы включения источника напряжения. Ток источника течет от <+узел> к <-узел>.

[DC] – определяет постоянную составляющую источника напряжения.

Для режима 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.

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](#).

14.19 W. Переключатель (ключ), управляемый током

SPICE-формат

Синтаксис:

W<имя> <+узел> <-узел> <имя источника напряжения> <имя модели> <+узел> и <-узел> – номера узлов, к которым подсоединен ключ:

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

Синтаксис описания модели

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

Примеры:

```
V1 1 0 0
```

```
V2 2 0 1
```

```
W1 3 4 V1 MOD_W1
```

```
W2 5 0 V2 MOD_W2
```

```
.MODEL MOD_W1 VSWITCH (RON=1 ROFF=1e6 ION=1 IOFF=3.5)
```

```
.MODEL MOD_W2 VSWITCH (RON=1 ROFF=1K IT=3 IH=1)
```

Нетлист модели переключателя, управляемого током, со всеми дефолтными параметрами:

```
.MODEL ISWITCH_DEFAULT_MODEL ISWITCH(IH=undefined IOFF=0 ION=1m IT=undefined ROFF=1e6 RON=1)
```


Описание параметров модели ключа, управляемого током приведено в [Табл. 71](#).

[Таблица 71](#) 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_y могут использоваться токи индуктивностей, источников напряжения.

Модель предусматривает два режима работы ключа:

- режим плавного переключения
- гистерезисный режим.

14.19.1 Режим плавного переключения

В этом режиме должны быть заданы ток замыкания ключа ION и ток размыкания ключа IOFF, а параметры IT и IH должны быть не определены.

Если $ION > IOFF$, то ключ замкнут при управляющем токе $I_y > ION$ и разомкнут при $I_y < IOFF$. На интервале $IOFF < I_y < ION$ сопротивление ключа плавно уменьшается от значения ROFF до RON.

Если $ION < IOFF$, то ключ замкнут при $I_y < ION$ и разомкнут при $I_y > IOFF$. На интервале $ION < I_y < IOFF$ сопротивление ключа плавно растёт от значения RON до ROFF.

14.19.2 Гистерезисный режим

В этом режиме должны быть заданы пороговый ток IT и величина гистерезиса IH.

Сопротивление ключа уменьшается резким скачком от ROFF до RON при превышении управляющим током значения $IT + IH$ и увеличивается резким скачком от RON до ROFF при уменьшении управляющего тока ниже значения $IT - IH$.

Отметим, что в таком режиме работы ключа могут возникнуть проблемы со сходимостью численных методов.

Также не рекомендуется делать слишком малое различие в величинах переключаемых токов I_T и I_H из-за вызываемого этим слишком малого шага расчёта.

14.20 X. Подсхема

SPICE-формат

Синтаксис:

X<имя> узел1 узел 2 узел3... <имя подсхемы>

+ [PARAMS: <имя параметра> = <значение>]

+ [TEXT: <имя текстового параметра> = <текстовая строка>]

LTSPICE-формат

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

<имя> – имя элемента, описываемого подсхемой <имя подсхемы>
узел1 узел 2 узел3... – список узлов включения элемента подсхемы [PARAMS: <имя параметра> = <значение>] (SPICE),

[<параметр>=<выражение>] (LTSPICE) – определяют передаваемые в подсхему параметры и их значения

[TEXT: <name> = <text value>] – определяет передаваемый в подсхему текст

Синтаксис описания модели

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

...

.ENDS

Примеры:

SPICE-формат

X1 in out divider params: top=9K bot=1K // вызов подсхемы

.subckt divider A B params: top=1K bot=1K // описание подсхемы

R1 A B {top}

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

Внешние выводы подсхемы указываются пользователем после ключевого слова `.SUBCKT`. Входные параметры схемы объявляются в описании после ключевого слова `.PARAMS`.



Цель компании ЭРЕМЕКС – создание эффективной и удобной в эксплуатации отечественной системы, реализующей сквозной цикл автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры.

Система Delta Design – это обобщение мирового опыта в области автоматизации проектирования, а также разработка оригинальных моделей и алгоритмов на основе нетрадиционных подходов к решению сложных задач

Компания ЭРЕМЕКС благодарит Вас за интерес, проявленный к системе Delta Design, и надеется на долговременное и плодотворное сотрудничество.