

ВВЕДЕНИЕ

Данный документ содержит подробное описание имитатора электрических схем Mixed Sim, который является неотъемлемой частью системы автоматизированного проектирования Altium Designer.

Имитатор Mixed Sim основан на имитаторе электрических схем XSPICE и поддерживает все его возможности.

Помимо этого, имитатор Mixed Sim позволяет использовать возможности языка описания цифровых устройств Digital SimCode, что существенно расширяет возможности и упрощает формирование описаний цифровых устройств. Подробнее о языке Digital SimCode см. «Руководство по Digital SimCode».

SPICE – это программа общего назначения для выполнения нелинейного расчёта амплитудной характеристики, нелинейного переходного процесса и линейного расчёта АЧХ. Рассчитываемые схемы могут содержать резисторы, конденсаторы, индукторы, связанные индукторы, независимые источники напряжения и тока, четыре типа зависимых источников, линии передачи без потерь и с потерями (две различных реализации), ключи, линии с равномерно распределённым затуханием, и пять видов наиболее распространённых полупроводниковых элементов – диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы с управляющим PN-переходом, МОП-транзисторы и МП-транзисторы (с барьером Шоттки).

SPICE имеет встроенные модели для полупроводниковых устройств, и пользователю необходимо указать только соответствующие значения параметров модели. Модель для биполярного транзистора основана на модели интегральных зарядов Гуммеля-Пуна; однако, если не указаны все необходимые параметры модели Гуммеля-Пуна, тогда модель сводится к более простой модели Эберса-Молла. В любом случае могут быть включены эффекты заряда, омические сопротивления и зависящая от тока выходная проводимость. Модель диода может быть использована как для случая PN-перехода, так и для барьера Шоттки. Модель полевого транзистора с управляющим PN-переходом основан на модели полевого транзистора Шихмана-Ходжеса. Реализованы шесть моделей МОП-транзистора: MOS1 описывается квадратичной характеристикой I-V, MOS2 – аналитическая модель, MOS3 – полуэмпирическая модель, MOS6 – простая аналитическая модель, имеющая хорошую достоверность для случая короткого канала, MOS4 и MOS5 – это BSIM (Berkeley Short-channel IGFET Model – берклиевская короткоканальная модель МДП-транзистора) и BSIM2 модели. MOS2, MOS3 и MOS4 включают эффекты второго порядка, такие как модуляция длины канала, допороговая проводимость, насыщение скорости, ограниченное рассеиванием, эффекты малого размера (эффекты близости), зарядозависимая ёмкость.

В настоящем документе приведены описания встроенных моделей имитатора Mixed Sim, описание видов расчёта, синтаксис языка, перечислены требования к описанию имитируемой схемы, приведены описания наиболее значимых настроек имитатора.

В руководстве используется термин «узел схемы» вместо более привычного схемотехникам термина «цепь». Причиной этого является устоявшаяся терминология, принятая в документации программы SPICE. В самом деле, при текстовом описании схемы в виде некоторого параметризованного перечня объектов, весьма удобно представлять схему в виде набора узлов, соединённых друг с другом различными двух- и четырёхполюсниками.

Кроме того, вместо принятого в традиционной документации на SPICE слова «card», соответствующего какой-либо отдельной строке в описании файла задания, в данном руководстве применяется термин «высказывание», более часто употребляемый при описании текстов программ, так как файл задания для имитатора электрической схемы по сути является HDL описанием устройства, а потому справедливым будет использовать ту же терминологию, которая принята в при описании для других HDL-языков, таких как VHDL, Verilog и SystemC.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

ВВЕДЕНИЕ	3
ОПИСАНИЕ СИНТАКСИСА ИМИТАТОРА MIXED SIM	9
Требования к описанию имитационной модели схемы	9
Требования к именованию элементов схемы	10
Синтаксис высказываний	10
Синтаксис чисел	10
Операторы и функции	11
Основная форма файла-задания	13
Модели-прототипы устройств	13
<i>Перечень и описание типов моделей-прототипов, совместимых со SPICE3:</i>	14
<i>Перечень и описание типов моделей-прототипов, совместимых с PSPICE:</i>	15
<i>Перечень и описание типов дополнительных моделей-прототипов XSPICE:</i>	15
<i>Описание типа модели-прототипа для интеграции модели Digital SimCode:</i>	17
<i>Спецификация портов для дополнительных моделей-прототипов XSPICE и модели-прототипа для интеграции с моделью Digital SimCode</i>	18
Подсхемы	20
Повторно используемые файлы с описанием участка схемы	22
ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИМИТАТОРА MIXED SIM	23
Меню Simulate	23
Настройка профиля моделирования	23
<i>General Setup</i>	24
<i>Operating Point Analysis</i>	25
<i>Transient Analysis</i>	25
<i>DC Sweep Analysis</i>	26
<i>AC Small Signal Analysis</i>	26
<i>Noise Analysis</i>	27
<i>Pole-Zero Analysis</i>	27
<i>Transfer Function Analysis</i>	27
<i>Temperature Sweep</i>	28
<i>Parameter Sweep</i>	28
<i>Monte Carlo Analysis</i>	28
<i>Global Parameters</i>	29
<i>Advanced Options</i>	29
Менеджер профилей	30
Менеджер пробников	30

НАЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИ ИМИТАТОРА ЭЛЕМЕНТУ СХЕМЫ	31
Вкладка Model Kind	32
<i>Поле Model Kind</i>	32
<i>Поле Model Sub-Kind</i>	32
<i>Поле SPICE Prefix</i>	34
<i>Поле Model Location</i>	35
Вкладка Parameters	35
Вкладка Port Map	35
Вкладка Netlist Template	36
<i>Примеры трансляции шаблона</i>	37
Вкладка Netlist Preview	38
Вкладка Model File	38
МОДЕЛИ ПРИМИТИВЫ ИМИТАТОРА	39
Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim	39
<i>Резистор</i>	39
<i>Полупроводниковый резистор</i>	39
<i>Конденсатор</i>	41
<i>Полупроводниковый конденсатор</i>	41
<i>Катушка индуктивности</i>	42
<i>Связанная индуктивность</i>	43
<i>Ключ, управляемый напряжением</i>	43
<i>Ключ, управляемый током</i>	44
<i>Независимый источник напряжения или тока</i>	45
<i>Линейный источник тока, управляемый напряжением</i>	48
<i>Линейный источник напряжения, управляемый напряжением</i>	49
<i>Линейный источник тока, управляемый током</i>	49
<i>Линейный источник напряжения, управляемый током</i>	50
<i>Нелинейный зависимый источник</i>	51
<i>Линия передачи без потерь</i>	52
<i>Линия передачи с потерями</i>	53
<i>Линия передачи с равномерно распределённым RC</i>	55
<i>Линия передачи с потерями одиночная</i>	57
<i>Диод</i>	58
<i>Биполярный транзистор</i>	61
<i>Полевой транзистор с управляющим PN-переходом</i>	65
<i>Полевой транзистор с изолированным затвором</i>	67

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<i>Полевой транзистор с затвором Шоттки</i>	85
<i>Подсхема</i>	87
PSPICE совместимые модели устройств	87
<i>Резистор</i>	88
<i>Конденсатор</i>	89
<i>Полупроводниковый диод</i>	90
<i>Катушка индуктивности</i>	91
<i>Биполярный транзистор</i>	92
<i>Полевой транзистор с управляющим PN-переходом</i>	94
<i>Полевой транзистор с изолированным затвором</i>	95
<i>Ключ, управляемый напряжением</i>	97
<i>Ключ, управляемый током</i>	98
<i>Источник напряжения, управляемый напряжением</i>	99
<i>Источник тока, управляемый напряжением</i>	101
<i>Источник тока, управляемый током</i>	102
<i>Источник напряжения, управляемый током</i>	102
Дополнительные модели XSPICE	103
<i>Усиление</i>	104
<i>Сумматор</i>	105
<i>Умножитель</i>	107
<i>Делитель</i>	108
<i>Ограничитель уровня/амплитуды</i>	110
<i>Управляемый ограничитель уровня/амплитуды</i>	112
<i>Управляемый кусочно-линейной функцией источник</i>	114
<i>Аналоговый ключ</i>	115
<i>Диод Зенера</i>	117
<i>Ограничитель тока (абстрактный усилитель или компаратор)</i>	118
<i>Гистерезис</i>	121
<i>Производная по времени</i>	123
<i>Интеграл по времени</i>	124
<i>Передаточная функция в форме полинома преобразования Лапласа</i>	126
<i>Ограничитель скорости нарастания / крутизны / наклона</i>	128
<i>Катушка индуктивности (используется совместно с core)</i>	130
<i>Магнитный сердечник</i>	131
<i>Контролируемый генератор синусоидального сигнала</i>	134
<i>Контролируемый генератор треугольного сигнала</i>	135
<i>Контролируемый генератор меандра</i>	137
<i>Контролируемый генератор одиночного импульса</i>	138

<i>Измеритель ёмкости</i>	141
<i>Измеритель индуктивности</i>	142
<i>Преобразователь из цифрового домена в аналоговый</i>	143
<i>Преобразователь из аналогового домена в цифровой</i>	144
<i>Цифровой контролируемый генератор сигнала</i>	146
<i>Цифровой буфер шириной в один разряд</i>	148
<i>Цифровой инвертор шириной в один разряд</i>	149
<i>Цифровой вентиль логическое И</i>	150
<i>Цифровой вентиль логическое И-НЕ</i>	151
<i>Цифровой вентиль логическое ИЛИ</i>	152
<i>Цифровой вентиль логическое ИЛИ-НЕ</i>	153
<i>Цифровой вентиль логическое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ</i>	155
<i>Цифровой вентиль логическое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ</i>	156
<i>Цифровой буфер с третьим состоянием</i>	157
<i>Цифровой подтягивающий резистор к положительному полюсу питания</i>	158
<i>Цифровой подтягивающий резистор к отрицательному полюсу питания</i>	159
<i>Цифровой буфер с открытым коллектором</i>	160
<i>Цифровой буфер с открытым эмиттером</i>	161
<i>Цифровой D-триггер с динамическим управлением</i>	162
<i>Цифровой JK-триггер с динамическим управлением</i>	166
<i>Цифровой T-триггер с динамическим управлением</i>	169
<i>Цифровой SR-триггер с динамическим управлением</i>	172
<i>Цифровая D-защёлка со статическим управлением</i>	175
<i>Цифровая SR-защёлка со статическим управлением</i>	178
<i>Цифровой автомат состояний</i>	182
<i>Цифровой делитель частоты</i>	185
<i>Цифровая память с произвольным доступом</i>	186
<i>Цифровой источник сигнала</i>	188
<i>Преобразователь цифрового сигнала в действительный</i>	190
<i>Задержка для действительного сигнала</i>	191
<i>Умножение для действительного сигнала</i>	192
<i>Преобразователь действительного сигнала в аналоговый</i>	194
Модели Digital SimCode	195
<i>Цифровой элемент Digital SimCode</i>	195
<i>Цифровой элемент улучшенный Digital SimCode</i>	199
<i>Аналого-цифровой гибридный узел Digital SimCode</i>	204
<i>Цифро-аналоговый гибридный узел Digital SimCode</i>	205
<i>Цифро-вольтаический гибридный узел Digital SimCode</i>	207
<i>Цифровой источник сигнала Digital SimCode</i>	207

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

ВИДЫ РАСЧЁТОВ	211
Расчёты по постоянному току	211
<i>Расчёт характеристики чувствительности к вариации независимого источника</i>	211
<i>Расчёт передаточной характеристики по постоянному току</i>	212
<i>Расчёт рабочей точки по постоянному току</i>	213
Расчёт АЧХ по переменному току	213
Расчёты во временной области	214
<i>Расчёт переходного процесса</i>	214
<i>Расчёт компонент разложения в ряд Фурье из данных переходного процесса</i>	215
Расчёт полюсов и нулей	216
Дополнительные модификации расчётов	217
<i>Варьирование параметров</i>	217
<i>Варьирование температуры</i>	219
<i>Варьирование разброса номинальных величин</i>	219
Расчёты при различных температурах	221
Перечень неподдерживаемых видов расчётов	222
ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМИТАТОРА	223
УСТРАНЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРОБЛЕМ	228
Предупреждения	228
Ошибки	228
Отказ генерации файла-задания	228
Отказ расчёта имитационной модели электрической схемы	229
Основные проблемы в сходимости	229
<i>Мероприятия обеспечения сходимости расчётов</i>	229
Устранение проблем расчёта по постоянному току	230
Устранение проблем расчёта переходного процесса	231
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕНЕНИЙ	232
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	233

ОПИСАНИЕ СИНТАКСИСА ИМИТАТОРА MIXED SIM

Механика работы с имитатором построена следующим образом: пользователь формирует электрическую схему, выполняет настройку текущего профиля имитатора и, затем, запускает имитатор, а после выполнения расчётов выполняет анализ их результатов. Файл задания формируется автоматически из электрической схемы и назначенных элементам схемы имитационных моделей при запуске имитатора. Каждый элемент схемы, подлежащий включению в имитационную модель электрической схемы, должен быть снабжён собственной имитационной моделью, выраженной в виде одного или нескольких высказываний на языке описания задания SPICE. Количество типов имитационных моделей имитатора строго ограничено. В то же время многие имитационные модели строятся на основе параметризованных прототипов. За счёт возможностей параметризации прототипов моделей существует возможность получить целое семейство прототипов. При этом существуют модели, которые не требуют прототипа, т.к. их прототип не является параметризованным. Кроме параметризованного прототипа, для экземпляра имитационной модели должны быть указаны некоторые параметры. Это качество даёт возможность порождать элементы, имеющие одинаковый прототип, но отличающиеся некоторыми специфическими параметрами, например, номинальной величиной электрической характеристики, начальным состоянием и т.п.

В описаниях моделей-экземпляров и моделей-прототипов ниже используются угловые скобки `<>` с заключёнными в них выражениями. Такие скобки указывают, что в них указаны некие условные обозначения. Например, обозначения узлов схемы, имена и значения параметров, вместо которых пользователь имитатора может подставить собственные значения. Такие обозначения раскрываются ниже по тексту.

Также в описании присутствуют квадратные скобки `[]` с заключёнными в них выражениями. Такие выражения являются необязательными. Также квадратные скобки используются в синтаксисе дополнительных моделей XSPICE для обозначения векторов значений, тогда их наличие характерно только для дополнительных моделей XSPICE и моделей Digital SimCode.

Для вычисления математических выражений их следует помещать в фигурные скобки `{}`. Также фигурные скобки правильно будет применять всякий раз при присвоении некоторому параметру значения другого параметра или выражения на основе значения.

Требования к описанию имитационной модели схемы

Схема всегда должна удовлетворять следующим требованиям:

- содержать заголовков;
- содержать базовую цепь ('0');
- содержать независимый источник;
- содержать одно или несколько управляющих высказываний;
- источники напряжения и индукторы не должны образовывать короткозамкнутых последовательных цепей;
- источники тока и конденсаторы не должны иметь разрывов в последовательных участках цепей;
- каждый узел схемы должен иметь гальваническую связь с базовой цепью;
- каждый узел схемы должен иметь не менее двух соединений, кроме узлов линий передачи (для моделирования незавершённой линии передачи) и узла подложки МДП-транзисторов (который в любом случае имеет два внутренних соединения).
- любые математические операции, в том числе обращение к значениям параметров, должны быть заключены в фигурные скобки `{}`.
- группировка выражений и детальное управление приоритетом операторов реализуется с помощью круглых скобок `()`.

Требования к именованию элементов схемы

Наименования элементов схемы:

- должны начинаться с определённого, закреплённого за каждым элементом, символа;
- должны быть составлены из букв латинского алфавита и цифр;
- должны начинаться с букв латинского алфавита (от A до Z) и не должны содержать разделителей;
- регистр символов при именовании значения не имеет.

Синтаксис высказываний

Лексемы, операторы и операнды языка SPICE должны удовлетворять следующим требованиям:

- разделены одним или более пробелами;
- разделены запятой;
- разделены знаком равенства «=»;
- левой или правой скобкой;
- избыточные пробелы игнорируются;
- строка может быть продолжена при помощи знака плюс «+» в качестве первого символа следующей строки; продолжение описания со второго символа следующей строки.

Синтаксис чисел

Синтаксис допускает числа в следующих формах:

- целые положительные и отрицательные (12, -44);
- с плавающей точкой положительные и отрицательные (3.14159, -12.5);
- целые или с плавающей точкой с экспоненциальным членом с целым показателем положительные и отрицательные (1e-14, -2.65e3);
- целые или с плавающей точкой положительные и отрицательные с инженерным расширением:

t = 10e12;	k = 10e3;	u = 10e-6;
g = 10e9;	mil = 25.4e-6;	p = 10e-12;
meg = 10e6;	m = 10e-3;	f = 10e-15;

- регистр символов при написании инженерных приставок не важен;
- буквы, следующие за инженерным расширением или не являющиеся ими, игнорируются

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Операторы и функции

Имитатор Altium Mixed Sim позволяет использовать математические функции при формировании вычислительных выражений:

Функция	Описание
ABS(X)	модуль X
ACOS(X)	арккосинус X
ACOSH(X)	арккосинус гиперболический X
ARCTAN(X)	арктангенс X
ASIN(X)	арксинус (X)
ASINH(x)	арксинус гиперболический X
ATAN(X)	арктангенс X
ATAN2(y, x)	арктангенс Y/X
ATANH(x)	арктангенс гиперболический X
COS(X)	косинус X
COSH(X)	косинус гиперболический X
IF(T, X, Y)	если T – истина, то X, иначе Y
LIMIT(X, min, max)	ограничение X снизу min, сверху max
LN(X)	логарифм X по основанию e
LOG10(X), LOG(X)	логарифм X по основанию 10
MAX(X, Y)	максимум из X и Y
MIN(X, Y)	минимум из X и Y
PWR(X, Y)	возведение X в степень Y
PWRS(X, Y)	возведение модуля X в степень Y с умножением результата на знак X
SCHEDULE(X1, Y1,...Xn, Yn)	функция сопоставления X>>Y без интерполяции; X – время, Y – значение
SGN(x)	знак X: -1 при x<0, иначе 1
SIN(X)	синус X
SINH(X)	синус гиперболический X
SQRT(X)	квадратный корень из X
STP(X) или U(X)	аналог функции Хэвисайда, STP(0)=0
TABLE(X, X1, Y1,...Xn, Yn)	функция сопоставления X>>Y с интерполяцией; X – значение, Y – значение
TAN(X)	тангенс X
URAMP(X)	интеграл функции U(X) по времени
EXP(X)	возведение e в степень X

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Для составления выражений допускается применять следующие арифметические операторы:

Оператор	Описание
+	сложение
-	вычитание
*	умножение
/	деление
^ или **	возведение в степень
%	остаток от деления

Также для составления выражений могут быть использованы следующие логические операторы:

Оператор	Описание
>	больше
<	меньше
>=	больше или равно
<=	меньше или равно
<>	не равно
=	сравнение
&	логическое И
	логическое ИЛИ
!	логическое НЕ

Имитатор Altium Designer предоставляет возможность пользователю определить пользовательские функции. Для определения пользовательской функции используется высказывание .FUNC. Определённая через высказывание .FUNC пользовательская функция далее может быть использована в иных выражениях также, как стандартная функция.

Основная форма:

```
.FUNC <имя функции>(<имя параметра 1>, <имя параметра 2>,...) = {<определение функции>}
```

Описание:

<имя функции>	некоторое произвольное наименование функции;
<имя параметра 1>, <имя параметра 2>	некоторые произвольные наименования формальных параметров, к которым происходит обращение в <определении функции>;
<определение функции>	формальное определение функции, которое должно содержать некоторое математическое выражение на основе стандартных функций и операторов через формальные параметры.

Пример:

```
.FUNC myfunc(x,y)={x^2+3*x -8*y -2*y^2}
.FUNC sinc(x)={if(x=0, 1, sin(x)/x)}
```

Основная форма файла-задания

Основная форма:

```
<Строка заголовка>
<Комментарии>
<Строка 1>
<Строка 2>
...
<Строка N>
<Управляющая строка 1>
<Управляющая строка 2>
...
<Управляющая строка M>
.END
```

Описание:

<строка заголовка>	описание начинается со строки заголовка;
END	завершающее слово во входном файле;
<управляющая строка>	строка, начинающаяся со специального зарезервированного слова и предназначена для выбора режима вычислений и т.п.;
<комментарии>	текстовые описания, предназначенные для улучшения понимания кода модели. Комментарии должны начинаться со знака * в начале строки. Также, любая строка, начинающаяся с пробела, считается комментарием. Дополнительные комментарии допускается размещать в любом месте кода модели электрической схемы.

Модели-прототипы устройств

Основная форма:

```
.MODEL <MNAME> <TYPE> ([<PNAME1>=<PVAL1>] [<PNAME2>=<PVAL2>] ... )
```

Форма прототипа дополнительных моделей XSPICE и Digital SimCode:

```
.MODEL <MNAME> <TYPE> ([<PNAME1>=<[><PVAL1_1> <PVAL1_2>...<]> ] [<PNAME2>=<[><PVAL2_1> <PVAL2_2>...<]> ]...)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание:

.MODEL	ключевое слово;
<MNAME>	имя модели;
<TYPE>	тип модели;
<PNAME1>, <PNAME2> и т.п	имена параметров модели;
<PVAL1>, <PVAL2>	значения параметров модели;
<[> и <]>	квадратные скобки должны быть использованы для формирования векторов значений, или иначе – формирования параметра из массива значений.

Пример:

```
.MODEL MOD1 NPN (BF=50 IS=1E-13 VBF=50)
```

Примечание:

Каждый параметр модели-прототипа имеет определение по умолчанию, которое используется имитатором, если пользователь не определил значение параметра.

Перечень и описание типов моделей-прототипов, совместимых со SPICE3:

Тип модели	Описание типа модели
R	Модель полупроводникового резистора
C	Модель полупроводникового конденсатора
SW	Ключ, управляемый напряжением
CSW	Ключ, управляемый током
URC	Длинная линия с равномерно распределённым RC
LTRA	Длинная линия с потерями
D	Диод
NPN	NPN биполярный транзистор
PNP	PNP биполярный транзистор
NJF	N-канальный полевой транзистор с управляющим PN-переходом
PJF	P-канальный полевой транзистор с управляющим PN-переходом
NMOS	N-канальный полевой транзистор с изолированным затвором
PMOS	P-канальный полевой транзистор с изолированным затвором
NMF	N-канальный полевой транзистор с барьером Шоттки
PMF	P-канальный полевой транзистор с барьером Шоттки

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Перечень и описание типов моделей-прототипов, совместимых с PSPICE:

Тип модели	Описание типа модели
RES	Резистор с температурной зависимостью
CAP	Конденсатор с температурной зависимостью
IND	Катушка индуктивности (индуктор) с температурной зависимостью
D	Полупроводниковый диод
PNP	PNP биполярный транзистор
NPN	NPN биполярный транзистор
PJF	P-канальный полевой транзистор с PN-переходом
NJF	N-канальный полевой транзистор с PN-переходом
PMOS кроме BSIMv2	P-канальный полевой транзистор с изолированным затвором
NMOS кроме BSIMv2	N-канальный полевой транзистор с изолированным затвором
ISWITCH	Ключ, управляемый током
VSWITCH	Ключ, управляемый напряжением

Примечания:

- поддержка моделей имитатора PSPICE выполняется частично, в ограниченном объёме поддерживаемых параметров PSPICE.
- не поддерживаются следующие PSPICE параметры, общие для всех типов PSPICE моделей: T_ABS, T_MEASURED, T_REL_GLOBAL, T_REL_LOCAL;
- уровень поддержки параметров указанных моделей-прототипов смотреть в описаниях моделей.

Перечень и описание типов дополнительных моделей-прототипов XSPICE:

Тип модели	Описание типа модели
Модели аналоговых устройств	
gain	Усиление
summer	Сумматор
mult	Умножитель
divide	Делитель
limit	Ограничитель уровня/амплитуды
climit	Управляемый ограничитель уровня/амплитуды
pwl	Управляемый кусочно-линейной функцией источник
aswitch	Аналоговый ключ
zener	Диод Зенера
ilimit	Ограничитель тока (абстрактный усилитель или компаратор)

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Тип модели	Описание типа модели
Модели аналоговых устройств	
hyst	Гистерезис
d_dt	Производная по времени
int	Интеграл по времени
s_xfer	Передающая функция в форме полинома преобразования Лапласа
slew	Ограничитель скорости нарастания / крутизны / наклона
lcouple	Катушка индуктивности (используется совместно с core)
core	Магнитный сердечник
sine	Контролируемый генератор синусоидального сигнала
triangle	Контролируемый генератор треугольного сигнала
square	Контролируемый генератор меандра
oneshot	Контролируемый генератор одиночного импульса
cmeter	Измеритель ёмкости
lmeter	Измеритель индуктивности
Гибридные модели	
dac_bridge	Преобразователь из цифрового домена в аналоговый
adc_bridge	Преобразователь из аналогового домена в цифровой
d_osc	Контролируемый генератор цифрового сигнала
d_to_real	Преобразователь цифрового сигнала в действительный
real_delay	Задержка для действительного сигнала
real_gain	Умножение для действительного сигнала
real_to_v	Преобразователь действительного сигнала в аналоговый
Модели цифровых устройств	
d_buffer	Цифровой буфер шириной в один разряд
d_inverter	Цифровой инвертер шириной в один разряд
d_and	Цифровой вентиль типа И
d_nand	Цифровой вентиль типа И-НЕ
d_or	Цифровой вентиль ИЛИ
d_nor	Цифровой вентиль ИЛИ-НЕ
d_xor	Цифровой вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ
d_xnor	Цифровой вентиль ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ
d_tristate	Цифровой буфер с третьим состоянием
d_pullup	Цифровой подтягивающий резистор к положительному полюсу питания
d_pulldown	Цифровой подтягивающий резистор к отрицательному полюсу питания
d_open_c	Цифровой буфер с открытым коллектором
d_open_e	Цифровой буфер с открытым эмиттером

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Тип модели	Описание типа модели
Модели цифровых устройств	
d_dff	D-триггер
d_jkff	JK-триггер
d_tff	T-триггер
d_srff	SR-триггер
d_dlatch	D-защёлка
d_srlatch	SR-защёлка
d_state	Автомат состояний
d_fdiv	Цифровой делитель частоты
d_ram	Память с произвольным доступом
d_source	Источник цифрового сигнала

Примечания:

- Расчёт переходного процесса модели электрической схемы базируется на основе двух алгоритмов: временном и событийно-управляемом. Временной алгоритм используется для моделей-прототипов, совместимых со SPICE3 и PSPICE. Событийно-управляемый алгоритм используется для имитации дополнительных моделей-прототипов XSPICE и Digital SimCode. Данные алгоритмы используют разные методы расчётов. Таким образом между временным доменом, также называемым аналоговым, и событийно-управляемым доменом, также называемым цифровым, обязательно должны присутствовать гибридные модели.
- Кроме аналогового домена и цифрового домена существует поддержка действительного домена. Он отличается от аналогового домена тем, что в нём не существует комплексной формы числа. Для передачи сигналов между аналоговым, цифровым и действительным доменами следует применять соответствующие гибридные модели.
- Дополнительные гибридные модели XSPICE не совместимы с моделями Digital SimCode.

Описание типа модели-прототипа для интеграции модели Digital SimCode:

Тип модели	Описание типа модели
Модели устройств	
simcode	Модель цифрового устройства на языке Digital SimCode
xsimcode	Модель улучшенная цифрового устройства на языке Digital SimCode
Гибридные модели	
xdac	Преобразователь из цифрового домена в аналоговый
xadc	Преобразователь из аналогового домена в цифровой
xdav	Преобразователь из цифрового домена в аналоговый
xsrc	Источник цифрового сигнала

Примечания:

- Расчёт переходного процесса модели электрической схемы базируется на основе двух алгоритмов: временном и событийно-управляемом. Временной алгоритм используется для моделей-прототипов, совместимых со SPICE3 и PSpICE. Событийно-управляемый алгоритм используется для имитации дополнительных моделей-прототипов XSpice и Digital SimCode. Данные алгоритмы используют разные методы расчётов. Таким образом между временным доменом, также называемым аналоговым, и событийно-управляемым доменом, также называемым цифровым, обязательно должны присутствовать гибридные модели.
- Гибридные модели для Digital SimCode не совместимы с дополнительными моделями XSpice.

Спецификация портов для дополнительных моделей-прототипов XSpice и модели-прототипа для интеграции с моделью Digital SimCode

Следует заметить, что приведённые прототипы могут быть дополнительно специфицированы по выводам. По умолчанию, выводы большинства моделей работают по униполярному сигналу напряжения, однако есть такие, которые должны получать значение проводимости или сами генерируют подобный сигнал. Однако пользователь может указать дополнительную спецификацию портов моделей и специфицировать их следующим образом:

```
A<имя экземпляра> <модификатор типа>
+<[> [~] [модификатор типа]<NIN1 или +NIN1 -NIN1 или "null">
+<~>...<NIN2... > <]> <модификатор типа *>
+<[> <~><модификатор типа><NOUT1 или +NOUT1 -NOUT1> <~>...<NOUT2... > <]>
```

Описание:

<имя экземпляра>	имя экземпляра имитируемого устройства;
<имя модели>	обозначение модели-прототипа;
<[> и <]>	открывающая и закрывающая скобки описания вектора выводов. Первая группа в описании для входящих выводов, вторая группа для выходящих выводов.
<~>	указывает на инверсию логического значения цифрового вывода перед передачей значения в модель;
"null"	указывает, что цифровой вывод модели никуда не подключен, этот литерал допускается только для некоторых выводов модели. Допустимое использование литерала "null" указано в индивидуальных описаниях моделей-прототипов дополнительных моделей XSpice. Использование "null" запрещено для типов моделей с одним входом или одним выходом. При помощи "null" показывают только отсутствующие соединения для выводов модели-прототипа, однако использование "null" не означает отсутствующее соединение для модели-экземпляра.
<модификатор типа>	модификатор типа вывода. Допускается использовать только один модификатор для одного вывода (или одной пары дифференциальных выводов);

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модификатор	Значение
%v	Представляет собой униполярный порт напряжения – для каждого порта ожидается одно имя или номер узла.
%i	Представляет униполярный токовый порт с одним концом – для каждого порта ожидается одно имя или номер узла.
%vd	Представляет собой дифференциальный порт напряжения – для каждого порта ожидается имена двух узлов или номера двух узлов.
%id	Представляет дифференциальный порт тока – для каждого порта ожидаются имена двух узлов или номера двух узлов.
%g	Представляет собой униполярный порт с входом напряжения и токовым выходом (VCCS) – для каждого порта ожидается одно имя или номер узла. Этот тип порта автоматически является входом / выходом.
%gd	Представляет дифференциальный порт VCCS – для каждого порта ожидаются имена двух узлов или номера двух узлов.
%h	Представляет собой униполярный порт токовым входом и выходом напряжения (CCVS) – для каждого порта ожидается одно имя или номер узла. Этот тип порта автоматически является входом / выходом.
%hd	Представляет собой дифференциальный порт CCVS – для каждого порта ожидаются имена двух узлов или номера двух узлов.
%d	Представляет цифровой порт – для каждого порта ожидается одно имя или номер узла. Этот тип порта может быть либо входом, либо выходом.
%vname *	Представляет имя источника напряжения, ток, через который берётся в качестве входного сигнала. Это обозначение предоставляется в первую очередь для того, чтобы модели, определённые с использованием синтаксиса SPICE3, работали правильно в XSPICE.

Примечания:

- Модификатор может быть опущен. В этом случае используется спецификация по умолчанию.
- Для улучшения восприятия можно добавлять круглые скобки для указания в них пары выводов, определяемых как дифференциальный порт.
- Имена параметров, перечисленных в определении модели-прототипа .MODEL, должны быть идентичны тому, как они приведены в данном Руководстве (см. [индивидуальные описания типов моделей-прототипов](#)).
- Информация о допустимых спецификациях портов модели приведена в описаниях прототипов моделей.

Примеры:

1. Включение в файл задания модели-экземпляра и модели-прототипа:

```
a1 [~1 2] 3 nand1
.model nand1 d_nand (rise_delay=0.1 fall_delay=0.2)
```

2. Указание двух дифференциальных соединений напряжения – один для узлов 1 и 2, и второй для узлов 3 и 4:

```
%vd [1 2 3 4]
```

3. Указание двух униполярных соединений напряжения для узлов 1 и 2 и одного дифференциального соединения напряжения для узлов 3 и 4:

```
%v [1 2 %vd 3 4]
```

4. Аналогично п.3, но с использованием круглых скобок для улучшения читаемости:

```
%v [1 2 %vd(3 4)]
```

5. Указание, что номера моделей должны быть обработаны по умолчанию для конкретной модели. Если эта модель имеет %v модификатор по умолчанию для этого порта, тогда нотация для четырёх униполярных соединений напряжения будет:

```
[1 2 3 4]
```

Несколько примеров описания различных моделей:

Усилитель:

```
a1 1 2 amp
.model amp gain(in_offset=0.1 gain=5.0 out_offset=-0.01)
```

Сумматор:

```
a2 %i[1 2] 3 sum1
.model sum1 summer(in_offset=[0.1 -0.2] in_gain=[2.0 1.0]
+out_gain=5.0 out_offset=-0.01)
```

Сумматор:

```
a21 %i[1 %vd(2 5) 7 10] 3 sum2
.model sum2 summer(out_gain=10.0)
```

Ограничитель:

```
a5 1 2 limit5
.model limit5 limit(in_offset=0.1 gain=2.5
+out_lower_limit=-5.0 out_upper_limit=5.0 limit_domain=0.1
+fraction=FALSE)
```

Источник с кусочно-линейной функцией:

```
a7 2 %id(4 7) xsfer_cntl1
.model xsfer_cntl1 pwl(x_array=[-2.0 -1.0 2.0 4.0 5.0]
+y_array=[-0.2 -0.2 0.1 2.0 10.0] input_domain=0.05
+fraction=TRUE)
```

Аналоговый ключ:

```
a8 3 %gd(6 7) switch3
.model switch3 aswitch(cntl_off=0.0 cntl_on=5.0 r_off=1e6
+r_on=10.0 log=TRUE)
```

Подсхемы

Подсхемы представляют собой аналоги функциональных групп. SPICE автоматически подставляет группу элементов подсхемы в то место, где она была определена. При этом подсхема определяется в качестве прототипа, и её экземпляры могут быть многократно вызваны. Не существует каких-либо ограничений на размер или сложность подсхем, при этом подсхема может содержать в качестве элементов другие подсхемы.

Основная форма:

```
.SUBCKT <обозначение> <N1> [<N2> <N3>...]  
+[PARAMS: <P1=значение_1> [<P2=значение_2> <P3=значение_3>...]]  
<Строка 1>  
<Строка 2>  
...  
<Строка N>  
.ENDS [<обозначение>]
```

Описание:

<code>.SUBCKT</code>	ключевое слово начала описания.
<code><обозначение></code>	обозначение прототипа подсхемы.
<code><N1>, <N2>, <N3></code>	узлы для подключения, для них запрещено указывать базовую «0» цепь, т.к. базовая цепь является глобальной и всегда доступна для обращения к ней.
<code><P1>, <P2>, <P3></code>	произвольные имена параметров. Эти имена не должны совпадать с именами глобальных или системных параметров, т.к. это может привести к коллизиям при обращении к ним.
<code><значение_1>, <значение_2>, <значение_3></code>	некоторые действительные числа. Особенностью подсхем в текущей реализации имитатора является приведение значений любых передаваемых параметров к действительным числам.
<code><Строка 1>, <Строка 2>, <Строка N></code>	строки определения экземпляров и прототипов моделей устройств и подсхем.
<code>.ENDS</code>	ключевое слово окончания описания.

Управляющие строки, например, `.include` или `.func`, можно указывать внутри описания подсхемы, однако область их действия будет ограничена подсхемой, в которой они применены.

Пример:

```
.SUBCKT OPAMP 1 2 3 4 5 PARAMS: USIL=1E6 NELIN=1E-3  
...  
...  
...  
.ENDS OPAMP
```

Повторно используемые файлы с описанием участка схемы

Можно повторно использовать наиболее часто употребляемые наборы моделей или целые схемы. Решить данную задачу позволяет высказывание `.INCLUDE`. В качестве параметра данного высказывания используется имя файла.

Основная форма:

```
.INCLUDE <имя файла>
```

Описание:

<code>.INCLUDE</code>	ключевое слово;
-----------------------	-----------------

<code><имя файла></code>	имя файла.
--------------------------------	------------

Пример:

```
.include "opamps.mdl"
```

Примечания:

- Имя файла не должно содержать кириллических символов, также не должно быть кириллических символов в пути к нему.
- По умолчанию имитатор будет искать файл в местоположении файла-задания.
- Файл задания имеет расширение `*.nsx`.

ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИМИТАТОРА MIXED SIM

Интерфейс пользователя имитатора электрических цепей представлен командами, по умолчанию расположенными в меню **Simulate**. Имитатор электрических цепей Altium Designer можно конфигурировать для решения задач моделирования. Наборы настроек можно сохранять в виде профилей моделирования (**Simulation Profile**). Проект Altium Designer может содержать неограниченное число профилей. Altium Designer может использовать несколько имитаторов электрических цепей. Меню **Simulate** позволяет единообразно использовать интерфейс пользователя для управления настройками профилей имитаторов, поэтому некоторые команды меню повторяются если их действие распространяется на разные имитаторы электрических цепей.

Меню Simulate

Меню **Simulate** представлено на рисунке 1.

- Команды меню **Simulate**:
- **Active Simulation Profile** – выбор активного профиля имитатора;
- **Rename** – переименование текущего профиля имитатора;
- **Edit Setup** – редактирование текущего выбранного профиля имитатора;
- **New Simulation Profile** – создание нового профиля имитатора;
- **Remove** – удаление профиля имитатора;
- **Profile Manager** – менеджер профилей;
- **Run Simulation** – запуск вычислений для текущего профиля;
- **Generate Netlist** – создание файла задания имитатора;
- **Probe Manager** – менеджер пробников;
- **Place Probe** – создание и размещение нового пробника на электрической схеме.

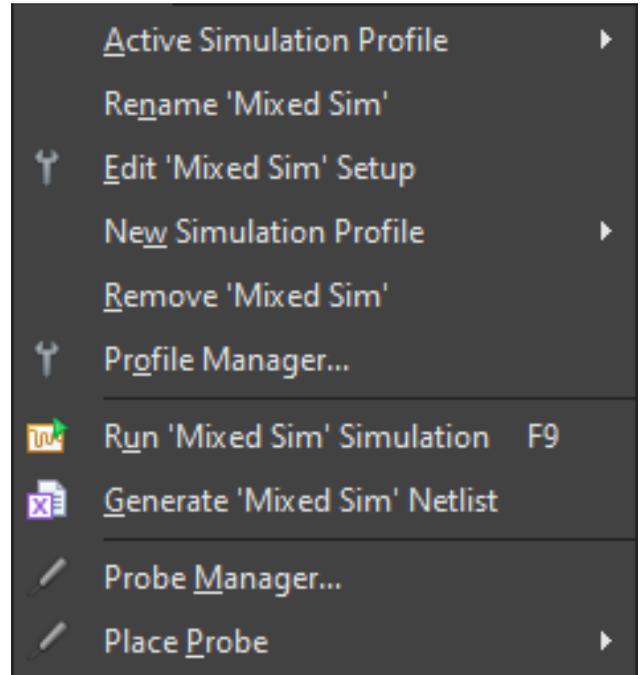


Рисунок 1 - Меню **Simulate**

Настройка профиля моделирования

Настройки профиля моделирования доступны по команде **Edit Setup**. Диалоговое окно управления профилем представлено на рисунке 2.

Интерфейс диалогового окна **Analyses Setup** состоит из двух основных областей: слева область категорий настроек, справа – область настроек.

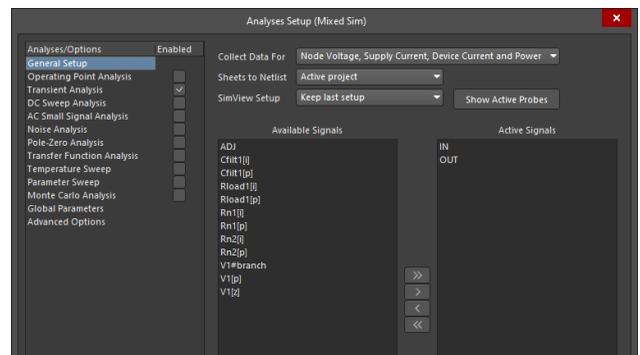


Рисунок 2 – Диалоговое окно **Analyses Setup** для управления профилем моделирования.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Назначение категорий настроек следующее:

General Setup	-	Основные настройки, управление выводом информации.
Operating Point Analysis	-	Расчёт рабочей точки по постоянному току.
Transient Analysis	-	Расчёт переходного процесса.
DC Sweep Analysis	-	Расчёт по постоянному току характеристики чувствительности к вариации независимого источника.
AC Small Signal Analysis	-	Расчёт АЧХ по переменному току.
Noise Analysis	-	Расчёт внутреннего шума.
Pole-Zero Analysis	-	Расчёт полюсов и нулей.
Transfer Function Analysis	-	Расчёт передаточной характеристики по постоянному току.
Temperature Sweep	-	Варьирование температуры (дополнительный модификатор расчётов).
Parameter Sweep	-	Варьирование параметров (дополнительный модификатор расчётов).
Monte Carlo Analysis	-	Варьирование разброса номинальных величин (дополнительный модификатор расчёта).
Global Parameters	-	Глобальные параметры профиля.
Advanced Options	-	Точная настройка параметров имитатора.

General Setup

Настройки категории General Setup представлены на рисунке 3.

Настройка Collect Data For определяет типы результатов вычислений, которые будут доступны для дальнейшего анализа. Допустимые значения данной настройки:

- Node Voltage and Supply Current – только напряжения узлов электрической цепи и токи источников.
- Node Voltage, Supply and Device Current – только напряжения узлов электрической цепи, токи источников и устройств.
- Node Voltage, Supply Current, Device Current and Power – только напряжения узлов электрической цепи, токи источников и устройств, потребляемая мощность.
- Node Voltage, Supply Current and Subcircuit VARs – только напряжения узлов электрической цепи, токи источников и данные составных частей подсхем;
- Active Signals / Probes – только активные сигналы и пробники.

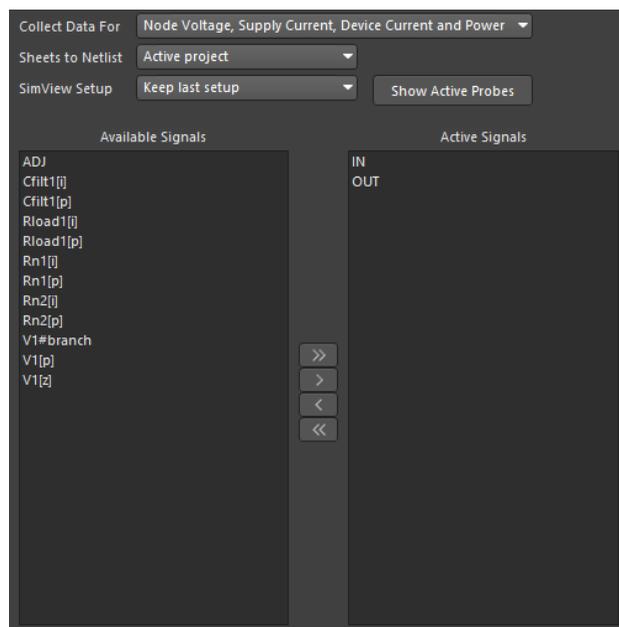


Рисунок 3 - Категория General Setup

Примечания:

- Ток считается положительным при направлении втеkania через положительный терминал (порт/вывод) модели;
- Мощность считается положительной, если выделяется в устройстве и отрицательной, если потребляется от него.
- Активным пробник или сигнал считается, если объявлен в правом поле Active Signals / Active Probes.

Настройка Sheets To Netlist определяет область электрической схемы, которая будет обрабатываться для составления файла задания имитатора.

Допустимые значения данной настройки:

- Active sheet – только текущий лист схемы, с которого пользователь вызовет команду расчёта Run Simulation;
- Active project – все листы текущего проекта.

Настройка SimView Setup определяет представление результатов вычислений:

- Keep last setup – последняя сделанная настройка в файле результатов (*.sdf);
- Show active signals – отображать все активные сигналы;
- Show active probes – отображать все активные пробники;
- Show active signals / probes – отображать все активные пробники и сигналы.

Кнопка Show Active Probes позволяет переключить поля Available Signals и Active Signals на отображение активных пробников Available Probes и Active Probes соответственно.

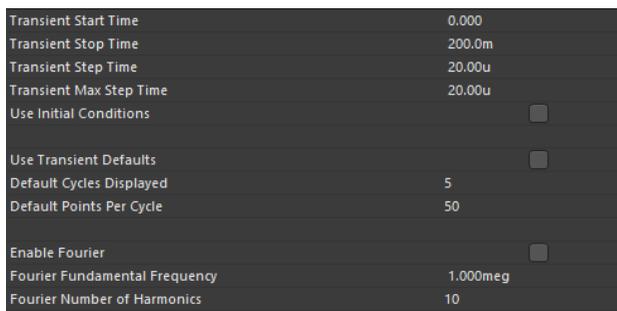
Кнопки , , ,  предназначены для переноса сигналов и пробников между левым и правым полями Available и Active.

Operating Point Analysis

Категория Operating Point Analysis настроек не имеет.

Transient Analysis

Настройки категории Transient Analysis представлены на рисунке 4.



Transient Start Time	0.000
Transient Stop Time	200.0m
Transient Step Time	20.00u
Transient Max Step Time	20.00u
Use Initial Conditions	<input type="checkbox"/>
Use Transient Defaults	<input type="checkbox"/>
Default Cycles Displayed	5
Default Points Per Cycle	50
Enable Fourier	<input type="checkbox"/>
Fourier Fundamental Frequency	1.000meg
Fourier Number of Harmonics	10

Рисунок 4 – Настройку Transient Analysis

Transient Start Time – начальное время фиксации переходного процесса, единица измерения – секунды;

Transient Stop Time – конечное время фиксации переходного процесса, единица измерения – секунды;

Transient Step Time – начальное значение длительности временного шага при вычислении переходного процесса, при необходимости имитатор уменьшит длительность шага, единица измерения – секунды;

Transient Max Step Time – максимальная длительность временного шага при вычислении переходного процесса, имитатор не может делать временной шаг большей длительности, единица измерения – секунды;

Use Initial Conditions – флаг разрешения использовать параметры начальных условий моделей, при снятом флажке система выполняет предварительный анализ на основе расчёта рабочей точки, а результат принимает за начальные условия, единица измерения – отсутствует;

Use Transient Defaults – использовать настройки переходного процесса по умолчанию, позволяет перейти от вышеописанных настроек к нижеописанным, единица измерения – отсутствует;

Default Cycles Displayed – количество циклов по умолчанию, система определит самый длительный периодический процесс в модели электрической цепи и определит длительность всего переходного процесса кратной длительности названного периодического процесса, единица измерения – безразмерная.

Default Points Per Cycle – количество точек для цикла по умолчанию, система определит длительность максимального и начально шага таким образом, чтобы они были кратны продолжительности самого длительного цикла, единица измерения – безразмерная.

Enable Fourier – флаг разрешения выполнить расчёт компонент разложения в ряд Фурье, единица измерения – отсутствует.

Fourier Fundamental Frequency – фундаментальная частота разложения в ряд Фурье, единица измерения – Герц;

Fourier Number of Harmonics – число компонент ряда Фурье, единица измерения – безразмерная.

Кнопка Set Defaults предназначена для определения значений настроек по умолчанию.

DC Sweep Analysis

Настройки категории DC Sweep Analysis представлены на рисунке 5.

DC Sweep Analysis Setup		
Parameter		Value
Primary Source		V1
Primary Start		0.000
Primary Stop		5.000
Primary Step		100.0m
Enable Secondary	<input type="checkbox"/>	
Secondary Name		
Secondary Start		0.000
Secondary Stop		0.000
Secondary Step		0.000

Рисунок 5 - Настройки DC Sweep Analysis

Primary Source – выбор первичного источника напряжения для варьирования, можно указать только независимый источник, единица измерения – отсутствует.

Primary Start – начальное значение номинала первичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Primary Stop – конечное значение номинала первичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Primary Step – шаг изменения номинала первичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Enable Secondary – флаг разрешения вторичного источника, для каждого изменения вторичного источника будет произведено варьирование номинала первичного источника, единица измерения – отсутствует;

Secondary Name – выбор вторичного источника напряжения для варьирования, можно указать только независимый источник, единица измерения – отсутствует.

Secondary Start – начальное значение номинала вторичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Secondary Stop – конечное значение номинала вторичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Secondary Step – шаг изменения номинала вторичного источника, единица измерения – Вольт или Ампер;

Примечание – функция изменения номинала источника только линейная.

AC Small Signal Analysis

Настройки категории AC Small Signal Analysis представлены на рисунке 6.

AC Small Signal Analysis Setup		
Parameter		Value
Start Frequency		1.000
Stop Frequency		1.000meg
Sweep Type		Linear
Test Points		100

Рисунок 6 - Настройки AC Small Signal Analysis

Start Frequency – начальная частота АЧХ, единица измерения – Герц;

Stop Frequency – конечная частота АЧХ, единица измерения – Герц;

Sweep Type – тип распределения точек по шкале частот, доступны значения: Linear – линейное распределение точек по диапазону, Decade – логарифмическое распределение по основанию 10, Octave – логарифмическое распределение по основанию 8, единица измерения – отсутствует.

Test Points – количество точек на диапазон, для Sweep Type= Linear определяется количество точек на весь диапазон, для Sweep Type= Decade определяется количество точек на декаду, для Sweep Type= Octave определяется количество точек на октаву.

В нижней части области настроек приводится информация об общем количестве точек для полного диапазона частот.

Noise Analysis

Настройки категории Noise Analysis представлены на рисунке 7.

Noise Analysis Setup	
Parameter	Value
Noise Source	
Start Frequency	0.000
Stop Frequency	0.000
Sweep Type	Linear
Test Points	0
Points Per Summary	0
Output Node	
Reference Node	0

Рисунок 7 - Настройки Noise Analysis Setup

Noise Source – обозначение независимого источника, единица измерения – отсутствует;

Start Frequency – начальная частота, единица измерения – Герц;

Stop Frequency – конечная частота, единица измерения – Герц;

Sweep Type – тип распределения точек по шкале частот, доступны значения: Linear – линейное распределение точек по диапазону, Decade – логарифмическое распределение по основанию 10, Octave – логарифмическое распределение по основанию 8, единица измерения – отсутствует.

Test Points – количество точек на диапазон, для Sweep Type = Linear определяется количество точек на весь диапазон, для Sweep Type = Decade определяется количество точек на декаду, для Sweep Type = Octave определяется количество точек на октаву.

Points Per Summary – шаг по количеству точек в диапазоне частот на которых производится создание шумовых вкладов каждым генератором шума, единица измерения – безразмерная;

Output Node – обозначение выходного узла, единица измерения отсутствует;

Reference Node – обозначение опорного узла.

В нижней части области настроек приводится информация об общем количестве точек для полного диапазона частот.

Pole-Zero Analysis

Настройки категории Pole-Zero Analysis представлены на рисунке 8.

Pole-Zero Analysis Setup	
Parameter	Value
Input Node	
Input Reference Node	0
Output Node	
Output Reference Node	0
Transfer Function Type	V(output)/V(input)
Analysis Type	Poles and Zeros

Рисунок 8 - Настройки Pole-Zero Analysis

Input Node – обозначение входного узла, единица измерения – отсутствует;

Input Reference Node – обозначение опорного узла для входного узла, единица измерения – отсутствует;

Output Node – обозначение выходного узла, единица измерения – отсутствует;

Output Reference Node – обозначение опорного узла для выходного узла, единица измерения – отсутствует;

Transfer Function Type – тип передаточной характеристики, доступные значения: V(output)/V(input) – пропорциональная передаточная характеристика, V(output)/I(input) – импедансная передаточная характеристика, единица измерения – отсутствует;

Analysis Type – тип проводимых расчётов, возможные значения: Poles Only – только полюсы, Zeros Only – только нули, Poles and Zeros – полюсы и нули, единица измерения – отсутствует.

Transfer Function Analysis

Настройки категории Transfer Function Analysis представлены на рисунке 9.

Transfer Function Analysis Setup	
Parameter	Value
Source Name	
Reference Node	0

Рисунок 9 - Настройки Transfer Function Analysis

Source Name – обозначение независимого источника, единица измерения – отсутствует;

Reference Node – обозначение опорного узла, единица измерения – отсутствует.

Temperature Sweep

Настройки категории Temperature Sweep представлены на рисунке 10.

Temperature Sweep Setup	
Parameter	Value
Start Temperature	0.000
Stop Temperature	0.000
Step Temperature	0.000

Рисунок 10 - Настройки Temperature Sweep

Start Temperature – начальная температура, единица измерения – градус Цельсия;

Stop Temperature – конечная температура, единица измерения – градус Цельсия;

Step Temperature – шаг изменения температуры, единица измерения – градус Цельсия.

Parameter Sweep

Настройки категории Parameter Sweep представлены на рисунке 11.

Parameter Sweep Setup	
Parameter	Value
Primary Sweep Variable	
Primary Start Value	0.000
Primary Stop Value	0.000
Primary Step Value	0.000
Primary Sweep Type	Absolute Values
Enable Secondary	<input type="checkbox"/>
Secondary Sweep Variable	
Secondary Start Value	0.000
Secondary Stop Value	0.000
Secondary Step Value	0.000
Secondary Sweep Type	Absolute Values

Рисунок 11 - Настройки Parameter Sweep

Primary Sweep Variable – наименование первичного варьируемого параметра, единица измерения – отсутствует;

Primary Start Value – начальное значение варьируемого первичного параметра, единица измерения – зависит от первичного параметра;

Primary Stop Value – конечное значение варьируемого первичного параметра, единица измерения – зависит от первичного параметра;

Primary Step Value – шаг варьирования первичного параметра, единица измерения – зависит от первичного параметра;

Primary Sweep Type – способ вариации первичного параметра, допустимые значения: Absolute Values – абсолютное значение параметра, Relative Values – относительное значение параметра, единица измерения – отсутствует;

Enable Secondary – флаг разрешения варьировать вторичный параметр, для каждого значения вторичного параметра производится варьирование первичного параметра;

Secondary Sweep Variable – наименование вторичного варьируемого параметра, единица измерения – отсутствует;

Secondary Start Value – начальное значение варьируемого вторичного параметра, единица измерения – зависит от вторичного параметра;

Secondary Stop Value – конечное значение варьируемого вторичного параметра, единица измерения – зависит от вторичного параметра;

Secondary Step Value – шаг варьирования вторичного параметра, единица измерения – зависит от вторичного параметра;

Secondary Sweep Type – способ вариации первичного параметра, допустимые значения: Absolute Values – абсолютное значение параметра, Relative Values – относительное значение параметра, единица измерения – отсутствует.

Monte Carlo Analysis

Настройки категории Monte Carlo Analysis представлены на рисунке 12.

Monte Carlo Analysis Setup	
Parameter	Value
Seed	-1
Distribution	Uniform
Number of Runs	5
Default Resistor Tolerance	10%
Default Capacitor Tolerance	10%
Default Inductor Tolerance	10%
Default Transistor Tolerance	10%
Default DC Source Tolerance	10%
Default Digital T _p Tolerance	10%
Specific Tolerances	0 defined...

Рисунок 12 - Настройки Monte Carlo Analysis

Seed – начальное состояние генератора случайных чисел, единица измерения – отсутствует;

Distribution – тип функции распределения случайных чисел, допустимые значения: Uniform – равновероятное распределение, Gaussian – гауссово распределение, Worst Case – худший случай, единица измерения – отсутствует;

Number of Runs – количество расчётов с вариацией допусков, единица измерения – безразмерная;

Default Resistor Tolerance – величина допуска для резисторов по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Default Capacitor Tolerance – величина допуска для конденсаторов по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Default Inductor Tolerance – величина допуска для катушек индуктивности по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Default Transistor Tolerance – величина допуска для транзисторов по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Default DC Source Tolerance – величина допуска для постоянных источников по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Default Digital Tr Tolerance – величина допуска для задержки распространения для цифровых элементов по умолчанию, единица измерения – безразмерная;

Specific Tolerances – определение специфических допусков для устройств, настройки представлены на рисунке 13.

Поле Designator – обозначение устройства, для которого определены специальные характеристики допуска, единица измерения – отсутствует;

Поле Parameter – наименование характеристики допуска параметра устройства, значение которого будет варьироваться, единица измерения – отсутствует;

Группа полей Device – поля, определяющие характеристики допуска для конкретного экземпляра;

Поле Tolerance – размер допуска, единица измерения – безразмерная величина;

Поле Tracking No. – индекс совместности вариации допуска, одинаковое значение для нескольких устройств обеспечивает одинаковую пропорцию изменения варьируемых параметра, единица измерения – отсутствует;

Поле Distribution – тип функции распределения, допустимые значения: Uniform – равномерное распределение, Gaussian – гауссово распределение, Worst Case – худший случай, единица измерения – отсутствует;

Группа полей Lot – поля, определяющие характеристики допуска для группы частей одного элемента, при этом определяется совместное изменение варьируемого параметра, например, для сборки резисторов или матрицы диодов.

Результирующий допуск вычисляется как среднее геометрическое значений полей Tolerance для групп полей Device и Lot.

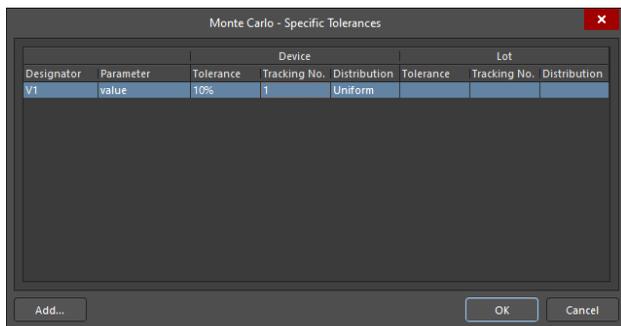


Рисунок 13 – Настройки окна Monte Carlo – Specific Tolerance.

Global Parameters

Категория, служащая для определения глобальных параметров. Кнопка Add позволяет определить новый глобальный параметр. Кнопка Remove позволяет удалить существующий глобальный параметр.

Advanced Options

Категория настроек имитатора. Описание настроек подробно описано в разделе «Виды расчётов \ Описание параметров имитатора».

Менеджер профилей

Менеджер профилей предназначено для управления профилями моделирования. Менеджер профилей представлен на рисунке 14.

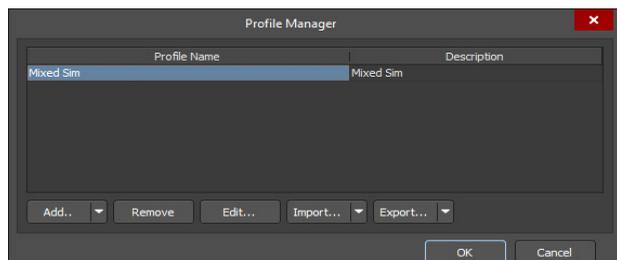


Рисунок 14 - Менеджер профилей

Каждый профиль в менеджере профилей характеризуется наименованием, отображаемым в поле Profile Name, и примечанием, отображаемым в поле Description.

Кнопка Add служит для создания нового профиля.

Кнопка Remove служит для удаления существующего профиля.

Кнопка Edit открывает окно управления профилем.

Кнопка Export позволяет сохранить профиль моделирования во внешний файл.

Кнопка Import позволяет загрузить профиль моделирования из внешнего файла.

Менеджер пробников

Менеджер пробников предназначен для определения пробников для профилей моделирования. Менеджер пробников может быть представлен в двух видах, вид можно переключить кнопкой Profile View \ Basic View. Базовый вид представлен на рисунке 15, дополнительный вид представлен на рисунке 16.

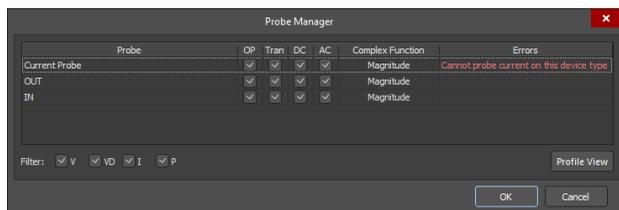


Рисунок 15 - Базовый вид менеджера профилей

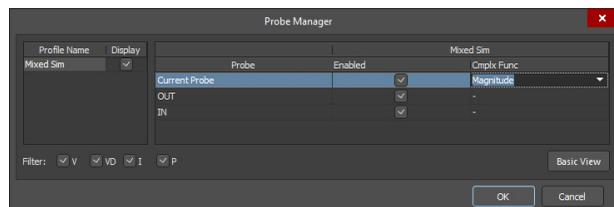


Рисунок 16 - Дополнительный вид менеджера профилей

В поле Complex Function можно определить характеристику компоненты комплексной переменной.

Magnitude – амплитуда сигнала;

Magnitude (dB) – амплитуда сигнала в децибелах;

Bode Plot – график Боде;

Real – действительная часть сигнала;

Imaginary – мнимая часть сигнала;

Phase (Deg) – фаза в градусах;

Phase (Rad) – фаза в радианах;

Group Delay – групповая задержка.

Определения, заданные для сигнала в поле Complex Function, действуют только для видов расчётов при вариации частоты.

НАЗНАЧЕНИЕ МОДЕЛИ ИМИТАТОРА ЭЛЕМЕНТУ СХЕМЫ

Назначение модели имитатора можно выполнить через свойства элемента электрической схемы. В панели Properties в области Models следует нажать кнопку Add и выбрать в выпадающем меню пункт Simulation. Назначение модели выполняется в окне Sim Model – General, внешний вид окна представлен на рисунке 17.

Интерфейс пользователя в окне Sim Model имеет шесть вкладок:

- Model Kind – определение основных свойств модели.
- Parameters – определение параметров шаблона модели.
- Port Map – назначение выводов элемента портам модели.
- Netlist Template – шаблон модели.
- Netlist Preview – результат подстановки фактических данных в шаблон.
- Model File – текст файла описания модели-прототипа.

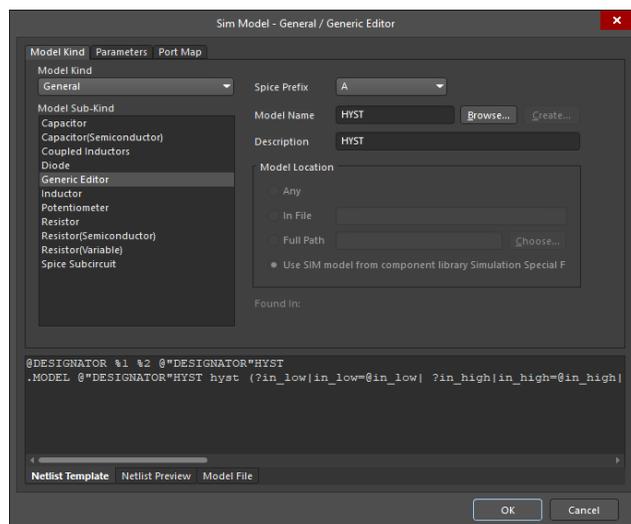


Рисунок 17 – Окно Sim Model.

Порядок действия для назначения модели элементу следующий:

- Выбрать типовой шаблон на вкладке Model Kind в полях Model Kind и Model Sub-Kind, если возможно;
- Указать имя модели или выбрать файл модели на вкладке Model Kind, если требуется типовым шаблоном;
- Выбрать SPICE префикс, если указано значение Generic Editor в поле Model Sub-Kind;
- Определить описание в поле Description на вкладке Model Kind;
- Указать расположение файла модели в области Model Location;
- Сформировать пользовательский шаблон модели на вкладке Netlist Template, если указано значение Generic Editor;
- Создать параметры модели на вкладке Parameters, если определено значение Generic Editor в поле Model Sub-Kind на вкладке Model Kind;
- Определить значение и видимость параметров на вкладке Parameters;
- Настроить соответствие выводов условного графического обозначения портам модели на вкладке Port Map;
- Выполнить проверку подстановки актуальных данных в шаблон на вкладке Netlist Preview;
- Выполнить проверку содержания файла описания модели-прототипа на вкладке Model File.

Указанный выше порядок действий не является строго обязательным, но поможет правильно сориентироваться в процессе назначения модели элементу при недостатке опыта выполнения этой процедуры.

Вкладка Model Kind

Основными свойствами модели элемента являются SPICE-префикс, имя модели-прототипа.

Altium Designer использует подход назначения типовых моделей на основе типовых шаблонов. Типовой шаблон позволяет пользователю снизить затраты времени на описание модели элемента. Выбор типового шаблона определяются полями Model Kind и General Sub-Kind. Типовые шаблоны сгруппированы по функциональному назначению, выбор группы осуществляется через поле Model Kind.

Поле Model Kind

Для поля Model Kind доступны следующие значения:

- Current Source – источники тока;
- General – основные модели;
- Initial Condition – начальные условия;
- Switch – ключи;
- Transistor – транзисторы;
- Transmission Line – линии передачи;
- Voltage Source – источники напряжения.

Поле Model Sub-Kind

Выбор типового шаблона в группе осуществляется через поле General Sub-Kind.

Для значения Current Source поля Model Kind доступны следующие значения:

- Current-Controlled – управляемый током источник тока;
- DC Source – постоянный источник тока;
- Equation – источник тока, определяемый выражением;
- Exponential – источник тока, определяемый функцией экспоненты;
- Piecewise Linear – источник тока, определяемый кусочно-линейной функцией;
- Pulse – источник тока, определяемый импульсной функцией;
- Single-Frequency FM – источник тока, определяемый частотно-модулируемой функцией;
- Sinusoidal – источник тока, определяемый функцией синуса;
- Voltage-Controlled – управляемый напряжением источник тока.

Для значения General поля Model Kind доступны следующие значения:

- Capacitor – конденсатор;
- Capacitor (Semiconductor) – конденсатор (полупроводниковый);
- Coupled Inductors – связанные индуктивности;
- Diode – полупроводниковый диод;
- Generic Editor – пользовательская модель;

- Inductor – катушка индуктивности;
- Potentiometer – потенциометр;
- Resistor – резистор;
- Resistor (Semiconductor) – резистор (полупроводниковый);
- Resistor (Variable) – резистор (переменный);
- Spice Subcircuit – подсхема.

Для значения Initial Condition поля Model Kind доступны следующие значения:

- Initial Node Voltage Guess – предположение о напряжении в узле для расчёта рабочей точки;
- Set Initial Condition – определение напряжения в узле.

Для значения Switch поля Model Kind доступны следующие значения:

- Current-Controlled – ключ, управляемый током;
- Voltage-Controlled – ключ, управляемый напряжением.

Для значения Transistor поля Model Kind доступны следующие значения:

- BJT – биполярный транзистор;
- JFET – полевой транзистор с PN-переходом;
- MESFET – полевой транзистор с затвором Шоттки;
- MOSFET – полевой транзистор с изолированным затвором.

Для значения Transmission Line поля Model Kind доступны следующие значения:

- Lossless – линия передачи без потерь;
- Lossy – линия передачи с потерями;
- Uniform Distributed RC – линия передачи с равномерно-распределённым запаздыванием.

Для значения Voltage Source поля Model Kind доступны следующие значения:

- Current-Controlled – управляемый током источник напряжения;
- DC Source – постоянный источник напряжения;
- Equation – источник напряжения, определяемый выражением;
- Exponential – источник напряжения, определяемый функцией экспоненты;
- Piecewise Linear – источник напряжения, определяемый кусочно-линейной функцией;
- Pulse – источник напряжения, определяемый импульсной функцией;
- Single-Frequency FM – источник напряжения, определяемый частотно-модулируемой синусоидальной функцией;
- Sinusoidal – источник напряжения, определяемый функцией синуса;
- Voltage-Controlled – управляемый напряжением источник напряжения.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Поле *SPICE Prefix*

Поле SPICE определяет тип модели. SPICE-префикс автоматически подставляется в начале шаблона модели.

Префикс	Тип модели
A	Дополнительные модели XSPICE
B	Нелинейный источник (поведенческий источник)
C	Конденсаторы
D	Диоды
E	Источник напряжения, управляемый напряжением
F	Источник напряжения, управляемый током
G	Источник тока, управляемый напряжением
H	Источник тока, управляемый током
I	Независимый источник тока
J	Полевой транзистор с PN-переходом
K	Магнитная связь
L	Катушка индуктивности
M	Полевой транзистор с полевым затвором
O	Линия передачи с потерями
Q	Биполярный транзистор
R	Резистор
S	Ключ, управляемый напряжением
T	Линия передачи без потерь
U	Линия передачи с равномерно распределённым запаздыванием
V	Независимый источник напряжения
W	Ключ, управляемый током
X	Подсхема
Y	Одиночная линия передачи с потерями
Z	Полевой транзистор с затвором Шоттки

Поле *Model Location*

Поле *Model Location* предназначено для определения способа поиска файла модели. Поле допускает три варианта определения: *Any*, *In File* и *Full Path*.

Значение *Any* определяет поиск подходящей по имени модели-экземпляра во всех возможных местах. Система назначит первую найденную подходящую модель в любом доступном файле.

Значение *In File* определяет поиск модели в файле с определённым именем. Система назначит первую найденную подходящую модель в первом найденном подходящем файле.

Значение *Full Path* определяет поиск модели в файле с определённым именем и расположением. Система назначит первую найденную подходящую модель.

Ниже поля *Model Location* располагается строка «*Found In:*» отображающая путь к файлу и его имя, в котором система обнаружила подходящую модель.

Вкладка *Parameters*

Вкладка *Parameters* предназначена для определения параметров, влияющих на интерпретацию модели-экземпляра.

Для моделей, определённых как типовые, вид вкладки параметров содержит только предопределённые параметры. В таком случае допускается только менять значения параметров и определение их отображения в параметрах условного графического обозначения элемента с помощью флага *Component Parameter*.

Для моделей, определённых свободным шаблоном (*Model Sub-Kind = Generic Editor*), вид вкладки позволяет создавать, определять и удалять параметры шаблона модели.

Вкладка *Port Map*

Вкладка *Port Map* предназначена для связывания выводов условного графического обозначения элемента с шаблоном модели-экземпляра.

На этой вкладке пользователь должен однозначно определить соответствие в столбце *Model Pin*. Столбец *Schematic Pin* содержит обозначение и имя вывода, столбец *Model Pin* содержит порядковый номер и обозначение порта в шаблоне.

Если условное графическое обозначение элемента содержит несколько частей (*Part*), то может потребоваться определить соответствие выводов модели для каждой части. В связи с особенностями назначения модели, компоненту можно определить только одну SPICE-модель в библиотеке. Однако размещённым на электрической схеме частям одного компонента возможно назначать модели индивидуально. В этом случае, обратившись к окну *Sim Mode* для любой из частей, возможно определять назначение выводов моделей индивидуально для каждой части, однако лучше (и надёжнее) придерживаться метода индивидуального управления через доступ к окну *Sim Model* каждой из частей. Важно понимать, что управление частями на вкладке *Port Map* предназначено для гомогенных элементов (с идентичными по функциональности частями). Допустимо назначить каждой части индивидуальную модель, однако назначение одной модели нескольких частей элемента невозможно: в файле задания каждая часть будет реализована в виде индивидуального высказывания, при этом, поскольку количество выводов в каждой части элемента меньше количества портов модели, то расшифровка шаблона будет не полной, что вызовет ошибку времени исполнения имитатора.

Вкладка Netlist Template

Вкладка Netlist Template предназначена для просмотра шаблона модели-экземпляра, а также для определения шаблона в случае, если значение поля Model Sub-Kind на вкладке General определено равным Generic Editor.

Формирование шаблона построено на обработке подстановок данных в шаблон. Шаблон имеет специфический синтаксис, позволяющий описывать заменяющие лексемы.

Шаблон может состоять из одной или нескольких строк.

Построение каждой строки после выполнения подстановок должно соответствовать требованиям синтаксиса имитатора.

Шаблон может содержать следующие специальные символы:

%	Знак процента
@	Коммерческое «эт»
&	Амперсанд
?	Знак вопроса
~	Тильда
#	Решётка

Данные символы являются дескрипторами параметров. Они управляют трансляцией шаблона модели в файл задания и транслируются следующим образом.

Формат лексемы шаблона	Заменяется на
@<param>	Значение параметра с именем <param>. Возникает ошибка, если параметр с именем <param> не существует или ему не присвоено какое-либо значение.
&<param>	Значение параметра с именем <param>. Ошибка не возникает, даже если параметр не определён.
?<param>s...s	Текст между разделителями s...s, если параметр <param> определён.
?<param>s...ss...s	Текст между разделителями s...s, если параметр с именем <param> определён, иначе – текст между второй парой разделителей s...s.
~<param>s...s	Текст между разделителями s...s, если параметр с именем <param> не определён.
~<param>s...ss...s	Текст между первой парой разделителей s...s, если параметр с именем <param> не определён, иначе текст между второй парой разделителей s...s.
#<param>s...s	Текст между разделителями s...s, если параметр с именем <param> определён, но отбрасывается остальная часть шаблона, если параметр с именем <param> не определён.
#s...s	Текст между разделителями s...s, если какой-либо текст будет введён в шаблон из последующих записей в шаблоне.
%<pin_id>	Имя цепи, которая присоединена к выводу <pin_id>.
%%	Символ процента.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Под определением параметра подразумевается его существование и установленное значение.

В качестве разделителей, обозначенных в таблице «S», должны применяться символы «,» - запятая, «.» - точка, «;» точка с запятой, «/» - правая косая, «|» - вертикальная прямая.

<param> соответствует имени какого-либо параметра модели. Если параметр имеет составное наименование из нескольких слов, разделённых не буквами или цифрами, тогда его наименование должно быть взято в двойные кавычки:

```
@ "DC Magnitude"  
& "Init_Cond"
```

Также двойные кавычки должны использоваться, если пользователь желает сделать какую-либо буквенно-цифровую приставку к имени параметра:

```
@ "DESIGNATOR" A
```

В некоторых случаях может потребоваться сделать переход на новую строку, если формируемая строка оказывается слишком длинной. Для этого в начале следующей строки следует поставить в качестве первого символа знак «+», в соответствии с требованиями синтаксиса имитатора.

Примеры трансляции шаблона

- @ "AC Phase"

Параметр *AC Phase* заключён в кавычки потому, что содержит пробел. Данная запись будет заменена в списке цепей значением параметра *AC Phase*, если параметр с таким именем будет отсутствовать, или его значение будет пустым, тогда будет сгенерирована ошибка.

- &Area

Данная запись будет заменена на значение параметра *Area* и введена в список цепей, если он существует и его значение определено. Если параметр не определён, то ничего не будет записано в список цепей, однако ошибка не будет сгенерирована. Эта конструкция используется для дополнительных необязательных параметров.

- ?IC|IC=@IC|

Если параметр *IC* определён, тогда данная запись будет заменена на текст между разделителями `| |`. Например, если параметр имеет значение 0.5, то в список цепей будет транслирована запись `IC = 0.5`. Если параметр не определён, то данные записи опускаются и не транслируются в файл.

- ?IC/IC=@IC//IC=0/

Данная запись будет заменена на текст между первой парой разделителей, если параметр *IC* определён, и на текст между второй парой разделителей, если параметр *IC* не определён. В данном примере, если параметр `IC = 0.5`, то запись будет транслирована как `IC = 0.5`, иначе она будет транслирована как `IC = 0`.

- ~VALUE/1k/

Данная запись будет транслирована в 1k, если параметр *VALUE* не определён.

- ~VALUE/1k//@VALUE/

Данная запись будет транслирована в 1k, если параметр *VALUE* не определён, и в значение параметра *VALUE*, если параметр *VALUE* определён.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- # "AC Magnitude" | AC @ "AC Magnitude" | @ "AC Phase"

Пусть параметр *AC Magnitude* = 0.5, а параметр *AC Phase* = 0, тогда данная запись будет транслирована в AC 0.5 0.

Пусть параметр *AC Magnitude* = 0.5, а параметр *AC Phase* не определён, тогда будет сгенерирована ошибка.

Пусть параметр *AC Magnitude* не определён, тогда часть шаблона, начиная от знака # и далее отбрасывается транслятором.

- # | PARAMS: | ?Resistance|Resistance=@Resistance| ?Current|Current=@Current|

Пусть параметры *Resistance* и *Current* не определены, тогда будет опущен весь описанный блок, от символа # и далее.

Пусть параметр *Resistance* = 0.5, это приведёт к появлению соответствующей записи PARAMS: Resistance = 0.5.

Пусть параметр *Current* = 0.6, это приведёт к появлению соответствующей записи PARAMS: Current = 0.6.

Пусть параметры *Resistance* = 0.5 и *Current* = 0.6, это приведёт к появлению соответствующей записи PARAMS: Resistance = 0.5 Current = 0.6.

- @DESIGNATOR %1 %2 @VALUE

Пусть позиционное обозначение *DESIGNATOR* = R1, параметр *VALUE* = 1k, а выводы имеют следующее подключение:

Вывод УГО	Порт модели	Подключённая цепь
1(N+)	1(1)	GND
2(N-)	2(2)	OUT

Данная запись будет транслирована как R1 GND OUT 1k.

Вкладка Netlist Preview

Вкладка Netlist Preview предназначена для отображения результата интерпретации шаблона. Актуальная информация доступна только после размещения элемента в электрической схеме, т.к. шаблон сопоставляет портам модели имена актуальных узлов цепей, а имена узлов цепей доступны существуют только в электрических схемах.

Вкладка Model File

Вкладка Model File отображает актуальный текст файла модели-прототипа.

Если описание модели-прототипа для модели-экземпляра не требуется, то будет указано: [No Model Required].

МОДЕЛИ ПРИМИТИВЫ ИМИТАТОРА

Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim

Резистор

Основная форма:

```
R<обозначение> <NODE+> <NODE-> <VALUE>
```

Описание:

<обозначение>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение резистора;
<NODE+>	узел положительной полярности;
<NODE->	узел отрицательной полярности.

Параметры:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
VALUE	Сопротивление	Ом	-	1000

Пример:

```
Rload 1 2 50
```

Полупроводниковый резистор

Основная форма:

```
R<NAME> <NODE+> <NODE-> <VALUE> <MNAME> [<L=LENGTH> <W=WIDTH> <TEMP=T>]
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение резистора;
<NODE+>	узел положительно полярности;
<NODE->	узел отрицательной полярности;
<VALUE>	номинальное сопротивление в Омах;
<MNAME>	имя применимой модели-прототипа;
LENGTH, WIDTH, T	числовые значения.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-экземпляра:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
L	Длина	м	-	10E-3
W	Ширина	м	DEFW	2E-3
TEMP	Локальная температура	°C	TNOM	50

Примечания:

Если указаны геометрические параметры L и W, то расчёт значения сопротивления выполняется на основе указанных параметров, иначе берётся значение параметра <VALUE>.

Если значение <VALUE> указано явно, то геометрические параметры игнорируются, если значение <VALUE> не указано, то номинальное значение сопротивления рассчитывается на основе модели-прототипа <MNAME>.

Модель-прототип:

```
.model RES (RSH=... [TC1=... TC2=...] [DEFW=...] [NARROW=...] [TNOM=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
TC1	Температурный коэффициент первого порядка	°C-1	0.0	-
TC2	Температурный коэффициент второго порядка	°C-2	0.0	-
RSH	Приведённое к ширине погонное сопротивление	Ом/(длина(м)/ширина(м))	-	50
DEFW	Ширина по умолчанию	м	1e-6	2e-6
NARROW	Утонение вследствие травления	м	0.0	1e-7
TNOM	Номинальная температура определения параметров	°C	27	50

$$R = RSH \frac{L - NARROW}{W - NARROW}$$

$$R(T) = R(T_{nom})(1 + TC1(T - T_{nom}) + TC2(T - T_{nom})^2)$$

Пример:

```
.PARAM GLOBALTEMP 10
Rtemp1 in1 0 rtp L=3E-3 W=150E-6 TEMP={GLOBALTEMP}
.model rpt RES (TC1=1E-3 TC2=-2E-6 RSH=50 DEFW=100E-6
+ NARROW=10E-6 TNOM=0)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Конденсатор

Основная форма:

C<NAME> <N+> <N-> <VALUE> <IC=INCOND>

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение конденсатора;
<N+>	имя узла положительно полярности;
<N->	имя узла отрицательной полярности;
<VALUE>	номинальная ёмкость в Фарадах;
<INCOND>	числовые значения.

Параметры:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
IC	Начальное напряжение	В	0	15

Пример:

C1 out 0 10u

Полупроводниковый конденсатор

Основная форма модели-экземпляра:

C<NAME> <N+> <N-> [<VALUE>] [<MNAME> <L=LENGTH> <W=WIDTH>] [<IC=ICVAL>]

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение конденсатора;
<N+>	имя узла положительной полярности;
<N->	имя узла отрицательной полярности;
<VALUE>	номинальная ёмкость в Фарадах;
<MNAME>	обозначение модели-прототипа типа cap;
LENGTH, WIDTH, ICVAL	числовые значения.

Параметры модели-экземпляра:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
L	Длина	м	0	10u
W	Ширина	м	0	3m
IC	Начальное напряжение	В	0	3

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Примечание:

Если определено значение <VALUE>, то вычисление ёмкости конденсатора на основе параметров модели-прототипа не выполняется.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> CAP (CJ=... CJSW=... [DEFW=... NARROW=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
CJ	ёмкость по нижней части спая	Ф*М ⁻²	-	5E-5
CJSW	ёмкость боковой части спая	Ф*М ⁻¹	-	2E-11
DEFW	ширина устройства по умолчанию	м	1E-6	2E-6
NARROW	утонение вследствие подтравливания	м	0.0	1E-7

$$CAP = CJ \times (LENGTH - NARROW) \times (WIDTH - NARROW) + 2 \times CJSW \times (LENGTH + WIDTH - 2 \times NARROW)$$

Пример:

```
C10 n1 n2 cap1 L=10u W=1u  
.model cap1 cap (CJ=1e)
```

Катушка индуктивности

Основная форма:

```
L<NAME> <N+> <N-> <VALUE> <IC=INCOND>
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение катушки индуктивности;
<N+>	имя узла положительно полярности;
<N->	имя узла отрицательной полярности;
<VALUE>	номинальная индуктивность в Генри;
<INCOND>	значение начального тока в Амперах.

Пример:

```
L1 n1 n2 10u ic=0.1
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Связанная индуктивность

Основная форма:

```
K<NAME> <L1 NAME> <L2 NAME> <VALUE>
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение связанной индуктивности;
<L1 NAME>	обозначение первой катушки индуктивности;
<L2 NAME>	обозначение второй катушки индуктивности;
<VALUE>	номинальная индуктивность в Генри;

Примечание:

Значение параметра <VALUE> должно находиться в диапазоне от минус 1 до плюс 1 ($-1 \leq \text{<VALUE>} \leq +1$). Отрицательное значение соответствует противофазному включению.

Пример:

```
L1 left1 0 10u  
L2 right1 0 22u  
K1 L1 L2 0.97
```

Ключ, управляемый напряжением

Основная форма:

```
S<NAME> <N+> <N-> <NC+> <NC-> <MNAME> [<STATE>]
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение ключа;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<NC+>	управляющий узел положительной полярности;
<NC->	управляющий узел отрицательной полярности;
<MNAME>	обозначение модели-прототипа.

Параметры модели-экземпляра

<STATE> – начальное состояние прибора для расчёта по постоянному току, допустимые значения OFF и ON для состояния с высоким сопротивлением и низким сопротивлением соответственно.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> SW([VT=...] [VH=...] [RON=...] [ROFF=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
VT	напряжение порога	В	0	5
VH	гистерезис напряжения	В	0	1
RON	сопротивление во включённом состоянии (низкое сопротивление)	Ом	1	10
ROFF	сопротивление в отключенном состоянии (высокое сопротивление)	Ом	1/GMIN	1meg

$OFF \rightarrow ON: V > VT + VH$

$ON \rightarrow OFF: V < VT - VH$

Ключ, управляемый током

Основная форма:

```
W<NAME> <N+> <N-> <VNAME> <MNAME> [<STATE>]
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение ключа;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<VNAME>	обозначение источника напряжения, ток которого проверяется;
<MNAME>	обозначение модели-прототипа.

Параметр модели-экземпляра:

<STATE> – начальное состояние прибора для расчёта по постоянному току, допустимые значения OFF и ON для состояния с высоким сопротивлением и низким сопротивлением соответственно.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> CSW([IT=...] [IH=...] [RON=...] [ROFF=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
IT	ток порога	А	0	5e-3
IH	гистерезис тока	А	0	1e-3
RON	сопротивление во включённом состоянии	Ом	1	10
ROFF	сопротивление в отключенном состоянии	Ом	1/GMIN	1meg

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Независимый источник напряжения или тока

Основная форма для источника напряжения:

I<NAME> <N+> <N-> [[DC] <DC/TRAN VALUE>] [<TRANSIENT CHARACTERISTIC>] [AC <ACMAG> <ACPHASE>]

Основания форма для источника тока:

I<NAME> <N+> <N-> [[DC] <DC/TRAN VALUE>] [<TRANSIENT CHARACTERISTIC>] [AC <ACMAG> <ACPHASE>]

Описание модели-экземпляра

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<DC/TRAN VALUE>	характеристика для расчёта рабочей точки, постоянного тока и переходного процесса;
<ACMAG>	характеристика для расчёта переменного тока и шумов.
<ACPHASE>	характеристика фазы для расчёта переменного тока и шумов.
<TRANSIENT CHARACTERISTIC>	тип характеристики для расчёта переходного процесса. Источник можно определить как зависимый от времени для расчёта переходного процесса. Характеристика TSTEP – приращение времени для вывода значений, TSTOP – конечное время расчёта. Данные характеристики описаны в разделе, посвящённом высказыванию .TRAN. Возможны следующие формы сигнала для зависимого от времени источника:

- импульсная характеристика

Основная форма:

PULSE (<V1> <V2> <TD> <TR> <TF> <PW> <PER> <PHASE>)

Описание операндов:

Операнд	Значение	По умолчанию	Единица
<V1>	начальное значение	-	В или А
<V2>	значение в импульсе	-	В или А
<TD>	время задержки от 0 с	0.0	с
<TR>	длительность переднего фронта	TSTEP	с
<TF>	длительность заднего фронта	TSTEP	с
<PW>	ширина импульса	TSTOP	с
<PER>	период	TSTOP	с
<PHASE>	начальная фаза	0	градус

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Одиночный импульс без фазового сдвига описывается следующей таблицей:

Время	Значение
0	V1
TD	V1
TD+TR	V2
TD+TR+PW	V2
TD+TR+PW+TF	V1
TSTOP	V1

Промежуточные состояния рассчитываются как линейная интерполяция

Пример:

```
VIN 3 0 PULSE(-1 1 2NS 2NS 2NS 50NS 100NS)
```

- синусоидальная характеристика

Основная форма:

```
SIN(<VO> <VA> [<FREQ>] [<TD>] [<THETA>] [<PHASE>])
```

Описание характеристик:

Операнд	Значение	По умолчанию	Единица
<VO>	значение смещения	-	В или А
<VA>	амплитуда	-	В или А
<FREQ>	частота	1/TSTOP	Гц
<TD>	время задержки от 0 с	0	с
<THETA>	коэффициент затухания	0	1/с
<PHASE>	ширина импульса	0	градус
<PHASE>	начальная фаза	0	градус

Временную зависимость выходной функции от времени можно представить следующим образом

$$F(t) = \begin{cases} VO, & 0 \leq t < TD \\ VO + VAe^{-(t-TD)THETA} \sin(2\pi \cdot FREQ \cdot (t - TD) + PHASE), & TD \leq t < TSTOP \end{cases}$$

Пример:

```
VIN 3 0 SIN(0 1 100MEG 1NS 1E10)
```

- экспоненциальная характеристика

```
EXP(<V1> <V2> [<TD1> <TAU1>] [<TD2> <TAU2>])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание операндов:

Операнд	Значение	По умолчанию	Единица
<V1>	начальное значение	-	В или А
<V2>	значение в импульсе	-	В или А
<TD1>	время задержки переднего фронта	0.0	с
<TAU1>	постоянная времени переднего фронта	TSTEP	с
<TD2>	время задержки заднего фронта	TD1+TSTEP	с
<TAU2>	постоянная времени заднего фронта	TSTEP	с

Форма одиночного импульса может быть описана следующими уравнениями:

$$F(t) = \begin{cases} V1, & 0 \leq t < TD1 \\ V1 + (V2 - V1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-TD1}{TAU1}}\right), & TD1 \leq t < TD2 \\ V1 + (V2 - V1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-TD1}{TAU1}}\right) + (V2 - V1) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-TD2}{TAU2}}\right), & TD2 \leq t < TSTOP \end{cases}$$

Пример:

```
VIN 3 0 EXP(-4 -1 2NS 30NS 60NS 40NS)
```

- кусочно-линейная характеристика

```
PWL(<T1> <V1> [<T2> <V2>] [<T3> <V3>]...)
```

Описание операндов:

Операнд	Значение	По умолчанию	Единица
<T1>	время первой точки	-	с
<V1>	значение амплитуды первой точки	-	В или А
<T2>	время второй точки	-	с
<V2>	значение амплитуды второй точки	-	В или А
<T3>	время третьей точки	-	с
<V3>	значение амплитуды третьей точки	-	В или А

Количество точек, определяемых операндами, не ограничено.

Промежуточные состояния между точками интерполируются по линейному закону.

Значения времени, выходящие за первую и последнюю точки определения, ограничиваются значениями этих точек.

Пример:

```
VCLOCK 7 5 PWL(0 -7 10NS -7 11NS -3 17NS -3 18NS -7 50NS -7)
```

- одночастотная частотно-модулированная характеристика

```
SFFM(<VO> <VA> [<FC>] <MDI> [<FS>])
```

Описание операндов

Операнд	Значение	По умолчанию	Единица
VO	смещение	-	В или А
VA	амплитуда	-	В или А
FC	частота несущей	1/TSTOP	Гц
MDI	коэффициент модуляции	-	-
FS	частота модулирующего сигнала	1/TSTOP	Гц

Форма огибающей может быть представлена следующим уравнением:

$$V(t) = VO + VA \cdot \sin(2\pi \cdot FC \cdot t + MDI \cdot \sin[2\pi \cdot FS \cdot t])$$

Пример:

```
V1 12 0 SFFM(0 1M 20K 5 1K)
```

Линейный источник тока, управляемый напряжением

Основная форма:

```
G<NAME> <N+> <N-> <NC+> <NC-> <VALUE>
```

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<VALUE>	номинальная проводимость.

Пример:

```
G1 2 0 5 0 0.1M
```

Примечание:

- Зависимость между током и напряжением для данного источника можно выразить уравнением $i = g \cdot v$, где i – выходной ток через узлы <N+> и <N->, v – управляющее напряжение на узлах <NC+> и <NC->, g – проводимость.
- Единица измерения для <VALUE> – Мо (1/Ом).

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Линейный источник напряжения, управляемый напряжением

Основная форма:

E<NAME> <N+> <N-> <NC+> <NC-> <VALUE>

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<NC+>	управляющий узел положительной полярности;
<NC->	управляющий узел отрицательной полярности;
<VALUE>	коэффициент пропорциональности.

Пример:

E1 2 3 14 1 2.0

Примечание:

- Зависимость между выходным напряжением и управляющим напряжением данной модели можно выразить уравнением: $v_1 = e * v_2$, где
 - v_1 – выходное напряжение на узлах <N+> и <N->,
 - v_2 – управляющее напряжение на узлах <NC+> и <NC->,
 - e – коэффициент пропорциональности.
- Единица измерения для <VALUE> отсутствует, безразмерная величина

Линейный источник тока, управляемый током

Основная форма:

F<NAME> <N+> <N-> <VNAME> <VALUE>

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<VNAME>	обозначение независимого источника напряжения, ток через который принимается управляющим;
<VALUE>	коэффициент пропорциональности.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
F1 13 5 VSENS 5
```

Примечание:

- Зависимость между выходным током и управляющим током можно выразить уравнением: $i_1 = f \cdot i_2$, где
 i_1 – выходной ток через узлы <N+> и <N->,
 i_2 – управляющий ток через источник напряжения <VNAME>,
 f – коэффициент пропорциональности.
- Единица измерения для <VALUE> отсутствует, безразмерная величина. Линейный источник напряжения, управляемый током

Линейный источник напряжения, управляемый током

Основная форма:

```
H<NAME> <N+> <N-> <VNAME> <VALUE>
```

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<VNAME>	обозначение независимого источника напряжения, ток через который принимается управляющим;
<VALUE>	номинальное сопротивление.

Пример:

```
HX 5 17 VZ 0.5K
```

Примечание:

- Зависимость между выходным напряжением и управляющим током можно выразить уравнением: $v = h \cdot i$, где
 v – выходное напряжение на узлах <N+> и <N->,
 i – управляющий ток через источник напряжения <VNAME>,
 h – сопротивление.
- Единица измерения – Ом.

Нелинейный зависимый источник

Основная форма:

B<NAME> <N+> <N-> [I=<EXPR>] | [V=<EXPR>]

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	вывод положительной полярности;
<N->	вывод отрицательной полярности;
<EXPR>	некоторое выражение, состоящее из функций.

Примеры:

```
B1 0 1 I={cos(v(1))+sin(v(2))}
B1 0 1 V={ln(cos(log(v(1,2)^2)))-v(3)^4+v(2)^v(1)}
B1 3 4 I={17}
B1 3 4 V={exp(pi^i(vdd))}
```

Пример реализации нелинейного конденсатора:

```
.Subckt nlcap pos neg
* Bx: calculate f(input voltage)
Bx 1 0 v = {v(pos,neg)*v(pos,neg)}
* Cx: linear capacitance
Cx 2 0 1
* Vx: Ammeter to measure current into the capacitor
Vx 2 1 DC 0
* Drive the current through Cx back into the circuit
Fx pos neg Vx 1
.ends nlcap
```

Примечание:

- Должен использоваться только один тип выражения I= или V=, но не оба одновременно.
- Не поддерживаются выражения POLY(...).
- При выполнении расчёта ФАЧХ нелинейный зависимый источник ведёт себя как линейный зависимый источник с коэффициентом пропорциональности, равным производной (или производным) источника в рабочей точке по постоянному току.
- Выражения для V= и I= должны быть функциями напряжений и токов через источники напряжения в системе. Определены следующие функции действительного переменного: abs, sin, cos, tan, sinh, cosh, asin, acos, atan, asinh, acosh, atanh, exp, ln, log, sqrt. Функция u() является функцией ступеньки (функцией Хэвисайда, доопределенной в нулевой точке) u(x)=0, x<=0, u(x)=1, x>0. Функция uramp() – интеграл функции u();
$$\text{uramp}(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases}$$
- Определены бинарные операции: +, -, *, /, и унарная операция -.
- Если аргумент функций log(), ln() или sqrt() меньше нуля, то используется абсолютное значение аргумента. Если делитель обращается в ноль или аргумент log() или ln() обращается в ноль, то возникает ошибка. Также могут возникать проблемы в расчёте имитации, когда аргумент функции в частной производной входит в область, где функция не определена.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Линия передачи без потерь

Основная форма:

```
T<NAME> <N1> <N2> <N3> <N4> Z0=<ZVALUE> [TD=<TDVALUE>] [F=<FREQ> [NL=<NRMLEN>]] [IC=<V1>, <I1>, <V2>, <I2>]
```

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N1>	первый узел первого порта;
<N2>	второй узел первого порта.
<N3>	первый узел второго порта;
<N4>	второй узел второго порта.
<ZVALUE>	характеристический импеданс;
<TDVALUE>	задержка передачи;
<FREQ>	частота;
<NRMLEN>	приведённая электрическая длина линии передачи на частоте FREQ;
<V1>	начальное напряжение между узлами N1 и N2;
<I1>	начальный ток, втекающий в узел N1;
<V2>	начальное напряжение между узлами N3 и N4;
<I2>	начальный ток, втекающий в узел N3.

Пример:

```
T1 1 0 2 0 Z0=50 TD=10NS  
T2 3 0 4 0 Z0=50 F=10MEG
```

Примечание:

- N1 и N2 соответствуют порту 1, N3 и N4 соответствуют порту 2. Z0 – характеристический импеданс. Длина линии передачи может быть выражена двумя способами:
 1. задержка TD напрямую определяет задержку в линии;
 2. должна быть задана характеристическая частота F и NL. Если частота F задана, а NL не задана, то полагается NL=0.25, что соответствует четвертьволновому отражению.
- Этот элемент моделирует только один режим распространения. Если все 4 узла различны в реальной схеме, тогда могут быть возбуждены две моды. Для имитации такой ситуации требуется два элемента линии передачи. Например, для моделирования коаксиального кабеля требуется использовать линии T1 и T2. В таком случае T1 будет моделировать центральную жилу по отношению к экранному проводнику, а T2 – экранный проводник по отношению ко внешнему миру:

```
TRANSMISSION-LINE INVERTER
V1 1 0 PULSE(0 1 0 0.1N)
R1 1 2 50
X1 2 0 0 4 TLINE
R2 4 0 50
.SUBCKT TLINE 1 2 3 4
T1 1 2 3 4 Z0=50 TD=1.5NS
T2 2 0 4 0 Z0=100 TD=1NS
.ENDS TLINE
.TRAN 0.1NS 20NS
.END
```

- Начальные условия, если таковые имеются, должны представлять собой величины токов и напряжений для обоих портов. Начальный режим определяется значениями параметров V1, I1, V2, I2. Начальные условия применимы только если указана настройка UIC в управляющей строке .TRAN;
- Линия передачи с потерями при нулевых потерях может быть более точна, чем линия передачи без потерь из-за деталей реализации.

Линия передачи с потерями

Основная форма:

```
O<NAME> <N1> <N2> <N3> <N4> <MNAME>
```

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N1>	первый узел первого порта;
<N2>	второй узел первого порта.
<N3>	первый узел второго порта;
<N4>	второй узел второго порта.
<MNAME>	наименование модели.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> LTRA (LEN=... [R=...] [L=...] [G=...] [C=...] [REL=...] [ABS=...] [NOSTEPLIMIT] [NOCONTROL] [LININTERP] [MIXEDINTERP] [COMPACTREL=...] [COMPACTABS=...] [TRUNCNR] [TRUNCNONTCUT])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
R	Сопротивление, приведённое к длине	Ом / единица длины	0.0	0.2
L	индуктивность, приведённая к длине	Генри / единица длины	0.0	9.13e-9
G	проводимость, приведённая к длине	Мо / единица длины	0.0	0.0
C	ёмкость, приведённая к длине	Ф / единица длины	0.0	3.65e-12
LEN	длина линии	единица длины	–	1.0
REL	управление точкой останова	произвольная единица	1	0.5
ABS	управление точкой останова	–	1	5
NOSTEPLIMIT	не ограничивать временной шаг менее, чем длина линии	флаг		установлен
NOCONTROL	не выполнять комплексный контроль временного шага	флаг	не установлен	установлен
LININTERP	использовать линейную интерполяцию	флаг	не установлен	установлен
MIXEDINTERP	применять линейную, если квадратичная даёт плохой результат	флаг	не установлен	установлен
COMPACTREL	специальное значение для RELTOL для сжатия истории	–	RELTOL	1.0e-3
COMPACTABS	специальное значение для ABSTOL для сжатия истории	–	ABSTOL	1.0e-9
TRUNCNR	использовать метод Ньютона-Рафсона для управления временным шагом	флаг	не установлен	установлен
TRUNCNONTCUT	не ограничивать временной шаг для обеспечения малости ошибки импульсного отклика	флаг	не установлен	установлен

NOSTEPLIMIT – флаг, который убирает запрещение по умолчанию на ограничение временного шага менее чем задержка линии в варианте RLC. Влияет на снижение точности при увеличении скорости расчёта.

NOCONTROL – флаг, предотвращающий ограничение по умолчанию на временной шаг, основанный на критерии ошибки свёртки в вариантах RLC и RC. Это ускоряет процесс симуляции, но может в некоторых случаях снизить точность результата. Влияет на снижение точности при увеличении скорости расчёта.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

LININTERP – флаг, который, когда определён, позволяет использовать линейную интерполяцию в тех случаях, когда по умолчанию используется квадратичная интерполяция для вычисления задержанного сигнала.

MIXEDINTERP – флаг, который, если определён, использует метрику для оценки неприменимости квадратичной интерполяции, и если это так, то использует линейную интерполяцию; иначе используется квадратичная интерполяция по умолчанию.

TRUNCDONTCUT – флаг, который удаляет сокращение временного шага по умолчанию, чтобы ограничить ошибки в фактическом вычислении связанных с импульсным отношением величин. Влияет на снижение точности при увеличении скорости расчёта.

COMPACTREL и **COMPACTABS** являются величинами, которые управляют уплотнением прошлой истории значений, хранящихся для свёртки. Большие значения этих величин снижают точность, но обычно увеличивают скорость расчётов. Они должны использоваться с настройкой **TRYTOCOMPACT**, определяемой в секции **.OPTION**. Корректный диапазон для **COMPACTREL** должен быть между 0 и 1. Большие значения обычно уменьшают точность симуляции, но в некоторых случаях увеличивают скорость. Если настройка **TRYTOCOMPACT** не определена, то уплотнение истории не обеспечивается и точность высока.

TRUNCNR – флаг, который включает использование алгоритма Ньютона-Рафсона для определения соответствующего временного интервала в процедурах управления временным шагом. По умолчанию используется метод деления отрезка пополам.

REL и **ABS** – это величины, которые управляют установкой точек останова. Величина **REL** наиболее подходящая для увеличения скорости симуляции. Значение 1 по умолчанию безопасно с точки зрения точности, но иногда увеличивает время расчёта. Значение больше 2 удаляет все точки останова и может сказаться на точности. Точки останова обычно могут быть полностью устранены, если ожидается, что схема не будет отображать резкие разрывы. Значения между 0 и 1 обычно не требуются, но могут быть использованы для определения множества точек останова.

Примечания:

- Возможны следующие типы линий передачи с потерями: RLC (однородная линия передачи только с последовательными потерями), RC (равномерная RC линия), LC (линия передачи без потерь), RG (только распределённое последовательное сопротивление и параллельная индуктивность). Прочие комбинации дают ошибочные результаты.
- Должна быть определена длина линии **LEN**.
- Запуск расчёта по переменному току даёт правильный результат, только если **LEN=1.0**.

Пример:

```
O23 1 0 2 0 LOSSYMOD
.model LOSSYMOD LTRA (R=0.02 L=190nH C=140pF LEN=0.5)
```

Линия передачи с равномерно распределённым RC

Основная форма:

```
U<NAME> <N1> <N2> <N3> <MNAME> L=<LEN> [N=<LUMPS>]
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N1>	первый узел RC-цепи;
<N2>	второй узел RC-цепи;
<N3>	узел ёмкости;
<MNAME>	имя модели-прототипа;
<LEN>	длина линии передачи в метрах;
<LUMPS>	количество сосредоточенных RC-сегментов.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> URC ([K=...] [FMAX=...] [RPERL=...] [CPERL=...] [ISPERL=...] [RSPERL=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
K	постоянная распространения	-	2.0	
FMAX	максимальная частота	Гц	1.0G	
RPERL	приведённое сопротивление на единицу длины	Ом/м	1000	
CPERL	приведённая ёмкость на единицу длины	Ф/м	10E-15	
ISPERL	ток насыщения на единицу длины	А/м		
RSPERL	диодное сопротивление на единицу длины	Ом/м		

Примечания:

Количество сосредоточенных сегментов, автоматически создаваемых для выполнения расчёта, определяется формулой:

$$N = \frac{\log \left(F_{max} \cdot \left(\frac{R \cdot C}{L^2} \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot L^2 \cdot \left| \frac{K-1}{K} \right|^2 \right)}{\log(K)}$$

Линия URC состоит исключительно из сегментов резистора и конденсатора, если параметру ISPERL не присвоено ненулевое значение, и в этом случае конденсаторы заменяются обратно-смещёнными диодами с ёмкостью, при нулевом смещении равной заменяемой ёмкости, и с током насыщения ISPERL и дополнительным последовательным сопротивлением, эквивалентным RSPERL.

Пример:

```
U1 1 2 0 URCMOD L=50U  
URC2 1 12 2 UMODL l=1MIL N=6
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Линия передачи с потерями одиночная

Основная форма:

```
Y<NAME> <N1> <N1_REF> <N2> <N2_REF> <MNAME> LEN=<LENGTH>
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N1>	вывод первого порта;
<N1_REF>	опорный вывод первого порта;
<N2>	вывод второго порта;
<N2_REF>	опорный вывод второго порта;
<MNAME>	имя модели-прототипа;
<LENGTH>	длина линии.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> txl ([R=...] [L=...] [C=...] [G=...] length=...)
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
R	погонное сопротивление	Ом/единицу	0.0	0.2
L	погонная индуктивность	Гн/единицу	0.0	9.13e-9
G	погонная проводимость	Мо/единицу	0.0	0.0
C	погонная ёмкость	Ф/единицу	0.0	3.65e-12
length	длина линии	единица	-	1.0

Примечания:

Модель использует два порта. Дополнительный параметр LEN определяет длину линии в единицах и представляет собой множитель к единице длины линии. Единица измерения длины – метр. Параметр LEN модели-экземпляра перекрывает значение параметра length модели-прототипа.

Модель txl подходит только для расчёта переходного процесса.

Пример:

```
Y1 1 0 2 0 ymod LEN=2  
.model ymod txl (R=12.45 L=8.972e-9 G=0 C=0.468e-12 length=16)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Диод

Основная форма:

```
D<NAME> <N+> <N-> <MNAME> [<AREA>] [<STATE>] [IC=<VD>] [TEMP=<T>]
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<N+>	узел анода;
<N->	узел катода;
<MNAME>	имя модели-прототипа;
<AREA>	коэффициент умножения площади;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратить в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<VD>	начальные условия для расчёта переходного процесса, в том случае, если определена настройка UIC для директивы .TRAN;
<T>	температура диода, это значение перегружает определение температуры в директиве .OPTION.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> D ([IS=...] [RS=...] [N=...] [TT=...] [CJO=...] [VJ=...] [M=...] [EG=...] [XTI=...] [KF=...] [AF=...] [FC=...] [BV=...] [IBV=...] [TNOM=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	Пример
IS	ток насыщения	A	1.0E-14	1.0e-14	*
RS	объёмное сопротивление	Ом	0	10	/
N	коэффициент инжекции	-	1	1.0	
TT	время переноса заряда	с	0	0.1ns	
CJO	барьерная ёмкость перехода при нулевом смещении	Ф	0	2pF	*
VJ	контактная разность потенциалов	B	1	0.6	
M	коэффициент лавинного умножения	-	0.5	0.5	
EG	ширина запрещённой зоны	эВ	1.11	1.11 (Si) 0.69 (GaSb) 0.67 (Ge)	

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	Пример
XTI	Температурная коэффициент в показателе экспоненты в формуле для тока насыщения	–	3.0	3.0 jn 2.0 Sbd	
KF	коэффициент фликер-шума	–	0	–	
AF	показатель степени в формуле фликер-шума	–	1	–	
FC	коэффициент нелинейности барьерной ёмкости при прямом смещении перехода	–	0.5	–	
BV	напряжение пробоя при обратном смещении	В	бесконечно	40.0	
IBV	начальный ток пробоя для напряжения пробоя при обратном смещении	А	1.0e-3	1E-4	
TNOM	температура, для которой определены параметры	°C	27	50	

Примечания:

- Символ в столбце AREA таблицы указывает на способ масштабирования соответствующего параметра в столбце таблицы параметром AREA.
- IS и N – описывают характеристику диода по постоянному току (прямую характеристику перехода).
- RS определяет омическое (контактное) последовательное сопротивление.
- TT служит для описания зарядовых эффектов.
- CJO, VJ, M – параметры, определяющие нелинейный ёмкостный обеднённый слой.
- EG, XTI определяют температурную зависимость тока насыщения.
- TNOM – локальная температура перехода, для которой действительны прочие параметры.
- BV и VBI должны быть определены положительными значениями 0, определяют характеристику обратного смещения перехода.
- Некоторые параметры подвержены масштабированию согласно следующим выражениям:

$$AREA_{eff} = AREA \cdot M \quad IS_{eff} = IS \cdot AREA_{eff} \quad BV_{eff} = BV \cdot AREA_{eff}$$

$$IK_{eff} = IK \cdot AREA_{eff} \quad IKR_{eff} = IKR \cdot AREA_{eff} \quad IBV_{eff} = IBV \cdot AREA_{eff}$$

$$CJ_{eff} = CJO \cdot AREA_{eff}$$

- Ток через диод вычисляется по следующей функции:

$$I_D = \begin{cases} IS_{eff} \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_D}{N \cdot k \cdot T}} - 1 \right) + V_D \cdot GMIN, & V_D \geq -3 \frac{N \cdot k \cdot T}{q} \\ -IS_{eff} \cdot \left(1 + \left(\frac{3 \cdot N \cdot k \cdot T}{q \cdot V_D} \right)^3 \right) + V_D \cdot GMIN, & -BV_{eff} < V_D < -3 \frac{N \cdot k \cdot T}{q} \\ -IS_{eff} \cdot \left(e^{-\frac{q(BV_{eff} + V_D)}{N \cdot k \cdot T}} \right) + V_D \cdot GMIN, & V_D \leq -BV_{eff} \end{cases}$$

, здесь q – заряд электрона в Кулонах, $GMIN$ – параметр имитатора $GMIN$.

Значения параметров BV и IBV не определяют точно точку на характеристической кривой, так как формула вычисления характеристики при обратном смещении содержит несколько компонент. В области электрического пробоя от обратного смещения обратный ток вычисляется по следующей формуле:

$$I_{breakdown} = -IS_{eff} \cdot \left(e^{\frac{-q \cdot BV}{N \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$$

Вычисленный ток необходим для подстройки тока пробоя, с учётом совмещения двух областей (области обратного смещения и области электрического пробоя). Алгоритм достаточно сложный, но может быть приближенной выражен следующим образом:

если $IBV_{eff} < I_{breakdown}$

тогда $IBV_{eff} = I_{breakdown}$, $BV_{eff} = BV$,

иначе $BV_{eff} = BV - N \cdot V_t \cdot \ln\left(\frac{IBV_{eff}}{I_{breakdown}}\right)$.

Многие приборы показывают ток, превышающий модельный, при высоких значениях тока, и не соответствуют экспоненциальной форме, описанной выше. Причиной этого является высокий уровень инжекции носителей в переход.

- Диодная ёмкость состоит из двух различных компонент: ёмкости обеднения и диффузионной ёмкости:

$$C_{diode} = C_{diffusion} + C_{depletion}$$

, здесь C_{diode} – ёмкость диода, $C_{diffusion}$ – диффузионная ёмкость, $C_{depletion}$ – ёмкость обеднения.

Ёмкость обеднения может быть выражена следующей формулой:

$$C_{depletion} = \begin{cases} -CJ_{eff} \cdot \left(1 - \frac{V_D}{VJ}\right)^{-M} & V_D < FC \cdot VJ \\ CJ_{eff} \frac{1 - FC \cdot (1 + M) + M \cdot \frac{V_D}{VJ}}{(1 - FC)^{(1+M)}}, & \text{иначе} \end{cases}$$

Диффузионная ёмкость моделируется с использованием времени переноса по причине инжекции неосновных носителей:

$$C_{diffusion} = TT \cdot \frac{\partial I_{Deff}}{\partial V_D}$$

- Температура существенно влияет на полупроводниковые приборы и существенно влияет на параметры, перечисленные выше. Один из наиболее существенных параметров, который изменяется с температурой – это ширина запрещённой зоны:

$$EG_{nom} = 1.16 - 7.02 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{TNOM^2}{TNOM + 1108}$$

$$EG(T) = 1.16 - 7.02 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{T^2}{TNOM + 1108}$$

Температурная зависимость для тока насыщения:

$$IS(T) = IS \cdot e^{\frac{\log factor}{N}}$$

$$\text{где } \logfactor = \frac{EG}{V_t(TNOM)} - \frac{EG}{V_t(T)} + XTI \cdot \ln\left(\frac{T}{TNOM}\right).$$

Температурная зависимость для контактного потенциала:

$$VJ(T) = VJ\left(\frac{T}{TNOM}\right) - V_t(T) \cdot \left(3 \cdot \ln\left(\frac{T}{TNOM}\right) + \frac{EG_{nom}}{V_t(TNOM)} - \frac{EG(T)}{V_t(T)}\right).$$

Температурная зависимость для ёмкости обеднения:

$$CJ(T) = CJ \cdot \left(1 + M \cdot \left(4 \cdot 10^{-4} \cdot (T - TNOM) - \frac{VJ(T)}{VJ} + 1\right)\right).$$

- Диод имеет три источника шумов: один из-за паразитного сопротивления R_S , а два других (дробовой и фликер) из-за свойств PN-перехода.

Тепловой шум из-за паразитного сопротивления выражается формулой:

$$\overline{i_{RS}^2} = \frac{4 \cdot k \cdot T \cdot \Delta f}{RS}.$$

Источники дробового и фликер шума выражаются формулой:

$$\overline{i_d^2} = 2 \cdot q \cdot I_D \cdot \Delta f + \frac{KF \cdot I_D^{AF} \cdot \Delta f}{f}.$$

Пример:

```
DBRIDGE 2 10 DIODE1
DCLMP 3 7 DMOD 3.0 IC=0.2 OFF
.model DMOD D (BV=5.734 IBV=3E-4)
```

Биполярный транзистор

Основная форма:

Q<NAME> <NC> <NB> <NE> [<NS>] <MNAME> [<AREA>] [<STATE>] [IC=<IC>] [TEMP=<TEMP>]

Описание:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение прибора;
<NC>	узел коллектора;
<NB>	узел базы;
<NE>	узел эмиттера;
<NS>	узел подложки;
<MNAME>	имя модели-прототипа;
<AREA>	коэффициент умножения площади;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратить в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия могут быть определены как $I_C = [<V_{BE}>] [, <V_{CE}>]$, где $<V_{BE}>$ – напряжение база-эмиттер, $<V_{CE}>$ – напряжение коллектор-эмиттер. Предпочтительнее использовать директиву .IC для определения напряжений в узлах;
<TEMP>	действительная температура прибора.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> PNP ([параметры])  
.model <MNAME> NPN ([параметры])
```

Описание модели-прототипа:

Модель является адаптацией модели Гуммеля-Пуна. Модифицированная модель позволяет описывать эффекты при сильном смещении перехода. Модель автоматически упрощается до модели Эберса-Молла, если не определён ряд параметров. Названия параметров модифицированной модели специально упрощены для лучшего понимания конечным пользователем, а также для лучшего отражения как физического, так и схемного смысла.

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
AF	показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликер-шума от тока через переход	–	1	–	
BF	максимальный коэффициент передачи тока в нормальном режиме в схеме ОЭ (без учёта токов утечки)	–	100	100	
BR	максимальный коэффициент передачи тока в инверсном режиме в схеме ОЭ (без учёта токов утечки)	–	1	0.1	
CJC	ёмкость перехода Б-К при нулевом смещении	Ф	0	2pF	
CJE	ёмкость перехода Б-Э при нулевом смещении	Ф	0	2pF	
CJS	ёмкость перехода К-подложка при нулевом смещении	Ф	0	2pF	
EG	ширина запрещённой зоны	эВ	1.11	–	*

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
FC	коэффициент нелинейности барьерных ёмкостей переходов при прямом смещении	-	0.5	-	
IKF	ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в нормальном режиме	A	бесконечно	0.01	*
IKR	ток начала спада зависимости BF от тока эмиттера в инверсном режиме	A	бесконечно	0.01	*
IRB	ток, при котором сопротивление базы падает на половину диапазона, определяемого RB и RBM	A	бесконечно	0.1	*
IS	транспортный ток насыщения	A	1.0E-16	1.0E-15	*
ISC	ток насыщения утечки перехода Б-К	A	0	1.0E-13	*
ISE	ток насыщения утечки Б-Э	A	0	1.0E-13	*
ITF	ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах	A	0	-	*
KF	коэффициент, определяющий спектральную плотность фликер-шума	-	0	-	
MJC	коэффициент показателя экспоненты для плавности перехода Б-К	-	0.33	0.5	
MJE	коэффициент показателя экспоненты для плавности перехода Б-Э	-	0.33	0.33	
MJS	коэффициент показателя экспоненты для плавности перехода К-подложка	-	0	0.5	
NC	коэффициент неидеальности перехода Б-К	-	2	1.5	
NE	коэффициент неидеальности перехода Б-Э	-	1.5	2	
NF	коэффициент неидеальности в нормальном режиме	-	1.0	1	
NR	коэффициент неидеальности в инверсном режиме	-	1	1	
PTF	дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{gp}=1.0/(2*\pi*TF)$ Гц	градус	0	-	
RB	объёмное сопротивление базы при нулевом смещении	Ом	0	100	*
RBM	минимальное сопротивление базы при больших токах	Ом	RB	10	*
RC	объёмное сопротивление коллектора	Ом	0	10	*
RE	объёмное сопротивление эмиттера	Ом	0	1	*
TF	идеальное время переноса заряда через базу в нормальном режиме	с	0	0.1ns	

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
TNOM	температура, при которой определены параметры модели	°C	27	50	
TR	идеальное время переноса заряда через базу в инверсном режиме	с	0	10ns	
VAF	напряжение Эрли в нормальном режиме	В	бесконечно	200	
VAR	напряжение Эрли в инверсном режиме	В	бесконечно	200	
VJC	контактная разность потенциалов перехода Б-К	В	0.75	0.5	
VJE	контактная разность потенциалов перехода Б-Э	В	0.75	0.6	
VJS	контактная разность потенциалов перехода К-подложка	В	0.75	-	
VTF	напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения перехода Б-К	В	бесконечно	-	
XCJC	коэффициент расщепления ёмкости Б-К CJC	-	1	-	
XTB	температурный коэффициент BF и BR	-	0	-	
XTF	коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения Б-К	-	0	-	
XTI	температурный коэффициент IS	-	3	-	

Примечание к таблице: К – коллектор, Э – эмиттер, Б – база.

Примечания:

- IS, BF, NF, ISE, IKF и NE – описывают токовую передаточную характеристику при прямом включении.
- IS, BR, NR, ISC, IKR и NC – описывают токовую передаточную характеристику при обратном включении.
- VAF – определяет выходную ёмкость при прямом включении.
- VAR – определяет выходную ёмкость при обратном включении.
- RB, RC, RE – омические сопротивления базы, коллектора и эмиттера соответственно.
- TF и TR – время передачи заряда при прямом и обратном включении соответственно. Позволяют моделировать ёмкостные эффекты. TF можно по желанию сделать зависимым от величины смещения.
- CJE, VJE и MJE – определяют нелинейную ёмкость обеднённого слоя для перехода база-эмиттер.
- CJC, VJC и MJC – определяют нелинейную ёмкость обеднённого слоя для перехода база-коллектор.
- CJS, VJS и MJS – определяют нелинейную ёмкость обеднённого слоя для перехода коллектор-подложка.
- EG и XTI – определяют температурную зависимость тока насыщения.
- XTB – определяет температурную зависимость базового тока.
- TNOM – определяет температуру, при которой действительны прочие параметры.
- Параметр модели-экземпляра AREA – скалярный коэффициент, позволяющий учесть параллельное соединение нескольких транзисторов, однако при этом изменяются значения параметров, для которых в столбце AREA указана звёздочка. Пропорциональные значения параметров вычисляются по следующим формулам:

$$CJC_{eff} = CJC \cdot AREA$$

$$CJE_{eff} = CJE \cdot AREA$$

$$CJS_{eff} = CJS \cdot AREA$$

$$IKF_{eff} = IKF \cdot AREA$$

$$IKR_{eff} = IKR \cdot AREA$$

$$IS_{eff} = IS \cdot AREA$$

$$ISC_{eff} = ISC \cdot AREA$$

$$ISE_{eff} = ISE \cdot AREA$$

$$IRB_{eff} = IRB \cdot AREA$$

$$ITF_{eff} = ITF \cdot AREA$$

$$RC_{eff} = RC \cdot AREA$$

$$RE_{eff} = RE \cdot AREA$$

- Спектральная плотность фликер-шума в цепи базы определяется формулой:

$$S = \frac{2 \cdot q \cdot I_b + KF \cdot I_b^{AF}}{f}$$

- Спектральная плотность фликер-шума в цепи коллектора определяется формулой:

$$S = 2 \cdot q \cdot I_c$$

- Спектральная плотность теплового шума базы определяется формулой:

$$S = \frac{4 \cdot k \cdot T}{RB}$$

- Спектральная плотность теплового шума коллектора определяется формулой:

$$S = \frac{4 \cdot k \cdot T}{\frac{RC}{AREA}}$$

- Спектральная плотность теплового шума эмиттера определяется формулой:

$$S = \frac{4 \cdot k \cdot T}{\frac{RB}{AREA}}$$

Пример:

```
Q23 10 24 13 QMOD IC=0.6, 5.0
Q50A 11 26 4 20 MOD1
.model QMOD PNP (IS=4E-14 BF=400 VAF=50 IKF=0.02 ISE=7E-15 NE=1.16
+ BR=7.5 RC=2.4 CJE=6.3E-12 VJE=0.75 TF=5E-10 CJC=5.8E-12 VJC=0.75
+ TR=2.3E-8 VJS=0.75 XTB=1.5 KF=6E-16)
```

Полевой транзистор с управляющим PN-переходом

Основная форма:

```
J<NAME> <ND> <NG> <NS> <MNAME> [<AREA>] [<STATE>] [IC=<IC>] [TEMP=<T>]
```

Пример:

```
J1 7 2 3 JM1 OFF
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение прибора;
<ND>	узел стока;
<NG>	узел затвора;
<NS>	узел истока;
<MNAME>	имя модели;
<AREA>	коэффициент умножения площади;
<STATE>	начальное состояние при выполнении расчёта по постоянному току. Начальное состояние может быть определено как OFF для выключенного начального состояния, по умолчанию используется включенное состояние;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия могут быть определены как IC=[<VDS>] [, <VGS>], где <VDS> – напряжение С-И, <VGS> – напряжение З-И. Предпочтительнее использовать директиву .IC;
<T>	локальная температура.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> NJF ([параметры])  
.model <MNAME> PJF ([параметры])
```

Описание модели:

Модель основана на модели полевого транзистора Шихмана-Ходжеса.

Описание параметров модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
AF	Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликер-шума от тока через переход	–	1	–	
B	коэффициент легирующего хвоста	–	1	1.1	
BETA	параметр проводимости	A/B ²	1.0E-4	1.0E-3	*
CGD	ёмкость перехода З-С при нулевом смещении	Ф	0	1pF	*
CGS	ёмкость перехода З-И при нулевом смещении	Ф	0	5pF	*
FC	коэффициент нелинейности ёмкостей переходов при прямом смещении	–	0.5	–	
IS	ток насыщения p-n перехода З-К	A	1.0E-14	1.0E-14	*
KF	коэффициент, определяющий спектральную плотность фликер-шума	–	0	–	

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
LAMBDA	параметр модуляции длины канала	1/B	0	1.0E-4	
PB	контактная разность потенциалов р-п перехода затвор-канал	B	1	0.6	
RD	объёмное сопротивление области стока	Ом	0	100	*
RS	объёмное сопротивление области истока	Ом	0	100	*
TNOM	температура, при которой определены параметры модели	°C	27	50	
VTO	пороговое напряжение	B	-2.0	-2.0	

Примечание к таблице: С – сток, И – исток, З – затвор, К – канал.

Примечания:

- VTO и BETA – определяют изменение тока стока при напряжении затвора. Устанавливают передаточные характеристики по постоянному току.
- Транзисторы обеднённого типа характеризуются отрицательными значениями порогового напряжения VTO, а транзисторы обогащённого типа – положительными.
- LAMBDA – определяют выходную проводимость. Устанавливает передаточные характеристики по постоянному току.
- RD и RS – омические сопротивления стока и истока соответственно.
- CGS, CGD и PB – определяют эффекты накопления заряда, моделируемые нелинейной ёмкостью обеднённого слоя для обоих переходов затвора, которая изменяется как напряжение PN-перехода в степени $-1/2$.
- Параметр модели-экземпляра AREA – скалярный коэффициент, позволяющий учесть параллельное соединение нескольких транзисторов, однако при этом изменяются значения параметров, для которых в столбце AREA указана звёздочка.

Пример:

```
J1 6 2 4 2N4393 OFF
.model 2N4393 NJF (VTO=-1.422 BETA=0.009109 LAMBDA=0.006 RD=1 RS=1 +CGS=4.06E-12 CGD=4.57E-12
IS=2.052E-13 KF=1.23E-16)
```

Полевой транзистор с изолированным затвором

Основная форма:

```
M<NAME> <ND> <NG> <NS> <NB> <MNAME> [L=<L>] [W=<W>] [AD=<AD>]
+ [AS=<AS>] [PD=<PD>] [PS=<PS>] [NRD=<NRD>] [NRS=<NRS>] [<STATE>]
+ [IC=<IC>] [TEMP=<TEMP>] [M=<M>]
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание:

<NAME>	имя экземпляра модели устройства, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<ND>	узел стока;
<NG>	узел затвора;
<NS>	узел истока;
<MNAME>	имя модели;
<L>	длина канала, м;
<W>	ширина канала, м;
<AD>	площадь диффузии стока, м ² ;
<AS>	площадь диффузии истока, м ² ;
<PD>	периметр стока, м;
<PS>	периметр истока, м;
<NRD>	эквивалентное количество квадратов стоков. Этот параметр умножает параметр модели RSH;
<NRS>	эквивалентное количество квадратов истоков. Этот параметр умножает параметр модели RSH;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратить в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия должны быть определены следующим выражением IC= <VDS>[, <VGS>][, <VBS>]. Здесь <VDS> – напряжение сток-исток, <VGS> – напряжение затвор-исток, <VBS> – напряжение. Предпочтительнее использовать директиву .IC;
<TEMP>	локальная температура (действительна только для моделей 1, 2, 3 и 6, но не для 4 или 5);
<M>	коэффициент умножения площади, действителен только для модели EKV (LEVEL=8).

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> PMOS ([LEVEL=<LEVEL>] [параметры])  
.model <MNAME> NMOS ([LEVEL=<LEVEL>] [параметры])
```

Таблица уровней моделей-прототипов:

SPICE обеспечивает 4 модели полевого транзистора с изолированным затвором, которые отличаются по формулировке BAX. Переменная LEVEL определяет какая модель будет использоваться.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметр LEVEL	Известное название модели
LEVEL=1	Шихман-Ходжес
LEVEL=2	MOS2
LEVEL=3	MOS3
LEVEL=4	BSIM
LEVEL=5	BSIM2
LEVEL=6	MOS6
LEVEL=7	BSIM3
LEVEL=8	EKV 2.6

Параметры моделей LEVEL=1, 2, 3 и 6:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	LEVEL
AF	показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности мощности фликер-шума от тока через переход	-	1.0	1.2	1+3
CBD	ёмкость донной части перехода С-П при нулевом смещении	Ф	0.0	20fF	1+3
CBS	ёмкость донной части перехода И-П при нулевом смещении	Ф	0.0	20fF	1+3
CGBO	удельная ёмкость перекрытия З-подложка (за счёт выхода затвора за пределы канала)	Ф/м	0.0	2.0E-10	1+3
CGDO	удельная ёмкость перекрытия З-С (за счёт боковой диффузии)	Ф/м	0.0	4.0E-11	1+3
CGSO	удельная ёмкость перекрытия З-И (за счёт боковой диффузии)	Ф/м	0.0	4.0E-11	1+3
CJ	удельная ёмкость донной части р-п перехода С(И)-П при нулевом смещении (на площадь перехода)	Ф/м ²	0.0	2.0E-4	1+3
CJSW	удельная ёмкость боковой поверхности р-п перехода С(И)-подложка при нулевом смещении (на длину периода)	Ф/м	0.0	1.0E-9	1+3
DELTA	коэффициент влияния ширины канала на пороговое напряжение	-	0.0	1.0	2, 3
ETA	параметр влияния напряжения С-И на пороговое напряжение (статическая обратная связь)	-	0.0	1.0	3

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	LEVEL
FC	коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещённого перехода подложки	-	0.5	-	1÷3
GAMMA	коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение	$V^{1/2}$	0.0	0.37	1÷3
IS	ток насыщения p-n перехода C(И)-П	A	1.0E-14	1.0E-15	1÷3
JS	плотность тока насыщения перехода C(И)-П	A/м ²	0	1E-3	1÷3
KAPPA	параметр модуляции длины канала напряжением C-И	-	0.2	0.5	3
KF	коэффициент, определяющий спектральную плотность фликер-шума	-	0.0	1.0e-26	1÷3
KP	параметр удельной крутизны	A/B ²	2.0E-5	3.1E-5	1÷3
LAMBDA	параметр модуляции длины канала	1/B	0.0	0.02	1, 2
LD	длина области боковой диффузии	м	0.0	0.8M	1÷3
LEVEL	уровень (индекс) модели	-	1	-	
MJ	коэффициент, учитывающий плавность перехода П-C(И)	-	0.5	0.5	1÷3
MJSW	коэффициент наклона боковой поверхности перехода П-C(И)	-	0.50 0.33	- -	1 2,3
NEFF	коэффициент коррекции концентрации примесей в канале	-	1.0	5.0	2
NFS	плотность быстрых поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид	1/см ²	0.0	1.0E10	2, 3
NSS	плотность медленных поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид	1/см ²	0.0	1.0E10	2, 3
NSUB	уровень легирования подложки	1/см ³	0.0	4.0E15	1÷3
PB	напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	B	0.8	0.87	1÷3
PHI	поверхностный потенциал сильной инверсии	B	0.6	0.65	1÷3
RD	объёмное сопротивление стока	Ом	0.0	1.0	1÷3
RS	объёмное сопротивление истока	Ом	0.0	1.0	1÷3
RSH	удельное сопротивление диффузионных областей истока и стока	Ом/квадрат	0.0	10.0	1÷3

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	LEVEL
THETA	коэффициент модуляции подвижности носителей под влиянием вертикального поля	1/V	0.0	0.1	3
TNOM	температура, для которой действительны определения параметров	°C	27	50	
TOX	толщина оксида	м	1.0E-7	1.0E-7	1÷3
TPG	тип материала легирования затвора: +1 (противоположного типа от подложки) -1 (как подложка) 0 (металл, алюминий)	-	1.0	-	2, 3
UCRIT	критическая напряжённость вертикального поля, при которой подвижность носителей уменьшается в два раза	V/см	1.0E4	1.0E4	2
UEXP	эмпирическая константа, определяющая мобильность носителей	-	0.0	0.1	2
UO	подвижность носителей тока в инверсном слое канала	см ² /(В*с)	600	700	1÷3
UTRA	коэффициент поперечного поля (подвижность)	-	0.0	0.3	1, 3
VMAX	максимальная скорость дрейфа носителей	м/с	0.0	5.0e4	2, 3
VTO	пороговое напряжение при нулевом смещении подложки VP-I=0	В	0.0	1.0	1÷3
XJ	глубина металлургического перехода областей стока и истока	м	0.0	1M	2, 3

Примечание к таблице: С – сток, И – исток, З – затвор, П – подложка.

Описание моделей LEVEL= 4, 5 (BSIM1 и BSIM2):

- Параметры этих моделей получают из процесса характеризации, и не могут быть сгенерированы автоматически.
- В отличие от других моделей в SPICE, модель BSIM создана для использования совместно с процессом характеризации системы, который обеспечивают все параметры, поэтому для параметров отсутствуют значения по умолчанию, и исключение даже одного из них вызовет ошибку.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры BSIM и BSIM2:

Имя	Значение	Единица
CGBO	удельная ёмкость перекрытия З-П (за счёт выхода затвора за пределы канала)	Ф/м
CGDO	удельная ёмкость перекрытия З-С (за счёт боковой диффузии)	Ф/м
CGSO	удельная ёмкость перекрытия З-И (за счёт боковой диффузии)	Ф/м
CJ	удельная ёмкость донной части р-п перехода С(И)-П при нулевом смещении (на площадь перехода)	Ф/м ²
CJSW	удельная ёмкость боковой поверхности р-п перехода С(И)-подложка при нулевом смещении (на длину периода)	Ф/м
DELL	уменьшение ширины переходов стока и истока по умолчанию	м
DL	уменьшение эффективной длины канала	мкм
DW	уменьшение эффективной ширины канала	мкм
ETA	коэффициент, отражающий зависимость порогового напряжения от смещения П-С	-
JS	плотность тока насыщения перехода С(И)-П	А/м ²
K1	коэффициент влияния подложки	В ^{1/2}
K2	коэффициент разделения заряда обеднённой области между С и И	-
LEVEL	уровень модели	-
MJ	коэффициент, учитывающий плавность перехода П-С(И)	-
MJSW	коэффициент наклона боковой поверхности перехода П-С(И)	-
MUS	подвижность носителей при нулевом смещении на подложке и $V_{CI}=V_{dd}$	см ² /(В ² *с)
MUZ	подвижность носителей при нулевом смещении	см ² /(В*С)
NO	коэффициент наклона проходной характеристики в субпороговом режиме при нулевом смещении на П	-
NB	чувствительность коэффициента наклона проходной характеристики в субпороговом режиме к смещению на П	-
ND	чувствительность коэффициента наклона проходной характеристики в субпороговом режиме к смещению на С	-

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица
PВ	напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	В
PBSW	напряжение инверсии боковой поверхности р-п перехода С-И	В
PHI	контактная разность потенциалов инверсного слоя переходов	В
RSН	удельное сопротивление диффузионных областей истока и стока	Ом/квадрат
TEMP	температура, при которой действительны определения параметров	°С
ТОХ	толщина оксида Z	мкм
U0	коэффициент, отражающий изменение подвижности от напряжения вертикального поля	1/В
U1	коэффициент, определяющий степень насыщения скорости носителей от напряжения на С	мкм/В
VDD	коэффициент влияния напряжения смещения	В
VFB	напряжение плоских зон	В
WDF	ширина переходов С и И по умолчанию	м
X2E	чувствительность уровня индуцированного слоя к смещению на П	1/В
X2MS	чувствительность подвижности носителей к смещению на П при $V_{CI}=V_{dd}$	$см^2/(В^2*с)$
X2MZ	чувствительность подвижности носителей к смещению на П при $V=0$	$см^2/(В^2*с)$
X2U0	чувствительность критической подвижности носителей к смещению на П	$1/В^2$
X2U1	чувствительность максимальной скорости носителей к напряжению смещения на П	мкм/В ²
X3E	чувствительность уровня индуцированного слоя к смещению на стоке при $V_{CI}=V_{dd}$	1/В
X3MS	чувствительность подвижности носителей к смещению на стоке при $V_{CI}=V_{dd}$	$см^2/(В^2*с)$
X3U1	чувствительность подвижности носителей к смещению на стоке при $V_{CI}=V_{dd}$	мкм/В ²
XPART	флаг, определяющий распределение зарядов между С и И	-

Примечание к таблице: С – сток, И – исток, Z – затвор, П – подложка.

Примечания для моделей BSIM и BSIM2 (LEVEL=4, 5):

- VDD – напряжение, при котором проводятся измерения (обычно оно равно напряжению питания).
- При XPART=0 устанавливается соотношение зарядов C-I, равное 40/60, при XPART = 1 соотношение равно 0/100.
- VTO, KP, LAMBDA, PHI и GAMMA – определяют передаточную характеристику по постоянному току для моделей LEVEL=1÷3. Эти параметры вычисляются если даны процессные параметры (NSUB, TOX), однако определённые пользователем параметры всегда имеют приоритет. VTO положительный для усилительного режима, отрицательный для режима запираания для N-канального прибора. Для P-канального прибора – наоборот.
- CGSO, CGDO, CGBO – позволяют моделировать запасание заряда. Эти параметры представляют собой ёмкости перекрытия нелинейной тонко-оксидной ёмкостью, которая распределяется между затвором, истоком, стоком и объёмными областями, а также ёмкостями нелинейного обеднённого слоя для обоих субстратных контактов, разделённых на низ и периферию, которые изменяются в зависимости от степени напряжения связи MJ и MJSW соответственно и определяются параметрами CBD, CBS, CJ, CJSW, MJ, MJSW и PB. Эффекты сохранения заряда моделируются кусочно-линейной, зависимой от напряжения, ёмкостной моделью, предложенной Мейером. Для модели LEVEL = 1 эффекты тонко-оксидного запасания заряда обрабатываются несколько иначе. Эти зависящие от напряжения ёмкости включаются только в том случае, если TOX указан во входном описании, и они представлены с использованием формулировки Мейера.
- Имеет место некоторое перекрытие среди параметров, описывающих переход, например, обратный ток может описан параметрами IS (в А) или JS (в А/м²). В то время как первый из них является абсолютной величиной, второй умножается на AD и AS для определения обратного тока стока и истока соответственно. Эта методология позволяет отказаться от связывания характеристик перехода с параметрами AD и AS. Подобная идея применяется также к ёмкостям CBD и CBS (в Ф) перехода при нулевом смещении с одной стороны, и CJ (в Ф/м²) с другой.
- Паразитные последовательные сопротивления могут быть выражены параметрами RD и RS (в Ом) или RSH (в Ом/квадрат), последний умножается на количества квадратов NRD и NRS.

Описание модели BSIM3 (LEVEL=7):

Модель BSIM3 позволяет обойти проблемы сходимости моделей BSIM и BSIM2 за счет сглаживания функциональных зависимостей. Она принимает одно выражение для характеристик устройства в рабочей области, что позволяет устранить разрывы в функциональных зависимостях ВАХ и ВФХ. Оригинальная модель содержит 3 версии: BSIM3v1, BSIM3v2, BSIM3v3. Последняя является наиболее стабильной при вычислениях. Модель BSIM3v3 весьма точно описывает устройство для 0.18 мкм технологического процесса.

Параметры модели BSIM3 (LEVEL=7):

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
A0	коэффициент влияния эффекта заряда П на длину канала	-	1.0
A1	первый параметр для эффекта ненасыщенности	1/B	0
A2	второй коэффициент эффекта для эффекта ненасыщенности	-	1
AF	показатель степени экспоненты для частотной зависимости	-	1
AGS	коэффициент смещения затвора для Abulk	1/B	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
ALPHA0	первый параметр для ударной ионизации	м/В	0
AT	температурный коэффициент для скорости насыщения	м/с	3.3E4
B0	коэффициент влияния эффекта объёмного заряда П на ширину канала	м	0
B1	изменение ширины для эффекта объёмного заряда	м	0
BETA0	второй параметр для ударной ионизации	В	30
BINUNIT	выбор масштаба единицы хранения	-	1
CAPMOD	флаг выбора ёмкостной модели для устройств с коротким каналом	-	2
CDSC	ёмкость связи С/И-канал	Ф/м ²	2.4E-4
CDSCB	чувствительность смещения П для CDSC	Ф/(В*м ²)	0
CDSCD	ёмкость смещения стока для CDSC	Ф/(В*м ²)	0
CF	ёмкость краевого эффекта	Ф/м	
CGBO	удельная ёмкость перекрытия З-П на длину канала на единицу длины канала	Ф/м	0
CGDO	удельная ёмкость перекрытия З-С на длину канала (за счёт боковой диффузии) (см. примечания для BSIM3).	Ф/м	-
CGSO	удельная ёмкость перекрытия З-И на длину канала (за счёт боковой диффузии) (см. примечания для BSIM3).	Ф/м	-
CIT	ёмкость поверхностных ловушек	Ф/м ²	0
CJ	удельная ёмкость донной части p-n перехода С(И)-П на единицу площади	Ф/м ²	5E-4
CJSW	удельная ёмкость боковой поверхности перехода С(И)-П при нулевом смещении на единицу площади	Ф/м	5E-10
CJSWG	удельная ёмкость боковой поверхности перехода С(И)-З на единицу площади	Ф/м	CJSW
СКAPPA	коэффициент ёмкости перекрытия слаболегированных областей	Ф/м	0.6
CLC	свободный член для модели с коротким каналом	м	0.1e-6
CLE	член показательной части для модели с коротким каналом		0.6
DELTA	параметр эффективного напряжения С-И	В	0.01

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
DLC	подстроечный параметр смещения длины из вольт-фарадной характеристики	м	LINT
DROUT	коэффициент зависимости L для коррекции параметров DIBL в выходном сопротивлении	-	0.56
DSUB	коэффициент DIBL в показателе экспоненты в подпороговом режиме	-	DROUT
DVT0	первый коэффициент эффекта короткого канала для порогового напряжения	-	2.2
DVT0W	первый коэффициент эффекта уменьшения эффективной ширины канала для порогового напряжения для приборов с малой длиной канала	1/м	0
DVT1	первый коэффициент эффекта короткого канала для порогового напряжения	-	0.53
DVT1W	второй коэффициент эффекта уменьшения эффективной ширины канала для порогового напряжения для приборов с малой длиной канала	1/м	5.3e6
DVT2	коэффициент смещения П для эффекта короткого канала для порогового напряжения	1/B	-0.032
DVT2W	коэффициент смещения подложки для уменьшения эффективной ширины канала для приборов с малой длиной канала	1/B	-0.032
DWB	коэффициент зависимости эффективной ширины от смещения П	м/B ^{1/2}	0
DWC	параметр подгонки по ширине из вольт-фарадной характеристики	м	WINT
DWG	коэффициент зависимости эффективной ширины от режима на затворе	м/B	0
EF	показатель степени экспоненты для фликер-шума	-	1
ELM	постоянная Элмора для канала	-	5
EM	напряжённость поля насыщения	В/м	4.1E7
ETA0	коэффициент DIBL в подпороговой области	-	0.08
ETAB	коэффициент смещения П для подпорогового эффекта DIBL	1/B	-0.07
GAMMA1	приповерхностный коэффициент влияния подложки (см. примечания для BSIM3).	В ^{1/2}	-
GAMMA2	коэффициент влияния подложки в подложке (см. примечания для BSIM3).	В ^{1/2}	-
JS	плотность ток насыщения перехода C(И)-П	А/м ²	1.0E-4

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
K1	коэффициент влияния П первого порядка	$B^{1/2}$	0.5 (см. примечания для BSIM3).
K2	коэффициент влияния П второго порядка	-	0 (см. примечания для BSIM3).
K3	коэффициент уменьшения эффективной ширины канала	-	80
K3B	коэффициент влияния П на коэффициент уменьшения эффективной ширины канала	1/B	0
KETA	коэффициент смещения П для эффекта объёмного заряда	1/B	-0.047
KF	параметр фликер-шума	-	0
KT1	температурный коэффициент для порогового напряжения	B	-0.11
KT2	коэффициент смещения П для температурного эффекта порогового напряжения	-	0.022
LEVEL	уровень модели	-	1
LINT	параметр уточнения изменения длины от I-V без смещения	м	0
LL	коэффициент зависимости длины для смещения длины	M^{LLN}	0
LLN	показатель степени зависимости длины для смещения длины	-	1.0
LMAX	максимальная длина канала	м	1.0
LMIN	минимальная длина канала	м	0
LW	коэффициент зависимости длины для смещения длины	M^{LWN}	0
LWL	перекрёстный член коэффициента длины и ширины для смещения длины	$M^{LWN+LLN}$	0
LWN	показатель степени зависимости ширины для смещения длины	-	1.0
MJ	коэффициент, учитывающий плавность перехода П-С(И)	-	0.5
MJSW	коэффициент наклона боковой поверхности перехода П-И(С)	-	0.33
MJSWG	коэффициент наклона боковой поверхности перехода З-И(С)	-	MJSW
MOBMOD	выбор модели мобильности	-	1
NCH	концентрация легирования канала	$1/\text{см}^3$	$1.7E17$ (см. примечания для BSIM3).

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
NFACTOR	коэффициент размаха в подпороговом режиме	-	1
NGATE	концентрация примесей в поликремниевом затворе	1/см ³	0
NJ	коэффициент инжекции перехода C(И)-П	-	1
NLX	параметр неравномерности бокового легирования	м	1.74E-7
NOIA	параметр шума А	-	1E20 – N-канал; 9.9E18 – P-канал
NOIB	параметр шума В	-	5E4 – NMOS; 2.4E3 – PMOS
NOIC	параметр шума С	-	-1.4E-12 – N-канал; 1.4E-12 – P-канал
NOIMOD	флаг выбора шумовой модели	-	1
NQSMOD	флаг выбора модели NQS	-	0
NSUB	концентрация легирования подложки	1/см ³	6e16
PВ	напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	В	1.0
PBSW	напряжение инверсии боковой поверхности перехода C(И)-П	В	1.0
PBSWG	напряжение инверсии боковой поверхности перехода З-С(И)	В	PBSW
PCLM	параметр модуляции длины канала	-	1.3
PDIBLC1	первый параметр для эффекта коррекции выходного сопротивления DIBL	-	0.39
PDIBLC2	второй параметр для эффекта коррекции выходного сопротивления DIBL	-	0.0086
PDIBLCB	коэффициент эффекта влияния П для коррекции параметров DIBL	1/В	0
PRT	температурный коэффициент для RDSW	Ом/мкм	0
PRWB	коэффициент влияния П на RDSW	В ^{-1/2}	0
PRWG	коэффициент влияния смещения затвора на RDSW	1/В	0
PSCBE1	первый параметр эффекта тока П	В/м	4.24E8
PSCBE2	второй параметр эффекта тока П	м/В	1.0E-5
PVAG	зависимость З от напряжения Эрли	-	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
RDSW	паразитное сопротивление на единицу ширины	Ом/мкм ^{WR}	0
RSH	удельное сопротивление диффузионных областей стока и истока	Ом/квадрат	0
TNOM	значение температуры для которой определены параметры модели (если значение параметра не определено, то оно определяется по настройкам имитатора)	°C	27
TOX	толщина оксида Σ	м	1.5E-8
U0	подвижность носителей при температуре прибора, равной TNOM	см ² /(В*с)	670.0 – N-канал; 250.0 – P-канал
UA	коэффициент первого порядка уменьшения мобильности носителей заряда	м/В	2.25E-9
UA1	температурный коэффициент для UA	м/В	4.31E-9
UB	коэффициент второго порядка уменьшения мобильности носителей заряда	(м/В) ²	5.87E-19
UB1	температурный коэффициент для UB	(м/В) ²	-7.61E-18
UC	коэффициент влияния смещения П на уменьшение мобильности носителей заряда для MOBMOD = 1 или 2	м/В ²	-4.65E-11
	для MOBMOD = 3	1/В	-0.046
UC1	температурный коэффициент для UC.	-	-
	для MOBMOD = 1 or 2	м/В ²	-5.6E-11
	для MOBMOD = 3	1/В	-0.056
UTE	показатель экспоненты для температуры подвижности	-	-1.5
VBM	максимальное допустимое смещение П при вычислении порогового напряжения	В	-3.0
VBX	величина напряжения П-И, при которой ширина области обеднения равна ХТ (см. примечания для BSIM3).	В	-
VOFF	смещение напряжения в подпороговой области при больших длине и ширине	В	-0.08
VSAT	скорость насыщения при температуре, равной TNOM	м/с	8.0E4
VTN0	пороговое напряжение (VPI=0) для параметра модуляции длины канала	В	0.7 – N-канал; -0.7 – P-канал (см. примечания для BSIM3).
W0	параметр уменьшения эффективной ширины канала	м	2.5E-6

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
WINT	параметр уточнения изменения ширины без смещения из вольт-амперной характеристики	м	0
WL	коэффициент зависимости длины для смещения ширины	M^{WLN}	0
WLN	показатель степени зависимости длины для смещения ширины	–	1.0
WMAX	максимальная ширина канала	м	1.0
WMIN	минимальная ширина канала	м	0
WR	изменение ширины от Weff для вычисления паразитного сопротивления	–	1
WW	коэффициент зависимости ширины для смещения ширины	M^{WWN}	0
WWL	перекрёстный член коэффициента длины и ширины для смещения ширины	$M^{WNN+WLN}$	0
WWN	показатель степени зависимости ширины для смещения ширины	–	1.0
XJ	металлургическая глубина перехода	м	1.5E-7
XPART	флаг, определяющий распределение зарядов между С и И	–	0
XT	глубина легирования	м	1.55E-7
XTI	коэффициент показателя температурной экспоненты тока перехода С(И)-П	–	3.0

Примечание к таблице: С – сток, И – исток, З – затвор, П – подложка.

Примечания для модели BSIM3 (LEVEL=7):

- параметр XPART позволяет определить 3 схемы распределения заряда в области С-И:
 XPART=0 определяет соотношение 0/100 для С/И соответственно;
 XPART=0.5 определяет соотношение 50/50 для С/И соответственно;
 XPART=1 определяет соотношение 40/60 для С/И соответственно;
- если значения следующих параметров не определены в модели, то они будут вычислены: VTH0, K1, K2, CGSO, CGDO, CF, GAMMA1, GAMMA2, NCH, VBX. Для понимания процесса вычисления обратитесь к руководству пользователя модели BSIM3v3 <http://bsim.berkeley.edu/models/bsim3/>. Полное руководство можно найти по адресу http://ngspice.sourceforge.net/external-documents/models/bsim330_manual.pdf.
- следующие параметры BSIM3 не поддерживаются имитатором Altium Designer:
 JSSW – плотность бокового тока насыщения,
 CGS1 – ёмкость слаболегированной области перекрытия И-З,
 CGD1 – ёмкость слаболегированной области перекрытия С-З,
 VFB – параметр напряжения плоской полосы.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели EKV (LEVEL=8):

Модель Энца-Круменахера-Виттоса позволяет с высокой точностью описывать электрической состояние полевого транзистора даже в подпороговой области. Предназначена в основном для моделирования приборов микронных и субмикронных размеров, т.к. содержит описание эффектов, существенных для приборов малого размера.

Параметры модели EKV (LEVEL=8):

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
Параметры управления процессом вычислений			
COX	относительная ёмкость оксида ϵ на единицу площади	$\text{Ф}/\text{м}^2$	0.7E-3
DL	коррекция длины канала	м	0
DW	коррекция ширины канала	м	0
XJ	металлургическая глубина перехода C(I)-П	м	0.1E-6
Базовые специальные модельные параметры			
VTO	пороговое напряжение длинного канала	В	0.5
GAMMA	параметр эффекта подложки	$\text{В}^{1/2}$	1.0
PHI	потенциал Ферми для П	В	0.7
KP	параметр проводимости	$\text{А}/\text{В}^2$	50.0E-6
EO	коэффициент снижения мобильности носителей заряда	В/м	1.0E12
UCRIT	критическая напряжённость продольного поля	В/м	2.0E6
Дополнительные параметры			
TOX	толщина оксида	м	-
NSUB	концентрация легирования канала	$1/\text{см}^3$	-
VFB	напряжение плоской области	В	-
UO	подвижность зарядов в поле низкой напряжённости	$\text{см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	-
VMAX	скорость насыщения	м/с	-
THETA	коэффициент уменьшения подвижности зарядов	1/В	0
Параметры модуляции длины канала и распределения заряда			
LAMBDA	коэффициент длины обеднения (модуляция длины канала)	-	0.5
WETA	коэффициент эффекта узкого канала	-	0.25
LETA	коэффициент эффекта короткого канала	-	0.1

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
Параметры обратного короткого канала			
QO	пиковая плотность заряда эффекта обратного короткого канала	A*c/m ²	0
LK	характеристическая длина эффекта обратного короткого канала	м	0.29E-6
Параметры ударной ионизации			
IBA	первый коэффициент ударной ионизации	1/м	0
IBB	второй коэффициент ударной ионизации	B/м	3.0E8
IBN	коэффициент насыщения напряжения для ударной ионизации	-	1.0
Характерные температурные параметры модели			
TCV	пороговый термовольтаический коэффициент	B/K	1.0E-3
BEH	показатель экспоненты температурной зависимости для подвижности зарядов	-	-1.5
UCEX	показатель экспоненты температурной зависимости для напряжённости критического продольного поля	-	0.8
IBVT	коэффициент температурной зависимости для IBB	1/K	9.0E-4
Характерные температурные параметры модели			
TCV	пороговый термовольтаический коэффициент	B/K	1.0E-3
BEH	показатель экспоненты температурной зависимости для подвижности зарядов	-	-1.5
Параметры фликер-шума			
KF	коэффициент фликер-шума	-	0
AF	показатель экспоненты фликер-шума	-	1
Параметры начальной установки модели			
NQS	выбор неквазистатичной работы		
SATLIM	отношение, определяющее предел насыщения		
Дополнительные параметры			
LEVEL	индекс модели (выбор типа)	-	1
TNOM	температура, для которой определены параметры; если параметр не определён, то будет значение будет определено из настроек имитатора	°C	27
IS	ток насыщения перехода C(И)-П	A	1.0E-14

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
Дополнительные параметры			
JS	плотность тока насыщения перехода С(И)-П на единицу площади перехода	A/м ²	-
JSW	боковой ток насыщения на единицу длины	A/м	0
N	коэффициент инжекции р-п перехода подложки С(И)-П	-	1
CBD	ёмкость перехода П-С при нулевом смещении	Ф	0
CBS	ёмкость перехода П-И при нулевом смещении	Ф	0
CJ	донная ёмкость перехода С(И)-П при нулевом смещении на единицу площади перехода	Ф/м ²	0
CJSW	боковая ёмкость перехода С(И)-П при нулевом смещении на единицу длины периметра	Ф/м	0
MJ	коэффициент, учитывающий плавность перехода С(И)-П в донной части	-	0.5
MJSW	коэффициент, учитывающий плавность боковой поверхности перехода С(И)-П	-	0.33
FC	коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещённого перехода П	-	0.5
PВ	напряжении инверсии приповерхностного слоя П	В	0.8
PBSW	напряжении инверсии боковой поверхности перехода С(И)-П	В	1
TT	время переноса зарядов через р-п переход С(И)-П	с	0
CGSO	удельная ёмкость перекрытия З-И	Ф/м	0
CGDO	удельная ёмкость перекрытия З-С	Ф/м	0
CGBO	удельная ёмкость перекрытия З-П	Ф/м	0
RD	объёмное сопротивление С	Ом	0
RS	объёмное сопротивление И	Ом	0
RSН	объёмное сопротивление диффузионных областей И и С	Ом	0
RSC	контактное сопротивление И	Ом	0
RDC	контактное сопротивление С	Ом	0
XTI	показатель степени экспоненты в температурной зависимости для тока перехода С-И	-	0
TR1	коэффициент первого порядка в температурной зависимости для последовательного сопротивления перехода С-И	1/°C	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
Дополнительные параметры			
TR2	коэффициент второго порядка в температурной зависимости для последовательного сопротивления перехода С-И	1/(°C) ²	0
ACM	модель вычисления площади	–	0
CJGATE	удельная ёмкость боковой поверхности перехода в призатворной области при нулевом смещении (параметр используется только для ACM=3)	Ф/м	CJSW
GEO	параметр общей геометрии (параметр используется только для ACM=3)	–	0
HDIF	длина сильнолегированной области диффузии (параметр используется только для ACM=2, 3)	м	0
LD	протяжённость боковой диффузии в канал	м	0
LDIF	длина слаболегированной диффузии в области затвора	м	0
SCALM	масштабный коэффициент модели	–	1
UPDATE	выбор эффективной модели сопротивления С и И (параметр используется только для ACM=1)	–	0
WMLT	коэффициент уменьшения ширины сжатия диффузионного слоя	–	1

Примечание к таблице: С – сток, И – исток, З – затвор, П – подложка.

Примечания для модели EKV (LEVEL=8):

- Модель EKV была разработана лабораторией электроники Федерального института технологий Швейцарии.
- Применяемая в Altium Designer модель версии 2.6.
- Следующие параметры модели не поддерживаются в Altium Designer:
 - М или NP – количество параллельно соединённых устройств;
 - N или NS – количество последовательно соединённых устройств;
 - AVTO – параметр промаха (несовпадения) порогового напряжения отнесённого к площади;
 - AKP – параметр промаха (несовпадения) усиления, отнесённого к площади;
 - AGAMMA – параметр промаха (несовпадения) эффекта влияния подложки, отнесённого к площади;
 - XQC – выбор модели заряд/ёмкость.
- Для более детальной информации о выражениях, ассоциированных с расчётами для модели EKV следует обратиться к документу «The EPFL-EKV MOSFET Model Equations for Simulation», доступного по адресу <http://legwww.epfl.ch/ekv/model.html>

Пример:

```
M1 24 2 0 20 TYPE1
M31 2 17 6 10 MODM L=5U W=2U
.model modm nmos ()
M1 2 9 3 0 MOD1 L=10U W=5U AD=100P AS=100P PD=40U PS=40U
```

Полевой транзистор с затвором Шоттки

Основная форма:

```
Z<NAME> <ND> <NG> <NS> <MNAME> [<AREA>] [<OFF>] [IC=<IC>]
```

Описание параметров модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<ND>	узел стока;
<NG>	узел затвора;
<NS>	узел истока;
<NB>	узел подложки;
<MNAME>	имя модели-прототипа;
<AREA>	коэффициент умножения площади;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратить в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия должны быть определены следующим выражением IC= <VDS>[, <VGS>]. Здесь <VDS> – напряжение сток-исток, <VGS> – напряжение затвор-исток. Предпочтительнее использовать директиву .IC.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> NMF ([<параметры>]) – N-канал
.model <MNAME> PMF ([<параметры>]) – P-канал
```

Описание модели-прототипа:

Модель ПТЗШ основана на модели GaAs полевого транзистора Статца.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример	AREA
VTO	напряжение отсечки	В	-2.0	-2.0	
BETA	параметр проводимости	A/B ²	1.0E-4	1.0E-3	*
B	параметр продолжения легирующего хвоста	1/B	0.3	0.3	*
ALPHA	параметр напряжения насыщения	1/B	2	2	*
LAMBDA	параметр модуляции длины канала	1/B	0	1.0E-4	
RD	объёмное сопротивление С	Ом	0	100	*
RS	объёмное сопротивление И	Ом	0	100	*
CGS	ёмкость перехода З-И при нулевом смещении	Ф	0	5pF	*
CGD	ёмкость перехода З-С при нулевом смещении	Ф	0	1pF	*
PB	напряжение инверсии приповерхностного слоя подложки	В	1	0.6	
KF	коэффициент, определяющий спектральную плотность фликер-шума	-	0		
AF	показатель степени экспоненты, определяющий зависимость спектральной плотности фликер-шума от тока через переход	-	1		
FC	коэффициент нелинейности барьерной ёмкости прямосмещённого перехода подложки	-	0.5		

Примечание:

- VTO, B, BETA – определяют изменение тока стока от напряжения затвора. Устанавливают передаточные характеристики по постоянному току.
- ALPHA – определяет напряжение насыщения. Устанавливают передаточные характеристики по постоянному току.
- LAMBDA – определяет проводимость. Устанавливают передаточные характеристики по постоянному току.
- RD и RS – омическое сопротивление.
- CGS, CGD и PB – позволяют моделировать запасание заряда на основе полного подзатворного заряда, вычисляемого как функция данных параметров.
- Выражение для тока через канал можно выразить следующим образом:

$$I_d = \begin{cases} \frac{BETA \cdot (V_{зи} - V_T)^2}{1 + B \cdot (V_{зи} - V_T)} \cdot \left(1 - \left(ALPHA \cdot \frac{V_{си}}{3}\right)^3\right) \cdot (1 + LAMBDA), & 0 < V_{си} < \frac{3}{A} \\ \frac{BETA \cdot (V_{зи} - V_T)^2}{1 + B \cdot (V_{зи} - V_T)} \cdot (1 + LAMBDA), & V_{си} > \frac{3}{A} \end{cases}$$

Пример:

Z1 7 2 3 ZM1 OFF

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Подсхема

```
X<NAME> <N1> [<N2>] [<N3>]... <SUBNAME> [PARAMS: <PARAM1> [<PARAM2>]...]
```

Описание параметров модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра подсхемы, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<N1>, <N2>, <N3>	имена узлов в той области, в которую входит подсхема (это может быть верхний уровень или другая подсхема)
<SUBNAME>	имя модели-прототипа;
<PARAM1>, <PARAM2>	параметры подсхемы; определения параметров должны иметь описание вида <PARAMETER>=<VALUE>; в качестве значений <VALUE> параметров допускается использовать только числа;

Модель-прототип:

```
.subckt <SUBNAME> <N1_PROTO> [<N2_PROTO> <N3_PROTO>...] [PARAMS: <PARAM1> [<PARAM2>]...]  
.ends [<SUBNAME>]
```

Описание параметров модели прототипа:

<SUBNAME>	имя модели-прототипа;
<N1_PROTO>, <N2_PROTO>, <N3_PROTO>	внутренние, по отношению к подсхеме, имена узлов. Внешние и внутренние имена узлов взаимно увязываются по местоположению в порядке перечисления;
<PARAM1>, <PARAM2>	первый параметр подсхемы; параметры должны быть формально определены, то есть иметь описание вида <PARAMETER>=<VALUE>, где <PARAMETER> – имя параметра, <VALUE> – значение параметра; в качестве значений <VALUE> параметров допускается использовать только числа; если пропущено определение параметра в объявлении модели-экземпляра, то используется формальное определение параметра из модели-прототипа;
<CARDS>	внутреннее содержание подсхемы.

Пример:

```
X1 2 4 17 3 1 MULTI  
.SUBCKT MULTI in1 in2 in3 in4 PARAMS: v1={0} v2={0} v3={0} v4={0}  
V1 in1 0 {v1}  
V2 in2 0 {v2}  
V3 in3 0 {v3}  
V4 in4 0 {v4}  
.ENDS MULTI
```

PSPICE совместимые модели устройств

Имитатор Altium Mixed Sim не поддерживает следующие параметры управления температурой, действующие в PSPICE: T_ABS, T_MEASURED, T_REL_GLOBAL, T_REL_LOCAL.

Резистор

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
R<NAME> <+NODE> <-NODE> <MNAME> <VALUE> [TC = <TC1> [, <TC2>]]
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение резистора;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
VALUE	Величина сопротивления	Ом	-	10
TC1	Температурный коэффициент первого порядка	°C ⁻¹	0.0	-27E-6
TC2	Температурный коэффициент второго порядка	°C ⁻²	0.0	-

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> RES ([<TC1=...>] [<TC2=...>] | [<TCE=...>])
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
TC1	Температурный коэффициент первого порядка	°C ⁻¹	0.0	-
TC2	Температурный коэффициент второго порядка	°C ⁻²	0.0	-
TCE	Экспоненциально-пропорциональный температурный коэффициент	°C ⁻¹	-	50

Примечания:

- Определения модели-прототипа используются только, если модель-прототип определена в описании модели-экземпляра. Определения модели-экземпляра имеют приоритет.
- Зависимость величины сопротивления резистора от температуры определяется выражениями (в зависимости от того, какие параметры определены)

$$R(T) = VALUE \cdot (1 + TC1 \cdot (T - T_{NOM}) + TC2 \cdot (T - T_{NOM})^2)$$

$$R(T) = R(T_{NOM}) \cdot (1.01^{TCE \cdot (T - T_{NOM})})$$

- Степенная форма используется, если определён параметр TCE.

Конденсатор

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
C<NAME> <+NODE> <-NODE> [<MNAME>] <VALUE> [IC=<IV>]
```

Описание:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение резистора;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
VALUE	Величина сопротивления	Ом	-	10
IV	Начальное напряжение на выводах	В	0.0	5

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> CAP ([C=<C>] [VC1=<VC1>] [VC2=<VC2>] [TC1=<TC1>] [TC2=<TC2>])
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
C	коэффициент пропорциональности	-	1	2
TC1	Температурный коэффициент первого порядка	°C ⁻¹	0.0	-
TC2	Температурный коэффициент второго порядка	°C ⁻²	0.0	-
VC1	Коэффициент линейной зависимости от напряжения	В ⁻¹	0.0	50
VC2	Коэффициент квадратичной зависимости от напряжения	В ⁻²	0.0	

Примечания:

- Определения модели-прототипа используются только, если модель-прототип определена в описании модели-экземпляра. Определения модели-экземпляра имеют приоритет.
- Зависимость величины ёмкости конденсатора от температуры и напряжения определяется выражением

$$C(T, V) = VALUE \cdot C \cdot (1 + VC_1 \cdot V + VC_2 \cdot V^2) \cdot (1 + TC_1 \cdot (T - T_{NOM}) + TC_2 \cdot (T - T_{NOM})^2)$$

Полупроводниковый диод

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
D<NAME> <+NODE> <-NODE> <MNAME> [<AREA>]
```

Описание:

<NAME>	имя экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<+NODE>	анод;
<-NODE>	катод;
<MNAME>	имя модели-экземпляра.

Параметры модели-экземпляра PSPICE формы:

<AREA> – коэффициент пропорциональности площади.

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> D ([параметры])
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
IBVL	начальный ток пробоя низкого уровня	A	0
IKF	предельный ток при высоком уровне инжекции	A	бесконечно
ISR	параметр тока рекомбинации	A	0
NBV	коэффициент неидеальности на участке пробоя	-	1
NBVL	коэффициент неидеальности на участке пробоя низкого уровня	-	1
NR	коэффициент эмиссии для тока ISR	-	2
TBV1	линейный коэффициент температурной зависимости BV	°C ⁻¹	0
TBV2	квадратичный коэффициент температурной зависимости BV	°C ⁻²	0
TIKF	линейный коэффициент температурной зависимости IKF	°C ⁻¹	0
TRS1	линейный коэффициент температурной зависимости RS	°C ⁻¹	0
TRS2	квадратичный коэффициент температурной зависимости RS	°C ⁻²	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Примечания:

- Приведённый выше перечень параметров модели-прототипа с поддержкой PSPICE дополняет перечень параметров для модели-прототипа, приведённый в подразделе «Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim».
- Параметры модели прототипа должны быть определены в форме <PNAME>=<PVALUE>, где PNAME – имя параметра, PVALUE – значение параметра.

Катушка индуктивности

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
L<NAME> <+NODE> <-NODE> [<MNAME>] <VALUE> [IC=<IC>]
```

Описание:

<NAME>	имя экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<+NODE>	вывод положительной полярности;
<-NODE>	вывод отрицательной полярности;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Параметры модели-экземпляра PSPICE формы:

<VALUE>	значение индуктивности;
<IC>	начальный ток через устройство.

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> IND ([параметры])
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
L	коэффициент пропорциональности	-	1	2
TC1	Температурный коэффициент первого порядка	°C ⁻¹	0.0	-
TC2	Температурный коэффициент второго порядка	°C ⁻²	0.0	-
IL1	Коэффициент линейной зависимости от тока	A ⁻¹	0.0	10
IL2	Коэффициент квадратичной зависимости от тока	A ⁻²	0.0	

Примечания:

- Определения модели-прототипа используются только, если модель-прототип определена в описании модели-экземпляра. Определения модели-экземпляра имеют приоритет.
- Зависимость величины ёмкости конденсатора от температуры и напряжения определяется выражением

$$L(T, I) = VALUE \cdot L \cdot (1 + IL_1 \cdot I + IL_2 \cdot I^2) \cdot (1 + TC_1 \cdot (T - T_{NOM}) + TC_2 \cdot (T - T_{NOM})^2)$$

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Биполярный транзистор

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
Q<NAME> <COLLECTOR> <BASE> <EMITTER> <MNAME> [<AREA>] [<STATE>] [IC=<IC>] [<TEMP>]
```

Описание:

<NAME>	имя экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<COLLECTOR>	узел коллектора;
<BASE>	узел базы;
<EMITTER>	узел эмиттера;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание параметров модели-экземпляра PSPICE-формы:

<AREA>	коэффициент пропорциональности площади;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратиться в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия могут быть определены как IC=[<VBE>] [, <VCE>], где <VBE> – напряжение база-эмиттер, <VCE> – напряжение коллектор-эмиттер. Предпочтительнее использовать директиву .IC для определения напряжений в узлах;
<TEMP>	действительная температура прибора.

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> PNP ([параметры]) – PNP-тип;  
.model <MNAME> NPN ([параметры]) – NPN-тип.
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
AF	показатель степени, определяющий спектральную плотность фликер-шума от тока через переход	–	1
BF	максимальный коэффициент передачи тока в нормальном режиме в схеме ОЭ (без учёта токов утечки)	–	100
BR	максимальный коэффициент передачи тока в инверсном режиме в схеме ОЭ	–	1
CJC	ёмкость К-Б перехода при нулевом смещении	Ф	0
CJE	ёмкость Э-Б перехода при нулевом смещении	Ф	0
CJS	ёмкость перехода К-П при нулевом смещении	Ф	0
EG	ширина запрещённой зоны	эВ	1.11

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
FC	коэффициент нелинейности барьерных ёмкостей прямосмещённых переходов	-	0.5
IKF	ток начала спада зависимости BF от тока К в нормальном режиме	А	бесконечно
IKR	ток начала спада зависимости BF от тока Э в инверсном режиме	А	бесконечно
IRB	ток базы, при котором сопротивление Б уменьшается на 50% полного перепада между RB и RBM	А	бесконечно
IS	ток насыщения при номинальной температуре	А	10E-16
ISC	ток насыщения утечки перехода Б-К	А	0
ISE	ток насыщения утечки перехода Б-Э	А	0
ITF	ток, характеризующий зависимость TF от тока К при больших токах	А	0
KF	коэффициент, определяющий спектральную плотность фликер-шума	-	0
MJC	коэффициент плавности перехода Б-К	-	0.33
MJE	коэффициент плавности перехода Б-Э	-	0.33
NC	коэффициент неидеальности перехода Б-К	-	1.5
NE	коэффициент неидеальности перехода Б-Э	-	1.5
NF	коэффициент неидеальности в нормальном режиме	-	1
NR	коэффициент неидеальности в инверсном режиме	-	1
PTF	дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{gr}=1/(2*\pi*T*F)$	градус	0
RB	объёмное сопротивление Б (максимальное) при нулевом смещении перехода Б-Э	Ом	0
RBM	минимальное сопротивление Б при больших токах	Ом	RB
RE	объёмное сопротивление Э	Ом	0
TF	время переноса заряда через Б в нормальном режиме	с	0
TR	время переноса заряда через Б в инверсном режиме	с	0
VAF	напряжение Эрли в нормальном режиме	В	бесконечно
VAR	напряжение Эрли в инверсном режиме	В	бесконечно
VJC	контактная разность потенциалов Б-К	В	0.75
VJE	контактная разность потенциалов Б-Э	В	0.75
VJS	контактная разность потенциалов К-П	В	0.75

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
VTF	напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения Б-К	В	бесконечно
XCJC	коэффициент расщепления ёмкости Б-К CJC	-	1
XTB	температурный коэффициент BF и BR	-	0
XTF	коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения Б-К	-	0
XTI	температурный коэффициент IS	-	3

Примечания:

- Приведённый выше перечень параметров модели-прототипа с поддержкой PSPICE дополняет перечень параметров для модели-прототипа, приведённый в подразделе «Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim».
- Параметры модели прототипа должны быть определены в форме <PNAME>=<PVALUE>, где PNAME – имя параметра, PVALUE – значение параметра.

Полевой транзистор с управляющим PN-переходом

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
J<NAME> <DRAIN> <GATE> <SOURCE> <MNAME> [<AREA>] [<STATE>] [IC=<IC>] [TEMP=<TEMP>]
```

Описание:

<NAME>	имя экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<DRAIN>	сток;
<GATE>	затвор;
<SOURCE>	исток;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Параметры модели-экземпляра PSPICE-формы:

<AREA>	коэффициент пропорциональности площади;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратиться в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия могут быть определены как IC=[<VDS>] [, <VGS>], где <VDS> – напряжение С-И, <VGS> – напряжение З-И. Предпочтительнее использовать директиву .IC;
<TEMP>	действительная температура прибора.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> PNF ([параметры]) - P-канальный прибор;  
.model <MNAME> NJF ([параметры]) - N-канальный прибор.
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
ALPHA	коэффициент ионизации	1/V	0
BETATCE	коэффициент в показателе степени экспоненциальной зависимости для BETA	A/V ²	1E-4
ISR	параметр тока рекомбинации p-n перехода 3-K	A	0
M	коэффициент лавинного умножения	-	0.5
N	коэффициент неидеальности p-n перехода 3-K	-	1
NR	коэффициент эмиссии для тока ISR	-	2
VK	напряжение ионизации для перехода 3-K	V	0
VTOTC	температурный коэффициент VTO	V/°C	0
XTI	температурный коэффициент тока IS	-	3

Примечания:

- Транзисторы обеднённого типа характеризуются отрицательными значениями порогового напряжения VTO, а транзисторы обогащённого типа – положительными.
- Приведённые выше параметры дополняют перечень параметров для полевого транзистора с управляющим PN-переходом из подраздела «Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim».

Полевой транзистор с изолированным затвором

PSPICE форма модели-экземпляра:

```
M<NAME> <ND> <NG> <NS> <NB> <MNAME> [L=<L>] [W=<W>] [AD=<AD>]  
+ [AS=<AS>] [PD=<PD>] [PS=<PS>] [NRD=<NRD>] [NRS=<NRS>] [<STATE>]  
+ [IC=<IC>] [TEMP=<TEMP>] [M=<M>]
```

Описание:

<NAME>	имя экземпляра, некое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<ND>	узел стока;
<NG>	узел затвора;
<NS>	узел истока;
<NB>	узел подложки;
<MNAME>	имя модели;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-экземпляра PSPICE-формы:

<L>	длина канала, м;
<W>	ширина канала, м;
<AD>	площадь диффузии стока, м ² ;
<AS>	площадь диффузии истока, м ² ;
<PD>	периметр стока, м;
<PS>	периметр истока, м;
<NRD>	эквивалентное количество квадратов стоков. Этот параметр умножает параметр модели RSH;
<NRS>	эквивалентное количество квадратов истоков. Этот параметр умножает параметр модели RSH;
<STATE>	начальное состояние прибора, по умолчанию прибор включен и для определения выключенного состояния нужно указать OFF, что позволяет обратить в ноль значения разностей потенциалов на узлах для расчёта рабочей точки;
<IC>	начальные условия при выполнении расчёта переходной характеристики. Начальные условия должны быть определены следующим выражением IC= <VDS>[, <VGS>][, <VBS>]. Здесь <VDS> – напряжение сток-исток, <VGS> – напряжение затвор-исток, <VBS> – напряжение. Предпочтительнее использовать директиву .IC;
<TEMP>	локальная температура (действительна только для моделей 1, 2, 3 и 6, но не для 4 или 5);
<M>	коэффициент умножения площади, действителен только для модели EKV (LEVEL=8).

PSPICE форма модели-прототипа:

```
.model <MNAME> PMOS ([параметры]) - P-канал;  
.model <MNAME> NMOS ([параметры]) - N-канал.
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Перечень не поддерживаемых параметров имитатора PSPICE.

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
GDSNOI	коэффициент дробового шума канала	-	1
JSSW	удельная плотность тока насыщения (на длину периметра)	A/м	0
L	длина канала	м	DEFL
N	коэффициент неидеальности перехода П-С	-	1
NLEV	выбор способа вычислений для модели шума	-	2
PBSW	напряжение инверсии боковой поверхности р-п перехода	В	PB
RB	объёмное сопротивление П	Ом	0
RDS	сопротивление утечки С-И	Ом	бесконечно

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
RG	объёмное сопротивление Z	Ом	0
TT	время переноса зарядов через p-n переход C(И)-П	с	0
W	ширина канала	м	DEFW

Примечания:

- Не поддерживается модель BSIM3v2.
- Параметры модели-прототипа являются общими для имитаторов SPICE3f5 и PSPICE. Перечень параметров для определения можно найти в подразделе «Модели аналоговых устройств имитатора Altium Mixed Sim».

Ключ, управляемый напряжением

Основная форма

```
S<NAME> <N+> <N-> <NC+> <NC-> <MNAME> [<STATE>]
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение ключа;
<N+>	узел положительной полярности;
<N->	узел отрицательной полярности;
<NC+>	управляющий узел положительной полярности;
<NC->	управляющий узел отрицательной полярности;
<MNAME>	обозначение модели-прототипа.

Параметры модели-экземпляра

<STATE> – начальное состояние прибора для расчёта по постоянному току, допустимые значения OFF и ON для состояния с высоким сопротивлением и низким сопротивлением соответственно.

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> VSWITCH ([RON=...] [ROFF=...] [VON=...] [VOFF=...])
```

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
RON	сопротивление во включённом состоянии (низкое сопротивление)	Ом	1	10
ROFF	сопротивление в отключённом состоянии (высокое сопротивление)	Ом	1/GMIN	1meg
VON	напряжение включения	В	1	
VOFF	напряжение выключения	В	0	

Примечания:

- Если $VON > VOFF$, то сопротивление ключа определяется следующим выражением:

$$R(V) = \begin{cases} RON, & V \geq VON \\ ROFF, & V \leq VOFF \\ e^{\left(\frac{1}{2} \ln(RON \cdot ROFF) + 3 \cdot \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \frac{V - \frac{VON + VOFF}{2}}{2(VON - VOFF)} - 2 \cdot \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \left(\frac{V - \frac{VON + VOFF}{2}}{VON - VOFF}\right)^3 \right)}, & VOFF > V > VON \end{cases}$$

- Если $VON > VOFF$, то сопротивление ключа определяется следующим выражением:

$$R(V) = \begin{cases} RON, & V \leq VON \\ ROFF, & V \geq VOFF \\ e^{\left(\frac{1}{2} \ln(RON \cdot ROFF) + 3 \cdot \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \frac{V - \frac{VON + VOFF}{2}}{2(VON - VOFF)} - 2 \cdot \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \left(\frac{V - \frac{VON + VOFF}{2}}{VON - VOFF}\right)^3 \right)}, & VON > V > VOFF \end{cases}$$

- Шум вычисляется из предположения 1-герцовой полосы. Спектральная плотность теплового шума ключа равна $S_I = \frac{4 \cdot k \cdot T}{R}$, где k – постоянная Больцмана, T – имитационная температура, R – текущее сопротивление ключа.

Ключ, управляемый током

Основная форма:

`W<NAME> <N+> <N-> <VNAME> <MNAME> [<STATE>]`

Описание модели-экземпляра:

<code><NAME></code>	некий набор символов: букв и цифр, являющийся уникальным, обычно позиционное обозначение ключа;
<code><N+></code>	узел положительной полярности;
<code><N-></code>	узел отрицательной полярности;
<code><VNAME></code>	обозначение источника напряжения, ток которого проверяется;
<code><MNAME></code>	обозначение модели-прототипа.

Параметр модели-экземпляра:

`<STATE>` – начальное состояние прибора для расчёта по постоянному току, допустимые значения OFF и ON для состояния с высоким сопротивлением и низким сопротивлением соответственно.

Модель-прототип:

`.model <MNAME> ISWITCH([RON=...] [ROFF=...] [ION=...] [IOFF=...])`

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа PSPICE формы:

Имя	Значение	Единица	По умолчанию	Пример
ION	ток включения	A	1E-3	10E-3
IOFF	ток выключения	A	0	1E-3
RON	сопротивление во включённом состоянии	Ом	1	10
ROFF	сопротивление в отключенном состоянии	Ом	1/GMIN	1meg

Примечания:

- Если $ION > IOFF$, то сопротивление ключа определяется следующим выражением:

$$R(I) = \begin{cases} \begin{matrix} ION, & I \geq ION \\ IOFF, & I \leq IOFF \end{matrix} \\ e^{\left(\frac{1}{2} \ln(ION \cdot ROFF) + 3 \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \frac{I - \frac{ION+IOFF}{2}}{2 \cdot (ION - IOFF)} - 2 \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \left(\frac{I - \frac{ION+IOFF}{2}}{ION - IOFF}\right)^3 \right)}, & IOFF > I > ION \end{cases}$$

- Если $ION < IOFF$, то сопротивление ключа определяется следующим выражением:

$$R(I) = \begin{cases} \begin{matrix} RON, & I \leq ION \\ ROFF, & I \geq IOFF \end{matrix} \\ e^{\left(\frac{1}{2} \ln(ION \cdot ROFF) + 3 \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \frac{I - \frac{ION+IOFF}{2}}{2 \cdot (ION - IOFF)} - 2 \ln\left(\frac{RON}{ROFF}\right) \left(\frac{I - \frac{ION+IOFF}{2}}{ION - IOFF}\right)^3 \right)}, & ION > I > IOFF \end{cases}$$

- Шум вычисляется из предположения 1-герцовой полосы. Спектральная плотность теплового шума ключа равна $S_I = \frac{4 \cdot k \cdot T}{R}$, где k – постоянная Больцмана, T – имитационная температура, R – текущее сопротивление ключа.

Источник напряжения, управляемый напряжением

Основная форма:

- $E\langle NAME \rangle \langle +NODE \rangle \langle -NODE \rangle \text{ VALUE} = \{ \langle \text{EXPR} \rangle \}$ – линейная форма;
- $E\langle NAME \rangle \langle +NODE \rangle \langle -NODE \rangle \text{ TABLE } \{ \langle \text{EXPR} \rangle \} = (\langle \text{IVAL1} \rangle, \langle \text{OVAL1} \rangle) [(\langle \text{IVAL2} \rangle, \langle \text{OVAL2} \rangle)] \dots$ – кусочно-линейная форма;
- $E\langle NAME \rangle \langle +NODE \rangle \langle -NODE \rangle \text{ POLY} (\langle \text{DIM} \rangle) \langle +NC1 \rangle \langle -NC1 \rangle [\langle +NC2 \rangle \langle -NC2 \rangle] \dots \langle \text{COEFS} \rangle$ – нелинейная форма.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя источника, некоторое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<EXPR>	некоторое математическое выражение, в том числе с использованием функций и параметров схемы;
<IVALx>	входное значение (x-координата точки), должно быть действительным числом, не параметром;
<OVALx>	выходное значение (y-координата точки), должно быть действительным числом, не параметром;
<DIM>	размерность полинома;
<+NCx>	узел положительной полярности управляющего напряжения;
<-NCx>	узел отрицательной полярности управляющего напряжения;
<COEFS>	перечень коэффициентов при членах полинома, коэффициенты должны быть действительными числами.

Пример:

```
ET2 3 0 VALUE = {V(4,0)*GP}
```

Примечания:

- Значение вычисленного выражения в кусочно-линейной форме сравнивается со значениями IVALx. Выходное значение является линейной интерполяцией по соответствующим значениям OVALx.
- Размерность полинома <DIM> должна являться целым постоянным числом.
- Количество пар узлов <NC1+> <NC1->, <NC2+> <NC2-> и т.д. должно соответствовать <DIM>.
- Степень полинома регулируется количеством множителей при членах полинома <COEFS>. Если требуется исключить какой-либо член меньшей степени, то его следует присвоить нулю.

Пример полинома размерности один до третьей степени:

$$f(x) = P0 + P1 \cdot x + P2 \cdot x^2 + P3 \cdot x^3 + \dots$$

Пример полинома размерности два до третьей степени:

$$f(x_1, x_2) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_1^2 + P4 \cdot x_1 \cdot x_2 + P5 \cdot x_2^2 + P6 \cdot x_1^3 + P7 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + P8 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + P9 \cdot x_2^3 + \dots$$

Пример полинома размерности три до второй степени:

$$f(x_1, x_2, x_3) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_3 + P4 \cdot x_1^2 + P5 \cdot x_1 \cdot x_2 + P6 \cdot x_1 \cdot x_3 + P7 \cdot x_2^2 + P8 \cdot x_2 \cdot x_3 + P9 \cdot x_3^2 + \dots$$

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Источник тока, управляемый напряжением

Основная форма:

1. G<NAME> <+NODE> <-NODE> VALUE = { <EXPR> } - линейная форма;
2. G<NAME> <+NODE> <-NODE> TABLE {<EXPR>} = (<IVAL1>, <OVAL1>) [(<IVAL2>, <OVAL2>)] ... - кусочно-линейная форма;
3. G<NAME> <+NODE> <-NODE> POLY (<DIM>) <+NC2> <-NC2> [<+NC2> <-NC2>] ... <COEFS> - нелинейная форма.

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя источника, некоторое сочетание букв латинского алфавита и цифр;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<EXPR>	некоторое математическое выражение, в том числе с использованием функций и параметров схемы;
<IVALx>	входное значение (x-координата точки), должно быть действительным числом, не параметром;
<OVALx>	выходное значение (y-координата точки), должно быть действительным числом, не параметром;
<DIM>	размерность полинома;
<+NCx>	узел положительной полярности управляющего напряжения;
<-NCx>	узел отрицательной полярности управляющего напряжения;
<COEFS>	перечень коэффициентов при членах полинома, коэффициенты должны быть действительными числами.

Пример:

```
GT2 3 0 TABLE {2*V(pos, neg)} = (-10, 2) (0, -4) (5, 20) (7, 10)
```

Примечания:

- Значение вычисленного выражения в кусочно-линейной форме сравнивается со значениями IVALx. Выходное значение является линейной интерполяцией по соответствующим значениям OVALx.
- Размерность полинома <DIM> должна являться целым постоянным числом.
- Количество пар узлов <NC1+> <NC1->, <NC2+> <NC2-> и т.д. должно соответствовать <DIM>.
- Степень полинома регулируется количеством множителей при членах полинома <COEFS>. Если требуется исключить какой-либо член меньшей степени, то его следует присвоить нулю.

Пример полинома размерности один до третьей степени:

$$f(x) = P_0 + P_1 \cdot x + P_2 \cdot x^2 + P_3 \cdot x^3 + \dots$$

Пример полинома размерности два до третьей степени:

$$f(x_1, x_2) = P_0 + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_1^2 + P_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + P_5 \cdot x_2^2 + P_6 \cdot x_1^3 + P_7 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + P_8 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + P_9 \cdot x_2^3 + \dots$$

Пример полинома размерности три до второй степени:

$$f(x_1, x_2, x_3) = P_0 + P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 + P_4 \cdot x_1^2 + P_5 \cdot x_1 \cdot x_2 + P_6 \cdot x_1 \cdot x_3 + P_7 \cdot x_2^2 + P_8 \cdot x_2 \cdot x_3 + P_9 \cdot x_3^2 + \dots$$

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Источник тока, управляемый током

Основная форма:

F<NAME> <+NODE> <-NODE> POLY (<DIM>) <VNAME1> [VNAME2]... <COEFS> - нелинейная форма.

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<DIM>	размерность полинома;
<VNAMEx>	имя управляющего источника напряжения, ток через который подставляется в качестве аргумента полинома;
<COEFS>	перечень коэффициентов при членах полинома, коэффициенты должны быть действительными числами.

Пример:

FX 5 17 5 17 POLY (2) V1 V15 0 1 3 7 1 0 4

Примечания:

- Размерность полинома <DIM> должна являться целым постоянным числом.
- Количество имён независимых источников напряжения <VNAMEx> должно соответствовать <DIM>.
- Степень полинома регулируется количеством множителей при членах полинома <COEFS>. Если требуется исключить какой-либо член меньшей степени, то его следует присвоить нулю.

Пример полинома размерности один до третьей степени:

$$f(x) = P0 + P1 \cdot x + P2 \cdot x^2 + P3 \cdot x^3 + \dots$$

Пример полинома размерности два до третьей степени:

$$f(x_1, x_2) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_1^2 + P4 \cdot x_1 \cdot x_2 + P5 \cdot x_2^2 + P6 \cdot x_1^3 + P7 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + P8 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + P9 \cdot x_2^3 + \dots$$

Пример полинома размерности три до второй степени:

$$f(x_1, x_2, x_3) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_3 + P4 \cdot x_1^2 + P5 \cdot x_1 \cdot x_2 + P6 \cdot x_1 \cdot x_3 + P7 \cdot x_2^2 + P8 \cdot x_2 \cdot x_3 + P9 \cdot x_3^2 + \dots$$

Источник напряжения, управляемый током

Основная форма:

H<NAME> <+NODE> <-NODE> POLY (<DIM>) <VNAME1> [<VNAME2>]... <COEFS> - нелинейная форма.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели:

<NAME>	некий набор символов, букв латинского алфавита или цифр, обычно условное обозначение источника;
<+NODE>	узел положительной полярности;
<-NODE>	узел отрицательной полярности;
<DIM>	размерность полинома;
<VNAMEx>	имя управляющего источника напряжения, ток через который подставляется в качестве аргумента полинома;
<COEFS>	перечень коэффициентов при членах полинома, коэффициенты должны быть действительными числами.

Пример:

```
HX 5 17 POLY (2) V1 V15 0 1 3 7 1 0 4
```

Примечания:

- Размерность полинома <DIM> должна являться целым постоянным числом.
- Количество имён независимых источников напряжения <VNAMEx> должно соответствовать <DIM>.
- Степень полинома регулируется количеством множителей при членах полинома <COEFS>. Если требуется исключить какой-либо член меньшей степени, то его следует присвоить нулю.

Пример полинома размерности один до третьей степени:

$$f(x) = P0 + P1 \cdot x + P2 \cdot x^2 + P3 \cdot x^3 + \dots$$

Пример полинома размерности два до третьей степени:

$$f(x_1, x_2) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_1^2 + P4 \cdot x_1 \cdot x_2 + P5 \cdot x_2^2 + P6 \cdot x_1^3 + P7 \cdot x_1^2 \cdot x_2 + P8 \cdot x_1 \cdot x_2^2 + P9 \cdot x_2^3 + \dots$$

Пример полинома размерности три до второй степени:

$$f(x_1, x_2, x_3) = P0 + P1 \cdot x_1 + P2 \cdot x_2 + P3 \cdot x_3 + P4 \cdot x_1^2 + P5 \cdot x_1 \cdot x_2 + P6 \cdot x_1 \cdot x_3 + P7 \cdot x_2^2 + P8 \cdot x_2 \cdot x_3 + P9 \cdot x_3^2 + \dots$$

Дополнительные модели XSPICE

Для выводов и параметров моделей XSPICE можно определить значение «null». В этом случае соответствующий вывод или параметр не учитываются в модели. Если параметр явно не определён в модели-прототипе, то для него применяется значение по умолчанию.

Значения параметров нельзя определять в виде выражений.

Для цифровых примитивов можно отметить следующее:

- Цифровые примитивы могут иметь значения силы выходов: STRONG (обозначается буквой «s»), RESISTIVE (обозначается буквой «r»), UNDEFINED (обозначается буквой «u») и HI_IMPEDANCE (обозначается буквой «z»). Значение STRONG имитирует обычный активный выход, значение RESISTIVE имитирует третье состояние с доопределением, значение UNDEFINED имитирует неопределённое состояние, значение HI_IMPEDANCE имитирует третье состояние. Последнее позволяет описывать модели электрических цепей цифровых элементов с доопределением до логического «0» и логической «1».
- Все цифровые узлы инициализируются со значением ZERO – логический «0».

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Любой цифровой узел может принимать одно из двенадцати возможных состояний: 0s, 1s, Us, 0r, 1r, Ur, 0z, 1z, Uz, 0u, 1u, Uu. Самый высокий приоритет имеют состояния с индексом «s», состояния «r» имеют приоритет ниже «s», но выше «u», состояния с индексом «u» имеют приоритет выше «z», но ниже «r», состояния с индексом «z» имеет самый низкий приоритет.
- Любая модель цифрового устройства может иметь собственное определение времени задержки переднего и заднего фронтов выходного сигнала. Также многие модели имеют параметры определения задержки через параметры ёмкости, однако в текущей реализации моделей ёмкости входов для расчёта задержки не учитываются.
- Специальные гибридные модели используются для разделения сигнальных доменов: аналогового и цифрового. Это позволяет использовать натуральное смешанное моделирование аналоговых (классическая часть имитатора) и цифровых цепей (событийно-управляемая часть имитатора).
- Гибридные модели аналого-цифровых преобразователей сигналов дополнительных моделей XSPICE не подходят для совместной работы с цифровыми узлами моделей Digital SimCode. Для моделей Digital SimCode существуют собственные модели аналого-цифровых преобразователей сигналов.

Усиление

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> gain ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [OUT_OFFSET=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент умножения входного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да
out_offset	смещение выходного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да

Примечания:

- Данная функция представляет собой простой блок усиления с дополнительным смещением на входе и выходе. Входное смещение добавляется к входному сигналу. Результат умножается на коэффициент усиления. Результат смещается на величину выходного смещения.
- Модель применима для расчётов по постоянному току, расчёта АФЧХ и переходного процесса.

Пример:

```
a1 1 2 amp
.model amp gain (in_offset=0.1 gain=5.0 out_offset=-0.01)
```

Сумматор

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<IN> порт in;

<OUT> порт out;

<MNAME> имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	слагаемые	вход	v	v, vd, i, id	да	[2; -]	нет
out	результат	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> summer ([IN_OFFSET=...] [IN_GAIN=...] [OUT_OFFSET=...] [out_gain=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	В, А	действительный	0	-	да	in	да
in_gain	коэффициент умножения входного сигнала	-	действительный	1	-	да	in	да
out_offset	смещение выходного сигнала	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
out_gain	коэффициент умножения выходного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да

Примечания:

- Эта модель сумматора, которая должна иметь не менее двух входных сигналов. Входы и выход имеют индивидуальное управление смещением и умножением входного сигнала. Модель работает следующим образом: ко входным сигналам добавляется смещение, полученные результаты умножаются на свои коэффициенты умножения. Затем результаты суммируются. Полученный результат умножается на коэффициент умножения выходного сигнала, а затем к полученному результату добавляется величина смещения выходного сигнала.
- Модель применима для расчётов по постоянному току, расчёта АФЧХ и переходного процесса.

Пример:

```
a2 [1 2] 3 sum1
.model sum1 summer(in_offset=[0.1 -0.2] in_gain=[2.0 1.0]
+ out_gain=5.0 out_offset=-0.01)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Умножитель

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	множители	вход	v	v, vd, i, id, vnam	да	[2 ; -]	нет
out	результат	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> mult ([IN_OFFSET=...] [IN_GAIN=...] [OUT_OFFSET=...] [OUT_GAIN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	B, A	действительный	0	-	да	in	да
in_gain	коэффициент умножения входного сигнала	-	действительный	1	-	да	in	да
out_offset	смещение выходного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
out_gain	коэффициент умножения выходного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Примечания:

- Эта модель умножителя, которая должна иметь не менее двух входных сигналов. Входы и выход имеют индивидуальное управление смещением и умножением входного сигнала. Модель работает следующим образом: ко входным сигналам добавляется смещение, полученные результаты умножаются на свои коэффициенты умножения. Затем результаты перемножаются. Полученный результат умножается на коэффициент умножения выходного сигнала, а затем к полученному результату добавляется величина смещения выходного сигнала.
- Модель применима для расчётов по постоянному току, расчёта АФЧХ и переходного процесса. Следует помнить, что для расчёта АФЧХ результат может оказаться недействительным если хотя бы один из входов не подключен к независимому источнику переменного сигнала, который выбран опорным для расчёта.

Модель-прототип:

```
a3 [1 2 3] 4 sigmult
.model sigmult mult(in_offset=[0.1 0.1 -0.1]
+ in_gain=[10.0 10.0 10.0] out_gain=5.0 out_offset=0.05)
```

Делитель

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<IN> порт in;

<OUT> порт out;

<MNAME> имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
num	числитель	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
den	знаменатель	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	результат	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> divide ([NUM_OFFSET=...] [NUM_GAIN=...] [DEN_OFFSET=...] [DEN_GAIN=...] [DEN_LOWER_
LIMIT=...] [FRACTION=...] [OUT_OFFSET=...] [OUT_GAIN=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
num_offset	смещение сигнала числителя	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
num_gain	коэффициент умножения сигнала числителя	-	действительный	1	-	нет	-	да
den_offset	смещение сигнала знаменателя	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
den_gain	коэффициент умножения сигнала знаменателя	-	действительный	1	-	нет	-	да
den_lower_limit	наименьшее значение знаменателя	B, A	действительный	1E-10	-	нет	-	да
den_domain	размер области сглаживания знаменателя	B, A / -	действительный	1E-10	-	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/ абсолютного значения	-	логический	false	[false; true]	нет	-	да
out_offset	смещение выходного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
out_gain	коэффициент умножения выходного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да

Примечания:

- Данная модель описывает двухквadrантный делитель. На вход модели поступают два сигнала – числителя и знаменателя. Модель работает следующим образом: ко входным сигналам добавляется смещение, полученные результаты умножаются на свои коэффициенты умножения. Затем значение числителя делится на значение знаменателя. Полученный результат умножается на коэффициент умножения выходного сигнала, а затем к полученному результату добавляется величина смещения выходного сигнала.

- Значение знаменателя после смещения и умножения ограничивается при приближении к нулю величиной параметра `den_lower_limit`. Данный параметр должен быть больше нуля для того, чтобы выходной результат не имел разрыва при нулевом значении знаменателя. Для того, чтобы выходная характеристика модели сохраняла гладкость, переход к ограничению выполняется по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется значениями параметров `fraction` и `den_domain`. Значение `true` параметра `fraction` определяет размер области сглаживания как долю величины параметра `den_lower_limit` (дробно), размер области сглаживания рассчитывается как `den_domain=den_domain*den_lower_limit`. Значение `false` параметра `fraction` определяет размер области сглаживания по абсолютной величине (абсолютно), размер области сглаживания равен `den_domain`. Область сглаживания определяется как `den_lower_limit±den_domain`.
- Модель применима для расчётов по постоянному току, расчёта АФЧХ и переходного процесса. Следует помнить, что для расчёта АФЧХ результат может оказаться недействительным если хотя бы один из входов не подключен к независимому источнику переменного сигнала, который выбран опорным для расчёта.

Пример:

```
a4 1 2 4 divider
.model divider divide(num_offset=0.1 num_gain=2.5 den_offset=-0.1
+ den_gain=5.0 den_lower.limit=1e-5 den_domain=1e-6
+ fraction=FALSE out_gain=1.0 out_offset=0.0)
```

Ограничитель уровня/амплитуды

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	ВХОД	ВХОД	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	ВЫХОД	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> limit ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [OUT_LOWER_LIMIT=...] [OUT_UPPER_LIMIT=...] [LIMIT_RANGE=...] [FRACTION=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент умножения входного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да
out_lower_limit	нижняя граница выходного сигнала	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
out_upper_limit	верхняя граница выходного сигнала	В, А	действительный	1	-	нет	-	да
limit_range	размер областей сглаживания	В, А	действительный	1E-6	-	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/ абсолютного значения	-	логический	false	[false; true]	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает блок, подобный блоку усиления, но с ограничением выходной характеристики. Модель функционирует следующим образом: входному сигналу добавляется смещение in_offset, результат умножается на коэффициент умножения входа gain. Полученный результат ограничивается значениями параметров out_lower_limit и out_upper_limit.
- Для обеспечения гладкости выходной характеристики она сглаживается при приближении к границам по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется значениями параметров fraction, limit_range, out_lower_limit и out_upper_limit. Параметр fraction определяет выбор способа сглаживания. Значение true параметра fraction определяет размер области сглаживания как долю величины разности параметров out_upper_limit и out_lower_limit (дробно), размер области сглаживания рассчитывается как $limit_range = limit_range * (out_upper_limit - out_lower_limit)$. Значение false параметра fraction определяет размер области сглаживания по абсолютной величине (абсолютно), размер области сглаживания равен limit_range. Область сглаживания для нижней границы определяется как $out_lower_limit + limit_range$. Область сглаживания для верхней границы определяется как $out_upper_limit - limit_range$.

Пример:

```
a5 1 2 limit5
.model limit5 limit(in_offset=0.1 gain=2.5 out_lower_limit=-5.0
+ out_upper_limit=5.0 limit_range=0.10 fraction=FALSE)
```

Управляемый ограничитель уровня/амплитуды

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <CTLUP> <CTLLO> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<CTLUP>	порт cntl_upper;
<CTLLO>	порт cntl_lower;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	вход	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
cntl_upper	верхняя граница	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
cntl_lower	нижняя граница	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выход	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> climit ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [UPPER_DELTA=...] [LOWER_DELTA=...] [LIMIT_RANGE=...]
[FRACTION=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент умножения входного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да
upper_delta	отступ для верхней границы	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
lower_delta	отступ для нижней границы	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
limit_range	размер областей сглаживания	B, A	действительный	1E-6	-	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/ абсолютного значения	-	логический	false	[false; true]	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает блок, подобный блоку усиления, но с ограничением выходной характеристики. Модель функционирует следующим образом: входному сигналу добавляется смещение in_offset, результат умножается на коэффициент умножения входа gain. Полученный результат ограничивается значениями на входах cntl_lower и cntl_upper.
- Для обеспечения гладкости выходной характеристики она сглаживается при приближении к границам по квадратичному закону. Размер областей сглаживания определяется значениями параметров fraction, upper_delta, lower_delta и limit_range. Параметр fraction определяет выбор способа сглаживания. Значение true параметра fraction определяет размер области сглаживания как долю величины разности на входах cntl_upper и cntl_lower и параметров upper_delta и lower_delta (дробно), размер области сглаживания рассчитывается как $limit_range = limit_range * (cntl_upper - upper_delta - cntl_lower - lower_delta)$. Значение false параметра fraction определяет размер области сглаживания по абсолютной величине (абсолютно), размер области сглаживания равен limit_range. Нижняя точная грань области сглаживания для верхней границы определяется как $cntl_upper - lower_delta - limit_range$. Верхняя точная грань области сглаживания для нижней границы определяется как $cntl_lower + lower_delta + limit_range$. Промежуток между указанными значениями считается областью линейности, которая должна быть больше нуля. Размер области сглаживания для верхней границы определяется как $cntl_upper - lower_delta \pm limit_range$. Размер области сглаживания для нижней границы определяется как $cntl_lower + lower_delta \pm limit_range$.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
a6 3 6 8 4 varlimit
.model varlimit climit(in_offset=0.1 gain=2.5 upper_delta=0.0
+ lower_delta=0.0 limit_range=0.10 fraction=FALSE)
```

Управляемый кусочно-линейной функцией источник

Модель-экземпляр:

A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	вход	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выход	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> pw1 (X_ARRAY=... Y_ARRAY=... [INPUT_DOMAIN=...] [FRACTION=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
x_array	массив абсцисс	B, A	действительный	-	-	да	[2; -]	нет
y_array	массив ординат	B, A	действительный	-	-	да	[2; x_array]	нет
input_domain	размер области сглаживания для входа	B, A	действительный	0.01	[1E-12; 0.5]	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/ абсолютного значения	-	логический	true	[false; true]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Примечания:

- Модель описывает источник, аппроксимированный кусочно-линейной функцией. Модель функционирует следующим образом: входной сигнал линейно интерполируется по значениям ближайших к текущему входному значению координат абсцисс. Вычисленное интерполированное значение ординаты передаётся на выход.
- Для обеспечения гладкости выходной характеристики производится сглаживание по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется параметрами `x_array`, `y_array`, `input_domain` и `fraction`. Параметр `fraction` определяет выбор способа сглаживания. Значение `true` параметра `fraction` определяет размер области сглаживания как долю от разности значений соседних ближайших членов массива параметра `x_array` (дробно), размер области сглаживания рассчитывается как $\text{input_domain} = \text{input_domain} * (\text{x_array}_i - \text{x_array}_{i-1})$, или $\text{input_domain} = \text{input_domain} * (\text{x_array}_{i+1} - \text{x_array}_i)$, где i – некоторый член массива, в зависимости от того какой из вариантов меньше. Меньшее значение выбирается для того, чтобы обеспечить гладкую сшивку интерполированных значений при вычислении сглаженной выходной характеристики. Значение `false` параметра `fraction` определяет размер области сглаживания по абсолютной величине (абсолютно), размер области сглаживания равен `input_domain`. Далее для каждого члена массива рассчитывается пара границ: $x_i - \text{input_domain}$ для нижней границы, и $x_i + \text{input_domain}$ для верхней границы, в пределах которых производится сглаживание.

Пример:

```
a7 2 4 xfer_cntl1
.model xfer_cntl1 pw1(x_array=[-2.0 -1.0 2.0 4.0 5.0]
+ y_array=[-0.2 -0.2 0.1 2.0 10.0] input_domain=0.05 fraction=TRUE)
```

Аналоговый ключ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CNTL_IN>	порт cntl_in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_in	управляющий вход	вход	v	v, vd, i, id, vnam	-	-	нет
out	выход	вход-выход	gd	gd	-	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> aswitch ([CNTL_ON=...] [CNTL_OFF=...] [R_ON=...] [R_OFF=...] [LOG=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_on	управляющее значение для перехода во включенное состояние	В, А	действительный	1	-	нет	-	да
cntl_off	управляющее значение для выключенного состояния	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
r_on	сопротивление во включенном состоянии	Ом	действительный	1	-	нет	-	да
r_off	сопротивление в выключенном состоянии	Ом	действительный	1E-12	-	нет	-	да
log	выбор между линейным или логарифмическим режимами	-	логический	true	[false; true]	нет	-	да

Примечания:

- Выходной порт должен быть только дифференциального типа.
- Модель описывает резистор, управляемый сигналом через отдельный вывод. Сопротивление резистора может меняться по линейному или логарифмическому закону. Модель работает следующим образом: при значении входного сигнала меньше значения параметра cntl_off его сопротивление равно значению параметра r_off, при нахождении значения входного сигнала в промежутке между величинами cntl_off и cntl_on его сопротивление изменяется согласно выбранному закону изменения, при значении входного сигнала больше значения параметра cntl_on его сопротивление равно значению r_on.
- Значение параметра log определяет тип закона измерения сопротивления резистора. Значение true определяет логарифмический пропорциональный закон. Значение false определяет линейный пропорциональный закон. Выходное значение вычисляется как аппроксимация соответствующим законом.
- Сглаживания выходной характеристики не выполняется.

Пример:

```
a8 3 (6 7) switch3
.model switch3 aswitch(cntl_off=0.0 cntl_on=5.0 r_off=1e6
+ r_on=10.0 log=TRUE)
```

Диод Зенера

Модель-экземпляр:

A<NAME> <Z> <MNAME>

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<Z> порт z;

<MNAME> имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
z	диод Зенера	вход-выход	gd	gd	нет	-	нет

Модель-прототип:

.model <MNAME> zener (V_BREAKDOWN=... [I_BREAKDOWN=...] [I_SAT=...] [N_FORWARD=...] [LIMIT_SWITCH=...])

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
v_breakdown	напряжение пробоя	В	действительный	-	[1E-6; 1E6]	нет	-	нет
i_breakdown	обратный ток при напряжении пробоя	А	действительный	2E-2	[1E-9; -]	нет	-	да
r_breakdown	последовательное сопротивление в режиме пробоя	Ом	действительный	1	[1E-12; -]	нет	-	да
i_sat	ток насыщения	А	действительный	1E-12	[1E-15; -]	нет	-	да
n_forward	коэффициент эмиссии при прямом смещении	-	действительный	1	[0.1; 10]	нет	-	да
limit_switch	ключ для управления ограничением (управление сходимостью)	-	логический	false	[false; true]	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает упрощённое представление стабилитрона (диода Зенера). Модель имеет значительное упрощение по сравнению с моделью диода, однако такие упрощения позволяют значительно снизить вычислительные затраты по сравнению с моделью диода. Также спецификации на многие стабилитроны не имеют детальной информации для идентификации параметров для прямого смещения. По этой причине режим прямого смещения описывается в одной точке и аппроксимирован экспоненциальной функцией с малым числом параметров.
- Режим прямого смещения определяется параметром `n_forward`.
- Режим обратного смещения в области электрического пробоя определяется параметрами `v_breakdown`, `i_breakdown`, `r_breakdown`.
- Обратное смещение в области до электрического пробоя определяется параметром `i_sat`. Сопротивление утечки при обратном смещении равно `v_breadown/i_rev`.
- Модель описывает только ВАХ стабилитрона при расчётах по постоянному току. Ёмкостные эффекты данной моделью не учитываются.
- Параметр `limit_switch` позволяет улучшить сходимость в областях прямого и обратного смещения при модуле напряжения смещения более 1 В.
- Порт `z` является строго дифференциальным.

Пример:

```
a9 (3 4) vref10
.model vref10 zener (v_breakdown=10.0 i_breakdown=0.02
+ r_breakdown=1.0 i_rev=1e-6 i_sat=1e-12)
```

Ограничитель тока (абстрактный усилитель или компаратор)

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <PPWR> <NPWR> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<PPWR>	порт pos_pwr;
<NPWR>	порт neg_pwr;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	вход	ВХОД	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
pos_pwr	вывод питания положительной полярности	ВХОД-ВЫХОД	g	g, gd	нет	-	да
neg_pwr	вывод питания отрицательной полярности	ВХОД-ВЫХОД	g	g, gd	нет	-	да
out	выход	ВЫХОД	g	g, gd	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> ilimit ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [R_OUT_SOURCE=...] [R_OUT_SINK=...] [I_LIMIT_SOURCE=...] [I_LIMIT_SINK=...] [V_PWR_RANGE=...] [I_SOURCE_RANGE=...] [I_SINK_RANGE=...] [R_OUT_DOMAIN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала на порте in	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент усиления входного сигнала на порте in	-	действительный	1	-	нет	-	да
r_out_source	сопротивление току, вытекающему из порта out	Ом	действительный	1	[1E-9; 1E9]	нет	-	да
r_out_sink	сопротивление току, втекающему в порт out	Ом	действительный	1	[1E-9; 1E9]	нет	-	да
i_limit_source	ограничение тока, вытекающего из порта out	А	действительный	10E-3	[1E-12; -]	нет	-	да
i_limit_sink	ограничение тока, втекающего в порт out	А	действительный	10E03	[1E-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
v_pwr_range	диапазон напряжения сглаживания для сигналов портов pos_pwr и neg_pwr	V	действительный	1E-6	[1e-15; -]	нет	-	да
i_source_range	диапазон сглаживания выходного сигнала порта для вытекающего тока	A	действительный	1E-9	[1e-15; -]	нет	-	да
i_sink_range	диапазон сглаживания выходного сигнала порта для втекающего тока	A	действительный	1E-9	[1e-15; -]	нет	-	да
r_out_domain	область сглаживания для сопротивления выходного порта out	V	действительный	1E-9	[1e-15; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает ограничитель тока, если в значительной степени абстрагироваться, то можно представить, что модель описывает операционный усилитель, компаратор, или активный выходной каскад микросхемы. Модель имеет четыре входных порта, три из которых работают являются входными и выходными одновременно, а один порт является только входным.
- Входной сигнал, поступающий на порт in получает смещение, определяемое величиной параметра in_offset. Результат умножается на величину параметра gain. Результат ограничивается сверху и снизу значениями сигналов портов pos_pwr и neg_pwr. Если получаемый результат превышает значение сигнала напряжения порта out, то через порт out подаётся истекающий ток. Иначе, если получаемый результат менее значения сигнала напряжения порта out, то в порт out втекает ток. Сопротивление порта out втекающему току определяется значением параметра r_out_sink, а истекающему току – значением параметра r_out_source. Таким образом формируется вольт-амперная характеристика порта out. Предельные значения втекающего и истекающего токов определяются значениями параметров i_limit_sink и i_limit_source соответственно.
- Для того, чтобы выходная характеристика обладала гладкостью, выполняется асимптотическое приближение электрических параметров (напряжение, ток, сопротивление) выходного сигнала к значениям соответствующих ограничений.
- Параметр v_pwr_range определяет границы асимптотического приближения, которые определяются как отступ на заданную величину напряжения от напряжения порта pos_pwr вниз и напряжения порта neg_pwr вверх, при которых сигнал порта in после смещения на значение параметра input_offset и умножения на значение параметра gain будет испытывать асимптотическое приближение к граничным значениям, определяемым потенциалами портов pos_pwr и neg_pwr.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Аналогично производится асимптотическое приближение вытекающего тока, граница которого определяется как $i_limit_source - i_source_range$. А также асимптотическое приближение для втекающего тока, граница которого определяется как $i_limit_sink - i_sink_range$.
- Подобным образом производится расчёт асимптотического приближения для сопротивления. Параметр r_out_domain определяет диапазон относительно значения напряжения, при котором происходит изменение направления выходного тока – средней точки относительно значений напряжений портов pos_pwr и neg_pwr . Условно обозначим такое напряжение как v_{eq} , а значение асимптотически приближенного напряжения порта out как v_{out} , тогда выходное сопротивление порта out принимается равным значению параметра r_out_source при выходном напряжении $(v_{eq} - v_{out}) > r_out_domain$. А при $(v_{eq} - v_{out}) < -r_out_domain$ сопротивление порта out устанавливается равным значению параметра r_out_sink . В промежуточном диапазоне $-r_out_domain \leq (v_{eq} - v_{out}) \leq r_out_domain$ значение сопротивления порта out рассчитывается как линейно-интерполированная величина.

Пример:

```
a10 3 10 20 4 amp3
.model amp3 ilimit (in_offset=0.0 gain=16.0 r_out_source=1.0
+ r_out_sink=1.0 i_limit_source=1e-3
+ i_limit_sink=10e-3 v_pwr_range=0.2
+ i_source_range=1e-6 i_sink_range=1e-6
+ r_out_domain=1e-6)
```

Гистерезис

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> hyst ([IN_LOW=...] [IN_HIGH=...] [HYST=...] [OUT_LOWER_LIMIT=...] [OUT_UPPER_LIMIT=...]
[INPUT_DOMAIN=...] [FRACTION=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_low	значение входного сигнала для перехода выхода в низкое состояние	V, A	действительный	0	-	нет	-	да
in_high	значение входного сигнала для перехода выхода в высокое состояние	V, A	действительный	0	-	нет	-	да
hyst	размах гистерезиса	V, A	действительный	0.1	[0; -]	нет	-	да
out_lower_limit	нижняя граница выходного сигнала	V, A	действительный	0	-	нет	-	да
out_upper_limit	верхняя граница выходного сигнала	V, A	действительный	1	-	нет	-	да
input_domain	размер области сглаживания входного сигнала	V, A	действительный	0.01	-	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/абсолютного значения	-	логический	true	[false; true]	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает элемент с гистерезисом. Модель функционирует следующим образом: входной сигнал сравнивается со значением $in_low+hyst$ и, в случае превышения, сигнал порта out начинает линейно возрастать (с постоянным значением производной выходного сигнала по входному сигналу) от значения out_lower_limit до out_upper_limit при достижении сигналом порта in величины $in_high+hyst$; далее, при уменьшении сигнала порта in до значения $in_high-hyst$ значение сигнала порта out начинает линейно уменьшаться от значения out_upper_limit до out_lower_limit при значении сигнала порта in равном $in_low-hyst$.
- Для обеспечения гладкости выходной характеристики производится сглаживание по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется параметрами in_low , in_high , $hyst$, $input_domain$ и $fraction$. Значение true параметра $fraction$ определяет размер области сглаживания как долю от разности значений ($in_high-in_low$). Сглаживание производится в областях точек, в которых происходит изменение наклона функции гистерезиса. Значение false параметра $fraction$ определяет размер области сглаживания по абсолютной величине (абсолютно), размер области сглаживания равен $input_domain$.

Пример:

```
all 1 2 schmitt1
.model schmitt1 hyst (in_low=0.7 in_high=2.4 hyst=0.5
+ out_lower_limit=0.5 out_upper_limit=3.0 input_domain=0.01
+ fraction=TRUE)
```

Производная по времени

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	дифференцируемый сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	дифференцированный сигнал	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_dt ([OUT_OFFSET=...] [GAIN=...] [OUT_LOWER_LIMIT=...] [OUT_UPPER_LIMIT=...] [LIMIT_RANGE=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
out_offset	смещение выходного сигнала	В, А	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент пропорциональности выходного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да
out_lower_limit	нижняя границы выходного сигнала	В/с, А/с	действительный	-	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
out_upper_limit	верхняя граница выходного сигнала	V/c, A/c	действительный	-	-	нет	-	да
limit_range	диапазон сглаживания	V/c, A/c	действительный	1E-6	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает функцию производной по времени. Модель функционирует следующим образом: сигнал порта in численно дифференцируется по текущему значению и значению в предыдущей временной точке. Полученный результат получает смещение на величину параметра out_offset, а полученный результат после этого умножается на коэффициент пропорциональности gain. Значения параметров out_lower_limit и out_upper_limit определяют предельные значения для сигнала порта out.
- Для обеспечения гладкости выходной характеристики при переходе к предельным значениям выполняется сглаживание выходного сигнала в окрестностях этих предельных значений по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется параметром limit_range. Область сглаживания для верхней границы лежит в диапазоне от (out_upper_range-limit_range; out_upper_range+limit_range). Область сглаживания для нижней границы лежит в диапазоне (out_lower_range-limit_range; out_lower_range+limit_range).
- При выполнении расчёта ФАЧХ в качестве выходного значения возвращается значение круговой частоты в радианах, умноженное на величину параметра gain.
- Модель не включает проверку ошибки усечения. По этой причине не рекомендуется использовать данную модель для построения петлевой обратной связи для создания функции интегрирования. В указанном случае следует применять модель «Интеграл по времени».

Пример:

```
a12 7 12 slope_gen
.model slope_gen d_dt (out_offset=0.0 gain=1.0
+ out_lower_limit=1e-12 out_upper_limit=1e12 limit_range=1e-9)
```

Интеграл по времени

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	интегрируемый сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	интегрированный сигнал	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> int ([OUT_OFFSET=...] [GAIN=...] [OUT_LOWER_LIMIT=...] [OUT_UPPER_LIMIT=...] [LIMIT_RANGE=...] [OUT_IC=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент пропорциональности входного сигнала	-	действительный	1	-	нет	-	да
out_lower_limit	нижняя границы выходного сигнала	B*c, A*c	действительный	-	-	нет	-	да
out_upper_limit	верхняя граница выходного сигнала	B*c, A*c	действительный	-	-	нет	-	да
limit_range	диапазон сглаживания	B*c, A*c	действительный	1E-6	-	нет	-	да
out_ic	начальное значение выхода	B, A	действительный	0	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает функцию интеграла по времени. Модель функционирует следующим образом: сигнал порта in смещается на величину параметра in_offset. Полученный результат далее умножается на значение параметра gain. Полученный результат численно интегрируется по текущему значению и значению в предыдущей временной точке. Значения параметров out_lower_limit и out_upper_limit определяют предельные значения для сигнала порта out.
- Начальный сигнал выходного порта определяется значением параметра ic_out.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Для обеспечения гладкости выходной характеристики при переходе к предельным значениям выполняется сглаживание выходного сигнала в окрестностях этих предельных значений по квадратичному закону. Размер области сглаживания определяется параметром `limit_range`. Область сглаживания для верхней границы лежит в диапазоне от `(out_upper_range-limit_range; out_upper_range+limit_range)`. Область сглаживания для нижней границы лежит в диапазоне `(out_lower_range+limit_range; out_lower_range+limit_range)`.
- При выполнении расчёта ФАЧХ в качестве выходного значения возвращается значение параметра `gain`, делённое на круговую частоту в радианах со знаком минус.

Пример:

```
a13 7 12 time_count
.model time_count int (in_offset=0.0 gain=1.0 out_lower_limit=-1e12
+ out_upper_limit=1e12 limit_range=1e-9 out_ic=0.0)
```

Передаточная функция в форме полинома преобразования Лапласа

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	ВХОД	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выходной сигнал	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> s_xfer ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [NUM_COEF=...] [DEN_COEF=...] [INT_IC=...]
[DENORMALIZED_FREQ=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение сигнала порта in	B, A	действительный	0	-	нет	-	да
gain	коэффициент пропорциональности сигнала порта in	-	действительный	1	-	нет	-	да
num_coef	коэффициенты полинома числителя	-	действительный	-	-	да	[1; -]	да
den_coef	коэффициенты полинома знаменателя	-	действительный	-	-	да	[1; -]	да
int_ic	начальные условия	B, A	действительный	0	-	да	den_coef-1	да
denormalized_freq	круговая частота для которой даны денормализованные коэффициенты полинома	рад/с	действительный	1	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает функциональную зависимость передаточной характеристики от частоты. Все выражения справедливы для формы преобразования Лапласа передаточной характеристики (s -переменная). Модель функционирует следующим образом: сигнал порта in складывается со значением параметра in_offset, а затем полученное значение умножается на значение параметра gain.
- Данная модель позволяет вести расчёты переходного процесса и ФАЧХ.
- Для данной модели действительны следующие ограничения:
 - степень полинома числителя не должна превосходить степени полинома знаменателя;
 - коэффициенты для членов полинома должны указываться по убыванию степени члена и если какой-либо член необходимо исключить, то соответствующий коэффициент должен быть равен нулю.

```
.model filter s_xfer (gain=0.139713 num_coef=[1.0 0.0 0.7464102]  
+ den_coef=[1.0 0.998942 0.001170077] int_ic=[0 0])
```

соответствует передаточной функции

$$N(s) = 0.139713 \cdot \frac{s^2 + 0.7464102}{s^2 + 0.998942 \cdot s + 0.001170077}$$

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Модель не имеет встроенных ограничений для значений сигналов in и out, поэтому результат в некоторых случаях может быть чрезмерно большим. Обеспечение целостности вычислений в этом случае является задачей разработчика модели-экземпляра. Для обеспечения целостности вычислений рекомендуется выполнять подгонку коэффициента пропорциональности gain и коэффициентов числителя и знаменателя.
- Параметр denormalized_freq позволяет произвести «частотный сдвиг» определения передаточной функции, определённой для частоты 1 рад/с, например:

$$N(s) = 0.139713 \cdot \frac{1}{s^2 + 0.998942 \cdot s + 0.001170077}$$

определяется как

```
a12 node1 node2 cheby1
.model cheby1 s_xfer (num_coeff=[1] den_coeff=[1 1.09773 1.10251]
+ int_ic=[0 0] denormalized_freq=1500)
```

но для частоты среза уже не 1 рад/с, а 1500 рад/с.

- Начальные значения интегрирования определяются вектором int_ic. Размерность вектора int_ic должна быть на единицу меньше размерности вектора коэффициентов знаменателя den_coeff. При этом в качестве отсутствующих членов должны быть указаны 0:

```
a14 9 22 cheby_LP_3kHz
.model cheby_LP_3kHz s_xfer (in_offset=0.0 gain=1.0 int_ic=[0 0]
+ num_coeff=[1.0] den_coeff=[1.0 1.42562 1.51620])
```

Пример:

```
a14 9 22 cheby_LP_3kHz
.model cheby_LP_3kHz s_xfer (in_offset=0.0 gain=1.0 int_ic=[0 0]
+ num_coeff=[1.0] den_coeff=[1.0 1.42562 1.51620])
```

Ограничитель скорости нарастания / крутизны / наклона

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	ВХОД	v	v, vd, i, id, vnam	нет	-	нет
out	выходной сигнал	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> slew ([RISE_SLOPE=...] [FALL_SLOPE=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_slope	предельное значение крутизны нарастания (переднего фронта) сигнала	V/c, A/c	действительный	1e-9	-	нет	-	да
fall_slope	предельное значения крутизны спадания (заднего фронта) сигнала	V/c, A/c	действительный	1e-9	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает ограничитель максимальной крутизны сигнала во временной области. Модель функционирует следующим образом: оценивается производная сигнала порта in по времени, если значение производной положительно и превосходит по абсолютной величине значение параметра rise_slope, то сигнал порта out будет иметь производную по времени, ограниченную этим параметром; если значение производной сигнала порта in отрицательно и превосходит по абсолютной величине значение параметра fall_slope, то сигнал порта out будет иметь производную по времени, ограниченную этим параметром. В остальных случаях сигнал порта out будет повторять сигнал порта in.
- При выполнении расчёта по постоянному току или ФАЧХ выходной сигнал порта out полностью дублирует сигнал порта in.

Пример:

```
a15 1 2 slew1  
.model slew1 slew (rise_slope=0.5e6 fall_slope=0.5e6)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Катушка индуктивности (используется совместно с core)

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <I> <MMF_OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<I>	порт I;
<MMF>	порт mmf;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
I	вывод(ы) катушки индуктивности	вход/выход	hd	h, hd	нет	-	нет
mmf	сигнал магнитодвижущей силы	вход/выход	hd	hd	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.MODEL <MNAME> lcouple ([NUM_TURNS=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
num_turns	количество витков катушки	-	действительный	1.0	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает катушку индуктивности для совместной работы с моделью сердечника core (магнитный сердечник). Используя модели lcouple и core можно построить модель магнитной системы, состоящей из сердечника и катушек индуктивности – модель трансформатора. Также эту модель можно согласованно использовать с другими моделями, при необходимости, что позволяет строить модели линейных и нелинейных компонентов.
- Порт I модели должен получать сигнал тока. Величина тока умножается на значение параметра num_turns и полученное значение (единица измерения А*виток) транслируется через выходной порт mmf. Модель core получает значение порта mmf первой катушки. Полученный сигнал обрабатывается моделью core и передается другой катушке индуктивности на порт mmf, что вызывает протекание тока через порт I другой катушки. Подробнее создание модели трансформатора приведено в описании модели core.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
a150 (7,0) (9,10) lcouple1  
a160 (8,9) (11,0) lcouple1  
.model lcouple1 lcouple (num_turns=10.0)
```

Магнитный сердечник

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <МС> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<МС>	порт мс;
<MNAME>	имя модели-прототипа;

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
мс	порт сопряжения магнитного сердечника	вход/выход	gd	g, gd	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.MODEL <MNAME> core (H_ARRAY=[...] B_ARRAY=[...] AREA=... LENGTH=... [INPUT_DOMAIN=...] [FRACTION=...]  
[MODE=...] [IN_LOW=...] [IN_HIGH=...] [HYST=...] [OUT_LOWER_LIMIT=...] [OUT_UPPER_LIMIT=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
h_array	массив значений напряжённости магнитного поля	A*виток/м	действительный	-	-	да	[2; -]	нет
b_array	массив значений магнитной индукции	Тл	действительный	-	-	да	[2; -]	нет
area	площадь поперечного сечения	м2	действительный	-	-	нет	-	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
length	длина средней линии	м	действительный	-	-	нет	-	нет
input_domain	размер области сглаживания входного сигнала	В	действительный	0.01	[1E-12; 0.5]	нет	-	да
fraction	выбор способа расчёта области сглаживания как доли/абсолютного значения	-	логический	true	[false; true]	нет	-	да
mode	выбор режима (1 – pwl; 2 – hyst)	-	целый	1	[1; 2]	нет	-	да
in_low	значение входного сигнала для перехода выхода в низкое состояние	В	действительный	0.0	-	нет	-	да
in_high	значение входного сигнала для перехода в высокое состояние	В	действительный	1.0	-	нет	-	да
hyst	размах гистерезиса	В	действительный	0.1	[0; -]	нет	-	да
out_lower_limit	нижняя граница выходного сигнала	А	действительный	0.0	-	нет	-	да
out_upper_limit	верхняя граница выходного сигнала	А	действительный	1.0	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель предназначена для описания магнитного сердечника в магнитных системах. Данная модель в большинстве случаев используется совместно с моделью lcouple (катушка индуктивности) для описания линейных и нелинейных магнитных компонентов. Модель может функционировать в одном из двух возможных режимов. Выбор режима осуществляется определением параметра mode. Каждый из режимов использует своё множество дополнительных параметров. Для mode=1 характеристики режима определяются параметрами h_array, b_array, area, length, input_domain и fraction. Для mode=2 характеристики режима определяются параметрами in_low, in_high, hyst, out_lower_limit, out_upper_limit, input_domain и fraction. Значение параметра mode=1 определяет функционирование модели по заданному массиву значений напряжённости магнитного поля (параметр h_array) и магнитной индукции (параметр b_array). Модель получает значение входного сигнала напряжения и интерпретирует его как величину магнитодвижущей силы. Далее это значение обрабатывается по формуле для вычисления величины напряжённости магнитного поля:

$$H(input) = \frac{input}{length}$$

, где length определяется значением параметра length.

исходя из вычисленного значения напряжённости поля по табличным данным, заданным параметрами h_array и b_array в виде набора точек кусочно-линейной функции, производится расчёт значения магнитной индукции:

$$B(H) = f(H),$$

где f – кусочно-линейная функция, промежуточные значения между заданными точками вычисляются как линейная интерполяция.

Параметры input_domain и fraction имеют тот же смысл, что описан для модели rwl (управляемый кусочно-линейной функцией источник). Параметры, специфичные для данного режима, имеют тот же смысл, что одноимённые параметры модели rwl.

Так как кусочно-линейная функция не определяет гистерезис, то его необходимо реализовать отдельной моделью.

Вычисленная величина магнитной индукции служит для вычисления величины магнитного потока:

$$\phi(B) = B \cdot area,$$

где area – значение параметра area.

Вычисленное значение потока, протекающего через сердечник равно ϕ . Значение, в свою очередь, используется моделью катушки индуктивности lcouple для достижения значения отражённого напряжения (на её порте l), присутствующего на её входных выводах. Таким образом модель сердечника вызывает равные по величине магнитные потоки для обеих катушек. См. пример 1.

- Значение параметра mode=2 определяет функционирование модели на основании параметров гистерезиса. В качестве входного сигнала модель получает величину входного напряжения входного порта. Данное значение обрабатывается аналогично тому, как описано для модели hyst (гистерезис). Параметры, специфичные для данного режима имеют тот же смысл, что одноимённые параметры модели hyst. См. пример 2.
- Параметры input_domain и fraction являются общими для обоих режимов, но их значение несколько отличается. Для mode=1 их смысл тот же, что для модели rwl, для mode=2 их смысл тот же, что для модели hyst.

Пример 1:

```
a1 (2,0) (3,0) primary
.model primary lcouple (num_turns=155)

a2 (3,4) iron_core
.model iron_core core (h_array=[-1000 -500 -375 -250 -188 -125 -63
+0 63 125 188 250 375 500 1000] b_array[-3.13e-3 -2.63e-3 -2.33 e-3
+-1.93e-3 -1.5e-3 -6.25e-4 -2.5e-4 0 2.5e-4 6.25e-4 1.5e-3 1.93e-3
+2.33e-3 2.63e-3 3.13e-3] area=0.01 length=0.01)

a3 (5,0) (4,0) secondary
.model secondary lcouple (num_turns=310)
```

Пример 2:

```
a1 (2,0) (3,0) primary
.model primary lcouple (num_turns=155)
a2 (3,4) iron_core
.model iron_core core (mode=2 in_low=-7.0 in_high=7.0
+out_low_limit=-2.5e-4 out_upper_limit=2.5e-4 hyst=2.3)
a3 (5,0) (4,0) secondary
.model secondary lcouple (num_turns=310)
```

Контролируемый генератор синусоидального сигнала

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <CNTL_IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CNTL_IN>	порт cntl_in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_in	управляющий вход	ВХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
out	выход	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> sine ([CNTL_ARRAY=... FREQ_ARRAY=...] [OUT_LOW=...] [OUT_HIGH=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_array	массив управляющих значений	В, А	действительный	0.0	-	да	[2; -]	нет
freq_array	массив частот	Гц	действительный	1.0e3	[0; -]	да	cntl_array	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
out_low	предельное нижнее значение выходного сигнала	V, A	действительный	-1.0	-	нет	-	да
out_high	предельно верхнее значение выходного сигнала	V, A	действительный	1.0	-	нет	-	да

Примечания:

Модель описывает управляемый источник напряжения или тока, аппроксимированных синусоидой. Частота выходного сигнала определяется значением управляющего сигнала. Характеристика источника определяется кусочно-линейной функцией, задаваемой как набор точек. Абсциссы точек определяются параметром cntl_array, ординаты точек определяются параметром freq_array. Промежуточные значения выражаются как линейная интерполяция. Способ интерполяции аналогичен тому, что описан для управляемого кусочно-линейной функцией источника. По входящему сигналу вычисляется значение частоты, на которой источник формирует сигнал. Максимальное и минимальное значение ограничены соответственно параметрами out_high и out_low.

Пример:

```
asine 1 2 in_sine
.model in_sine sine (cntl_array=[-1 0 5 6] freq_array=[10 10 1e3 1e3]
+ out_low=-5.0 out_high=5.0)
```

Контролируемый генератор треугольного сигнала

Модель-экземпляр:

A<NAME> <CNTL_IN> <OUT> <MNAME>

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CNTL_IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_in	управляющий вывод	ВХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
out	выходной вывод	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модель-прототип:

```
.MODEL <MNAME> triangle ([CNTL_ARRAY=... FREQ_ARRAY=...] [OUT_LOW=...] [OUT_HIGH=...] [DUTY_CYCLE=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_array	массив управляющих значений	В, А	действительный	0.0	-	да	[2; -]	нет
freq_array	массив частот	Гц	действительный	1.0e3	[0; -]	да	cntl_array	нет
out_low	предельное нижнее значение выходного сигнала	В, А	действительный	-1.0	-	нет	-	да
out_high	предельно верхнее значение выходного сигнала	В, А	действительный	1.0	-	нет	-	да
duty_cycle	коэффициент заполнения переднего фронта треугольного сигнала	-	действительный	0.5	[1e-10; 0.999999999]	нет	-	да

Примечания:

Модель описывает управляемый источник напряжения или тока, аппроксимированных треугольником. Частота выходного сигнала определяется значением управляющего сигнала. Характеристика источника определяется кусочно-линейной функцией, задаваемой как набор точек. Абсциссы точек определяются параметром cntl_array, ординаты точек определяются параметром freq_array. Промежуточные значения выражаются как линейная интерполяция. Способ интерполяции аналогичен тому, что описан для управляемого кусочно-линейной функцией источника. По входящему сигналу вычисляется значение частоты, на которой источник формирует сигнал. Максимальное и минимальное значение ограничены соответственно параметрами out_high и out_low. Коэффициент заполнения (обратен скважности) переднего фронта определяется параметром duty_cycle.

Пример:

```
ain 1 2 ramp1
.model ramp1 triangle (cntl_array=[-1 0 5 6] freq_array=[10 10
+ 1e3 1e3] out_low=-5.0 out_high=5.0 duty_cycle=0.9)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Контролируемый генератор меандра

Модель-экземпляр:

A<NAME> <CNTL_IN> <OUT> <MNAME>

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CNTL_IN>	порт cntl_in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_in	управляющий вывод	ВХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
out	выходной вывод	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.MODEL <MNAME> square ([CNTL_ARRAY=... FREQ_ARRAY=...] [OUT_LOW=...] [OUT_HIGH=...] [DUTY_CYCLE=...]  
[RISE_TIME=...] [FALL_TIME=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_array	массив управляющих значений	В, А	действительный	0.0	-	да	[2; -]	нет
freq_array	массив частот	Гц	действительный	1.0e3	[0; -]	да	cntl_array	нет
out_low	предельное нижнее значение выходного сигнала	В, А	действительный	-1.0	-	нет	-	да
out_high	предельно верхнее значение выходного сигнала	В, А	действительный	1.0	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
duty_cycle	коэффициент заполнения импульса	-	действительный	0.5	[1e-10; 0.999999999]	нет	-	да
rise_time	время переднего фронта импульса	с	действительный	1e-9	-	нет	-	да
fall_time	время заднего фронта импульса	с	действительный	1e-9	-	нет	-	да

Примечания:

Модель описывает управляемый источник напряжения или тока, аппроксимированных меандром. Частота выходного сигнала определяется значением управляющего сигнала. Характеристика источника определяется кусочно-линейной функцией, задаваемой как набор точек. Абсциссы точек определяются параметром cntl_array, ординаты точек определяются параметром freq_array. Промежуточные значения выражаются как линейная интерполяция. Способ интерполяции аналогичен тому, что описан для управляемого кусочно-линейной функцией источника. По входящему сигналу вычисляется значение частоты, на которой источник формирует сигнал. Максимальное и минимальное значение ограничены соответственно параметрами out_high и out_low. Коэффициент заполнения (обратен скважности) импульса определяется параметром duty_cycle. Длительность переднего фронта импульса определяется параметром rise_time. Длительность заднего фронта импульса определяется параметром fall_time.

Пример:

```
ain 1 2 pulse1
.model pulse1 square (cntl_array=[-1 0 5 6] freq_array=[10 10 1e3 1e3]
+ out_low=0.0 out_high=4.5 duty_cycle=0.2 rise_time=1e-6
+ fall_time=2e-6)
```

Контролируемый генератор одиночного импульса

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <CLK> [<CNTL_IN>] [<CLEAR>] <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CLK>	порт clk;
<CNTL_IN>	порт cntl_in;
<CLEAR>	порт clear;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
clk	сигнал запуска	вход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
cntl_in	сигнал управления	вход	v	v, vd, i, id	нет	-	да
out	выходной сигнал	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.MODEL <MNAME> oneshot ([CLK_TRIG=...] [POS_EDGE_TRIG=...] [RETRIG=...] [CNTL_ARRAY=...] PW_ARRAY=...] [OUT_LOW=...] [OUT_HIGH=...] [FALL_TIME=...] [RISE_TIME=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_trig	уровень сигнала триггера	B, A	действительный	0.5	-	нет	-	нет
pos_edge_trig	селектор выбора фронта срабатывания триггера	-	логический	true	[false; true]	нет	-	нет
retrig	флаг разрешения повторного запуска	-	логический	false	[false; true]	нет	-	да
cntl_array	значения массива сигнала управления	B, A	действительный	0.0	-	да	-	да
pw_array	значения массива ширины импульса	c	действительный	1.0e-6	[0.0; -]	да	cntl_array	да
out_low	базовый уровень сигнала	B, A	действительный	0.0	-	нет	-	да
out_high	уровень сигнала в импульсе	B, A	действительный	1.0	-	нет	-	да
fall_time	длительность заднего фронта импульса	c	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_time	длительность переднего фронта импульса	с	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала триггера	с	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта от вершины импульса	с	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель описывает генератор одиночного импульса. Входной сигнал поступает на порт clk и при достижении значения параметра clk_trig приводит к событию генерации импульса – сигналу триггера. Выбором фронта импульса на порте clk, при котором происходит срабатывание триггера – переднем или заднем, можно управлять за счёт значения параметра pos_edge_trig. Значение pos_edge_trig=true определяет передний фронт, значение pos_edge_trig=false определяет задний фронт. Входной сигнал управления длительностью импульса поступает на вход cntl_in и управляет длительностью импульса. Длительность импульса определяется кусочно-линейной функцией, задаваемой по точкам, координаты которых определяются значениями параметров cntl_array и pw_array. Промежуточные значения между точками вычисляются как линейная интерполяция. Метод интерполяции схож с тем, что описан для управляемого кусочно-линейной функцией источника (модель rwl).
- После возникновения сигнала триггера происходит задержка переднего фронта импульса, которая определяется значением параметра rise_delay. После окончания импульса происходит задержка заднего фронта импульса, которая определяется значением параметра fall_delay.
- Длительность переднего фронта импульса определяется значением параметра rise_time. Длительность заднего фронта импульса определяется значением параметра fall_time.
- Базовый уровень выходного сигнала определяется значением параметра out_low. Значение выходного сигнала в импульсе определяется значением параметра out_high.
- Значение параметра retrig=true разрешает многократную генерацию выходных импульсов. Значение retrig=false запрещает многократную генерацию выходных импульсов.
- Повторная генерация импульса возможна только после срабатывания условия триггера для порта clear, и только в том случае, если определён параметр retrig=true. Передний фронт импульса на порте clear прерывает текущий выходной импульс, а задний фронт импульса на порте clear разрешает повторную генерацию выходного импульса при возникновении триггера на порте clk.

Пример:

```
ain 1 2 3 4 pulse2
.model pulse2 oneshot (cntl_array = [-1 0 10 11]
+ pw_array=[1e-6 1e-6 1e-4 1e-4]
+ clk_trig=0.9 pos_edge_trig=FALSE
+ out_low=0.0 out_high=4.5
+ rise_delay=20.0e-9 fall_delay=35.0e-9)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Измеритель ёмкости

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	ВХОД	v	v, vd, i, id	нет	–	нет
out	сигнал измеренной ёмкости	ВЫХОД	v	v, vd, i, id	нет	–	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> cmeter ([GAIN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
gain	коэффициент умножения входного сигнала	B, A	действительный	1.0	–	нет	–	да

Примечания:

- Модель реализует измеритель суммарной ёмкости (параллельное соединение) конденсаторов, находящихся в непосредственном контакте с входным портом in. Измеренное значение ёмкости умножается на величину, определяемую параметром gain. Вычисленное значение передаётся на выходной порт out.
- Модель не учитывает последовательное соединение конденсаторов. Пусть конденсаторы C_1 – C_n последовательно подключены в цепь с портом in модели cmeter и первый вывод конденсатора C_1 непосредственно соединён с портом in, при последовательном соединении конденсаторов результирующая ёмкость должна вычисляться по правилу $C = \frac{\prod_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j \neq i} C_j)}$, однако модель в качестве выходного значения предоставит только значение конденсатора C_1 .

Пример:

```
acmeter1 1 2 ctest
.model ctest cmeter (gain=1.0e12)
```

Измеритель индуктивности

Модель-экземпляр:

A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
out	сигнал измеренной ёмкости	выход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

.model <MNAME> lmeter ([GAIN=...])

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
gain	коэффициент умножения входного сигнала	B, A	действительный	1.0	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует измерить суммарной индуктивности (параллельное соединение) индукторов, находящейся в непосредственном контакте с входным портом in. Измеренное значение индуктивности умножается на величину, определяемую параметром gain. Вычисленное значение передаётся на выходной порт out.
- Модель не учитывает последовательное соединение индукторов. Пусть конденсаторы L_1-L_n последовательно подключены в цепь с портом in модели lmeter и первый вывод индуктора L_1 непосредственно соединён с портом in, при последовательном соединении индукторов результирующая индуктивность должна вычисляться по правилу $L = \sum_{i=1}^n L_i$, однако модель в качестве выходного значения предоставит только значение индуктора L_1 .

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
alimeter1 1 2 ltest
.model ltest lmeter (gain=1.0e6)
```

Преобразователь из цифрового домена в аналоговый

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <NAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	да	-	нет
out	выходной сигнал	выход	v	v, vd, i, id	да	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> dac_bridge ([OUT_LOW=...] [OUT_HIGH=...] [OUT_UNDEF=...] [INPUT_LOAD=...] [T_RISE=...] [T_FALL=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
out_low	выходной уровень для состояния логический «0»	V, A	действительный	0.0	-	нет	-	да
out_high	выходной уровень для состояния логическая «1»	V, A	действительный	1.0	-	нет	-	да
out_undef	выходной уровень для «неопределённого» логического состояния	V, A	действительный	0.5	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
t_rise	время переднего фронта («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
t_fall	время заднего фронта («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует измерить суммарной индуктивности (параллельное соединение) индукторов, находящейся в непосредственном контакте с входным портом in. Измеренное значение индуктивности умножается на величину, определяемую параметром gain. Вычисленное значение передаётся на выходной порт out.
- Модель реализует гибридный векторный преобразователь сигналов цифрового домена для расширенных моделей XSPICE в аналоговый домен. Цифровой сигнал поступает в порт in, ему ставится в соответствие аналоговый сигнал, уровень аналогового сигнала определяется значениями параметров out_low, out_high и out_undef.
- Если параметр out_undef не определён, а параметры out_low, out_high, определены, то значение выходного сигнала для трансляции «неопределённого» состояния будет вычисляться как их среднее арифметическое.
- Параметры t_rise и t_fall определяют длительность переднего и заднего фронтов сигнала соответственно (для сигнала положительности). Длительность фронта определяет угол наклона (производную по времени) для уровня выходного сигнала при изменении логического состояния.
- Параметр input_load определяет ёмкость входного порта.
- Модель преобразователя не добавляется автоматически при соединении аналоговой и цифровой моделей общим узлом в редакторе электрической схемы.
- Модель предназначена для функционирования только с дополнительными моделями XSPICE цифровых устройств. Оптимальным способом применения модели преобразователя является совместное применение с моделью цифрового устройства в подсхеме.

Пример:

```
adacbridge1 [out1d out2d out3d out4d] [out1 out2 out3 out4] d2abridge
.model d2abridge dac_bridge ([out_low=0.2] [out_high=2.6]
+ [out_undef=1.5] [input_load=4e-12] [t_rise=1e-9] [t_fall=1.5e-9])
```

Преобразователь из аналогового домена в цифровой

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <NAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	да	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	да	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> adc_bridge ([IN_LOW=...] [IN_HIGH=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_low	нижняя граница входного сигнала – преобразование в логический сигнал «0»	B, A	действительный	0.1	-	нет	-	да
in_high	верхняя граница входного сигнала – преобразование в логический сигнал «1»	B, A	действительный	0.9	-	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта («0» -> «1»)	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта («1» -> «0»)	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует гибридный векторный преобразователь сигналов аналогового домена в цифровой домен для расширенных моделей XSPICE. Аналоговый сигнал поступает в порт in, ему ставится в соответствие цифровой сигнал, уровень аналогового сигнала при трансляции в цифровой определяется значениями параметров in_low, in_high.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Параметры `rise_delay` и `fall_delay` определяют величину задержки переднего и заднего фронтов.
- Модель преобразователя не добавляется автоматически при соединении аналоговой и цифровой моделей общим узлом в редакторе электрической схемы.
- Модель предназначена для функционирования только с дополнительными моделями XSPICE, реализующих цифровые устройства. Оптимальным способом применения модели преобразователя является совместное применение с моделью цифрового устройства в подсхеме.

Пример:

```
aadcbridge1 [in1 in2 in3 in4] [in1d in2d in3d in4d] a2dbridge
.model a2dbridge adc_bridge ([in_low=0.2] [in_high=2.6]
+ [rise_delay=1.7e-9] [fall_delay=2.1e-9])
```

Цифровой контролируемый генератор сигнала

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <CNTL_IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<CNTL_IN>	порт cntl_in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_in	управляющий сигнал	ВХОД	v	v, vd, i, id	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_osc (CNTL_ARRAY=... FREQ_ARRAY=... [DUTY_CYCLE=...] [INIT_PHASE=...] [RISE_DELAY=...]
[FALL_DELAY=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
cntl_array	значения ординат точек функции управления	В, А	действительный	0.0	-	да	[2; -]	нет
freq_array	значения абсцисс точек функции управления	Гц	действительный	1.0e6	[0; -]	да	[2; -]	нет
duty_cycle	коэффициент заполнения импульса	-	действительный	0.5	[1e-6; 0.999999]	нет	-	да
init_phase	начальная фаза импульса	градус	действительный	0	[-180; +360]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта импульса	с	действительный	1e-9	[0; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта импульса	с	действительный	1e-9	[0; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует управляемый источник цифрового сигнала. Управляющий сигнал подаётся на порт cntl_in. Выходной сигнал представляет собой меандр, частота которого определяется передаточной функцией, задаваемой точками, координаты которых определяются параметрами cntl_array и freq_array. Передаточная функция имеет линейную интерполяцию между точками. Коэффициент заполнения меандра определяется параметром duty_cycle. Начальная фаза импульса определяется параметром init_phase.
- Параметры rise_delay и fall_delay определяют величину задержки переднего и заднего фронтов.
- Модель предназначена для функционирования только с дополнительными моделями XSPICE, реализующих цифровые устройства.

Пример:

```
a5 n1 n8 var_clock
.model var_clock d_osc (cntl_array = [-2 -1 1 2]
+ freq_array = [1e3 1e3 10e3 10e3] duty_cycle = 0.4 init_phase = 180.0
+ rise_delay = 10e-9 fall_delay=8e-9)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Цифровой буфер шириной в один разряд

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_buffer ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует буфер сигнала с одним входом и одним выходом. Выходной сигнал по длительности повторяет входной, однако передний фронт может быть задержан на величину, определяемую значением параметра rise_delay, задний фронт может быть задержан на величину, определяемую значением параметра fall_delay.
- Значение параметра input_load определяет величину ёмкости входного порта.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
a6 1 8 buff1
.model buff1 d_buffer (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9
+ input_load = 0.5e-12)
```

Цифровой инвертор шириной в один разряд

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_inverter ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Примечания:

- Модель реализует инвертор цифрового сигнала с одним входом и одним выходом. Выходной сигнал по длительности повторяет входной, однако передний фронт может быть задержан на величину, определяемую значением параметра `rise_delay`, задний фронт может быть задержан на величину, определяемую значением параметра `fall_delay`.
- Значение параметра `input_load` определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a7 1 8 inv1
.model inv1 d_inverter (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9
+ input_load = 0.5e-12)
```

Цифровой вентиль логическое И

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	вход	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_and ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «И». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром `rise_delay`, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром `fall_delay`. Если все входные сигналы соответствуют сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логической «1». Если какой-либо из входных сигналов равен логическому «0», то выходной сигнал равен логическому «0». В прочих случаях выходной сигнал соответствует значению логический «X» – неопределённому логическому состоянию.
- Значение параметра `input_load` определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a6 [1 2] 8 and1
.model and1 d_and (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9
+ input_load = 0.5e-12)
```

Цифровой вентиль логическое И-НЕ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	вход	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_nand ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «И-НЕ». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром rise_delay, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром fall_delay. Если все входные сигналы соответствуют сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логическому «0». Если какой-либо из входных сигналов равен логическому «0», то выходной сигнал равен логической «1». В прочих случаях выходной сигнал соответствует значению логический «X» – неопределённому логическому состоянию.
- Значение параметра input_load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a6 [1 2 3] 8 nand1
.model nand1 d_nand (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9
+ input_load = 0.5e-12)
```

Цифровой вентиль логическое ИЛИ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	ВХОД	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	ВЫХОД	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_or ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «ИЛИ». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром rise_delay, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром fall_delay. Если какой-либо входной сигнал соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логической «1». Если все входные сигналы равны логическому «0», то выходной сигнал равен логическому «0». В прочих случаях выходной сигнал соответствует значению логический «X» – неопределённому логическому состоянию.
- Значение параметра input_load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a6 [1 2 3] 8 or1
.model or1 d_or (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9
+ input_load = 0.5e-12)
```

Цифровой вентиль логическое ИЛИ-НЕ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<IN> порт in;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<OUT> - порт out;
<MNAME> - имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	вход	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_nor ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «ИЛИ-НЕ». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром rise_delay, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром fall_delay. Если какой-либо входной сигнал соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логическому «0». Если все входные сигналы равны логическому «0», то выходной сигнал равен логической «1». В прочих случаях выходной сигнал соответствует значению логический «X» – неопределённому логическому состоянию.
- Значение параметра input_load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
anor12 [1 2 3 4] 8 nor12  
.model nor12 d_or (rise_delay = 0.5e-9 fall_delay = 0.3e-9  
+ input_load = 0.5e-12)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Цифровой вентиль логическое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	вход	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_nor ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром rise_delay, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром fall_delay.
- Если нечётное количество входных сигналов соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логической «1». Если чётное количество входных сигналов соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логическому «0». Если среди значений входных сигналов отсутствуют логические «1», то выходной сигнал равен логическому «0».

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Наличие среди входных сигналов логического «X» или неподключенного входного сигнала приводит к возникновению на выходе логического «X».
- Значение параметра input_load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a9 [1 2] 8 xor3
.model xor3 d_xor (rise_delay=0.5e-9 fall_delay=0.3e-9
+ input_load=0.5e-12)
```

Цифровой вентиль логическое ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входные сигналы	вход	d	d	да	[2; -]	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_xnor ([RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует оператор логического «ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ». Передний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром `rise_delay`, задний фронт выходного сигнала испытывает задержку, определяемую параметром `fall_delay`.
- Если нечётное количество входных сигналов соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал равен логическому «0». Если чётное количество входных сигналов соответствует сигналу логическая «1», то выходной сигнал соответствует значению логическая «1». Если среди значений входных сигналов отсутствуют логические «1», то выходной сигнал равен логической «1».
- Наличие среди входных сигналов логического «X» или неподключенного входного сигнала приводит к возникновению на выходе логического «X».
- Значение параметра `input_load` определяет величину ёмкости входного порта

Пример:

```
a9 [1 2] 8 xnor3
.model xnor3 d_xnor (rise_delay=0.5e-9 fall_delay=0.3e-9
+ input_load=0.5e-12)
```

Цифровой буфер с третьим состоянием

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <EN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<EN>	порт enable;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	-	нет
enable	сигнал разрешения	вход	d	d	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_tristate ([DELAY=...] [INPUT_LOAD=...] [ENABLE_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
delay	задержка	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость порта in	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
enable_load	ёмкость порта enable	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует цифровой буфер с третьим состоянием, одним входом и одним выходом. Значение входного сигнала на порте in передаётся на выходной порт out с задержкой, определяемой значением параметра delay. При значении сигнала на порте enable логическая «1» выходной сигнал имеет выходную характеристику STRONG, при значении на порте enable логический «0» выходной сигнал имеет выходную характеристику HI_IMPEDANCE.
- Ёмкость порта in определяется значением параметра input_load, ёмкость порта enable определяется значением параметра enable_load.

Пример:

```
a9 1 2 8 tri7
.model tri7 d_tristate (delay=0.5e-9 input_load=0.5e-12
+ enable_load=0.5e-12)
```

Цифровой подтягивающий резистор к положительному полюсу питания

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<OUT> порт out;

<MNAME> имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
out	сигнал для доопределения до логической «1»	выход	d	d	нет	-	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_pullup ([LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
load	ёмкость	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует резистор доопределения цифрового узла до логической «1».
- Модель предназначена для функционирования в узлах, связанных с выводами, принимающим выходную характеристику HI_IMPEDANCE.
- Значение параметра load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a2 9 pullup1  
.model pullup1 d_pullup (load=20.0e-12)
```

Цифровой подтягивающий резистор к отрицательному полюсу питания

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME> имя модели-экземпляра;

<OUT> порт out;

<MNAME> имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
out	сигнал для доопределения до логической «1»	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_pulldown ([DELAY=...] [INPUT_LOAD=...] [ENABLE_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
load	ёмкость	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует резистор доопределения цифрового узла до логической «1».
- Модель предназначена для функционирования в узлах, связанных с выводами, принимающим выходную характеристику HI_IMPEDANCE.
- Значение параметра load определяет величину ёмкости входного порта.

Пример:

```
a4 9 pulldown1
.model pulldown1 d_pulldown (load=20.0e-12)
```

Цифровой буфер с открытым коллектором

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_open_c ([OPEN_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
open_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1.0e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1.0e-12; -]	нет	-	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует буфер с открытым коллектором. Входной сигнал, приходящий на порт in транслируется на порт out. Если входной сигнал является логическим «0», то выходной сигнал принимает значение логический «0» с выходной характеристикой STRONG. Если входной сигнал является логической «1», то выходной сигнал принимает значение логическая «1» с выходной характеристикой HI_IMPEDANCE.

Пример:

```
aopenc1 input output openc
.model openc d_open_c (open_delay=1e-10 fall_delay=2e-10
+ input_load=4e-12)
```

Цифровой буфер с открытым эмиттером

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	–	нет
out	выходной сигнал	выход	d	d	нет	–	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_open_e ([OPEN_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [INPUT_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
open_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1.0e-12; -]	нет	–	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1.0e-12; -]	нет	–	да
input_load	ёмкость входного порта	Ф	действительный	1.0e-12	–	нет	–	да

Примечания:

Модель реализует буфер с открытым эмиттером. Входной сигнал, проходящий на порт in транслируется на порт out. Если входной сигнал является логическим «0», то выходной сигнал принимает значение логический «0» с выходной характеристикой HI_IMPEDANCE. Если входной сигнал является логической «1», то выходной сигнал принимает значение логическая «1» с выходной характеристикой STRONG.

Пример:

```
aopenel input output opene
.model opene d_open_e (open_delay=1e-10 rise_delay=2e-10
+ input_load=4e-12)
```

Цифровой D-триггер с динамическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA> <CLK> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DATA>	порт data;
<CLK>	порт clk;
<SET>	порт set;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа;

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data	сигнал данных DATA	вход	d	d	нет	-	нет
clk	сигнал такта CLK	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установки SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_dff ([CLK_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [DATA_LOAD=...] [CLK_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_delay	задержка сигнала CLK	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала SET	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала RESET	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
ic	начальное состояние	–	целый	0	[0; 2]	нет	–	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; –]	нет	–	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; –]	нет	–	да
data_load	ёмкость порта data	Ф	действительный	1.0e-12	–	нет	–	да
clk_load	ёмкость порта clk	Ф	действительный	1.0e-12	–	нет	–	да
set_load	ёмкость порта set	Ф	действительный	1.0e-12	–	нет	–	да
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1.0e-12	–	нет	–	да

Примечания:

Модель реализует синхронный D-триггер с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Данные фиксируются по положительному фронту сигнала clk. Входной сигнал clk испытывает задержку, определяемую значением параметра clk_delay; входной сигнал set испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал reset испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

SET	RESET	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0	0	0
0, X	0	1	1
0, X	0	X	X
0, X	1	0, 1, X	0
0, X	X	0	0
0, X	X	1	1
0, X	X	X	X
1	0, X	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	X

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера.

Таблица синхронных состояний триггера (определяются по изменению clk), если сигналы портов set и reset равны логическому «0» или неопределённому логическому состоянию «X»:

CLK	DATA	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0	0, 1, X	0
1	1	0, 1, X	1
1	X	0, 1, X	X
0, X	0, 1, X	1	1
0, X	0, 1, X	0	0
0, X	0, 1, X	X	X

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён в описании модели-экземпляра (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал out описывается таблицей:

SET	RESET	OUT	NOUT
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	X	X
0	0	IC	~IC

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение IC определяется параметром ic.

- Ёмкость порта data определяется значением параметра data_load. Ёмкость порта clk определяется значением параметра clk_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и pout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и pout определяется значением параметра fall_delay.

Пример:

```
a7 1 2 3 4 5 6 flop1
.model flop1 d_dff (clk_delay=13.0e-9 set_delay=25.0e-9
+ reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9
+ fall_delay=3e-9)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Цифровой JK-триггер с динамическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <J> <K> <CLK> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<J>	порт j;
<K>	порт k;
<CLK>	порт clk;
<SET>	порт set;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
j	сигнал J	вход	d	d	нет	-	нет
k	сигнал K	вход	d	d	нет	-	нет
clk	сигнал CLK	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установки SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_jkff ([CLK_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [JK_LOAD=...] [CLK_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_delay	задержка сигнала CLK	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала SET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала RESET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	целый	0	[0; 2]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
jk_load	ёмкость портов j и k	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
clk_load	ёмкость порта clk	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
set_load	ёмкость порта set	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует синхронный JK-триггер с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Данные фиксируются по положительному фронту сигнала clk. Входной сигнал clk испытывает задержку, определяемую значением параметра clk_delay; входной сигнал set испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал reset испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

SET	RESET	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0	0	0
0, X	0	1	1
0, X	0	X	X
0, X	1	0, 1, X	0
0, X	X	0	0
0, X	X	1	1
0, X	X	X	X
1	0	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	X
1	X	0, 1, X	1

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера.

Таблица синхронных состояний триггера (определяются по изменению clk), если сигналы портов set и reset равны логическому «0» или неопределённому логическому состоянию «X»:

CLK	J	K	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	0	X	X
1	0	1	0, 1, X	0
1	0, 1	X	0, 1, X	X
1	1	0	0, 1, X	1
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1
1	1	1	X	X
1	X	0, 1, X	0, 1, X	X
0, X	0, 1, X	0, 1, X	1	1
0, X	0, 1, X	0, 1, X	0	0
0, X	0, 1, X	0, 1, X	X	X

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал out описывается таблицей:

SET	RESET	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	X	X
0	0	IC	~IC

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение IC определяется параметром ic.

- Ёмкость портов j и k определяется значением параметра jk_load. Ёмкость порта clk определяется значением параметра clk_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и nout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и nout определяется значением параметра fall_delay.

Пример:

```
a8 1 2 3 4 5 6 7 flop2
.model flop2 d_jkff (clk_delay=13.0e-9 set_delay=25.0e-9
+ reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9 fall_delay=3e-9)
```

Цифровой T-триггер с динамическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <T> <CLK> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<T>	порт t;
<CLK>	порт clk;
<SET>	порт set;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
t	сигнал T	вход	d	d	нет	-	нет
clk	сигнал CLK	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установка SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_tff ([CLK_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [T_LOAD=...] [CLK_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_delay	задержка сигнала CLK	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала SET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала RESET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	целый	0	[0; 2]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
t_load	ёмкость порта t	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_load	ёмкость порта clk	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
set_load	ёмкость порта set	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует синхронный T-триггер с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Данные фиксируются по положительному фронту сигнала clk. Входной сигнал clk испытывает задержку, определяемую значением параметра clk_delay; входной сигнал set испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал reset испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

SET	RESET	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0, X	0	0
0, X	0, X	1	1
0, X	0, X	X	X
0, X	1	0, 1, X	0
1	0, X	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	X

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера.

Таблица синхронных состояний триггера (определяются по изменению clk), если сигналы портов set и reset равны логическому «0» или неопределённому логическому состоянию «X»:

CLK	T	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0	0	0
1	0	1	1
1	0, 1	X	X
1	1	0	1
1	1	1	0
1	X	0, 1, X	X
0, X	0, 1, X	1	1

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

CLK	T	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0, 1, X	0	0
0, X	0, 1, X	X	X

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал out описывается таблицей:

SET	RESET	OUT	NOUT
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	X	X
0	0	IC	~IC

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение IC определяется параметром ic.

- Ёмкость порта t определяется значением параметра t_load. Ёмкость порта clk определяется значением параметра clk_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и nout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и nout определяется значением параметра fall_delay.

Пример:

```
a8 2 12 4 5 6 3 flop3
.model flop3 d_tff(clk_delay=13.0e-9 set_delay=25.0e-9
+ reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9 fall_delay=3e-9
+ t_load=0.2e-12)
```

Цифровой SR-триггер с динамическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <S> <R> <CLK> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<S>	порт s;
<R>	порт r;
<CLK>	порт clk;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<SET>	- порт set;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
s	сигнал S	вход	d	d	нет	-	нет
r	сигнал R	вход	d	d	нет	-	нет
clk	сигнал CLK	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установки SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_srf ( [CLK_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [SR_LOAD=...] [CLK_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...] )
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_delay	задержка сигнала CLK	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала SET	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала RESET	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	целый	0	[0; 2]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	c	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
sr_load	ёмкость портов s и r	ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
clk_load	ёмкость порта clk	ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
set_load	ёмкость порта set	ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
reset_load	ёмкость порта reset	ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует синхронный SR-триггер с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Данные фиксируются по положительному фронту сигнала clk. Входной сигнал clk испытывает задержку, определяемую значением параметра clk_delay; входной сигнал set испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал reset испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

SET	RESET	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0, X	0	0
0, X	0, X	1	1
0, X	0, X	X	X
0, X	1	0, 1, X	0
1	0, X	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	X

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера.

Таблица синхронных состояний триггера (определяются по изменению clk), если сигналы портов set и reset равны логическому «0» или неопределённому логическому состоянию «X»:

CLK	S	R	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	0	X	X
1	0	1	0, 1, X	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

CLK	S	R	OUT(t-1)	OUT(t)
1	0, 1	X	0, 1, X	X
1	1	0	0, 1, X	1
1	1	1	0, 1, X	X
1	X	0, 1, X	0, 1, X	X
0, X	0, 1, X	0, 1, X	1	1
0, X	0, 1, X	0, 1, X	0	0
0, X	0, 1, X	0, 1, X	X	X

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал out описывается таблицей:

SET	RESET	OUT	NOUT
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	X	X
0	0	IC	~IC

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение IC определяется параметром ic.

- Ёмкость портов s и r определяется значением параметра sr_load. Ёмкость порта clk определяется значением параметра clk_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и pout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и pout определяется значением параметра fall_delay.

Пример:

```
adsrff8 2 12 4 5 6 3 14 srff1
.model srff1 d_srff(clk_delay=13.0e-9 set_delay=25.0e-9
+ reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9 fall_delay=3e-9)
```

Цифровая D-защёлка со статическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA> <ENABLE> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DATA>	порт data;
<ENABLE>	порт enable;
<SET>	порт set;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа;

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data	сигнал данных DATA	вход	d	d	нет	-	нет
enable	сигнал разрешения ENABLE	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установки SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_dlatch ([DATA_DELAY=...] [ENABLE_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [DATA_LOAD=...] [ENABLE_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
data_delay	задержка сигнала DATA	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
enable_delay	задержка сигнала ENABLE	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала SET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
reset_delay	задержка сигнала RESET	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	целый	0	[0; 2]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
data_load	ёмкость порта data	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
enable_load	ёмкость порта enable	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
set_load	ёмкость порта set	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует D-защёлку с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Сигнал порта data передаётся на порт out, и в инвертированном виде на порт pout, только при наличии сигнала логической единицы на порте enable. Входной сигнал DATA испытывает задержку, определяемую значением параметра data_delay; входной сигнала ENABLE испытывает задержку, определяемую значением параметра enable_delay; входной сигнал SET испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал RESET испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

CLK	S	R	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0, X	0, X	0	0
0, X	0, X	0, X	1	1
0, X	0, X	0, X	X	X
0, X	0, X	1	0, 1, X	D
0, X	1	0, 1, X	0, 1, X	0
1	0	0, 1, X	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	0, 1, X	X
1	X	0, 1, X	0, 1, X	1

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера.

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал OUT описывается таблицей:

SET	RESET	ENABLE	OUT	NOUT
1	0	0, 1, X	1	0
0	1	0, 1, X	0	1
1	1	0, 1, X	X	X
0	0	0, X	IC	~IC
0	0	1	DATA	~DATA

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение сигнала IC определяется параметром ic.

- Ёмкость порта data определяется значением параметра data_load. Ёмкость порта enable определяется значением параметра enable_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и nout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и nout определяется значением параметра fall_delay.

Пример:

```
adlatch4 12 4 5 6 3 14 dlatch1
.model dlatch1 d_dlatch(data_delay=13.0e-9 enable_delay=22.0e-9
+ set_delay=25.0e-9 reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9
+ fall_delay = 3e-9)
```

Цифровая SR-защёлка со статическим управлением

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <S> <R> <ENABLE> [<SET>] [<RESET>] [<OUT>] [<NOUT>] <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<S>	порт s;
<R>	порт r;
<ENABLE>	порт enable;
<SET>	порт set;
<RESET>	порт reset;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<OUT>	порт out;
<NOUT>	порт nout;
<MNAME>	имя модели-прототипа;

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
s	сигнал S	вход	d	d	нет	-	нет
r	сигнал R	вход	d	d	нет	-	нет
enable	сигнал разрешения ENABLE	вход	d	d	нет	-	нет
set	сигнал установки SET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
reset	сигнал сброса RESET (асинхронный)	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал выхода	выход	d	d	нет	-	да
nout	сигнал выхода инверсный	выход	d	d	нет	-	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_srlatch ([SR_DELAY=...] [ENABLE_DELAY=...] [SET_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [IC=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [SR_LOAD=...] [ENABLE_LOAD=...] [SET_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
sr_delay	задержка сигналов s и r	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
enable_delay	задержка сигнала enable	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
set_delay	задержка сигнала set	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала reset	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	целый	0	[0; 2]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
sr_load	ёмкость портов s и r	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
enable_load	ёмкость порта enable	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
set_load	ёмкость порта set	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует синхронный SR-триггер с дополнительными асинхронными входами установки и сброса, которые можно определить при необходимости. Сигнал порта data передаётся на порт out, и в инвертированном виде на порт pou, только при наличии сигнала логической единицы на порте enable. Входные сигналы S и R испытывают задержку, определяемую значением параметра sr_delay; входной сигнала ENABLE испытывает задержку, определяемую значением параметра enable_delay; входной сигнал SET испытывает задержку, определяемую значением параметра set_delay; входной сигнал RESET испытывает задержку, определяемую значением параметра reset_delay. Сигналы установки SET и сброса RESET являются асинхронными.

Таблица истинности асинхронного управления триггером:

SET	RESET	ENABLE	OUT(t-1)	OUT(t)
0, X	0, X	0, X	0	0
0, X	0, X	0, X	1	1
0, X	0, X	0, X	X	X
0, X	0, X	1	0, 1, X	SROUT
0, X	1	0, 1, X	0, 1, X	0
1	0	0, 1, X	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	0, 1, X	X
1	X	0, 1, X	0, 1, X	1

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

OUT(t-1) – прошлое состояние триггера, OUT(t) – текущее состояние триггера, SROUT описывается таблицей ниже:

S	R	OUT(t-1)	SROUT(t)
0	0	0	0
0	0	1	1
0	0	X	X
0	1	0, 1, X	0
0, 1	X	0, 1, X	X
1	0	0, 1, X	1
1	1	0, 1, X	X
X	0, 1, X	0, 1, X	X

Состояние триггера не меняется, если сигналы портов set и reset равны логической «1».

- Если порт set или reset не определён (значение null), то значение этого порта принимает состояние логического «0» (ZERO).
- При начальной инициализации модели выходной сигнал out описывается таблицей:

SET	RESET	ENABLE	S	R
1	0	0, 1, X	0, 1, X	0, 1, X
0	1	0, 1, X	0, 1, X	0, 1, X
1	1	0, 1, X	0, 1, X	0, 1, X
0	0	0, X	0, 1, X	0, 1, X
0	0	1	0	0, X
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	0	1	1	1, X
0	0	1	X	0, 1, X

Значение IC=0 соответствует логическому «0», значение IC=1 соответствует логической «1», значение IC=2 соответствует неопределённому логическому состоянию «X». Значение IC определяется параметром ic.

- Ёмкость портов s и r определяется значением параметра sr_load. Ёмкость порта enable определяется значением параметра enable_load. Ёмкость порта set определяется значением параметра set_load. Ёмкость порта reset определяется значением параметра reset_load.
- Задержка переднего фронта выходного сигнала на портах out и pout определяется значением параметра rise_delay. Задержка заднего фронта сигнала на портах out и pout определяется значением параметра fall_delay.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
aSRlatch4 12 4 5 6 3 14 16 SRlatch2
.model SRlatch2 d_sr latch(sr_delay=13.0e-9 enable_delay=22.0e-9
+ set_delay=25.0e-9 reset_delay=27.0e-9 ic=2 rise_delay=10.0e-9
+ fall_delay = 3e-9)
```

Цифровой автомат состояний

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <CLK> <RESET> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<CLK>	порт out;
<RESET>	порт reset;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	сигнал(ы) IN	вход	d	d	да	-	да
clk	сигнал CLK	вход	d	d	нет	-	нет
reset	сигнал RESET	вход	d	d	нет	-	да
out	сигнал(ы) OUT	выход	d	d	да	[1; -]	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_state ([CLK_DELAY=...] [RESET_DELAY=...] [STATE_FILE=...] [RESET_STATE=...] [INPUT_LOAD=...] [CLK_LOAD=...] [RESET_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
clk_delay	задержка входного сигнала CLK	с	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да
reset_delay	задержка сигнала RESET	с	действительный	1.0e-9	-	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
state_file	имя файла перечня состояний	-	текстовый	"state.txt"	-	нет	-	нет
reset_state	номер состояния автомата после сброса или при расчёте по постоянному току	-	целый	0	-	нет	-	нет
input_load	ёмкость порта in	Ф	действительный	1e-12	-	нет	-	нет
clk_load	ёмкость порта clk	Ф	действительный	1e-12	-	нет	-	нет
reset_load	ёмкость порта reset	Ф	действительный	1e-12	-	нет	-	нет

Примечания:

- Модель реализует цифровой автомат состояний, который описывает динамический (тактируемый) блок комбинационной логики с переменным количеством входов и выходов и неограниченным числом состояний. Такой блок может заменить собой целую комбинационную логическую цепь в форме описания конечных состояний. Это позволяет значительно сократить и абстрагировать описание комбинационной цепи, которая может быть реализована, например, на ПЛИС (CPLD).
- Описание состояний должно быть приведено в файле, имя файла должно быть определено значением параметра state_file. По умолчанию файл должен быть расположен в той же директории, что и файл задания *.nsx.
- На каждом переднем фронте импульса сигнала CLK автомат состояний сверяется с текущим состоянием и выполняет переход в зависимости от значения сигналов входного порта in.
- После подачи положительного сигнала на порт reset происходит сброс автомата состояний. Начальное состояние автомата после сброса может быть задано значением параметра reset_state.
- Ёмкость порта in определяется значением параметра input_load; ёмкость порта clk определяется значением параметра clk_load; ёмкость порта reset определяется значением параметра rest_load.

Описание структуры файла состояний:

```
* <комментарий>
<STATE> <OUT0> [<OUT1>...<OUTK>] <IN0> [<IN1>...<INM>] -> <NEXT_STATE>
[<IN0> [<IN1>...<INM>] -> <NEXT_STATE>]
```

<STATE>	-	номер состояния должен начинаться с 0, номер состояния в описании должен последовательно возрастать.
<IN0>, <IN1>, <INM>	-	значения векторных компонент входного порта in;

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<OUT>, <OUT1>, <OUTK>	- значения векторных компонент выходного порта out;
<NEXT_STATE>	- номер следующего состояния, в которое должен перейти автомат из текущей конфигурации.

Каждое состояние может иметь несколько конфигураций. Конфигурации отличаются друг от друга только состоянием входного порта in. Первая конфигурация состояния обязательно должна быть описана полностью с номером состояния и состоянием выходного порта out, последующие конфигурации состояния могут быть описаны сокращённо, используя только состояние входного порта in, разделитель «->» и номер следующего состояния. Первую конфигурацию состояния называют заголовком состояния, последующие конфигурации состояния называют продолжениями состояния.

Сигналы портов in и out должны перечисляться по порядку старшинства слева направо от младшего компонента входного вектора к старшему компоненту вектора сигналов. Эта последовательность критически важна для функционирования модели.

Пустые линии, содержащие только символы табуляций или пробелов или переводов каретки и других управляющих символов, а также символов «=», «(», «)», «,», системой не учитываются.

Комментарий допустим в любом месте файла, но только отдельной строкой.

Разделитель «->» используется для разграничения описания конфигурации состояния и номера следующего состояния, в которое перейдёт автомат при определённом значении сигналов порта in в момент возникновения переднего фронта импульса на порте clk. В качестве разделителя можно использовать любую непрерывную комбинацию символов (например, «==>», «>>», «:», «resolves_to» и т.п.).

Значения векторных компонент OUT должны быть описаны в виде <OUTLOG><STRENGTH>, где <OUTLOG> может принимать значения «0» для обозначения логического «0», «1» для обозначения логической «1» и «U» для обозначения неопределённого логического состояния «X»; <STRENGTH> – обозначение силы выхода, может принимать значение «S» – активный выход, «R» – третье состояние с доопределением, «Z» – третье состояние, «U» – неопределённое состояние. Буквы могут быть любого регистра. Например: 0s, 1s, Us, 0r, 1r, Ur, 0z, 1z, Uz, 0u, 1u, Uu.

Значения векторных компонент IN должны быть описаны в виде <INLOG>, где <INLOG> может принимать значения «0» для обозначения логического «0», «1» для обозначения логической «1» и «X» для обозначения логического неопределённого состояния «X». Буква может быть любого регистра.

Пример:

```
a4 [2 3 4 5] 1 12 [22 23 24 25 26 27 28 29] state1
.model state1 d_state(clk_delay=13.0e-9 reset_delay=27.0e-9
+ state_file="newstate.txt" reset_state=2)
```

Пример файла состояний:

```
* This is an example state.in file. This file defines
* a simple 2-bit counter with one input. The
* value of this input determines whether the counter counts
* up (in = 1) or down (in = 0).
0 0s 0s 0 -> 3
          1 -> 1
1 0s 1z 0 -> 0
          1 -> 2
2 1z 0s 0 -> 1
          1 -> 3
3 1z 1z 0 -> 2
3 1z 1z 1 -> 0
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Цифровой делитель частоты

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <FREQ_IN> <FREQ_OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<FREQ_IN>	порт freq_in;
<FREQ_OUT>	порт freq_out
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
freq_in	сигнал частоты входной	вход	d	d	нет	-	нет
freq_out	сигнал частоты выходной	выход	d	d	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_fdiv ([DIV_FACTOR=...] [HIGH_CYCLES=...] [I_COUNT=...] [RISE_DELAY=...] [FALL_DELAY=...] [FREQ_IN_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
div_factor	коэффициент деления частоты	-	целый	2	[1; -]	нет	-	да
high_cycles	количество максимумов тактовых импульсов	-	целый	1	[1; div_factor-1]	нет	-	да
i_count	начальное значение отсчёта	-	целый	0	[0; -]	нет	-	да
rise_delay	задержка переднего фронта сигнала («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
fall_delay	задержка заднего фронта сигнала («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
freq_in_load	ёмкость порта freq_in	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует делитель частоты цифрового сигнала. Входной сигнал поступает на порт freq_in, а выходной сигнал формируется на порте freq_out. Длительность периода выходного сигнала определяется значением параметра div_factor. Для этого внутренний счётчик модели считает количество передних фронтов сигнала на порте freq_in. Длительность импульса порта freq_out определяется параметром high_cycles, при этом отсчёт ведётся по передним фронтам на порте freq_out. Таким образом соотношение div_factor/high_cycles определяет скважность сигнала порта freq_out.
- Параметр i_count определяет начальное значение счётчика модели при инициализации и для расчёта по постоянному току. Если значение i_count=0, то начальное состояние сигнала порта freq_out соответствует логическому «0». Если значение i_count < 0 или div_factor<=i_count, тогда значение i_count считается равным 0, а сигнал freq_out инициализируется в состоянии логический «0». Если значение i_count > 0 и i_count<=high_cycles, тогда сигнал порта freq_out инициализируется в состоянии логической «1».
- Задержка переднего фронта сигнала порта freq_out определяется значением параметра rise_delay, задержка заднего фронта сигнала порта freq_out определяется значением параметра fall_delay.
- Ёмкость порта freq_in определяется значением параметра freq_in_load.

Пример:

```
adfddiv 3 7 freq_divider1
.model freq_divider1 d_fdiv(div_factor=5 high_cycles=3 i_count=4
+ rise_delay=23e-9 fall_delay=9e-9)
```

Цифровая память с произвольным доступом

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA_IN> <DATA_OUT> <ADDRESS> <WRITE_EN> <SELECT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DATA_IN>	порт data_in;
<DATA_OUT>	порт data_out;
<ADDRESS>	порт address;
<WRITE_EN>	порт write_en;
<SELECT>	порт select;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data_in	сигнал(ы) DI входной шины данных	вход	d	d	да	[1; -]	нет
data_out	сигнал(ы) DO выходной шины данных	выход	d	d	да	[data_in; -]	нет
address	сигнал(ы) A шины адреса	вход	d	d	да	[1; -]	нет
write_en	сигнал WE разрешения записи	вход	d	d	нет	-	нет
select	сигнал(ы) SEL разрешения работы	вход	d	d	да	[1; 16]	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_ram ([SELECT_VALUE=...] [IC=...] [READ_DELAY=...] [DATA_LOAD=...] [ADDRESS_LOAD=...] [SELECT_LOAD=...] [ENABLE_LOAD=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
select_value	значение адреса разрешения работы	-	целый	1	[0; 32767]	нет	-	да
ic	начальное состояния	-	целый	2	[0; 2]	нет	-	да
read_delay	задержка чтения	с	действительный	1.0e-7	[1e-12; -]	нет	-	да
data_load	ёмкость порта data	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
address_load	ёмкость порта address	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
select_load	ёмкость порта select	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да
enable_load	ёмкость порта write_en	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует память с произвольным доступом. Сигналы выбора поступают на порт select и сравниваются со значением параметра select, при совпадении память доступна для работы. При поступлении сигнала логической «1» на порт write_en данные порта data_in переносятся в ячейку памяти, адрес которой определяется сигналами порта address. При поступлении логического «0» на порт write_en данные ячейки памяти, адрес которой определяется сигналами порта address, передаётся на порт data_out.
- Доступ к управлению памятью активен, если на порт select приходит такое же двоичное слово, которое в пересчёте на десятичное число указано в качестве значения параметра select_val.
- Состояние сигналов порта data_out для расчёта по постоянному току определяется параметром ic. Значение ic=0 определяет состояние логического «0», значение ic=1 определяет состояние логической «1», значение ic=2 определяет неопределённое логическое состояние.
- Задержка изменения состояния порта data_out относительно изменения состояния сигналов A, S, WE.
- Ёмкость порта data_load определяется значением параметра data_load; ёмкость порта address определяется значением параметра address_load; ёмкость порта select определяется значением параметра select_load; ёмкость порта write_en определяется значением параметра enable_load.

Пример:

```
a4 [3 4 5 6] [3 4 5 6] [12 13 14 15 16 17 18 19] 30 [22 23 24] ram2
.model ram2 d_ram(select_value=2 ic=2 read_delay=80e-9)
```

Цифровой источник сигнала

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
out	сигнал(ы) OUT	выход	d	d	да	[1; -]	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_source ([INPUT_FILE=...] [INPUT_LOAD=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
input_file	имя файла входных данных	-	текстовый	source.txt	-	нет	-	нет
input_load	ёмкость порта i	Ф	действительный	1.0e-12	-	нет	-	нет

Примечания:

- Модель реализует источник цифрового сигнала. Выходной порт модели может состоять из множества сигналов. Состояние выходного порта определяется как набор сигналов, соотнесённых с временными метками. Данные временных меток и состояния сигналов порта out определяются во внешнем файле. Имя внешнего файла определяется значением параметра input_file.
- По умолчанию предполагается, что файл входных данных расположен в том же каталоге, что и файл задания *.nsx.

Описание файла входных данных:

```
* <комментарий>  
<0> <s1> [<s2>..<<sk>]  
[<time> <s1> [<s2>..<<sk>]]
```

<0> первая временная метка.

<time> временная метка. Значение временной метки должно быть действительным числом, допустимы инженерные приставки, характерные для SPICE.

<s1>...<sk> значения сигналов порта out с 1-го по k-й (порт должен быть определён с k сигналами).

Комментарий всегда должен начинаться с символа «*». Комментарий всегда должен быть описан в отдельной строке.

Сигналы в файле должны перечисляться по порядку старшинства слева направо от младшего компонента входного вектора к старшему компоненту вектора сигналов. Эта последовательность критически важна для функционирования модели.

Пустые линии, содержащие только символы табуляций или пробелов или переводов каретки и других управляющих символов, а также символов «=», «(», «)», «,», системой не учитываются.

Если в файле встречается строка, которая не удовлетворяет описанному формату, или количество компонентов порта out в ней недостаточно для полного определения всех компонентов порта, то возникнет ошибка исполнения.

Все временные метки должны монотонно возрастать, иначе возникнет ошибка исполнения.

Значения компонент сигнала OUT должны быть описаны в виде <OUTLOG><STRENGTH>, где <OUTLOG> может принимать значения «0» для обозначения логического «0», «1» для обозначения логической «1» и «U» для обозначения неопределённого логического состояния «X»; <STRENGTH> – обозначение силы выхода, может принимать значение «S» – активный выход, «R» – третье состояние с доопределением, «Z» – третье состояние, «U» – неопределённое состояние. Буквы могут быть любого регистра. Например: 0s, 1s, Us, 0r, 1r, Ur, 0z, 1z, Uz, 0u, 1u, Uu.

Пример:

```
a3 [2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17] input_vector
.model input_vector d_source(input_file="source_simple.text")
```

Пример файла входных данных:

```
* T      c      n      n      n
* I              l      o      o      o
* m      o      d      d      d
* e      c      e      e      e
*          k      a      b      c

0.0000    Uu Uu Us Uu
1.234e-9  0s  1s  1s  0z
1.376e-9  0s  0s  1s  0z
2.5e-7    1s  0s  1s  0z
2.5006e-7 1s  1s  1s  0z
5.0e-7    0s  1s  1s  0z
```

Преобразователь цифрового сигнала в действительный

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> [<ENABLE>] <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<ENABLE>	порт enable;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	d	d	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	real (действительный)	real	нет	-	нет
enable	сигнал разрешения работы	вход	d	d	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> d_to_real ([ZERO=...] [ONE=...] [DELAY=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
zero	значение для логического «0»	-	действительный	0.0	-	нет	-	да
one	значение для логической «1»	-	действительный	1.0	-	нет	-	да
delay	задержка	с	действительный	1e-9	[1e-15; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует преобразователь сигнала из цифрового домена в действительное число (тип сигнала real). В отличие от напряжений и токов действительный числа не могут содержать комплексной составляющей. Цифровой сигнал поступает на порт in, преобразуется в действительное число в соответствии со значениями параметров zero и one. Преобразованный сигнал передаётся на порт out с задержкой, определяемой значением параметра delay.
- Если определён узел для порта enable, то цифровой сигнал, приведённый к данному порту, управляет разрешением выдачи выходного сигнала на порте out.

Пример:

```
ad2real1 input enable output d2real_test  
.model d2real_test d_to_real (zero=0.1 one=2.4 delay=1e-6)
```

Задержка для действительного сигнала

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <CLK> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<CLK>	порт clk;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	real (действительный)	real	нет	-	нет
clk	сигнал тактирования	вход	d		нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	real (действительный)	real	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> real_delay ([DELAY=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
delay	задержка от изменения сигнала на порте clk до изменения сигнала на порте out	с	действительный	1e-9	[1e-15; -]	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует блок задержки для сигнала из действительного домена (тип сигнала real). Входной сигнал подаётся на порт in, фиксация значений последовательности происходит по тактирующему цифровому сигналу (положительный фронт) на порте clk, в сигнал выходного порта out принимает значение порта in. Значение на порте out возникает с задержкой, определяемой параметром delay.

Пример:

```
ardl input clock out realdelay  
.model realdelay real_delay (delay=1e-6)
```

Умножение для действительного сигнала

Модель-экземпляра:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	real (действительный)	real	нет	-	нет
out	выходной сигнал	выход	real (действительный)	real	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> real_gain ([IN_OFFSET=...] [GAIN=...] [OUT_OFFSET=...] [DELAY=...] [IC=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
in_offset	смещение входного сигнала	-	действительный	0.0	-	нет	-	да
gain	усиление выходного сигнала	-	действительный	1.0	-	нет	-	да
out_offset	смещение выходного сигнала	-	действительный	0.0	-	нет	-	да
delay	задержка	-	действительный	1e-9	-	нет	-	да
ic	начальное состояние	-	действительный	0.0	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует блок смещения и умножения действительного числа в действительном домене (тип сигнала real).
- Для расчёта по постоянному току значение параметра ic определяет значение выходного сигнала.
- Для расчёта переходного процесса входной сигнал на порте in смещается на величину, определяемую значением параметра in_offset. Результат умножается на величину параметра gain. Вычисленное значение смещается на величину, определяемую значением параметра out_offset. Вычисленный сигнал передаётся на порт out по прошествии времени, определяемого значением параметра delay.

Пример:

```
arealg1 input output rgain
.model rgain real_gain (in_offset=0.3 out_offset=0.5
+ gain=2.2 delay=2e-8 ic=3.4)
```

Преобразователь действительного сигнала в аналоговый

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	real (действительный)	real	нет	-	нет
out	выходной сигнал	вход	v	v, vd, i, id	нет	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> real_to_v ([GAIN=...] [TRANSITION_TIME=...])
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
gain	усиление	-	действительный	1.0	-	нет	-	да
transition_time	время переноса	-	действительный	1e-9	[1e-15; -]	нет	-	да

Примечания:

Модель реализует преобразователь сигнала из действительного домена (тип сигнала real) в аналоговый домен. Входной сигнал поступает на порт in, преобразуется в аналоговый домен, умножается на величину, определяемую значением параметра gain, передается на выходной порт out с задержкой, определяемой значением параметра transition_time.

Пример:

```
ar2v1 input output r2v
.model r2v r_to_v (gain=2.4 transition_time=1e-8)
```

Модели Digital SimCode

Цифровой элемент Digital SimCode

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA_IN> <DATA_OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DATA_IN>	порт data_in;
<DATA_OUT>	порт data_out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data_in	сигналы входные	вход	d	d	да	[1; -]	нет
data_out	сигналы выходные	выход	d	d	да	[1; -]	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> simcode ([FILE=...] [FUNC=...] [DATA=...] [UNKNOWN_INPUT=...] [TP=...] [TT=...] [DRV=...]  
[I=...] [LD=...] [VTH=...] [USER=...] [WARN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
file	имя файла моделей SimCode	-	текстовый	sim_code.txt	-	нет	-	да
func	имя функции в файле	-	текстовый	function	-	нет	-	нет
data	имя файла данных для функции	-	текстовый	none	-	нет	-	да
unknown_input	признак интерпретации неопределённого логического состояния для сигналов порта data_in	-	целый	1	[0; 1]	нет	-	да
tp	задержка распространения сигналов	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
tt	длительность фронта сигналов порта data_out	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
drv	индекс питающей способности выходных выводов	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
i	индекс тока потребления по цепи питания	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
ld	индекс эквивалентной нагрузки входных выводов	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
user	индекс параметра пользователя	-	целый	1	[0; 2]	нет	-	да
warn	выбор уровня событий для сообщений модели	-	целый	1	[0; 1]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует произвольное цифровое устройство. Функциональность устройства должна быть описана на языке Digital SimCode во внешнем файле. Один файл может содержать несколько описаний устройств на языке Digital SimCode. Имя файла определяется значением параметра file. Название описания устройства из файла определяется значением параметра func.
- В некоторых случаях работа модели, описанной на языке Digital SimCode, должна опираться на дополнительные данные. Такие данные должны быть описаны в дополнительном внешнем файле. Имя файла дополнительных данных определяется значением параметра data.
- Флаг unknown_input определяет интерпретацию неопределённого логического состояния для сигналов входного порта. Если значение unknown_input=0, то входной сигнал неопределённого состояния «X» интерпретируется как логический «0». Если значение unknown_input=1, то сигнал неопределённого логического состояния «X» интерпретируется как логическая «1».
- Параметр tr определяет индекс задержки распространения. Параметр tr аналогичен параметру TPMNTYMX, задаваемому в разделе Advanced Options настроек профиля имитатора. Значение tr имеет приоритет над TPMNTYMX. В модели Digital SimCode значение параметра tr, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной tr_param, имя которой зарезервировано. Значение переменной tr_param можно использовать в качестве индекса функции MIN_TYP_MAX для определения задержки распространения. Если tr=0, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode, используется минимальное значение. Если tr=1, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется номинальное значение. Если tr=2, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется максимальное значение.
- Параметр tt определяет индекс задержки распространения. Параметр tt аналогичен параметру TTMNTYMX, задаваемому в разделе Advanced Options настроек профиля имитатора. Значение tt имеет приоритет над TTMNTYMX. В модели Digital SimCode значение параметра tt, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной tt_param, имя которой зарезервировано. Значение переменной tt_param можно использовать в качестве индекса функции MIN_TYP_MAX для определения длительности фронта. Если tt=0, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется минимальное значение. Если tt=1, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется номинальное значение. Если tt=2, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется максимальное значение.
- Параметр drv определяет индекс сопротивления выходного порта. Параметр drv аналогичен параметру DRVMNTYMX, задаваемому в разделе Advanced Options настроек профиля имитатора. Значение drv имеет приоритет над DRVMNTYMX. В модели Digital SimCode значение параметра drv, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной drv_param, имя которой зарезервировано. Значение переменной drv_param можно использовать в качестве индекса функции MIN_TYP_MAX для определения выходного сопротивления выводов выходного порта. Если drv=0, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется минимальное значение. Если drv=1, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется номинальное значение. Если drv=2, то для расчёта результата функции MIN_TYP_MAX в описании модели Digital SimCode используется максимальное значение.

- Параметр *i* определяет индекс тока потребления тех выводов входного и выходного портов, которые определены как выводы питания. Параметр *i* аналогичен параметру `IMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение *i* имеет приоритет над `IMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра *i*, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `i_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `i_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYP_MAX` для определения тока потребления питания имитируемого цифрового устройства. Если *i*=0, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если *i*=1, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если *i*=2, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр *ld* определяет индекс нагружения для входных выводов. Параметр *ld* аналогичен параметру `LDMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение *ld* имеет приоритет над `LDMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра *ld*, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `ld_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `ld_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYP_MAX` для определения входного сопротивления входных выводов имитируемого цифрового устройства. Если *ld*=0, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если *ld*=1, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если *ld*=2, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр *user* определяет индекс пользовательского параметра. Параметр *user* аналогичен параметру `USERMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение *user* имеет приоритет над `USERMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра *user*, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `user_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `user_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYP_MAX` на усмотрение разработчика модели имитируемого цифрового устройства. Если *user*=0, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если *user*=1, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если *user*=2, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр *warn* определяет разрешение вывода предупреждающих сообщений. Параметр *warn* аналогичен параметру `SIMWARN`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. В модели `Digital SimCode` значение параметра *warn*, хранится в целочисленной переменной `warn_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `warn_param`, определённое натуральным числом, приводит к выводу сообщений о событиях модели. Разработчик модели цифрового устройства может определять в модели ранжирование сообщений для событий разного уровня важности, например, в целях отладки, извещения о нарушении граничных условий существования модели и т.п.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Пример:

```
AD1 [VCC GND VGG VRP VRM VIN CLK SC OE]
+[VCC CLK SC OE D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 EOC] ADC0800
.model adc0800 simcode(file=
+ "{MODEL_PATH}\National semiconductor\adc0800.txt" func="adc0800")
```

Цифровой элемент улучшенный *Digital SimCode*

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA_IN> <DATA_OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	-	имя модели-экземпляра;
<DATA_IN>	-	порт data_in;
<DATA_OUT>	-	порт data_out;
<MNAME>	-	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data_in	сигналы, входные	вход	xd	xd	да	[1; -]	да
data_out	сигналы, формируемые	выход	xd	xd	да	[1; -]	да

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> xsimcode ([FILE=...] [FUNC=...] [DATA=...] [UNKNOWN_INPUT=...] [TP=...] [TT=...] [DRV=...] [I=...] [LD=...] [VTH=...] [USER=...] [WARN=...] [GND=...] [PWR=...] [VIL=...] [VIH=...] [VOL=...] [VOH=...] [V3S=...] [R3S=...] [ROL=...] [ROH=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
file	имя файла моделей SimCode	-	текстовый	sim_code.txt	-	нет	-	да
func	имя функции в файле	-	текстовый	function	-	нет	-	нет
data	имя файла данных для функции	-	текстовый	none	-	нет	-	да
unknown_input	признак интерпретации неопределённого логического состояния для сигналов порта data_in	-	целый	1	[0; 1]	нет	-	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
tp	задержка распространения сигналов	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
tt	длительность фронта сигналов порта data_out	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
drv	индекс питающей способности выходных выводов	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
i	индекс тока потребления по цепи питания	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
ld	индекс эквивалентной нагрузки входных выводов	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
user	индекс параметра пользователя	–	целый	1	[0; 2]	нет	–	да
warn	выбор уровня событий для сообщений модели	–	целый	1	[0; 1]	нет	–	да
gnd	напряжение цепи питания вывода gnd по умолчанию	В	действительный	0.0	–	нет	–	да
pwr	напряжение цепи питания вывода pwr по умолчанию	В	действительный	0.0	–	нет	–	да
vil	уровень напряжения сигналов порта data_in, идентифицируемый с логическим «0»	В	действительный	0.8	–	нет	–	да
vih	уровень напряжения сигналов порта data_in, идентифицируемый с логической «1»	В	действительный	2.0	–	нет	–	да
vol	уровень напряжения сигналов порта data_out, идентифицируемый с логическим «0»	В	действительный	0.15	–	нет	–	да

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
voh	уровень напряжения сигналов порта data_out, идентифицируемый с логической «1»	В	действительный	4.5	-	нет	-	да
v3s	уровень напряжения сигналов порта data_out, идентифицируемый с третьим логическим состоянием	В	действительный	0.15	-	нет	-	да
r3s	выходное сопротивление порта data_out, для третьего логического состояния	Ом	действительный	25e4	[0.0; -]	нет	-	да
rol	выходное сопротивление порта data_out, для состояния логического «0»	Ом	действительный	25	[0.0; -]	нет	-	да
roh	выходное сопротивление порта data_out, для состояния логической «1»	Ом	действительный	150	[0.0; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует произвольное цифровое устройство. Функциональность устройства должна быть описана на языке Digital SimCode во внешнем файле. Один файл может содержать несколько описаний устройств на языке Digital SimCode. Имя файла определяется значением параметра file. Название описания устройства из файла определяется значением параметра func.
- В некоторых случаях работа модели, описанной на языке Digital SimCode, должна опираться на дополнительные данные. Такие данные должны быть описаны в дополнительном внешнем файле. Имя файла дополнительных данных определяется значением параметра data.
- Флаг unknown_input определяет интерпретацию неопределённого логического состояния для сигналов входного порта. Если значение unknown_input=0, то входной сигнал неопределённого состояния «X» интерпретируется как логический «0». Если значение unknown_input=1, то сигнал неопределённого логического состояния «X» интерпретируется как логическая «1».

- Параметр `tr` определяет индекс задержки распространения. Параметр `tr` аналогичен параметру `TRMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `tr` имеет приоритет над `TRMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `tr`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `tr_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `tr_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYR_MAX` для определения задержки распространения. Если `tr=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `tr=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `tr=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр `tt` определяет индекс задержки распространения. Параметр `tt` аналогичен параметру `TTMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `tt` имеет приоритет над `TTMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `tt`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `tt_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `tt_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYR_MAX` для определения длительности фронта. Если `tt=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `tt=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `tt=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр `drv` определяет индекс сопротивления компонентов выходного порта. Параметр `drv` аналогичен параметру `DRVMTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `drv` имеет приоритет над `DRVMTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `drv`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `drv_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `drv_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYR_MAX` для определения выходного сопротивления выводов выходного порта. Если `drv=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `drv=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `drv=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр `i` определяет индекс тока потребления устройства. Параметр `i` аналогичен параметру `IMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `i` имеет приоритет над `IMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `i`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `i_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `i_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYR_MAX` для определения тока потребления питания имитируемого цифрового устройства. Если `i=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `i=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `i=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр `ld` определяет индекс нагружения для входных выводов. Параметр `ld` аналогичен параметру `LDMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `ld` имеет приоритет над `LDMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `ld`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `ld_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `ld_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYR_MAX` для определения входного сопротивления входных выводов имитируемого цифрового устройства. Если `ld=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `ld=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `ld=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYR_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.

- Параметр `user` определяет индекс пользовательского параметра. Параметр `user` аналогичен параметру `USERMNTYMX`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. Значение `user` имеет приоритет над `USERMNTYMX`. В модели `Digital SimCode` значение параметра `user`, увеличенное на 1, хранится в целочисленной переменной `user_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `user_param` можно использовать в качестве индекса функции `MIN_TYP_MAX` на усмотрение разработчика модели имитируемого цифрового устройства. Если `user=0`, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется минимальное значение. Если `user=1`, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется номинальное значение. Если `user=2`, то для расчёта результата функции `MIN_TYP_MAX` в описании модели `Digital SimCode` используется максимальное значение.
- Параметр `warn` определяет разрешение вывода предупреждающих сообщений. Параметр `warn` аналогичен параметру `SIMWARN`, задаваемому в разделе `Advanced Options` настроек профиля имитатора. В модели `Digital SimCode` значение параметра `warn`, хранится в целочисленной переменной `warn_param`, имя которой зарезервировано. Значение переменной `warn_param`, определённое натуральным числом, приводит к выводу сообщений о событиях модели. Разработчик модели цифрового устройства может определять в модели ранжирование сообщений для событий разного уровня важности, например, в целях отладки, извещения о нарушении граничных условий существования модели и т.п.
- Параметр `gnd` определяет величину напряжения опорного вывода питания. В модели `Digital SimCode` параметр `gnd` хранится в действительной переменной `gnd_param`, имя которой зарезервировано. Значение `gnd_param` назначается опорному выводу питания, что в дальнейшем позволяет в модели `Digital SimCode` рассчитывать токи потребления и токи выводов порта `data_out`. Обычно для определения значения переменной `gnd_param` используется функция `PWR_GND_PINS` в описании модели имитируемого устройства на языке `Digital SimCode`. Параметр `gnd` модели имеет приоритет в определении значения переменной `gnd_param` перед использованием `PWR_GND_PIN`.
- Параметр `rwr` определяет величину напряжения вывода питания. В модели `Digital SimCode` параметр `rwr` хранится в действительной переменной `rwr_param`, имя которой зарезервировано. Значение `rwr_param` назначается выводу питания, что в дальнейшем позволяет в модели `Digital SimCode` рассчитывать токи потребления и токи выводов порта `data_out`. Обычно для определения значения переменной `rwr_param` используется функция `PWR_GND_PINS` в описании модели имитируемого устройства на языке `Digital SimCode`. Параметр `rwr` модели имеет приоритет в определении значения переменной `rwr_param` перед использованием `PWR_GND_PIN`.
- Параметр `vil` определяет напряжение логического «0» для входного порта `data_in`. В модели `Digital SimCode` параметр `vil` хранится в действительной переменной `vil_param`, имя которой зарезервировано. Обычно для определения значения переменной `vil_param` используется функция `VIL_VIH_VALUE` или `VIL_VIH_PERCENT` описания модели на языке `Digital SimCode`. Параметр `vil` модели имеет приоритет в определении значения переменной `vil_param` перед использованием `VIL_VIH_VALUE` или `VIL_VIH_PERCENT`.
- Параметр `vih` определяет напряжение логической «1» для входного порта `data_in`. В модели `Digital SimCode` параметр `vih` хранится в действительной переменной `vih_param`, имя которой зарезервировано. Обычно для определения значения переменной `vih_param` используется функция `VIL_VIH_VALUE` или `VIL_VIH_PERCENT` описания модели на языке `Digital SimCode`. Параметр `vih` модели имеет приоритет в определении значения переменной `vih_param` перед использованием `VIL_VIH_VALUE` или `VIL_VIH_PERCENT`.
- Параметр `vol` определяет напряжение логического «0» для выходного порта `data_out`. В модели `Digital SimCode` параметр `vol` хранится в действительной переменной `vol_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `vol_param` позволяет определить ток выходного вывода для состояния логического «0». Обычно для определения значения переменной `vol_param` используется функция `VOL_VOH_MIN` описания модели на языке `Digital SimCode`. Параметр `vol` модели имеет приоритет в определении значения переменной `vol_param` перед использованием `VOL_VOH_MIN`.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

- Параметр `rol` определяет сопротивление выходного порта `data_out` для логического «0». В модели Digital SimCode параметр `rol` хранится в действительной переменной `rol_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `rol_param` позволяет определить ток выходного вывода для состояния логического «0». Параметр `rol` имеет приоритет перед прямым определением переменной `rol_param` в описании модели на языке Digital SimCode.
- Параметр `voH` определяет напряжение логической «1» для выходного порта `data_out`. В модели Digital SimCode параметр `voH` хранится в действительной переменной `voH_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `voH_param` позволяет определить ток выходного вывода для состояния логической «1». Обычно для определения значения переменной `voH_param` используется функция `VOL_VOH_MIN` описания модели на языке Digital SimCode. Параметр `voH` модели имеет приоритет в определении значения переменной `voH_param` перед использованием `VOL_VOH_MIN`.
- Параметр `roh` определяет сопротивление выходного порта `data_out` для логической «1». В модели Digital SimCode параметр `roh` хранится в действительной переменной `roh_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `roh_param` позволяет определить ток выходного вывода для состояния логической «1». Параметр `roh` имеет приоритет перед прямым определением переменной `roh_param` в описании модели на языке Digital SimCode.
- Параметр `v3s` определяет напряжение неопределённого логического состояния для выходного порта `data_out`. В модели Digital SimCode параметр `v3s` хранится в действительной переменной `v3s_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `v3s_param` позволяет определить ток выходного вывода для третьего логического состояния. Параметр `v3s` имеет приоритет перед прямым определением переменной `v3s_param` в описании модели на языке Digital SimCode.
- Параметр `r3s` определяет сопротивление выходного порта `data_out` для третьего логического состояния. В модели Digital SimCode параметр `r3s` хранится в действительной переменной `r3s_param`, имя которой зарезервировано. Переменная `r3s_param` позволяет определить ток выходного вывода для третьего логического состояния. Параметр `r3s` имеет приоритет перед прямым определением переменной `r3s_param` в описании модели на языке Digital SimCode.

Пример:

```
AD1 [VCC GND VGG VRP VRM VIN CLK SC OE]
+[VCC CLK SC OE D0 D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 EOC] ADC0800
.model adc0800 xsimcode(file=
+ "{MODEL_PATH}\National semiconductor\adc0800.txt" func="adc0800")
```

Аналого-цифровой гибридный узел Digital SimCode

Модель-экземпляра:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	v	v, vd, i, id, vnam	да	-	нет
out	выходной сигнал	выход	xd	xd	да	-	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> xadc ([R_OUT=...] [T_TIME=...] [MIN_STEP=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
r_out	сопротивление порта out	Ом	действительный	0.01	[0.0; -]	нет	-	да
t_time	время передачи сигнала от порта in до порта out	с	действительный	1.0e-12	[1.0e-12; -]	нет	-	да
min_step	минимальное значение шага преобразования	В, А	действительный	0.01	[0.0; -]	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует гибридный элемент преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Входные сигналы поступают на порт in, испытывают задержку t_time, сигнал преобразуется для взаимодействия с моделями типа xsimcode, xdac, xdav и xsrc.
- Выходное сопротивление порта out определяется значением параметра r_out.
- Время передачи сигнала от порта in к порту out определяется значением параметра t_time.
- Шаг дискретизации определяется значением параметра min_step.

Пример:

```
AXADC1 [an1 an2 an3 an4] [dig_out1 dig_out2 dig_out3 dig_out4] adc1  
.model adc1 xadc (r_out=15 t_time=1e-9 min_step=0.02)
```

Цифро-аналоговый гибридный узел Digital SimCode

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DIN> <ROUT> <MNAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DIN>	порт in;
<ROUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
din	входной сигнал	вход	xd	xd	да	[1; -]	нет
rout	выходной сигнал	выход	g	g	да	[1; -]	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> xdac ([RMIN=...] [TMIN=...] [RTRAN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
rmin	минимальное значение выходного сопротивления для логических «0» и «1»	Ом	действительный	1.0e-3	[1e-6; -]	нет	-	да
tmin	минимальное значение длительности фронтов	с	действительный	1.0e-12	[1e-12; -]	нет	-	да
rtran	сопротивление порта rout для фронтов сигнала	Ом	действительный	1.0e5	-	нет	-	да

Примечания:

- Модель реализует гибридный элемент преобразования цифровых сигналов в аналоговые. Входные сигналы поступают в порт din и передаются в выходной порт rout.
- Длительность фронтов сигналов определяется значением параметра tmin.
- Выходной порт rout меняет выходное сопротивление согласно значению параметра rmin.
- При возникновении фронтов выходное сопротивление порта rout определяется значением параметра rtran.

Пример:

```
AXDAC1 [dig_out1 dig_out2 dig_out3 dig_out4] [an1 an2 an3 an4] dac1  
.model dac1 xdac (rmin=25 tmin=1e-9 rtran=2000)
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Цифро-вольтаический гибридный узел Digital SimCode

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <IN> <OUT> <MNAME>
```

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<IN>	порт in;
<OUT>	порт out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
in	входной сигнал	вход	xd	xd	да	–	нет
out	выходной сигнал	выход	v	v, vd, i, id	да	–	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> xdav ([TMIN=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
tmin	минимальное время пере-носа	с	действительный	1e-12	[1e-16; -]	нет	–	да

Примечания:

- Модель реализует гибридный элемент преобразования цифровых сигналов в аналоговые. Входные сигналы поступают в порт in и передаются в выходной порт out.
- Длительность фронтов сигналов определяется значением параметра tmin.

Пример:

```
AXDAV1 [dig_out1 dig_out2 dig_out3 dig_out4] [an1 an2 an3 an4] dav1  
.model dav1 xdav (tmin=1e-9)
```

Цифровой источник сигнала Digital SimCode

Модель-экземпляр:

```
A<NAME> <DATA_IN> <DATA_OUT> <MNAME>
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Описание модели-экземпляра:

<NAME>	имя модели-экземпляра;
<DATA_IN>	порт data_in;
<DATA_OUT>	порт data_out;
<MNAME>	имя модели-прототипа.

Описание портов модели-экземпляра:

Имя	Значение	Направление	Тип по умолчанию	Допустимые типы	Вектор	Размерность	null допустим
data_in	входной сигнал	вход	xd	xd	да	[-; 2]	да
data_out	выходной сигнал	выход	xd	xd	да	[1; -]	нет

Модель-прототип:

```
.model <MNAME> xsrc ([FILE=...] [CYCLE=...] [STATE=...] [STRENGTH=...] [RMIN=...] [VTH=...] [TTLH=...]  
[TTHL=...] [CLOCKED=...])
```

Параметры модели-прототипа:

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
file	имя файла описания цифровых сигналов	-	строковый	source.txt	-	нет	-	нет
cycle	длительность повтора цикла	с	действительный	0.0	[0.0; 1]	нет	-	да
state	значения состояний для сигналов lo, hi, 3s и т.д.	В	действительный	0.0	-	да	[1; 16]	да
strength	значения выходного сопротивления для сигналов lo, hi, 3s и т.д.	Ом	действительный	100.0	[0.0; -]	да	[1; 16]	да
rmin	минимальное значение выходного сопротивления	Ом	действительный	1e-3	[0.0; -]	нет	-	нет
vth	пороговое напряжение входа тактирования	В	действительный	1.3	-	нет	-	нет

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	Тип	По умолчанию	Границы	Вектор	Размерность	null допустим
ttlh	длительность переднего фронта выходного порта («0» -> «1»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
tthl	длительность заднего фронта выходного порта («1» -> «0»)	с	действительный	1.0e-9	[1e-12; -]	нет	-	да
clocked	флаг тактируемой работы	-	целый	0	[0; 1]	нет	-	да

Примечания:

- Модель имитирует цифровой источник сигнала, с тактовым входом при необходимости. Выходные сигналы формируются на порте data_out. Значение выходного сигнала меняет сопротивление компонента выходного порта. В качестве входного сигнала принимается сигнал тактирования, при необходимости.
- Уровень напряжения, переход через который интерпретируется как фронт тактового сигнала порта data_in, определяется значением сигнала vth.
- Данные сигналов определяются во внешнем текстовом файле, имя которого определяется значением параметра file.
- Периодичность повторения файла данных определяется значением параметра cycle. По истечении заданного времени повторения файл данных воспроизводится заново с первой строки.
- Значение выходных напряжений, при которых сигналы логических состояний компонентов выходного порта транслируются в напряжения, определяются значением параметра state. Параметр state является векторным, значения напряжения должны перечисляться по порядку: для логического нуля ("0"), логической единицы ("1"), третьего состояния ("X").
- Значения сопротивления компонентов выходного порта определяется параметром strength. Параметр strength является векторным, значения сопротивления должны перечисляться по порядку для логического нуля ("0"), логической единицы ("1"), третьего состояния ("X").
- Минимальное значение выходного сопротивления определяется значением параметра rmin.
- Длительность переднего фронта сигнала на порте out определяется значением параметра ttlh.
- Длительность заднего фронта сигнала на порте out определяется значением параметра tthl.
- Использование входного сигнала для тактирования выходного сигнала определяется значением параметра clocked. Значение clocked=0 определяет отсутствие тактирования. Значение clocked=1 определяет применение тактирования от входного порта.

Структура файла данных сигналов:

```
// <комментарий>  
<time> <signal1> [<signal2> [<signal3>]...  
...
```

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

<комментарий>	текстовый комментарий;
<signal1>	значение первого сигнала;
<signal2>	значение второго сигнала;
<signal3>	значение третьего сигнала.

Пример:

```
AXSRC1 [clk] [out1 out2 out3] xsources1
.model xsources1 xsrc (file="source_data.txt" cycle=1e-2
+ state=[0.8 4.5 1.6] strength=[25 15 3000] rmin=75 vth=2.1
+ ttlh=4e-7 tthl=2.5e-7 clocked=1)
```

Пример файла данных:

```
//Time 1 2 3 4 5 6 7 8
0 0 0 0 0 0 0 0
1E-6 0 0 0 0 0 0 1
2.9E-6 1 1 1 1 1 1 1 // Non-uniform time increment here
3E-6 0 0 0 0 1 1 1
4E-6 0 0 0 1 1 1 1
5E-6 0 0 1 1 1 1 1
6E-6 0 0 1 1 1 1 1
7E-6 0 1 1 1 1 1 1
8E-6 1 1 1 1 1 1 1
9E-6 0 1 1 1 1 1 1
1E-5 0 0 1 1 1 1 1
1.1E-5 0 0 0 1 1 1 1
1.2E-5 1 0 0 0 1 1 1
1.3E-5 1 1 0 0 0 1 1
1.4E-5 0 1 1 0 0 0 1
1.5E-5 0 0 1 1 0 0 0
1.6E-5 0 0 0 1 1 0 0
1.7E-5 1 0 0 0 1 1 0
1.8E-5 1 1 0 0 0 1 0
1.9E-5 0 1 1 0 0 0 1
2E-5 0 0 1 1 0 0 0
2.1E-5 0 0 0 1 1 0 0
2.2E-5 1 0 0 0 1 1 0
2.3E-5 1 1 0 0 0 1 0
2.4E-5 0 1 1 0 0 0 1
2.5E-5 0 0 1 1 0 0 0
2.6E-5 0 0 0 1 1 0 0
2.7E-5 1 0 0 0 1 1 0
2.8E-5 1 1 0 0 0 1 0
2.9E-5 0 1 1 0 0 0 1
3E-5 0 0 1 1 0 0 0
3.1E-5 0 0 0 1 1 0 0
```

ВИДЫ РАСЧЁТОВ

Имитатор электрических схем Altium Designer позволяет выполнять следующие виды расчётов:

- расчёты по постоянному току:
 - характеристика чувствительности к вариации независимого источника;
 - расчёт передаточных характеристик по постоянному току;
 - расчёт рабочей точки по постоянному току;
- расчёт АЧХ по переменному току;
- расчёты во временной области:
 - расчёт переходного процесса;
 - расчёт компонент Фурье из данных переходного процесса;
- расчёт полюсов и нулей передаточной функции;
- расчёт внутреннего шума;
- дополнительные модификации расчётов:
 - определение чувствительности для вариации параметров;
 - определение чувствительности для вариации температуры;
 - определение чувствительности к разбросу номинальных величин.

Ниже приводятся текстовые включения в файл задания (автоматически создаваемый файл с расширением *.nsx). Обычно для определения видов расчётов и их параметров выполнения используется графический интерфейс пользователя. Однако файл задания можно отредактировать вручную и выполнить на его основе расчёты.

Расчёты по постоянному току

Расчёт амплитудной характеристики определяет рабочую точку схемы, при этом вводится следующее приближение: все катушки индуктивностями считаются короткозамкнутыми участкам и все конденсаторы считаются разрывами в электрической цепи. Параметры расчёта амплитудной характеристики определяются управляющими строками .DC, .TF, .OP. Расчёт амплитудной характеристики схемы автоматически выполняется для определения начальных условий, что используется в качестве начального состояния электрической цепи в расчёте переходного процесса, а также в качестве начального состояния электрической цепи в расчёте амплитудно-частотной характеристики, для выполнения линеаризации малосигнальных моделей нелинейных устройств. Если требуется, то в качестве части решения задачи определения амплитудной характеристики также могут быть вычислены малосигнальное значение передаточной функции по постоянному току (отношение выходной переменной к величине источника), входное сопротивление и выходное сопротивление. Расчёт по постоянному току характеристики чувствительности вариации независимого источника также можно использовать для расчёта серии характеристических кривых: определённый независимый источник напряжения или тока проходит по заданному пользователем диапазону, а значения выходных переменных сохраняются для каждого последовательного значения варьируемого источника.

Расчёт характеристики чувствительности к вариации независимого источника

.DC – передаточная (амплитудная) характеристика по постоянному току. Допускается выполнять расчёт передаточной характеристики сразу для двух источников. В этом случае определение второго источника требуется выполнить сразу после определения первого.

Для выполнения расчёта по постоянному току характеристики чувствительности к вариации независимого источника необходимо включить в файл задания высказывание следующего вида:

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

```
.dc <SRC> <START> <STOP> <INCR> [<SRC2> <START2> <STOP2> <INCR2>]
```

, где

<SRC>	имя независимого источника напряжения или источника тока;
<START>	начальное значение;
<STOP>	конечное значение;
<INCR>	значение приращения;

Примеры:

```
.dc VIN 0.25 5.0 0.25  
.dc VDS 0 10 .5 VGS 0 5 1  
.dc VCE 0 10 .25 IB 0 10U 1U
```

Примечания:

- Применение двух источников в определении высказывания dc приводит алгоритм к следующему – для каждого состояния второго источника будет выполняться полное варьирование первого источника.
- Применение двух источников удобно для получения семейства характеристик.
- В качестве одного из источников допускается указать параметр имитатора TEMP, что позволит получить семейство термоэлектрических характеристик.

Расчёт передаточной характеристики по постоянному току

Расчёт передаточной характеристики по постоянному току позволяет оценить согласованность входных и выходных сопротивлений в узлах и получить пропорциональную характеристику отношения выходного сигнала к входному сигналу некоторого источника (условно, это коэффициент передачи или коэффициент усиления). Расчёт передаточной характеристики по постоянному току определяют с помощью высказывания .TF.

Для выполнения расчёта передаточной характеристики по постоянному току необходимо включить в файл задания высказывание следующего вида:

```
.tf <OUTVAR> <INSRC>
```

, где

<OUTVAR>	малосигнальная выходная переменная, обычно имя узла;
<INSRC>	малосигнальный входной источник.

Пример:

```
.tf V(5, 3) VIN  
.tf I(VLOAD) VIN
```

Примечания:

- В качестве малосигнальной переменной можно указать функцию V(), в том числе в дифференциальной форме или I().
- При определении расчёта через графический интерфейс диалога Analyses Setup, расчёт будет выполнен для всех узлов схемы.

- имитатор производит расчёт коэффициента передачи в малосигнальном приближении (выход / вход), входное сопротивление, выходное сопротивление. Меняя местоположение входного источника в схеме, подключая его к разным узлам, можно получать величины относительных сопротивлений типа узел-узел и коэффициенты передачи.

Расчёт рабочей точки по постоянному току

Расчёт рабочей точки по постоянному току позволяет рассчитать стационарный электрический режим схемы по постоянному току, т.е. в бесконечно удалённой временной точке. Стационарный режим реализуется тогда, когда у сигналов отсутствует переменная во времени составляющая.

Для выполнения расчёта передаточной характеристики по постоянному току необходимо включить в файл задания высказывание следующего вида:

```
.op
```

Никаких дополнительных параметров не требуется.

Пример:

```
.op
```

Примечания:

- Расчёт рабочей точки по постоянному току выполняется автоматически всякий раз при выполнении расчёта переходного процесса для того, чтобы определить начальное стационарное состояние. Расчёт рабочей точки не будет выполняться в том случае, если установлена отметка Use initial conditions в настройках расчёта переходного процесса.
- Алгоритм расчёта рабочей точки не учитывает ёмкости и индуктивности в схеме, заменяя ёмкости разрывом цепи, а индуктивности – короткозамкнутыми участками. В связи с этим следует проверить отсутствие шунтирования источников напряжения индуктивностями и разрывы в цепях источников тока последовательно включенными конденсаторами.

Расчёт АЧХ по переменному току

Расчёт АЧХ позволяет рассчитывать сигналы электрической схемы как функций частоты. Сперва имитатор выполняет расчёт рабочей точки по постоянному току для определения линеаризованных, малосигнальных моделей для всех нелинейных устройств в схеме. Результирующая линейная схема рассчитывается в определённом пользователем диапазоне частот. Обычно в качестве выходного результата расчёта получают передаточную характеристику (усиление по напряжению, трансимпеданс и т.д.). Если схема имеет только один вход по переменному току, то удобно определить амплитуду такого входа в единицу, а фазу в ноль, таким образом выходные переменные будут иметь то же значение, что передаточная характеристика выходной переменной по отношению ко входу.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Для выполнения расчёта передаточной характеристики по переменному току необходимо включить в файл задания высказывание следующего вида:

```
.ac <DISTRIBUTION> <NUMPOINT> <FSTART> <FSTOP>
```

, где

<DISTRIBUTION>	тип шкалы, для которой указывается количество точек. Может принимать значения DEC – для распределения по десятичному логарифму, OCT – для распределения по логарифму с основанием 2, LIN – для линейного распределения;
<NUMPOINTS>	количество точек на полный период шкалы – количество точек на декаду, на октаву или на период;
<FSTART>	начальная частота;
<FSTOP>	конечная частота.

Пример:

```
.ac dec 1e3 100 100e4
```

Расчёты во временной области

Расчёт переходного процесса

Расчёт переходного процесса (.TRAN) позволяет вычислять значения выходных переменных как функций времени в задаваемом пользователем диапазоне. Начальные условия автоматически вычисляются в процессе расчёта по постоянному току. Все источники не имеющие зависимости от времени приравниваются к их значениям для расчёта по постоянному току. Временной диапазон для выполнения расчёта определяется в управляющей строке .TRAN.

Для выполнения расчёта переходного процесса необходимо включить в файл задания высказывание следующего вида:

```
.tran <STEP> <STOP> <START> <STEPMAX> [uic]
```

, где

<STEP>	начальный временной шаг;
<STOP>	конечное время расчёта;
<START>	начальное время сохранения результата;
<STEPMAX>	максимальная величина временного шага;
[uic]	флаг uic применения при расчёте пользовательских начальных условий.

Пример:

```
.TRAN 3E-5 1 0 4E-5 UIC
```

Примечания:

- Расчёт всегда выполняется от момента времени 0 секунд.
- Алгоритм расчёта всегда выполняет расчёт с наперёд заданной точностью, поэтому имеет правильно обрабатывать события, при которых требуется уменьшение временного шага. Обычно такие события возникают для очень быстрых процессов. Аналогично в случае достаточно медленного изменения электрических сигналов с течением времени алгоритм старается увеличить временной шаг. Временной шаг не может стать больше, чем величина параметра STEPMAX.
- Флаг uic является не обязательным. При его наличии в определении расчёта переходного процесса некоторые параметры режима электрической цепи будут определяться начальными условиями, заданными для элементов. Таким образом существует возможность привести электрическую цепь в некоторое заведомо определённое состояние перед началом расчёта переходного процесса.

Расчёт компонент разложения в ряд Фурье из данных переходного процесса

Расчёт переходного процесса с опцией Enable Fourier в диалоге Analyses Setup позволяет рассчитать спектры сигналов за счёт разложения сигналов в ряды Фурье, а также рассчитать коэффициенты нелинейных искажений для сигналов. Для этого используются управляющие строки .SET и .FOUR.

Для получения амплитуд компонент разложения сигналов в ряд Фурье требуется определить в файле задания следующее:

```
.set NFREQS=<NUM_HARM>
.four <FUND_FREQ> <SIGNAL1> [<SIGNAL2>...<SIGNAL_N>]
```

, где

<NUM_HARM>	число гармоник для разложения;
<FUND_FREQ>	фундаментальная частота для разложения сигналов в спектр;
<SIGNAL1>	<SIGNAL_N> – сигналы, спектры которых следует получить.

Пример:

```
.set NFREQS=10
.four 1000 VA9_V_const#branch VA8_V_const#branch
+ VA7_V_const#branch VA6_V_const#branch
```

Примечания:

- Расчёт компонент разложение в ряд Фурье возможен только из результатов переходного процесса, поэтому этот вид расчёта следует рассматривать как дополнительный.
- Базовая частота не может быть меньше, чем величина, обратная конечному времени расчёта переходного процесса. Например, конечное время переходного процесса равно 0.1 с, тогда базовая частота не может быть меньше 10 Гц.

Расчёт полюсов и нулей

Расчёт полюсов и нулей (.PZ) позволяет вычислить значения полюсов и нулей передаточной характеристики по переменному току. Имитатор сперва вычисляет характеристики схемы в рабочей точке, затем определяет линеаризованные малосигнальные модели для всех нелинейных устройств в схеме. Затем полученная схема используется для поиска полюсов и нулей передаточной характеристики.

Возможно выполнить расчёт для двух типов передаточных характеристик: в виде (выходное напряжение)/(входное напряжение) и в виде (выходное напряжение)/(входной ток). Эти два типа передаточных характеристик покрывают все случаи: передаточная характеристика импеданса и усиления по напряжению. Входной и выходной порты требуется определять как две пары узлов.

Расчёт полюсов и нулей можно выполнить с резисторами, конденсаторами, индукторами, контролируемые источниками, независимыми источниками, биполярными транзисторами, полевыми транзисторами с изолированным затвором, полевыми транзисторами с управляющим PN-переходом и диодами. Линии передачи не поддерживаются.

Расчёт использует метод подоптимального числового поиска. Для больших схем это может занять неоправданно большое время или решение и вовсе не может быть найдено. Для некоторых схем такой метод является проигрышным и находит избыточное количество полюсов и нулей.

Для расчёта полюсов и нулей требуется определить в файле задания следующее:

```
.pz <IN_POS> <IN_NEG> <OUT_POS> <OUT_NEG> <FUNCTION> <TYPE>
```

, где

<IN_POS>	узел положительной полярности входного сигнала;
<IN_NEG>	узел отрицательной полярности входного сигнала;
<OUT_POS>	узел положительной полярности выходного сигнала;
<OUT_NEG>	узел отрицательной полярности выходного сигнала;
<FUNCTION>	функция передачи. Может принимать значения: VOL для функции вида Vout/Vin, CUR для функции вида Vout/Iin;
<TYPE>	тип возвращаемого результата алгоритмом расчёта. Может принимать значения: POL для расчёта только полюсов, ZER для расчёта только нулей, PZ для расчёта полюсов и нулей.

Пример:

```
.pz signal 0 out1 0 CUR PZ
```

Расчёт внутреннего шума

Алгоритм расчёта внутренних шумов позволяет рассчитать шумы, создаваемые устройствами в данной схеме. При наличии источника входного сигнала и выходного порта этот вид расчёта позволяет вычислить шумовые вклады каждого устройства (и каждого генератора шума внутри устройства) в напряжение выходного порта. Он также вычисляет приведённый ко входу шум, относящийся к указанному источнику входного сигнала. Это делается для каждой частоты в заданном диапазоне – расчётное значение шума соответствует спектральной плотности шума схемы, рассматриваемой как стационарный гауссовский случайный процесс.

После вычисления спектральных плотностей алгоритм расчёта шума объединяет эти значения в заданном диапазоне частот для получения полного шумового напряжения / тока (в этом частотном диапазоне). Это расчётное значение соответствует дисперсии шума схемы, рассматриваемой как стационарный Гауссовский процесс.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Для выполнения вариации параметра в файл задания для имитатора должно быть введено следующее высказывание:

```
.noise v(<OUTPUT>[, <REF>] ) <SRC> [ <TYPE> ] <PTS> <FSTART> <FSTOP> [<PTS_PER_SUMMARY>]
```

, где

<OUTPUT>	имя выходного узла;
<REF>	узел, относительно которого измеряется напряжение выходного узла;
<SRC>	имя независимого источника, к которому относится выходной шум;
<TYPE>	тип шкалы распределения частоты. Допускаются значения DEC – десятичный логарифм (декадная), LIN – линейная, OCT – логарифм по основанию 8 (октавная);
<PTS>	число точек по шкале частот;
<FSTART>	начальная частота;
<FSTOP>	конечная частота.
<PTS_PER_SUMMARY>	дополнительный целочисленный параметр, который определяет шаг по количеству точек в диапазоне частот, на которых производится создание шумовых вкладов каждым генератором шума.

Пример:

```
.noise v(5) VIN DEC 10 1kHz 100Mhz  
.noise v(5,3) V1 OCT 8 1.0 1.0e6 1
```

Примечание:

Расчёт позволяет получить два чертежа – один для характеристики спектральной плотности шума, второй для полного интегрированного шума в пределах заданного диапазона. Все напряжения/токи шумов даются в квадратичных величинах В²/Гц и А²/Гц для спектральной плотности, и В² и А² для интегрального значения шума.

Дополнительные модификации расчётов

Дополнительными модификациями расчётов являются такие способы выполнения расчётов по постоянному току, переменному току, во временной области, полюсов и нулей функции передачи, внутреннего шума, которые позволяют существенно расширить объём собираемых данных для выполнения последующего анализа. Расчёты можно выполнить с варьированием глобальных параметров, варьированием температуры и варьированием разброса номинальных величин некоторых типов параметров для некоторых типов моделей-экземпляров.

Варьирование параметров

Имитатор Mixed Sim позволяет произвести расчёты при изменении какого-либо параметра в схеме. Данная возможность позволяет наглядно увидеть параметрическую чувствительность электрического режима схемы. Например, можно варьировать величину сопротивления резистора или ёмкость конденсатора – доступен любой глобальный параметр или номинальная величина какого-либо устройства. Важно заметить, что вариацию параметра можно выполнять только в отношении параметра модели-экземпляра, т.к. от одного расчёта до следующего значения параметров моделей-прототипов не пересчитываются.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Для выполнения вариации параметра в файл задания для имитатора должна быть введена следующая конструкция:

```
.control  
SWEEP <PNAME> <startvalue> <endvalue> <stepvalue>  
.endc
```

, где

<PNAME>	имя какого-либо параметра схемы или основного параметра источника или устройства;
<startvalue>	начальное значение параметра;
<endvalue>	конечное значение параметра;
<stepvalue>	шаг изменения параметра.

Таким образом, используется управляющий блок .control / .endc.

Примеры:

1) Варьирование параметра rvalue

```
.nsx  
.parameter rvalue=100  
.control  
sweep rvalue 10 100 10  
.endc
```

2) Варьирование параметра напряжения источника v2 по постоянному току

```
.nsx  
.control  
sweep v2[dc] 0 5 0.01  
.endc
```

3) Варьирование сопротивления резистора r12

```
.nsx  
.control  
sweep r12[resistance] 10k 20k 100  
.endc
```

Тексты данных примеров предполагается вводить с помощью примитива схемы Text Frame.

Примечание:

- Вариация параметра не является самостоятельным видом расчёта и потому должна выполняться не менее, чем для одного из перечисленных видов расчёта: по постоянному току, рабочей точки, по переменному току для малого сигнала, для переходного процесса, передаточной характеристики по постоянному току, шумовой характеристики.
- Выполнение данного вида расчёта приводит к большому объёму данных результата. Для того, чтобы уменьшить объём собираемых данных рекомендуется строго указывать перечень сигналов, подлежащих последующему анализу.

Варьирование температуры

SPICE3 позволяет выполнить расчёт чувствительности к изменению текущей температуры схемы выходной переменной по постоянному току, для рабочей точки, по переменному току для малого сигнала, для переходного процесса, передаточной характеристики по постоянному току, шумовой характеристики.

Для выполнения вариации температуры в файл задания для имитатора должна быть введена следующая конструкция:

```
.control
SWEEP OPTION[TEMP] <starttemp> <endtemp> <steptemp>
.endc
```

, где

<starttemp>	начальная температура;
<endtemp>	конечная температура;
<steptemp>	шаг изменения температуры;

Таким образом, используется управляющий блок .control / .endc.

Пример:

```
.nsx
.control
sweep option[temp] -20 30 1
.endc
```

Текст данного примера предполагается вводить с помощью примитива схемы Text Frame.

Примечания:

- Вариация температуры не является самостоятельным видом расчёта и потому должна выполняться не менее, чем для одного из перечисленных видов расчёта: по постоянному току, для рабочей точки, по переменному току для малого сигнала, для переходного процесса, передаточной характеристики по постоянному току, шумовой характеристики.
- Выполнение данного вида расчёта приводит к большому объёму данных результата. Для того, чтобы уменьшить объём собираемых данных рекомендуется строго указывать перечень сигналов, подлежащих последующему анализу.

Варьирование разброса номинальных величин

Имитатор Mixed Sim позволяет выполнить статистический расчёт с учётом технологических допусков на изготовление некоторых видов элементов. Среди таких элементов: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, транзисторы (β прямого смещения), независимые источники, и цифровые компоненты (задержка распространения сигнала). Mixed Sim позволяет производить статистический расчёт с учётом индивидуального допуска и группового допуска, когда несколько устройств объединены в сборку, а значит имеют согласованный групповой разброс.

Для выполнения вариации температуры в файл задания для имитатора должна быть введена следующая конструкция:

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

```
.control
tol <DEVNAME> <dev[#<DEVNUM>]=DEVTOL%> <DEVTOLTYPE> [lot[#<LOTNUM>]=LOTTOL%] <LOTTOLTYPE>
mc <RUNS> <seed=SEEDNUM>
.endc
```

, где

<DEVNAME>	имя модели-экземпляра
<DEVNUM>	группирующий признак индивидуальной корреляции устройств, обычно это некоторое целое число
<DEVTOLTYPE>	тип индивидуальной функции распределения. Может принимать значения: UNIFORM для равномерного распределения, GAUSS для гауссова распределения, WORST для худшего случая
<LOTNUM>	группирующий признак групповой корреляции устройств;
<LOTTOLTYPE>	тип групповой функции распределения. Может принимать значения: UNIFORM для равномерного распределения, GAUSS для гауссова распределения, WORST для худшего случая;
<RUNS>	общее число прогонов расчёта;
DEVTOL, LOTTOL	некоторые произвольные числа (величина индивидуального и группового допуска соответственно, задаются в процентах);
SEEDNUM	некоторое целое число (значение зерна генератора псевдослучайных чисел).

Таким образом, используется управляющий блок .control / .endc. Обычно такое определение в файле задания формируется автоматически из настроек текущего профиля моделирования.

Пример:

```
.control
tol C1[value] DEV#1=3% Gaussian LOT#1=1% Uniform
tol C_L1 DEV=10% Uniform
tol C1 DEV=10% Uniform
tol L_L1 DEV=10% Uniform
tol Q1[BF] DEV=10% Uniform
tol R_L1 DEV=10% Uniform
tol R1 DEV=10% Uniform
tol R2 DEV=10% Uniform
tol V2 DEV=10% Uniform
tol V3 DEV=10% Uniform
mc 5 seed=-1
.endc
```

Примечания:

- Устройства с одинаковым группирующим признаком корреляции устройств и одинаковым типом функции распределения будут иметь одинаковую величину относительного отклонения. Такие устройства считаются полностью коррелирующими по индивидуальному допуску.
- Устройства с одинаковым группирующим признаком корреляции устройств и одинаковым типом групповой функции распределения будут иметь одинаковое отклонение группового относительного отклонения. Такие устройства считаются полностью коррелирующими по групповому допуску.

- Допускаются следующие типы функции распределения UNIFORM – равномерное, Gauss – Гауссово (значение величины допуска указывается для $\pm 3\sigma$), Worst – худший случай.
- Следует периодически менять значение зерна генератора псевдослучайных чисел для того, чтобы гарантировать независимость генерируемых им последовательностей значений.

Расчёты при различных температурах

Предполагается, что все входные данные для SPICE были измерены при номинальной температуре 27 °C, которая определяется значением параметра TNOM в управляющей строке .OPTIONS. Это значение может быть переопределено для многих устройств, которые моделирует температурные эффекты, задавая параметр TNOM на самой модели, где это допустимо. Моделирование схемы выполняется при температуре 27 °C, если не переопределено параметром TEMP в высказывании .OPTIONS. Отдельные типы моделей-экземпляров допускают переопределить температуру устройства в схеме через указание параметра TEMP о высказывании модели-экземпляра.

Моделирование термоэлектрических эффектов поддерживается для резисторов, диодов, полевых транзисторов с управляющим PN-переходом, биполярных транзисторов и полевых МОП-транзисторов уровней 1, 2 и 3. BSIM (уровни 4 и 5) MOSFET имеют альтернативную схему температурной зависимости, которая настраивает все параметры модели перед вводом в SPICE.

Температура появляется явно в экспоненциальных членах уравнений для моделей биполярного транзистора и диода. Кроме того, токи насыщения имеют встроенную температурную зависимость. Температурная зависимость тока насыщения в моделях биполярного транзистора определяется:

$$I_S(T) = I_S(T_0) \times \left(\frac{T}{T_0}\right)^{XTI} \times e^{\frac{E_g \times q \times (T - T_0)}{k \times T \times T_0}}$$

где k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, E_g – ширина запрещённой зоны (параметр модели), XTI – температурный показатель тока насыщения (также является параметром модели и обычно равен 3).

Температурная зависимость коэффициента усиления прямого и обратного смещения (прямой и обратной β) описывается формулой:

$$\beta(T) = \beta(T_0) \times \left(\frac{T}{T_0}\right)^{XTVB}$$

, где T и T_0 выражены в градусах Кельвина, $XTVB$ – определяемый пользователем параметр. Влияние температуры на β осуществляется путём соответствующей корректировки значений параметров BF, ISE, BR и ISC.

Температурная зависимость тока насыщения PN-перехода диода определяется формулой:

$$I_S(T) = I_S(T_0) \times \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{XTI}{N}} \times e^{\left(\frac{E_g \times q \times (T - T_0)}{N \times k \times T \times T_0}\right)}$$

, где N – коэффициент эмиссии (параметр модели), T и T_0 – температуры (выражены в градусах Кельвина), k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, E_g – ширина запрещённой зоны (параметр модели), XTI – температурный показатель тока насыщения (также является параметром модели).

Температура явно участвует в выражении для падения напряжения на переходе U (параметр PHI) для всех моделей. Температурная зависимость выражается формулой:

$$U(T) = \frac{k \times T}{q} \times \ln \left(\frac{N_a N_d}{N_i^2(T)} \right)$$

, где k – постоянная Больцмана, q – заряд электрона, N_a – плотность акцепторной примеси, N_d – плотность донорной примеси, N_i – концентрация основных носителей, E_g – ширина запрещённой зоны.

Температура явно участвует в выражении для поверхностной подвижности μ_0 (параметр U0) модели МОП-транзистора. Температурная зависимость выражается формулой:

$$\mu_0(T) = \frac{\mu_0(T_0)}{\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1.5}}$$

Температурные эффекты резистора моделируются формулой:

$$R(T) = R(T_0) \times (1 + TC_1 \times (T - T_0) + TC_2 \times (T - T_0)^2)$$

, где T – температура схемы, T_0 – номинальная температура, TC_1 и TC_2 температурные коэффициенты первого и второго порядка.

Перечень неподдерживаемых видов расчётов

В SPICE3 существует возможность выполнить расчёт чувствительности параметров электрического режима схемы по постоянному или переменному току по отношению к напряжению в некотором узле или току через независимый источник. Данный вид анализа определялся через высказывание .SENS и, по сути, дублировал .TF при выполнении расчёта по постоянному току. В имитаторе смешанных сигналов Altium Designer поддержка данного вида высказываний отсутствует. Расчёт, выполненный при помощи .SENS позволял получить значения пропорциональных величин изменения напряжений в узлах, токов через устройства, полных сопротивлений и других параметров электрического режима схемы по постоянному и переменному току по отношению к указанному в высказывании .SENS сигналу.

Аналогично из имитатора Mixed Sim исключен расчёт искажений, который в SPICE3 осуществляется с помощью высказывания .DISTO. Расчёт гармонических искажений с помощью Mixed Sim рассчитывается в ходе выполнения расчёта во временной области и расчёта компонент ряда Фурье, таким образом, расчёт гармонических искажений как отдельный вид расчёта в Mixed Sim не включён. В оригинальном SPICE3 .DISTO позволяет выполнить анализ искажений в малосигнальном приближении. Для представления нелинейностей в рабочей точке используется анализ многомерных рядов Вольтерра аппроксимированный многомерными рядами Тейлора. Используется разложение в ряд до третьего порядка.

Следует быть внимательным, применяя в Altium Designer файлы заданий и моделей элементов, разработанные для имитаторов других версий, в частности SPICE3, PSPICE, XSPICE и прочих. Не все модели, разработанные для других имитаторов электрических цепей, полностью соответствуют спецификации моделей Altium Mixed Sim.

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМИТАТОРА

В таблице приведено описание параметров имитатора, которые можно определить из диалога настройки профиля.

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
ABSTOL	Определяет абсолютную ошибку вычисления тока	A	1.000p
ACCT	Приводит к отображению статистики учета и времени выполнения	-	Disabled
ADCSTEP	Минимальный размер шага, необходимый для регистрации события на входе внутренних аналого-цифровых преобразователей (гибридных моделей)	B	10.00m
AUTOPARTIAL	Включает автоматическое вычисление частных производных для участков XSpice кода.	-	Disabled
BADMOS3	Использовать более старую версию модели MOS3 с разрывом «каппа»	-	Disabled
BOOLH	Устанавливает высокий выходной уровень логического выражения	B	4.5
BOOLL	Устанавливает низкий выходной уровень логического выражения	B	0
BOOLT	Устанавливает входной пороговый уровень логического выражения	B	1.5
BYPASS	Включает схему пропуска устройства для вычисления нелинейной модели	-	Enabled
CHGTOL	Обеспечивает нижний предел заряда ёмкости или потока индуктивности (в кулонах); используется в алгоритме контроля временного шага LTE	Кл	1.00E-14
CONVABSSTEP	Устанавливает предел размера абсолютного шага в решении для сходимости расчёта рабочей точки постоянного тока для входов дополнительных моделей XSPICE	B	100.0m
CONVUMIT	Отключает алгоритм сходимости, используемый в некоторых встроенных моделях элементов	-	Disabled
CONVSTEP	Устанавливает предел размера относительного шага в решении для сходимости рабочей точки постоянного тока для входов дополнительных моделей XSPICE	-	250.0m
CURRENTMNS	Устанавливает масштабный коэффициент, используемый для определения минимального тока питания (максимального эквивалентного сопротивления по цепи питания), когда значение не указано в модели SimCode	-	1.5
CURRENTMXS	Масштабный коэффициент, используемый для определения максимального тока питания (минимального эквивалентного сопротивления по цепи питания), когда значение не указано в модели SimCode	-	500.0m

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
DEFAD	Определяет площадь диффузии стока МДП транзистора с изолированным затвором	м2	0
DEFAS	Определяет площадь диффузии истока МДП транзистора с изолированным затвором	м2	0
DEFL	Определяет длину канала МДП транзистора	мкм	100
DEFW	Определяет ширину канала МДП транзистора	мкм	100
DRIVEMNS	Определяет масштабный коэффициент, используемый для определения минимальной питающей способности выходного вывода (максимального выходного сопротивления), когда значение не указано в модели SimCode	-	1.5
DRIVEMXS	Устанавливает масштабный коэффициент, используемый для определения максимальной питающей способности выходного вывода (минимального выходного сопротивления), когда значение не указано в модели SimCode	-	500.0m
DRVMNTYMX	Определение индекса ёмкости выходного вывода для устройств SimCode (None, Minimum, Typical, Maximum)	-	None
GMIN	Устанавливает минимальную проводимость (обратную максимальному сопротивлению) любого устройства в цепи. Также устанавливает значение проводимости, которая размещена параллельно с каждым рп-переходом в цепи	Мо или Сименс	1.000p
GMINSTEP	Устанавливает количество шагов в алгоритме GMIN stepping. При значении 0 шаг GMIN отключен, что делает шаговое изменение источника алгоритмом симулятора сходимости для расчёта по постоянному току (рабочей точки) по умолчанию	-	10
IMNTYMX	Определение индекса для тока питания на устройствах SimCode (None, Minimum, Typical, Maximum)	-	None
ITL1	Определяет предел итераций расчёта рабочей точки	-	100
ITL2	Определяет предел итераций расчёта по постоянному току	-	50
ITL3	Определяет нижний предел числа итераций расчёта переходного процесса	-	4
ITL4	Определяет число итераций расчёта временной точки при выполнении расчёта переходного процесса	-	40
ITL5	Определяет предел общего числа итераций расчёта переходного процесса	-	5000
KEEPPOPINFO	Сохранять информацию о рабочей точке при запуске расчёта по переменному току	-	Disabled
LDMNTYMX	Определение индекса нагрузки входного вывода на устройствах SimCode (None, Minimum, Typical, Maximum)	-	None

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
LIST	Отображает полный список всех элементов в схеме с подключениями и значениями	-	Disabled
LOADMNS	Определяет масштабный коэффициент, используемый для определения минимальной входной нагрузки (максимального входного сопротивления), когда значение не указано в модели SimCode	-	1.5
LOADMXS	Определяет масштабный коэффициент, используемый для определения максимальной входной нагрузки (минимального входного сопротивления), когда значение не указано в модели SimCode	-	500.0m
MAXEVTITER	Устанавливает максимальное количество событийных итераций для сходимости по постоянному току (рабочей точки)	-	0
MAXOPALTER	Устанавливает максимальное количество аналоговых / событийных чередований для сходимости по постоянному току (рабочей точки)	-	0
MINBREAK	Устанавливает минимальное время между точками останова	c	0 (Automatic)
NOOPALTER	Разрешает чередование при расчёте по постоянному току (рабочей точки)	-	Disabled
NOOPITER	Перейти непосредственно к алгоритму шагового подбора GMIN	-	Disabled
OPTS	Отображает список всех настроек стандартных SPICE3 параметров	-	Disabled
PIVREL	Устанавливает относительное соотношение между самой большой записью столбца в матрице и допустимым значением главного элемента. Значение должно быть от 0 до 1	-	1.000m
PIVTOL	Устанавливает абсолютное минимальное значение для записи в матрице, которая будет принята в качестве главной	-	1.00E-13
PROPMNS	Устанавливает масштабный коэффициент, используемый для определения минимальной задержки распространения, когда значение не указано в модели SimCode	-	500.0m
PROPMXS	Устанавливает масштабный коэффициент, используемый для определения максимальной задержки распространения, когда значение не указано в модели SimCode	-	1.5
RAMPTIME	Контролирует время включения независимых источников и начальные условия ёмкостей и индуктивностей от нуля до их конечного значения в течение указанного периода времени	c	0

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ALTIUM MIXED SIM

Имя	Значение	Единица	По умолчанию
RELTOL	Устанавливает относительную погрешность программы. Значение должно быть от 0 до 1.	-	1.000m
RSHUNT	Значение резисторов, добавленных между каждым узлом цепи и заземлением, помогает устранить такие проблемы, как ошибки "singular matrix". Как правило, значение RSHUNT должно быть установлено на очень высокое сопротивление (1E12)	Ом	0 (Нет шунтирующего резистора)
SIMWARN	Позволяет отображать предупреждающие сообщения SimCode во время выполнения. Предупреждения SimCode могут включать информацию о нарушениях синхронизации (tsetup, thold и т. д.) Или указывать падение напряжения питания ниже характеристик из спецификации устройства (None, No, Yes)	-	None
SRCSTEP	Устанавливает количество шагов в алгоритме пошагового подбора значения источника для сходимости расчёта по постоянному току (рабочей точки)	-	10
TEMP	Устанавливает фактическую рабочую температуру. Любое отклонение от TNOM приведет к изменению результатов моделирования. Если модель устройства имеет параметр температуры, который можно установить на уровне компонента, установка значения для этого параметра переопределит TEMP	°C	27
TNOM	Устанавливает номинальную температуру, для которой создаются модели устройств. Если модель устройства имеет параметр tnom, который можно установить на уровне файла модели, установка значения для этого параметра переопределит TNOM	°C	27
TPMNTYMX	Определяет индекс для задержки распространения на устройствах SimCode (None, Minimum, Typical, Maximum)	-	None
TRTOL	Используется в алгоритме управления временным шагом LTE. Это оценка фактора, с помощью которого SPICE переоценивает фактическую ошибку усечения.		7
TRYTOCOMPACT	Применим к модели LTRA. Когда разрешён, имитатор пробует сжать последнюю историю о входящих токах и напряжениях линии передачи LTRA	-	Disabled
VNTOL	Устанавливает абсолютное отклонение напряжения	V	1.000u

Примечания:

- В основном, значения параметров имитатора SPICE подобраны таким образом, чтобы у пользователя не возникало необходимости их корректировать, при этом обеспечивается весьма точный расчёт большинства классов схем. Следует менять значения параметров имитатора только если имеется чёткое представление о последствиях такого изменения.
- При разрешении проблем со сходимостью следует ориентироваться на следующие значения:
 - $ABSTOL = RELTOL * (\text{минимальная амплитуда тока в схеме})$
 - $VNTOL = RELTOL * (\text{минимальная амплитуда напряжения в схеме})$

- Увеличение значения GMIN позволяет увеличить сходимость, но при этом уменьшается точность.
- Значение параметра ITL1 можно поднимать до 500 для большинства схем.
- Значение параметра ITL2 можно поднимать до 200 для большинства схем.
- Параметр ITL3 не применим для SPICE3. Это обеспечивает совместимость с SPICE2 при генерации файла задания.
- Увеличение значения параметра ITL4 до 100 и более может позволить устранить ошибку «timestep too small», увеличивая при этом сходимость и скорость расчёта.
- Параметр ITL5 не применим для SPICE3. Это обеспечивает совместимость с SPICE2 при генерации файла задания.
- Установка флага параметра KEEPOPINFO полезна для больших схем и позволяет избежать избыточного выполнения расчёта рабочей точки.
- В числовом алгоритме решения системы линейных уравнений состояния схемы, допустимый минимальный главный элемент определяется на основе следующего выражения:
$$EPSREL = AMAX1(PIVREL \times MAXVAL, PIVTOL)$$

, где MAXVAL – это максимальный элемент в столбце, в котором разыскивается главный элемент.
- В соответствии с параметром RELTOL, большие значения означают меньшие временные затраты на расчёт, но при меньшей точности.

УСТРАНЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРОБЛЕМ

Необходимо аккуратно подойти к идентификации проблем, возникающих при запуске имитации электрической схемы. Проблемы могут быть как в электрической схеме, так и возникать в процессе расчётов.

Иногда в процессе имитации возникают сообщения. Сообщения об ошибках и предупреждения отображаются на панели Messages.

Предупреждения

Предупреждения не являются блокирующими для выполнения расчёта имитационной модели схемы. В основном они указывают на то, что необходимо выполнить в части SPICE, чтобы завершить расчёт имитационной модели. Например, указывают на неверные значения параметров, пропущенные параметры и т.п.

Предупреждения могут возникать в ходе имитации цифровых моделей для Digital SimCode. В этом случае предупреждения могут вырабатываться моделью цифрового устройства как часть процедуры отладки или контроля допусков входящих сигналов.

Приемлемые результаты расчётов будут получены даже в случае возникновения предупреждений.

Ошибки

Сообщения об ошибках указывают на проблемы SPICE, которые не разрешены на момент запуска расчёта и являются критическими для выполнения расчёта имитационной модели электрической схемы. Сообщения об ошибках указывают на то, что часть результатов расчёта не была и не может быть получена для текущего состояния имитационной модели. В этом случае имитационная модель электрической схемы должна быть каким-либо образом доработана и рассчитана повторно, чтобы получить приемлемый результат.

Отказ генерации файла-задания

При запуске расчёта имитационной модели сначала производится генерация файла задания (netlist). Этот файл-задания передаётся в ядро SPICE, которое производит расчёт и генерирует результат.

Любые ошибки, которые будут обнаружены в процессе создания файла задания, будут выведены в панели Messages. В основном встречаются следующие ошибки создания файла задания:

- Какой-либо элемент схемы не содержит модели для имитатора. Наличие назначенной имитационной модели можно проверить по наличию записи типа Simulation в области Models панели Properties для выбранного элемента;
- Не удаётся получить доступ к указанному опорному файлу описания модели элемента. Файл указывают в области Model Location на закладке Model Kind диалогового окна Sim Model. Часто такое происходит, когда ассоциированная интегрированная библиотека, в которой содержится нужная модель, была перемещена или не установлена для использования. Если используется не интегрированная библиотека, а библиотека на основе базы данных или библиотека условных графических обозначений, тогда отказ доступа может указывать на перемещение файла описания модели из известного системе места.
- Путь к файлам моделей Digital SimCode (источники описания функций для моделей могут располагаться в *.txt и *.scb файлах), указываемый через системный параметр MODEL_PATH имитатора Mixed Sim, не совпадает с местоположением модели. Значение параметра MODEL_PATH и пути для моделей Digital SimCode **должны содержать только буквы латинского алфавита и другие разрешённые символы**. По умолчанию MODEL_PATH указывает на каталог с установленным программным модулем имитатора (обычно его расположение начинается на C:\ProgramData\Altium\...).

Отказ расчёта имитационной модели электрической схемы

Одной из основных проблем для всех имитаторов является проблема обеспечения сходимости. Термин «сходимость» относится к итеративному процессу получения решения системы дифференциальных уравнений для состояния имитируемой электрической схемы, выраженной в форме разреженной матрицы, имеющей в качестве элементов значения проводимостей. Решение системы ищется не аналитически, а с использованием численных методов. В процессе поиска решения, решатель итеративно приближается к окрестности некоторой стационарной точки, описывающей состояние имитируемой схемы, с заданной точностью. При этом итеративный процесс должен непрерывно сходиться в окрестности точки. Если процесс не сходится, то он является не устойчивым и в таком случае говорят об отсутствии сходимости. Часто причиной отсутствия сходимости являются существенно-нелинейные выражения для моделей элементов. Для нелинейных моделей используется метод линеаризации в области рабочей точки. Однако в случае существенно нелинейных выражений качественную аппроксимацию получить удаётся не всегда.

SPICE использует линейные уравнения, выраженные в матричной форме, для расчёта рабочей точки (постоянные токи и напряжения) схемы на каждом шаге имитации. Схема представляется как невырожденный массив проводимостей в матричной форме ($G \cdot V = I$). Если схема содержит нелинейные элементы, то SPICE использует многократные попытки линеаризации в окрестности рабочей точки, чтобы найти наиболее оптимальную и локально устранить нелинейность. SPICE делает начальное предположение о напряжениях в узлах, когда производит расчёт токовых ветвей, основанное на проводимостях схемы. После этого SPICE использует величины токов в токовых ветвях для уточнения расчёта напряжения в узлах, и цикл повторяется снова. Описанный цикл повторяется до тех пор, пока значения напряжений в узлах и токов в ветвях не будут вычислены в форме конечных значений с заданной точностью (достигнута сходимость).

Однако если сходимость не достигается за установленное количество итераций, SPICE генерирует сообщения об ошибках (такие как «singular matrix», «Gmin stepping failed», «source stepping failed» или «iteration limit reached») и прерывает расчёт имитационной модели. SPICE использует результат текущего состояния схемы для выполнения расчётов последующих шагов. Если выполняется расчёт переходного процесса (это значит, что меняется время) и SPICE не может обеспечить сходимость решения, используя текущий временной шаг, тогда временной шаг автоматически уменьшается и цикл расчёта повторяется. Если временной шаг уменьшается слишком сильно, тогда SPICE генерирует сообщение «Timestep too small» и прерывает расчёт имитационной модели.

Основные проблемы в сходимости

Основной причиной отказа имитатора в расчёте имитационной модели является отказ сходимости расчёта. Ниже приведён перечень мероприятий, позволяющих решать проблемы сходимости.

Мероприятия обеспечения сходимости расчётов

- Сперва нужно выполнить расчёт рабочей точки (Operating Point).
- Следует внимательно прочитать сообщения об ошибках и предупреждениях в панели Messages.
- Проверьте корректность соединений в схеме. Необходимо убедиться, что схема удовлетворяет требованиям имитатора.
- Убедитесь, что схема имеет базовый узел (базовую цепь), и каждый узел схемы имеет путь для протекания постоянного тока к базовому узлу. Проверить в пути протекания постоянного тока наличие компонентов, которые могут изолировать узлы, такие как трансформаторы и ёмкости. Источники тока считаются короткозамкнутыми, источники тока считаются разрывающими цепь.
- Убедитесь, что не спутали цифру 0 с заглавной буквой O, при указании параметров профиля имитатора.

- Убедитесь, что корректно указали инженерные приставки. Проверьте, что не допустили пробелов между числом и инженерной приставкой: например, должно быть 10uF, а не 10 uF.
- Убедитесь, что устройства и источники имеют корректные допустимые значения электрических величин.
- Убедитесь, что корректно определено значение величины усиления для зависимых источников.
- Временно уберите последовательные конденсаторы или источники тока и повторно запустите расчёт имитационной модели.
- Временно уберите параллельные катушки индуктивности или источники напряжения и перезапустите расчёт имитационной модели схемы.
- Увеличьте значение параметра ITL1 до 300 или более на закладке Advanced Options профиля имитатора. Это позволит совершить больше циклов расчёта для приближения к решению с заданной точностью.
- Добавьте в файл задания высказывание .NS (NodeSet) с указанием напряжений в узлах схемы. Если начальное предположение о напряжениях в узлах неверно, то имитатор примет во внимание характеристики высказывания .NS для выполнения предварительного вычисления рабочей точки.
- Если применённое высказывание .NS не помогает обеспечить сходимость, тогда следует применить высказывание .IC. В этом случае значения напряжений в узлах жёстко удерживаются согласно выполненному определению в .IC в ходе расчёта рабочей точки, однако в ходе расчёта переходного процесс такая фиксация снимается. Высказывание .IC позволяет более жёстко определить начальное состояние узлов схемы перед выполнением расчёта переходного процесса по сравнению с высказыванием .NS.
- Установите флаг разрешения Use Initial Conditions на закладке Transient/Fourier Analysis Setup диалога Analyses Setup. Этот флаг разрешает имитатору учитывать высказывание .IC, а также определения параметров IC= в описаниях моделей-экземпляров устройств. При установке данного флага перед расчётом переходного процесса не выполняется расчёт рабочей точки и состояние системы определяется характеристиками высказывания .IC и определениями параметров IC=. Следует принять во внимание, что если параметр IC= для модели-экземпляра устройства явно не определён, то используется его значение по умолчанию (обычно 0 В и 0 А).
- Установите параметр скрытого сопротивления утечки на узел 0 с помощью параметра имитатора RSHUNT >> 0 (обычно 1e12).
- Увеличьте значение параметра имитатора GMIN на порядок (в 10 раз).
- Определите параметр начального состояния полупроводниковых устройств, таких как диоды и транзисторы в значение OFF – выключено.

Устранение проблем расчёта по постоянному току

При возникновении проблем со сходимостью при выполнении расчёта по постоянному току, сначала следует попробовать выполнить шаги, описанные в подразделе «Мероприятия обеспечения сходимости расчётов».

Если проблема не устранена, тогда попробуйте следующие шаги:

- Измените значение свойства Primary Step на странице DC Sweep Analysis. Если разрывы существуют в моделях-экземплярах (возможно в области между линейной и нелинейной областями), тогда увеличение шага может помочь «перешагнуть» разрыв. Указание более мелкого шага расчёта, с другой стороны, может позволить увидеть более детально сигналы с высокой крутизной.
- Отказаться от выполнения анализа по постоянному току. Некоторые явления, такие как гистерезис, не могут быть вычислены в ходе расчёта по постоянному току. В этом случае, более эффективно будет использование расчёта переходного процесса и изменение в ходе него значения величины соответствующего источника.

Устранение проблем расчёта переходного процесса

При возникновении проблем со сходимостью при выполнении расчёта переходного процесса, сначала следует попробовать выполнить шаги, описанные в подразделе «Мероприятия обеспечения сходимости расчётов».

Если проблема не устранена, тогда попробуйте изменить ряд параметров имитатора на закладке SPICE Options диалога Analyses Setup:

- Установите параметр RELTOL в 0.01. Это параметр относительной точности выполнения расчётов. Уменьшение значения этого параметра приводит к повышению точности и большим затратам программных циклов приближения на поиск решения. Увеличение значения приводит к снижению точности расчётов, но сокращает временные издержки.
- Увеличьте значение параметра ITL4 до 100. Это позволит алгоритму расчёта переходного процесса выполнить больше циклов приближения на каждом временном шаге, перед тем как значение временного шага будет выбрано заново. Увеличение значения этого параметра может позволить обойти ошибку «timestep too small», увеличивая сходимость и общую скорость работы имитатора.
- Снизьте точность за счёт указания значений параметров ABSTOL и VNTOL, если это допустимо условиями выполнения расчёта. Параметр ABSTOL определяет абсолютное значение тока, которое учитывает имитатор при выполнении расчёта. Значение по умолчанию равно 1 пА (1p, 1E-12), однако такая величина может быть избыточна мала для текущей схемы, и допустимо выбрать, например, 1 мкА (1u, 1E-6). Параметр VNTOL определяет абсолютное значение напряжения, которое учитывает имитатор при выполнении расчёта. Значение по умолчанию равно 1 мкВ (1u, 1E-6), однако такая величина может быть избыточно мала для текущей схемы и допустимо выбрать, например, 0.1 мА (0.1m, 1E-4).
- Измените метод интегрирования на метод Гира, разного порядка. Метод Гира требует больших вычислительных затрат и большего времени на работу имитатора, однако он более стабилен по сравнению с методом трапеций, используемым по умолчанию. Метод Гира может быть особенно полезен, если исследуемая схема содержит осцилляторы или обратную связь.

Кроме того, следует попробовать следующее:

- Реалистично перестройте модель схемы. Добавьте паразитные цепи для токов утечки, особенно для конденсаторов. Часто при построении схем не учитывают многие дополнительные эффекты, имеющие в совокупности существенное влияние на её работу, но несущественные по отдельности.
- Совместно с диодами примените RC снабберы для сглаживания выбросов.
- Замените модели элементов на более проработанные подсхемы, особенно для высокочастотных элементов и элементов обеспечения питания.
- Увеличьте время нарастания/спада для периодических импульсных сигналов. Примите во внимание, что даже лучшие источники сигналов не могут переключаться мгновенно.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПЕРЕЧЕНЬ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Автор	Актуальная версия Altium Designer	Примечание
1	20.12.2019	Леган Ю.Н.	19.1.8 и ранее	Выпуск документа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mixed Simulation [Электронный ресурс]. Сайт компании Altium. – Режим доступа: <https://techdocs.altium.com/display/AMSE1/Mixed+Simulation>.
2. О. М. Петраков. Создание аналоговых PSpICE-моделей радиоэлементов. – М.: ИП РадиоСофт, 2004.
3. PSpICE A/D Reference Guide [Электронный документ]. Сайт Montana State University. – Режим доступа: <http://www.montana.edu/aolson/ee503/pspcref.pdf>.
4. Ngspice Users Manual. Version 2.9 [Электронный документ]. Сайт сообщества открытого программного обеспечения. – Режим доступа: <http://ngspice.sourceforge.net/docs/ngspice-29-manual.pdf>.
5. Руководство по Digital SimCode [Электронный документ]. Сайт компании Altium. – Режим доступа: <https://ru.resources.altium.com/russian-guide-books/руководство-digital-simcode>.