



# idealCircuit

**Руководство пользователя**

**Rev. 1.0**

**01/06/2012**

## VERSION

This version of User's Manual is current for **idealCircuit** simulator version 1.0 (01/06/2012). The latest version of User's Manual can be found at [ic.sidelinesoft.com](http://ic.sidelinesoft.com).

## LIMITED LIABILITY

**idealCircuit**, together with all accompanying materials, is provided on a "as is" basis, without warranty of any kind. The author makes no warranty, either expressed, implied, or stationary, including but not limited to any implied warranties of merchantability or fitness for any purpose. In no event will the author be liable to anyone for direct, incidental or consequential damages or losses arising from use or inability to use **idealCircuit**.

## COPYRIGHTS

© 2012, A.Smirnov. The program and User's Manual are copyrighted. No portion of this Manual can be translated or reproduced for commercial purpose without the express written permission from the copyright holder.

# Содержание

<b>I. Что такое idealCircuit.....</b>	<b>5</b>
Что такое idealCircuit?.....	5
Что такое «идеальные» компоненты? .....	5
Почему имеет смысл использовать идеальные компоненты? .....	5
<b>II. Схема .....</b>	<b>6</b>
Редактирование схемы.....	6
Формат чисел.....	6
<b>III. Анализ переходных процессов.....</b>	<b>8</b>
Алгоритм симуляции PWL .....	8
Рабочая точка на постоянном токе.....	8
Диапазон линейной симуляции .....	8
Шаг вычисления.....	9
Автоматическое уменьшение шага .....	10
Поддержка бесконечных импульсов напряжения и тока.....	10
Сходимость.....	11
Память.....	11
<b>IV. Анализ на переменном токе .....</b>	<b>12</b>
Алгоритм малосигнальной симуляции на переменном токе .....	12
Линеаризация .....	12
<b>V. Предпочтения .....</b>	<b>13</b>
Предпочтения .....	14
Документ .....	15
Схема.....	16
Графики .....	17
Анализ переходного процесса.....	18
<b>VI. Компоненты .....</b>	<b>19</b>
<b>1. Probes, AC source .....</b>	<b>20</b>
Voltmeter (voltage probe).....	20
Amperemeter (current probe) .....	20
AC source.....	20
<b>2. R, C, L .....</b>	<b>21</b>
Resistor.....	21

Capacitor .....	21
Inductor .....	21
Coupled inductors (индуктивности со связью).....	22
<b>3. Диоды.....</b>	<b>23</b>
Diode .....	23
Zener (стабилитрон).....	23
Bidirectional Zener (двунаправленный стабилитрон) .....	23
Bridge rectifier (мостовой выпрямитель).....	24
<b>4. Транзисторы .....</b>	<b>25</b>
NPN transistor – Linear (линейный).....	25
NPN transistor - Switch.....	25
NPN transistor - Transistor .....	26
PNP transistor - Linear .....	27
PNP transistor - Switch .....	27
PNP transistor - Transistor.....	28
N-FET transistor - Linear.....	29
N-FET transistor – Switch (ключ) .....	29
N-FET transistor - FET .....	30
P-FET transistor – Linear (линейный) .....	31
P-FET transistor – Switch (ключ).....	31
P-FET transistor - FET .....	32
<b>5. Усилители.....</b>	<b>33</b>
Buffer amplifier – Ideal (идеальный буферный усилитель) .....	33
Buffer amplifier – Linear (линейный буферный усилитель) .....	33
Comparator (компаратор).....	34
Differential amplifier – Ideal (идеальный дифференциальный усилитель).....	34
Differential amplifier – Linear (линейный дифференциальный усилитель) .....	35
Differential amplifier – OpAmp (операционный усилитель с ограничением).....	35
Differential comparator (дифференциальный компаратор) .....	36
Summing amplifier (суммирующий усилитель).....	36
<b>6. Источники .....</b>	<b>37</b>
Voltage source – Voltage (источник напряжения) .....	37
Voltage source – Pulse (источник импульсного напряжения) .....	37
Voltage source – Step (источник напряжения «ступенька»).....	37
Voltage source – Sin (источник синусоидального напряжения) .....	38
Voltage controlled voltage source (управляемый напряжением источник напряжения).....	38
Current controlled voltage source (источник напряжения, управляемый током) .....	38
Current source – Current (источник тока).....	39
Current source – Pulse (импульсный источник тока) .....	39
Current source – Step (источник тока «ступенька»).....	39
Current source – Sin (источник синусоидального тока) .....	40
Voltage controlled current source (источник тока, управляемый напряжением).....	40
Current controlled current source (источник тока, управляемый током) .....	40
<b>7. Переключатели .....</b>	<b>41</b>
Switch – Switch (ключ).....	41
Switch – Pulse (импульсный ключ) .....	41

Switch – Step (ступенька).....	41
Logic controlled switch (управляемый логикой ключ).....	42
Voltage controlled switch (ключ, управляемый напряжением) .....	42
Current controlled switch (управляемый током ключ) .....	43
SPDT switch – Switch (переключатель).....	43
SPDT switch – Pulse (импульсный переключатель) .....	43
SPDT switch – Step (ступенька) .....	44
SPDT logic controlled switch (управляемый логикой переключатель) .....	44
SPDT voltage controlled switch (управляемый напряжением переключатель).....	45
SPDT current controlled switch (управляемый током переключатель) .....	45
<b>8. Трансформаторы .....</b>	<b>46</b>
Winding (обмотка) .....	46
Transformer.....	46
<b>9. Логические компоненты .....</b>	<b>47</b>
Logical.....	47
D flip-flop (триггер-защёлка) .....	47
SR trigger (D-триггер с предустановкой).....	48
Schmitt trigger (триггер Шмитта) .....	48
Logic generator – Logical (логический генератор) .....	48
Logic generator – Pulse (импульсный логический генератор).....	49
Logic generator – Step (логический генератор ступеньки) .....	49
<b>10. Разные компоненты.....</b>	<b>50</b>
Function – Pwr (функция мощности со знаком).....	50
Function – Abs (абсолютное значение).....	50
Function – Int (функция округления) .....	50
Function – Lim (функция ограничения).....	51
Function-2 – Mul (функция умножения).....	51
Function-2 – Div (функция деления) .....	51
Function-2 – Sum (функция суммирования) .....	52
Function-2 – Sub (функция вычитания) .....	52
Function-2 – Max (функция определения максимума).....	52
Function-2 – Min (функция определения минимума).....	53
Function-2 – GT (больше чем).....	53
Function-2 – LT (меньше чем).....	53
Function-2 – Mag (магнитуда, длина вектора).....	54
Function-2 - Pwr.....	54
Function-2 - Phase .....	54
Delay (задержка) .....	55
Sample/Hold (выборка/удержание) .....	55
Transmission line (линия передачи).....	56

# I. Что такое idealCircuit

## Что такое idealCircuit?

**idealCircuit** – это симулятор аналоговых электрических схем, работающий с действительно идеальными компонентами. Программа использует в точности тот же уникальный и гибкий алгоритм, что и **NL5 Circuit Simulator** ([nl5.sidelinesoft.com](http://nl5.sidelinesoft.com)). Однако она упрощена, насколько это было возможно: очень простой и интуитивно понятный интерфейс, меньше компонентов и моделей, нет необычных и мощных возможностей.

## Что такое «идеальные» компоненты?

Наилучший пример – это идеальный переключатель с нулевым сопротивлением, когда он включён, и бесконечным сопротивлением, когда выключен. Другой пример: идеальный диод с похожими свойствами (но, когда диод открыт его сопротивление нулевое, когда закрыт - бесконечное). Все другие компоненты могут быть не так «идеальны», как переключатель или диод, однако они тоже просто поддерживают базовую функциональность, требуемую от компонента этого типа.

## Почему имеет смысл использовать идеальные компоненты?

С помощью идеальных компонентов инженеры могут вырабатывать основные концепции и осуществлять разработку очень быстро, оставляя исчерпывающий и детальный анализ для стандартных инструментов, основанных на SPICE. Студенты могут симулировать те же самые схемы, которые они видят в своих учебниках: нет нужды выбирать специфические типы диода, транзистора или усилителя из списка, включающего тысячи моделей.

## II. Схема

### Редактирование схемы

Редактирование схемы в **idealCircuit** осуществляется очень просто и интуитивно понятно. Большинство операций могут выполняться с помощью мышки, клавиатура используется только для ввода чисел. Пожалуйста, посмотрите видео-уроки на YouTube, где всё показано детально.

Соединение элементов схемы производится с помощью мышки: подвести мышку к выводу соединяемого компонента, нажать левую клавишу мышки, и провести соединение ко второму элементу схемы или уже существующему проводнику.

Для добавления «земли» выберите точку соединения трёх проводов, отмеченную «жирной» точкой, наведите курсор мышки на эту точку и щёлкните левой клавишей мышки. В появившемся меню вы можете выбрать удаление точки соединения или добавление «земли».

### Формат чисел

Формат чисел в **idealCircuit** очень гибок и соответствует большинству обычно используемых стилей и стандартов. Числа можно использовать в экспоненциальной форме с множителем при E или e и чувствительными к регистру множителями:

Буква	Множитель
T	$10^{12}$
G	$10^9$
M, mg	$10^6$
K, k	$10^3$

Буква	Множитель
m	$10^{-3}$
u, mk	$10^{-6}$
n	$10^{-9}$
p	$10^{-12}$

Например:

1.3e+3 47E-9 100k 0.33mk 2.2M

За буквой множителя может следовать любой текст, который подразумевает единицы и будет игнорироваться:

1.3kOhm 47nF 0.1mkH 333ps

Любой текст, который начинается не с буквенного множителя, определяется как единицы и будет игнорироваться:

1.3Ohm 0.001F 0.1H 333apples

Буквенный множитель и единицы (с или без буквенного множителя) могут использоваться вместо десятичной точки:

1k3 5n6 3nF3 47F0 2s2

Ноль перед десятичной точкой или буквенным множителем может быть опущен. Например:

.47 n47 uF5

Введённое в разных допустимых форматах число автоматически конвертируется и запоминается в формате с плавающей точкой (**double**). Когда число отображается, используется инженерная нотация со степенью кратной трем:

Введено	Отображается
1k3	1.3e+3
47e-8	470e-9
5600000	5.6e+6



## II. Анализ переходных процессов

### Алгоритм симуляции PWL

**idealCircuit** – это симулятор кусочно-линейного представления (PWL). Все компоненты в **idealCircuit** вводятся линейно или кусочно-линейно: состоят из некоторого количества линейных сегментов. В качестве образца рассмотрим диод – он либо открыт, либо закрыт, таким образом, PWL представление состоит только из двух сегментов. До тех пор, пока все компоненты остаются с их текущими линейными сегментами, схема описывается той же системой линейных дифференциальных уравнений. Система модифицируется только тогда, когда хотя бы один компонент изменяет свой линейный сегмент. Когда это происходит, текущий диапазон линейной симуляции завершается, и стартует другой. Типичная симуляция **idealCircuit** состоит из расчёта рабочей точки (DC operating point в момент  $t=0$ ) с последующим одним или несколькими диапазонами линейной симуляции.

### Рабочая точка на постоянном токе

Симуляция всегда начинается в момент  $t=0$ . Вначале рассчитывается рабочая точка на постоянном токе (DC operating point). Расчёт выполняется в соответствии с начальными условиями (Initial Condition (IC)) для компонентов. Например, конденсатор замещается источником напряжения, если начальное напряжение задано, или игнорируется (разрыв цепи), если начальные условия не заданы (пустая строка). Индуктивность замещается источником тока, если начальные условия заданы, или закорачивается, если не заданы (пустая строка). Диод замещается открытой цепью, если состояние IC задано «Off», и короткозамкнутой цепью, если состояние «On».

Если схема имеет более одного устойчивого состояния, она может быть установлена в заданное состояние определением подходящих начальных условий. Результат расчёта рабочей точки – известные напряжения, токи и состояния всех компонентов. Когда рабочая точка найдена, начинается первый диапазон линейной симуляции.

### Диапазон линейной симуляции

В линейном диапазоне схема описывается системой линейных дифференциальных уравнений, которые решаются методом вычисления интеграла по формуле трапеций (Trapezoidal). Метод поддерживает достаточную точность с хорошей устойчивостью и скоростью вычислений. В процессе диапазона линейной симуляции алгоритм выполняет «определение точки перехода»: проверяет условия для всех компонентов, которые могут изменить своё состояние (диодов, переключателей, логических компонентов), или изменить амплитуду или наклон линии (источники напряжения и тока). Если обнаруживается изменение, текущий диапазон линейной симуляции завершается и начинается новый.

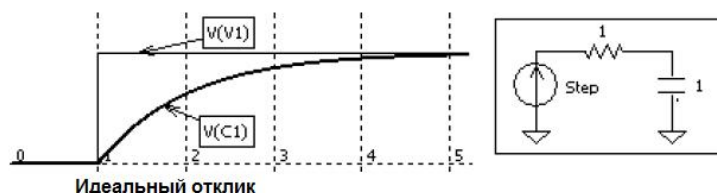
## Шаг вычисления

В отличие от многих аналоговых симуляторов **idealCircuit** не выполняет автоматического управления шагом. Заданный шаг вычисления – забота пользователя. Это даёт возможность пользователю полностью управлять симуляцией, хотя требует некоторого опыта и понимания процесса. Эмпирическое правило — сохранять шаг вычислений меньше постоянной времени в схеме, иначе метод интегрирования может стать нестабильным и производить «числовые осцилляции».

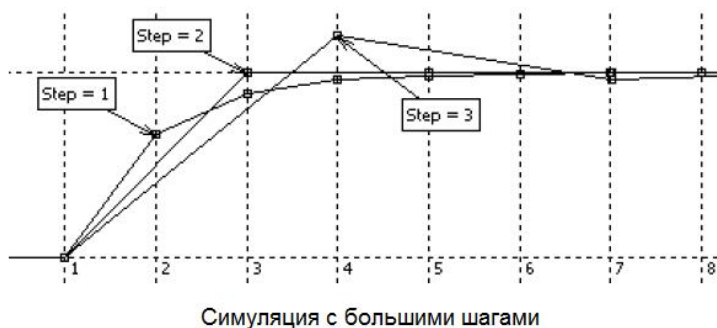
Однако шаг вычисления, удовлетворяющий условию «наименьшей постоянной времени», не всегда обязателен. Иной раз даже достаточно большой шаг вычисления поддерживает хорошую стабильность, тогда как скорость симуляции может быть значительно увеличена. Чтобы выяснить оптимальный шаг вычислений, запустите симуляцию несколько раз с разным шагом и сравните результаты симуляции. Как правило, уменьшение шага вычислений ниже некоторого уровня не даёт видимого эффекта. Выбор шага вычисления, ограниченный этим уровнем, и даст наилучшее выполнение симуляции.

Следующий пример показывает, как шаг вычисления сказывается на симуляции простой схемы.

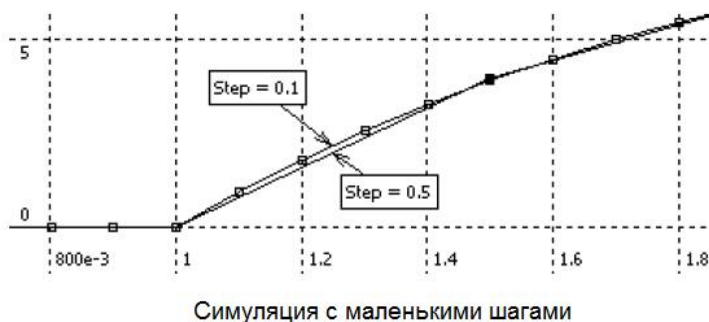
Постоянная времени RC цепи 1 с, так что шаг вычисления предполагается меньше одной секунды.



Когда задаются шаги 1, 2 или 3 секунды, осциллограмма процесса становится неверной. Выброс и дальнейшие осцилляции появляются при шаге 3 с. Однако, если процесс на осциллограмме неинтересен, и не сказывается на функциональности остальной части схемы, можно использовать эти шаги.



Шаги вычисления ниже 1 с производят очень точные осциллограммы. Например, различия между графиками с шагом 0.5 с и 0.1 с могут быть заметны только в самом начале переходного процесса, а они крайне малы.



## Автоматическое уменьшение шага

Хотя шаг вычисления задаётся пользователем, **idealCircuit** всё ещё может автоматически уменьшать шаг, чтобы удовлетворить неким условиям, например:

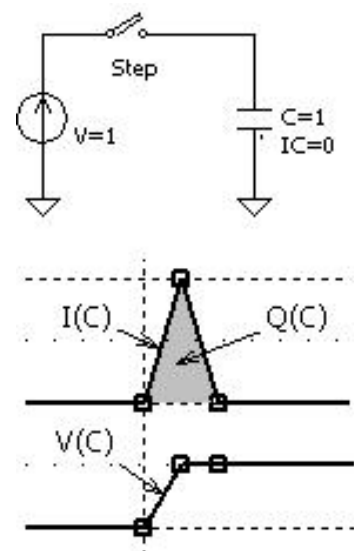
- Период источника синусоидального напряжения состоит хотя бы из 16 шагов.
- Состояние переключения импульса «On»/«Off» состоит хотя бы из 4 шагов.
- Время задержки линии передачи и «задержка» компонента состоит хотя бы из 2 шагов.

Автоматическое уменьшение шага также используется для поддержки лучшего разрешения времени обнаружения точки перехода. Если постоянная времени цепи большая, и большой шаг вычисления может использоваться для диапазона линейной симуляции, уменьшение шага только в точках перехода значительно улучшает представление симуляции.

## Поддержка бесконечных импульсов напряжения и тока

В отличие от стандартных средств, основанных на Spice, **idealCircuit** способна симулировать схемы с действительно идеальными компонентами. Пример такого компонента – это идеальный ключ, который имеет нулевой импеданс, когда закрыт, и бесконечный импеданс, когда открыт, и мгновенный переход из одного состояния в другое. Когда идеальный переключатель используется для заряда или разряда конденсаторов, обнаруживается бесконечный короткий импульс тока с бесконечной амплитудой. Хотя амплитуда импульса бесконечна, площадь (интеграл по времени) его ограничена и эквивалентна общему полученному конденсатором или отданному им заряду в момент переключения. Похожая ситуация может обнаружиться, когда ток через индуктивность прекращается, как результат бесконечного напряжения импульса на ней. Интеграл по времени от напряжения относится к магнитному потоку в индуктивности.

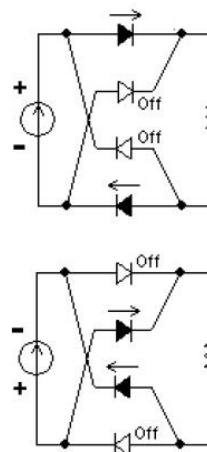
Такой бесконечный короткий импульс с бесконечной амплитудой и ограниченной площадью обычно называют импульсом Дирака или дельта-функцией. Так как отображение истинной дельта-функции на графике переходного процесса было бы проблематично, в **idealCircuit** используется следующее приближение. Ток или напряжение дельта-функции показаны как треугольные импульсы с длительностью каждого фронта эквивалентной минимальному шагу вычисления, используемому в данный момент, а площадь, удовлетворяющая закону сохранения. Если шаг вычисления умеренно мал, отображаемый импульс будет коротким и будет иметь достаточно большую амплитуду, чтобы быть похожим на дельта-функцию. В то же время, интеграл от импульса даст реальное значение заряда (для импульса тока) или магнитного потока (импульс напряжения). Изменение шага вычисления изменит длительность и амплитуду отображаемого импульса, однако интеграл от импульса останется тем же.



## Сходимость

В симуляторах, основанных на Spice, проблема сходимости может обнаружиться в любое время: в процессе анализа на постоянном токе и при анализе переходного процесса. Так как **idealCircuit** – это кусочно-линейный симулятор, большую часть времени он ведёт себя как линейные системы, которые никогда не имеют проблем со сходимостью решения. Единственное исключение, когда **idealCircuit** может иметь затруднения, это момент, когда один или больше компонентов меняют своё состояние или линейный сегмент.

Для систем с идеальными кусочно-линейными компонентами типична ситуация, когда несколько компонентов меняют своё состояние в точности одновременно, иначе система не будет сходиться. Например, в стандартной схеме мостового выпрямителя диоды всегда переключаются парами, а то и все диоды сразу. С идеальными диодами, имеющими нулевое сопротивление при открывании, и бесконечное сопротивление, когда они закрыты, простой алгоритм может иметь некоторые проблемы при расчёте процесса переключения. Возможное решение будет в добавлении ненулевого резистора последовательно и/или резистора с большим сопротивлением параллельно диодам. Однако это может вызвать очень маленькие постоянные времени, выражающиеся в очень маленьких шагах вычисления, так что, в конечном счете, это приводит к тому, что преимущество использования идеальных компонентов исчезает.



Поскольку традиционные итерационные методы оказываются неработоспособны с этими системами, **idealCircuit** использует надёжный, собственной разработки алгоритм. До настоящего времени алгоритм прекрасно работал со всеми проверенными схемами, однако никто не мешает пользователям разрабатывать что-то специфическое, что может обнаруживать трудности со сходимостью.

## Память

Данные симуляции хранятся в оперативной памяти. Память отводится по необходимости относительно небольшими блоками. Если доступной оперативной памяти не хватает для хранения постоянно растущего объёма данных, операционная система начинает хранить данные на диске, что может существенно замедлить симуляцию и отображение. Чтобы избежать этого, используется следующий механизм: когда количество памяти, требуемое для трассировки, превышает максимальное значение, заданное на странице Transient диалогового окна Preferences, блок памяти, хранящий в данный момент самое начало графика, будет освобождён и отведён для новых данных. Таким образом, график будет усечён в начале, чтобы сохранить последние данные.

Пожалуйста, имейте в виду, что безотносительно к размеру оперативной памяти вашего компьютера, **idealCircuit** может использоваться только 2 Гбайта из-за ограничений на 32-битовые приложения Windows. Если данные симуляции требуют большего количества памяти, чем 2 Гбайта, поведение программы может стать крайне медленным. **idealCircuit** постоянно отслеживает количество используемой памяти и автоматически начинает усекать данные графика, когда нуждается, чтобы предотвратить замедление операции.

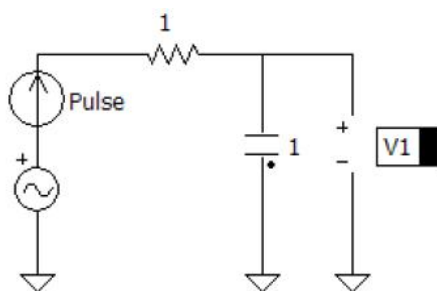
## IV. Анализ на переменном токе

### Алгоритм малосигнальной симуляции на переменном токе

idealCircuit выполняет стандартный малосигнальный анализ на переменном токе (AC analysis).

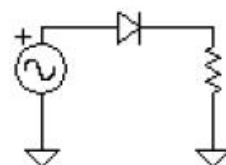
Вначале все нелинейные компоненты замещаются линейными эквивалентами в их рабочей точке. Затем сигнал заданной частоты с единичной амплитудой и нулевой фазой задаётся в параметрах источника переменного тока (**AC source**), а сигналы в других узлах находятся решением системы линейных уравнений. Процесс повторяется для заданного числа частот.

Чтобы выполнить анализ на переменном токе, один (и только один) источник должен быть в цепи. Во время анализа переходного процесса источник переменного тока игнорируется (цепь закорачивается). На примере ниже, источник напряжения «Pulse» используется для анализа переходного процесса (transient analysis, источник переменного тока закорочен), а источник переменного тока используется для малосигнального анализа на переменном токе.



### Линеаризация

Данный метод всегда работает для линейных цепей. Метод может также использоваться для цепей с нелинейными компонентами, но только, если эти компоненты могут быть должным образом линеаризованы в рабочей точке: бесконечно малая амплитуда входного сигнала переменного тока не должна изменять состояния компонентов. Например, следующая цепь не может корректно анализироваться этим методом, поскольку идеальный диод будет менять своё состояние каждый раз, когда входной сигнал меняет полярность.



Метод также нельзя использовать для цепей переключающего типа, поскольку все переключатели будут установлены либо в открытое, либо в закрытое состояние, и не будут переключаться должным образом.

Чтобы линеаризовать схему, состояние всех компонентов должно быть известно. Это можно сделать вручную заданием начальных условий (IC) для всех нелинейных компонентов: диодов и управляемых переключателей. Начальные условия, которые не заданы вручную, будут вычислены в процессе анализа рабочей точки на постоянном токе. Рабочая точка на постоянном токе вычисляется также, как и при анализе переходных процессов (transient analysis).

## V. Предпочтения

Предпочтения (preferences) в **idealCircuit** используются для пользовательских настроек различных свойств приложения, таких как «впечатление и ощущение» от использования программы (шрифты, цвета, форматы), предопределённых параметров, управление памятью и т.д. Предпочтения применяются ко всему приложению, не только к отдельному документу (схеме). Изменение предпочтений не сказывается на результатах симуляции.

Предпочтения хранятся в той же самой директории, что и `ic.exe`, в файле, названном `ic.icp`. Предпочтения сохраняются в файле каждый раз, когда нажимаются кнопки **Apply** или **OK** диалогового окна **Preferences**. При запуске **idealCircuit** загружает предпочтения из этого файла.

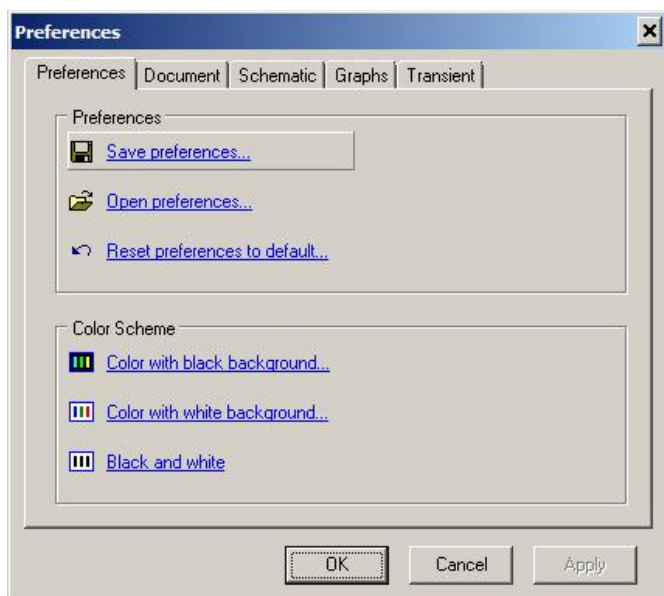
Предпочтения также могут храниться в пользовательском файле предпочтений (расширение «`icp`»), а затем возвращаться из файла. Эта возможность позволяет иметь разные профили для разных задач и легко переключаться между ними.

Открывается диалоговое окно **Preferences** из основного меню (**Menu | Preferences**). Диалоговое окно **Preferences** состоит из нескольких страниц. Выбор между страницами осуществляется с помощью щелчка по имени страницы в верхней части диалогового окна. Когда предпочтения меняются, активизируется кнопка **Apply**. Щелчок:

- **OK** – принимает изменения и закрывает диалоговое окно.
- **Cancel** – отменяет изменения и закрывает диалоговое окно.
- **Apply** – принимает изменения без закрывания диалогового окна.

## Предпочтения

Сохраните/откройте предпочтения в/из файла и выберите цветовую схему.



### Preferences

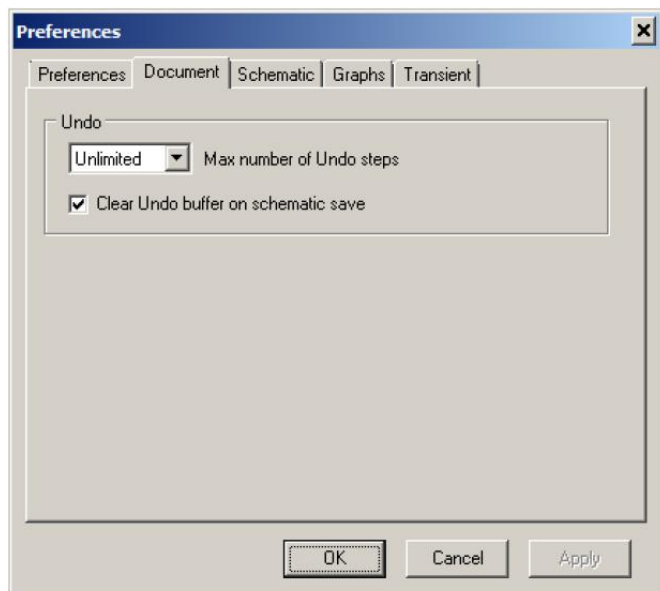
- **Save preferences.** Сохранить предпочтения в файле.
- **Open preferences.** Открыть предпочтения из файла.
- **Reset preferences to default.** Сбросить предпочтения к предустановленным.

### Color scheme

- **Color with black background.** Чёрный фон.
- **Color with white background.** Белый фон.
- **Black and white.** Эта схема может временно использоваться для копирования черно-белой схемы или графика в буфер обмена.

## Документ

Задание опции Undo.



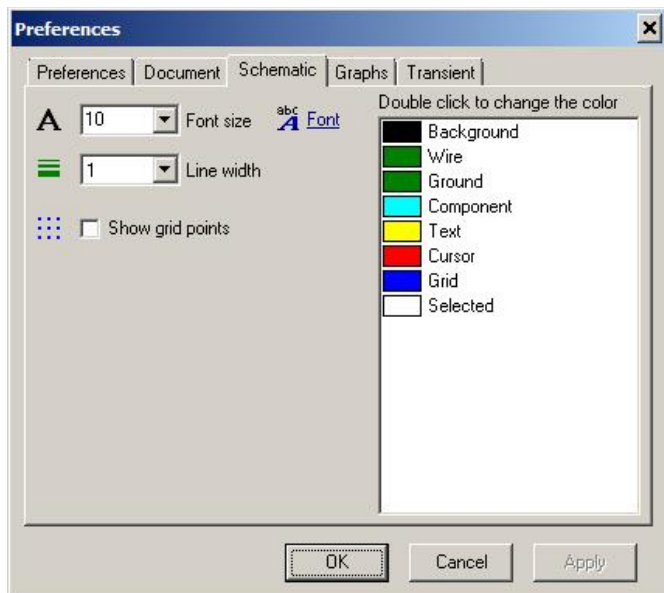
### Undo

- **Max number of Undo steps.** Максимальное количество отмен. Хотя буфер Undo/Redo может быть неограниченным, его максимальный размер может быть задан. Когда новая Undo информация добавляется, а размер буфера превышает заданное значение, самые первые данные будут удалены из буфера.
- **Clear Undo buffer on schematic save.** Очистить буфер отмен при сохранении схемы. Если выбрано, Undo буфер будет очищен, когда схема сохраняется в файле. Иначе все операции при открытой или созданной схеме могут быть возвращены.



## Схема

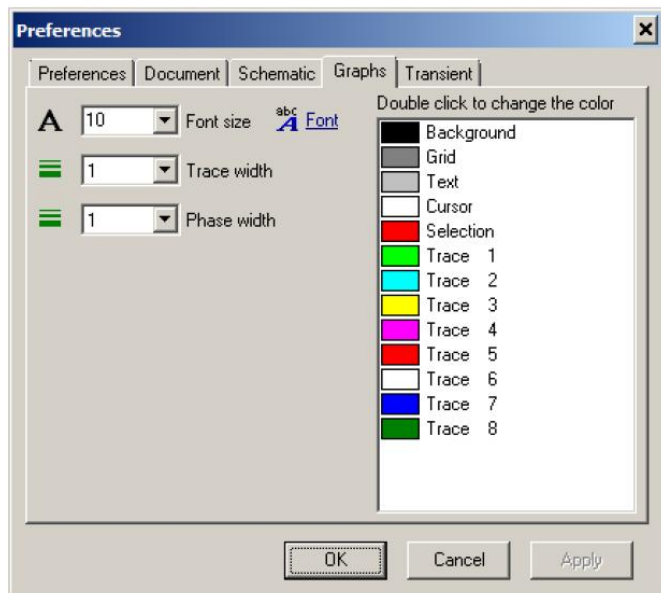
Задаются свойства схемы.



- A** • **Font size.** Задаёт размеры шрифта.
- A** • **Font.** Выбор шрифта.
- ≡** • **Line width.** Задаёт ширину линии (проводник и компоненты).
- ⋮** • **Show grid points.** Если выбрано, отображается сетка схемы.
- **Colors.** Двойной щелчок по разделу в списке позволяет изменить цвет.

## Графики

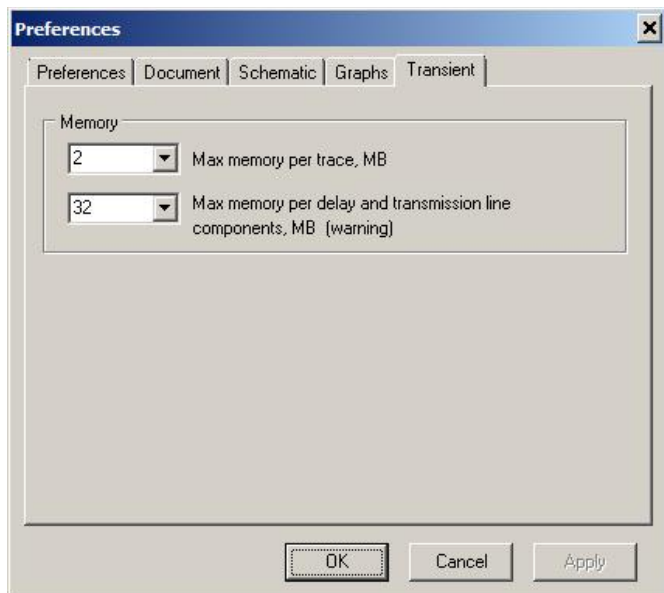
Задаёт свойство графиков анализа переходного процесса и анализа на переменном токе.



- A** • **Font size.** Устанавливает размер шрифта у чисел на осях.
- abc A** • **Font.** Выбор шрифта для чисел на осях.
- ≡** • **Default trace width.** Задаёт ширину графика.
- ≡** • **Default phase width.** Задаёт ширину графика ФЧХ.
  - **Colors.** Двойной щелчок по разделу в списке позволяет изменить цвет.

## Анализ переходного процесса

Задаёт параметры памяти переходного процесса.



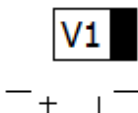
### Memory

- **Max memory per trace, MB.** Задаёт максимальный размер памяти, разрешённый для одного графика. Если размер памяти для этого графика превышает ограничение, начальные фрагменты графика будут удалены.
- **Max memory per delay and transmission line components, MB (warning).** Задаёт максимальный размер памяти, разрешённый для задержек и передаточных линий компонентов. Если предполагаемая требуемая память превышает заданное ограничение, будет выведено предупреждающее сообщение с предложением продолжить или остановить симуляцию.

## VI. Компоненты


## 1. Probes, AC source

### Voltmeter (voltage probe)

	Parameter	Units	Description
	No parameters		


**Вольтметр (voltage probe).** Показывает измеренное напряжение как графики переходного процесса и анализа на переменном токе.

### Amperemeter (current probe)

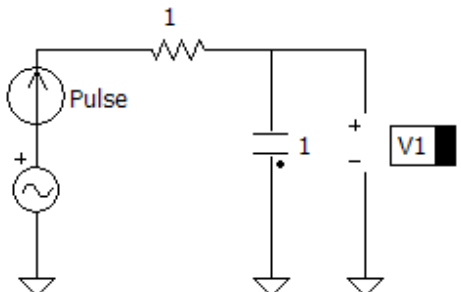
	Parameter	Units	Description
	No parameters		

**Амперметр (current probe).** Показывает измеренный ток как графики переходного процесса и анализа на переменном токе.

### AC source


	Parameter	Units	Description
	No parameters		

**AC source.** Задаёт источник переменного напряжения для малосигнального анализа на переменном токе. В процессе анализа переходного процесса источник переменного напряжения игнорируется (короткозамкнутая цепь). В примере ниже источник напряжения "Pulse" используется для анализа переходного процесса (AC source закорочен), и AC source используется для малосигнального анализа на переменном токе:




## 2. R, C, L


### Resistor

	Parameter	Units	Description
	R	Ohm	Сопротивление.
<b>Linear resistor.</b> $V = R \cdot I$ .			

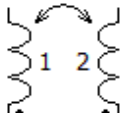
### Capacitor

	Parameter	Units	Description
	C	F	Ёмкость.
	IC	V	Начальные условия: напряжение. Оставьте пустым, если IC не определено.
<b>Linear capacitor.</b> $I = C \cdot dV/dt$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если начальное напряжение «IC» определено, конденсатор замещается источником напряжения, эквивалентным IC. Напряжение прикладывается относительно вывода с точкой. Если «IC» не определено (поле осталось пустым), ёмкость временно удаляется (открытая цепь), рабочая точка на постоянном токе рассчитывается, а затем напряжение, найденное для конденсатора, задаётся как начальное напряжение на конденсаторе.			

### Inductor

	Parameter	Units	Description
	L	H	Индуктивность.
	IC	A	Начальные условия: ток. Оставьте пустым, если IC не определено.
<b>Linear inductor.</b> $V = L \cdot dI/dt$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если начальный ток «IC» определён, индуктивность замещается источником тока, эквивалентным IC. Ток протекает от вывода без точки к выводу с точкой внутри индуктивности. Если «IC» не определено (поле пусто), индуктивность временно замещается короткозамкнутой цепью, рассчитывается рабочая точка на постоянном токе, а затем ток через короткозамкнутую цепь назначается индуктивности как начальные условия.			

## Coupled inductors (индуктивности со связью)

	Parameter	Units	Description
	L1	H	L1 индуктивность.
	L2	H	L2 индуктивность.
	K		Коэффициент связи (-1...1)
	IC1	A	L1 начальные условия: ток. Оставьте пустым, если IC1 не определено.
	IC2	A	L2 начальные условия: ток. Оставьте пустым, если IC2 не определено.

### Coupled linear inductors.


$$V1 = L1 \cdot di1/dt + M \cdot di2/dt$$

$$V2 = M \cdot di1/dt + L2 \cdot di2/dt$$

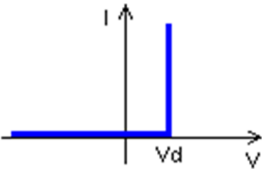
где  $M = K \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}$  — взаимная индукция. При расчёте рабочей точки на постоянном токе начальные условия IC1 и IC2 независимо назначаются соответствующим индуктивностям L1 и L2, аналогично тому, как это делается для единственной индуктивности.

### 3. Диоды


#### Diode

	Parameter	Units	Description
	Vd	V	Прямое падение напряжения.
	IC		Начальные условия: On/Off.

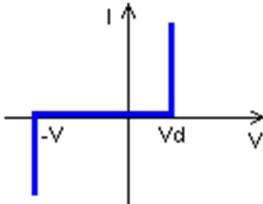
**Ideal diode.** Если  $V \geq "Vd"$ , диод On (закороченная цепь,  $V=Vd$ ).  
Иначе диод Off (открытая цепь,  $I=0$ ). При расчёте рабочей точки на постоянном токе диод устанавливается в состояние, заданное в «IC».




#### Zener (стабилитрон)

	Parameter	Units	Description
	V	V	Обратное падение напряжения.
	Vd	V	Прямое падение напряжения.
	IC		Начальные условия: Minus/Off/Plus.

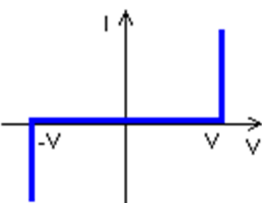
**Ideal zener.** Если  $V \leq -"V"$  или  $V \geq "Vd"$ , стабилитрон On (короткозамкнутая цепь).  
Иначе стабилитрон Off (открытая цепь,  $I=0$ ). При расчёте рабочей точки на постоянном токе стабилитрон устанавливается в состояние, заданное в «IC».



#### Bidirectional Zener (двунаправленный стабилитрон)


	Parameter	Units	Description
	V	V	Обратное падение напряжения.
	IC		Начальные условия: Minus/Off/Plus.

**Ideal bidirectional zener.** Если  $V \leq -"V"$  или  $V \geq "V"$ , стабилитрон On (короткозамкнутая цепь). Иначе стабилитрон Off (открытая цепь,  $I=0$ ). При расчёте рабочей точки на постоянном токе стабилитрон устанавливается в состояние, заданное в «IC».

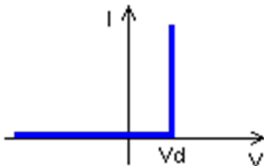




## Bridge rectifier (мостовой выпрямитель)

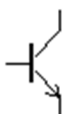
	Parameter	Units	Description
	V	V	Обратное падение напряжения.

**Bridge rectifier with ideal diodes.** Для каждого диода, если  $V \geq V_d$ , диод On (короткозамкнутая цепь,  $V=V_d$ ). Иначе диод Off (открытая цепь,  $I=0$ ). При расчёте рабочей точки на постоянном токе диоды в состоянии Off.

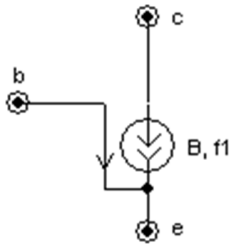


## 4. Транзисторы

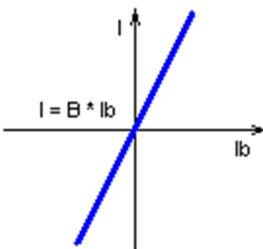
### NPN transistor – Linear (линейный)

	Parameter	Units	Description
	B	A/A	Усиление (бета).
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	A	Начальные условия: ток коллектора.

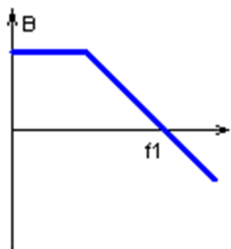
**Linear BJT transistor.** Управляемый ток источник тока с заданной полосой пропускания. «B» - это усиление (бета) с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток коллектора устанавливается к значению, заданному выходным током в «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема

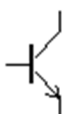


Статическая характеристика

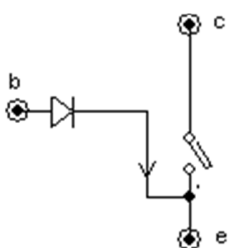


АЧХ (плоттер Боде)

### NPN transistor - Switch

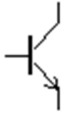
	Parameter	Units	Description
	Vbe	V	Прямое падение напряжения диода база-эмиттер.
	IC		Начальные условия диода база-эмиттер: Off/On.

**BJT transistor switch.** Управляемый ток переключатель с диодом база-эмиттер. Ключ замкнут, если ток через диод ненулевой. При вычислении рабочей точки на постоянном токе диод устанавливается в состояние, заданное в «IC».



Эквивалентная схема

# NPN transistor - Transistor

	Parameter	Units	Description
	B	A/A	Усиление (бета).
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	Vbe	V	Прямое падение напряжения диода база-эмиттер.
	Vsat	V	Падение напряжения коллектор-эмиттер в режиме насыщения.
	IC	A	Начальные условия: ток коллектора.
	ICbe		Начальные условия диода база-эмиттер: Off/On.
	ICbc		Начальные условия диода база-коллектор: Off/On.

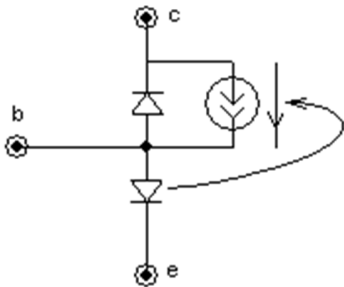
**BJT transistor.** Упрощённая модель BJT транзистора Эберса-Молла с насыщением. Она состоит из двух диодов (база-эмиттер и база-коллектор), и источника тока, управляемого током через диод база-эмиттер

с усилением «альфа»:  $\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$

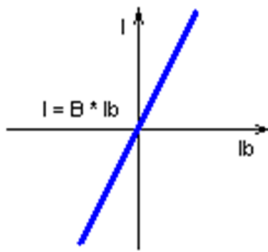
Если напряжение коллектор-эмиттер больше, чем «Vsat», диод база-коллектор открыт, транзистор не насыщен и ведёт себя как «Linear, линейная» модель (управляемый током источник тока с заданной полосой пропускания). «B» - это усиление (бета) с открытой петлёй. Малосигнальная АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления.

Если падение напряжения на коллекторе ниже «Vsat», диод база-коллектор закрыт, и транзистор насыщен: напряжение коллектор-эмиттер эквивалентно «Vsat».

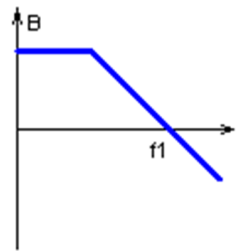
При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток коллектора принимается заданным выходным током «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика. Диод база-эмиттер установлен в состояние, заданное в «ICbe», диод база-коллектор установлен в состояние, заданное в «ICbc».



Эквивалентная схема




Статическая характеристика без насыщения

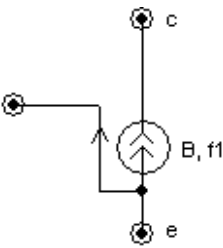


Малосигнальная АЧХ (плоттер Боде)

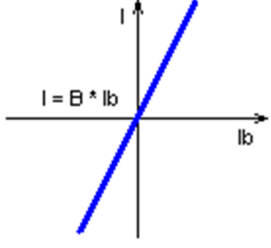
## PNP transistor - Linear

	Parameter	Units	Description
	B	A/A	Усиление (бета).
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	A	Начальные условия: ток коллектора.

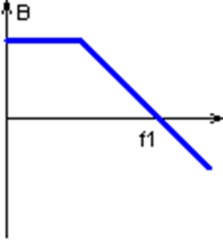
**Linear BJT transistor.** Управляемый ток источник тока с заданной полосой пропускания. «B» - это усиление (бета) с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток коллектора устанавливается к значению, заданному выходным током в «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема



Статическая характеристика



АЧХ (плоттер Боде)

## PNP transistor - Switch

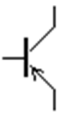
	Parameter	Units	Description
	Vbe	V	Прямое падение напряжения на диоде база-эмиттер.
	IC		Начальные условия диода база-эмиттер: Off/On.

**BJT transistor switch.** Управляемый ток ключ с диодом база-эмиттер. Ключ закрыт, если ток через диод ненулевой. При расчёте рабочей точки на постоянном токе диод устанавливается в состояние, заданное в «IC».



Эквивалентная схема

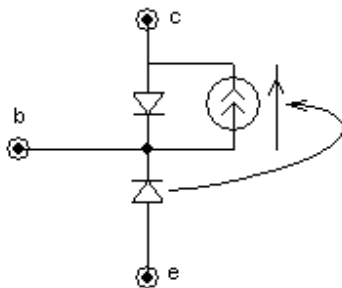
# PNP transistor - Transistor

	Parameter	Units	Description
	B	A/A	Усиление (бета).
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	Vbe	V	Прямое падение напряжения на диоде база-эмиттер.
	Vsat	V	Падение напряжения коллектор-эмиттер при насыщении.
	IC	A	Начальные условия: ток коллектора.
	ICbe		Начальные условия диода база-эмиттер: Off/On.
	ICbc		Начальные условия диода база-коллектор: Off/On.

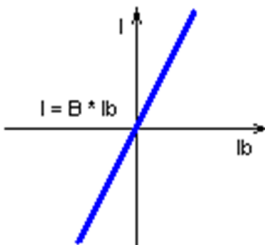
**BJT transistor.** Упрощённая модель BJT транзистора Эберса-Молла с насыщением. Она состоит из двух диодов (база-эмиттер и база-коллектор), и источника тока, управляемого током через диод база-эмиттер

«альфа»: 
$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

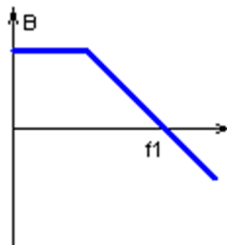
Если напряжение коллектор-эмиттер отрицательное и меньше, чем «-Vsat», диод база-коллектор открыт, транзистор не насыщен, и ведёт себя как «Linear, линейная» модель (источник тока, управляемый током с заданной полосой пропускания). «B» - это усиление (беата) с открытой петлёй. Малосигнальная АЧХ имеет один полюс, «f1» - это частота единичного усиления. Если напряжение на коллекторе выше, чем «-Vsat», диод база-коллектор закрыт, транзистор насыщен: напряжение коллектор-эмиттер эквивалентно «-Vsat». При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток коллектора принимается заданным выходным током «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика. Диод база-эмиттер установлен в состояние, заданное в «ICbe», диод база-коллектор установлен в состояние, заданное в «ICbc».



Эквивалентная схема

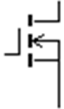


Статическая характеристика без насыщения

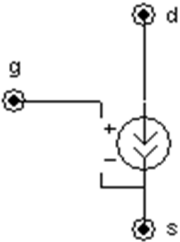


Малосигнальная АЧХ (плоттер Боде)

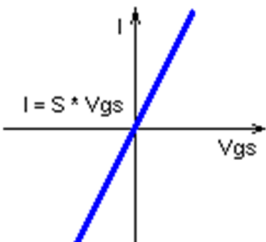
## N-FET transistor - Linear

	Parameter	Units	Description
	S	A/V	Крутизна.
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	A	Начальные условия: ток стока.

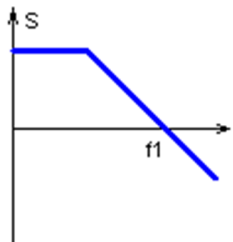
**Linear FET transistor.** Управляемый напряжением источник тока с заданной полосой пропускания. «S» - крутизна с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток стока устанавливается к заданному выходному току «IC». Если поле «IC» пустое, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема




Статическая характеристика

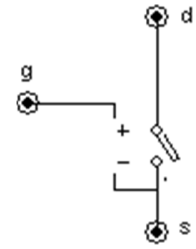


АЧХ (плоттер Боде)

## N-FET transistor – Switch (ключ)

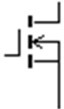
	Parameter	Units	Description
	Vth	V	Порог.
	IC		Начальные условия ключа: Off/On.

**FET switch.** Управляемый напряжением ключ. Ключ закрыт, если напряжение затвор-исток превышает порог «Vth». При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, заданное в «IC».



Эквивалентная схема

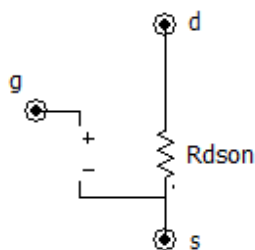
## N-FET transistor - FET

	Parameter	Units	Description
	S	A/V	Крутизна.
	Vth	V	Порог.
	Rdson	Ohm	Rdson сопротивление.
	IC		Начальные условия: Off/R/Plus/Minus

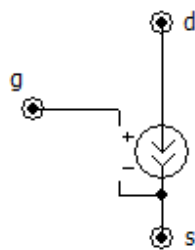
**FET transistor.** Модель имеет три режима операций.

1.  $V_{gs} \leq V_{th}$  :  $I = 0$  (закрыт)
2.  $V_{gs} > V_{th}$ ,  $V_{ds} \leq (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$  :  $V = I * R_{dson}$  (сопротивление)
3.  $V_{gs} > V_{th}$ ,  $V_{ds} > (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$  :  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  (ток истока)

FET работает похоже для положительного и отрицательного напряжения сток-исток, направление тока меняется соответственно. Эквивалентные схемы ( $V_{gs} > V_{th}$ ):

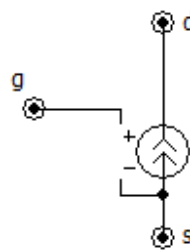


$$V_{ds} \leq (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$



$$V_{ds} > (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$

$$V_{ds} > 0$$



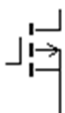
$$V_{ds} > (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$

$$V_{ds} < 0$$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе транзистор устанавливается по параметру начальных условий «IC» следующим образом:

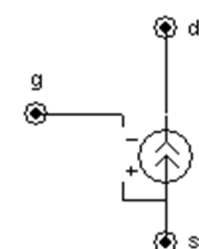
- Off . . . :  $I = 0$  (закрыт)
- R . . . . :  $V = I * R_{dson}$  (резистор)
- Plus . . :  $V_{ds} > 0$ ,  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  («положительный» ток истока)
- Minus. :  $V_{ds} < 0$ ,  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  («отрицательный» ток истока)

## P-FET transistor – Linear (линейный)

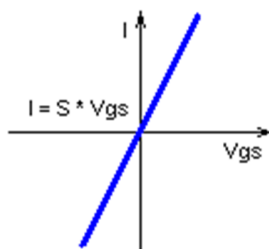
	Parameter	Units	Description
	S	A/V	Крутизна.
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	A	Начальные условия: ток стока.

**Linear FET transistor.** Управляемый напряжением источник тока с заданной полосой пропускания. «S» - крутизна с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления.

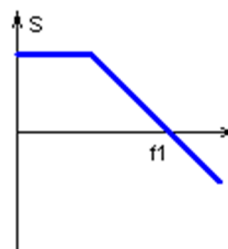
При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, ток стока устанавливается к значению, заданному для выходного тока в «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема

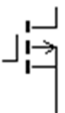


Статическая характеристика



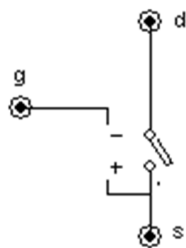
АЧХ (плоттер Боде)

## P-FET transistor – Switch (ключ)

	Parameter	Units	Description
	Vth	V	Порог.
	IC		Начальные условия ключа: Off/On.

**FET switch.** Управляемый напряжением ключ. Ключ закрыт, если напряжение затвор-исток меньше, чем порог «Vth».


При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, заданное в «IC».



Эквивалентная схема



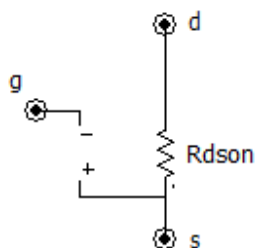
## P-FET transistor - FET

	Parameter	Units	Description
	S	A/V	Крутизна.
	Vth	V	Порог.
	Rdson	Ohm	Rdson сопротивление.
	IC		Начальные условия: Off/R/Plus/Minus

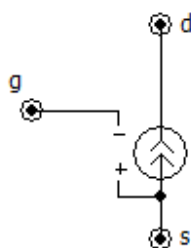
**FET transistor.** Модель имеет три режима операций.

1.  $V_{gs} \geq V_{th}$ : ..... :  $I = 0$  (закрыт)
2.  $V_{gs} < V_{th}$ ,  $V_{ds} \geq (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$  .. :  $V = I * R_{dson}$  (сопротивление)
3.  $V_{gs} < V_{th}$ ,  $V_{ds} < (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$  ... :  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  (ток истока)

FET работает похоже для положительного и отрицательного напряжения сток-исток, направление тока меняется соответственно. Эквивалентные схемы ( $V_{gs} < V_{th}$ ):

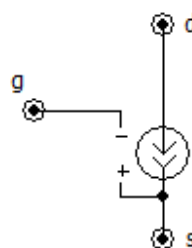


$$V_{ds} \geq (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$



$$V_{ds} < (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$

$$V_{ds} < 0$$



$$V_{ds} < (V_{gs} - V_{th}) * S * R_{dson}$$

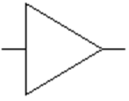
$$V_{ds} > 0$$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе транзистор устанавливается к начальным условиям, заданным параметром начальных условий «IC» следующим образом:

- Off ... :  $I = 0$  (закрыт)
- R ... :  $V = I * R_{dson}$  (сопротивление)
- Plus ... :  $V_{ds} < 0$ ,  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  («положительный» ток истока)
- Minus ... :  $V_{ds} > 0$ ,  $I = (V_{gs} - V_{th}) * S$  («отрицательный» ток истока)

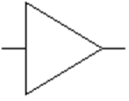
# 5. Усилители

## Buffer amplifier – Ideal (идеальный буферный усилитель)

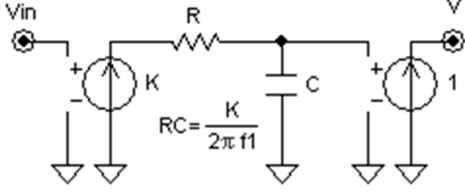
	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.

**Ideal amplifier.** «K» - усиление, полоса пропускания бесконечна.

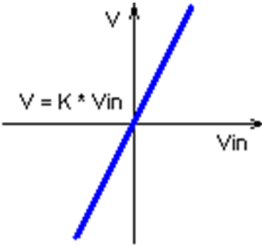
## Buffer amplifier – Linear (линейный буферный усилитель)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

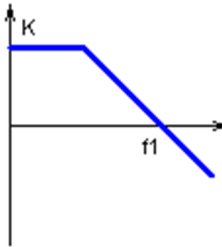
**Linear amplifier.** «K» - усиление с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, выход усилителя устанавливается к выходному напряжению, заданному выходным напряжением «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема

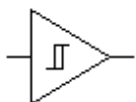


Статическая характеристика



АЧХ (плоттер Боде)

## Comparator (компаратор)

	Parameter	Units	Description
	Hysteresis	V/V	Гистерезис.
	Vhi		Мах выходного напряжения.
	Vlo		Min выходного напряжения.
	IC		Начальные условия: Low/High.

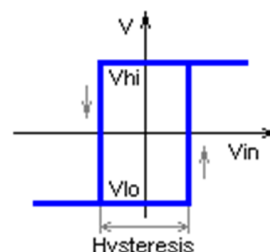
**Comparator with hysteresis.** Выход компаратора устанавливается в «Vhi» или «Vlo», используя следующие правила:

$V_{in} > \text{Hysteresis}/2 \dots : V = V_{hi}$

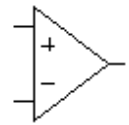
$V_{in} < -\text{Hysteresis}/2 \dots : V = V_{lo}$

Иначе ..... :  $V = \text{предыдущее состояние}$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход компаратора устанавливается в «Vlo» или «Vhi», согласно выбранному «IC».

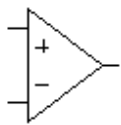


## Differential amplifier – Ideal (идеальный дифференциальный усилитель)

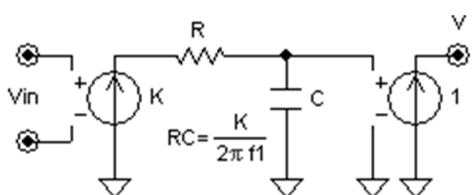
	Parameter	Units	Description
	No parameters		

**Ideal amplifier.** «K» бесконечно, полоса пропускания бесконечна.

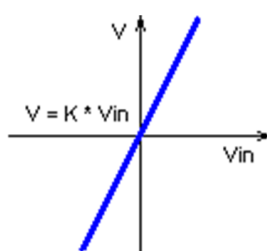
## Differential amplifier – Linear (линейный дифференциальный усилитель)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

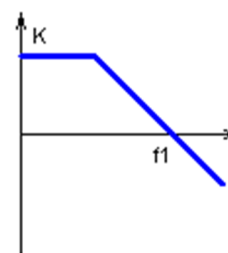
**Linear differential amplifier.** «K» - усиление с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, выход усилителя устанавливается к значению, определённому выходным напряжением «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема

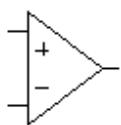


Статическая характеристика

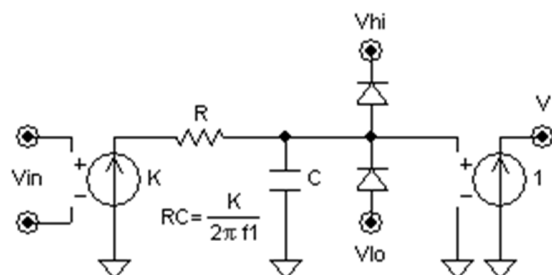


АЧХ (плоттер Бode)

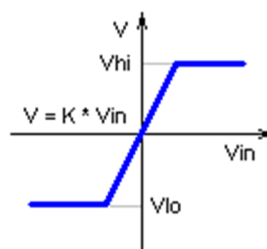
## Differential amplifier – OpAmp (операционный усилитель с ограничением)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	f1	Hz	Частота единичного усиления.
	Vhi	V	Max выходного напряжения.
	Vlo	V	Min выходного напряжения.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

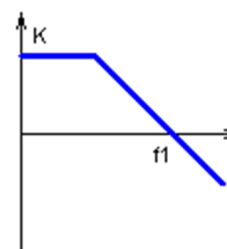
**Linear differential amplifier with output limiter.** «K» - усиление с открытой петлёй. АЧХ имеет один полюс, «f1» - частота единичного усиления. Выходное напряжение ограничено «Vlo» и «Vhi». При расчёте рабочей точки на постоянном токе, если «IC» определено, выход усилителя устанавливается к напряжению, заданному выходным напряжением «IC». Если поле «IC» пусто, используется статическая характеристика.



Эквивалентная схема

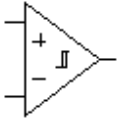


Статическая характеристика



АЧХ (плоттер Бode)

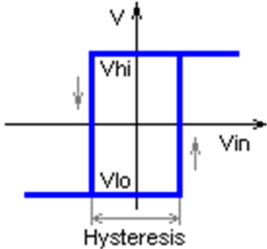
## Differential comparator (дифференциальный компаратор)

	Parameter	Units	Description
	Hysteresis	V/V	Гистерезис.
	Vhi		Max выходного напряжения.
	Vlo		Min выходного напряжения.
	IC		Начальные условия: Low/High.

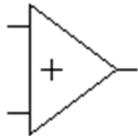
**Differential comparator with hysteresis.** Выход компаратора устанавливается в «Vhi» или «Vlo», используя следующие правила:

$V_{in} > \text{Hysteresis}/2 \dots V = V_{hi}$   
 $V_{in} < -\text{Hysteresis}/2 \dots V = V_{lo}$   
 Иначе .....  $V = \text{предыдущее состояние}$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход компаратора устанавливается в «Vlo» или «Vhi», согласно выбранному «IC».




## Summing amplifier (суммирующий усилитель)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.

**Ideal summing amplifier.** «K» - усиление, полоса пропускания бесконечна.


## 6. Источники

### Voltage source – Voltage (источник напряжения)


	Parameter	Units	Description
	V	V	Напряжение.

**Constant voltage source.** Напряжение (Voltage) = «V».


### Voltage source – Pulse (источник импульсного напряжения)

	Parameter	Units	Description
	V1	V	Напряжение On импульса.
	V0	V	Напряжение Off импульса.
	Period	s	Период.
	Width	s	Ширина импульса.
	Delay	s	Задержка перед началом первого импульса.
<b>Pulse voltage source.</b> Импульсы начинаются после времени «Delay».			

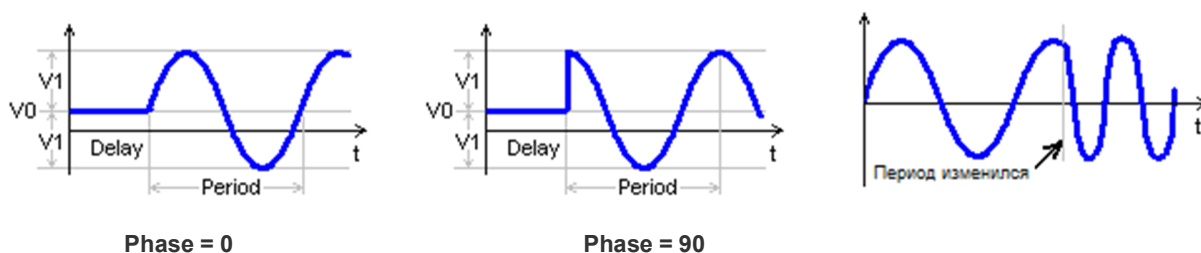
### Voltage source – Step (источник напряжения «ступенька»)

	Parameter	Units	Description
	V1	V	Напряжение On ступеньки.
	V0	V	Напряжение Off ступеньки.
	Delay	s	Задержка перед ступенькой.
<b>Step voltage source.</b> Ступенька начинается после времени «Delay».			

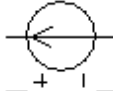
## Voltage source – Sin (источник синусоидального напряжения)

	Parameter	Units	Description
	V1	V	Амплитуда напряжения.
	V0	V	Начальное напряжение (база).
	Period	s	Период.
	Phase	deg	Фаза.
	Delay	s	Задержка перед началом синусоидального сигнала.

**Sine voltage source.** Синусоидальный сигнал начинается после времени «Delay». «Phase» - фаза синуса в градусах на момент начала сигнала. Если анализ переходного процесса приостановлен (paused), период синуса меняется, затем переходной процесс продолжается, а фаза сигнала продолжает оставаться той же, поддерживая непрерывный сигнал переменной частоты.

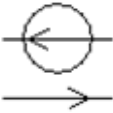


## Voltage controlled voltage source (управляемый напряжением источник напряжения)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.


**Linear voltage controlled voltage source.**  $V = K * V_{in}$ .

## Current controlled voltage source (источник напряжения, управляемый током)

	Parameter	Units	Description
	K	V/A	Усиление.


**Linear current controlled voltage source.**  $V = K * I_{in}$ .

**Current source – Current (источник тока)**

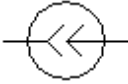
	Parameter	Units	Description
	I	A	Ток.

**Constant current source.** Ток (Current) = «I».

**Current source – Pulse (импульсный источник тока)**


	Parameter	Units	Description
	I0	A	Ток Off импульса.
	I1	A	Ток On импульса.
	Period	s	Период.
	Width	s	Ширина импульса.
	Delay	s	Задержка перед началом первого импульса.
<b>Pulse current source.</b> Импульсы начинаются после времени «Delay».			

**Current source – Step (источник тока «ступенька»)**

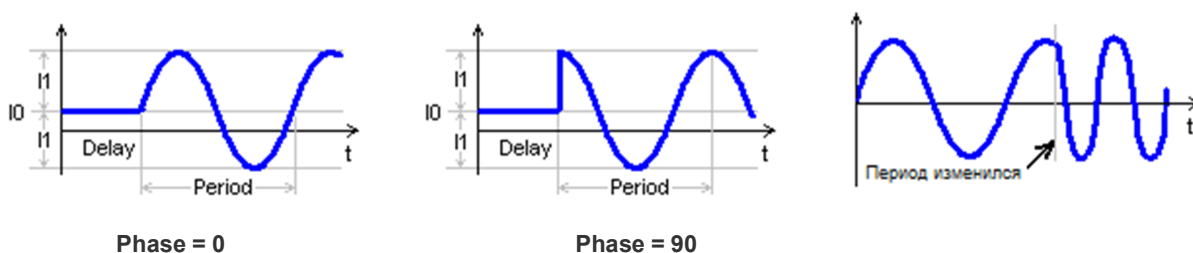
	Parameter	Units	Description
	I0	A	Ток Off ступеньки.
	I1	A	Ток On ступеньки.
	Delay	s	Задержка перед ступенькой.
<b>Step current source.</b> Ток меняется от «I0» до «I1» после времени «Delay».			



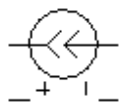
## Current source – Sin (источник синусоидального тока)

	Parameter	Units	Description
	I0	A	Начальный ток (база).
	I1	A	Амплитуда тока.
	Period	s	Период.
	Width	deg	Фаза.
	Delay	s	Задержка перед началом синусоидального сигнала.

**Sine current source.** Синусоидальный сигнал начинается после времени «Delay». «Phase» - фаза синусоиды в градусах на момент начала сигнала. Если анализ переходного процесса приостановлен (paused), период синуса меняется, затем переходной процесс продолжается, фаза сигнала продолжает оставаться той же, поддерживая непрерывный сигнал переменной частоты.




## Voltage controlled current source (источник тока, управляемый напряжением)

	Parameter	Units	Description
	K	A/V	Усиление.

**Linear voltage controlled current source.**  $I = K \cdot V_{in}$ .


## Current controlled current source (источник тока, управляемый током)

	Parameter	Units	Description
	K	A/A	Усиление.

**Linear current controlled current source.**  $I = K \cdot I_{in}$ .


## 7. Переключатели

### Switch – Switch (ключ)

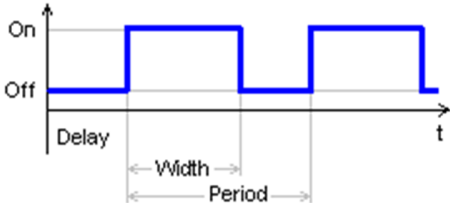
	Parameter	Units	Description
	Switch		Состояние ключа: Off/On.

**Switch.** Off – открытый ключ, бесконечное сопротивление. On – закрытый ключ, нулевое сопротивление.


### Switch – Pulse (импульсный ключ)

	Parameter	Units	Description
	Period	s	Период.
	Width	s	Ширина импульса.
	Delay	s	Задержка перед началом первого импульса.
	Active		Активное состояние ключа: Off/On.


**Pulse switch.** Переключение начинается после времени «Delay». Ключ в активном состоянии в течение времени «Width»  
Следующая диаграмма показана для «Active» = On:



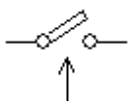
### Switch – Step (ступенька)

	Parameter	Units	Description
	Delay	s	Задержка перед активным состоянием.
	Active		Активное состояние ключа: Off/On.

**Step switch.** Ключ в активном состоянии после времени «Delay». Следующая диаграмма показана для «Active» = On:



## Logic controlled switch (управляемый логикой ключ)

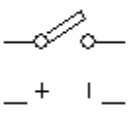
	Parameter	Units	Description
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

**Logic controlled switch.** Ключ устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:

$V_{in} > \text{logical threshold} \dots$  : активен  
 $V_{in} < \text{logical threshold} \dots$  : неактивен

При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC».

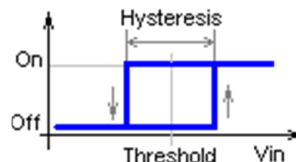
## Voltage controlled switch (ключ, управляемый напряжением)

	Parameter	Units	Description
	Threshold	V	Пороговое напряжение.
	Hysteresis	V	Гистерезис.
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

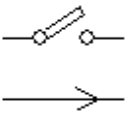
**Voltage controlled switch.** Ключ устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:

$V_{in} > \text{Threshold} + \text{Hysteresis}/2 \dots$  : активен  
 $V_{in} < \text{Threshold} - \text{Hysteresis}/2 \dots$  : неактивен  
 Иначе ..... : предыдущее состояние

При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC». Следующая диаграмма переключения для «Active» = On:

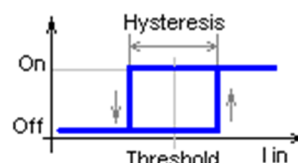


## Current controlled switch (управляемый током ключ)

	Parameter	Units	Description
	Threshold	A	Пороговый ток.
	Hysteresis	A	Гистерезис.
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

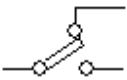
**Current controlled switch.** Ключ устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:

$I_{in} > \text{Threshold} + \text{Hysteresis}/2$  . . . : активен  
 $I_{in} < \text{Threshold} - \text{Hysteresis}/2$  . . . : неактивен  
 Иначе . . . . . : предыдущее состояние



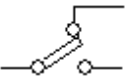
При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC». Следующая диаграмма переключения для «Active» = On:

## SPDT switch – Switch (переключатель)

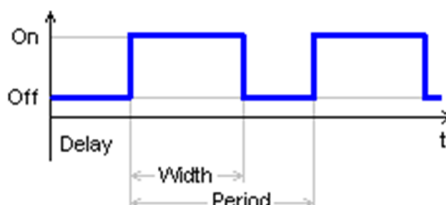
	Parameter	Units	Description
	Switch		Состояние переключателя: Off/On.

**SPDT (single pole, double throw) switch.** Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.

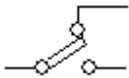
## SPDT switch – Pulse (импульсный переключатель)

	Parameter	Units	Description
	Period	s	Период.
	Width	s	Ширина импульса.
	Delay	s	Задержка перед началом первого импульса.
	Active		Активное состояние переключателя: Off/On.

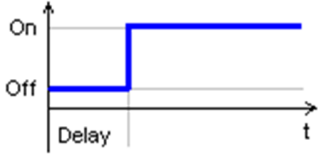
**SPDT (single pole, double throw) pulse switch.** Переключение начинается после времени «Delay». Переключатель в активном состоянии в течение времени «Width». Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.



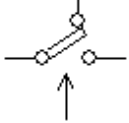
## SPDT switch – Step (ступенька)

	Parameter	Units	Description
	Delay	s	Задержка перед активным состоянием.
	Active	s	Активное состояние переключателя: Off/On.

**SPDT (single pole, double throw) step switch.** Переключение начинается после времени «Delay». Переключатель в активном состоянии в течение времени «Width». Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.



## SPDT logic controlled switch (управляемый логикой переключатель)

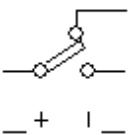
	Parameter	Units	Description
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

**Logic controlled switch.** Переключатель устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:

$V_{in} > \text{logical threshold} \dots$  : активен  
 $V_{in} < \text{logical threshold} \dots$  : неактивен

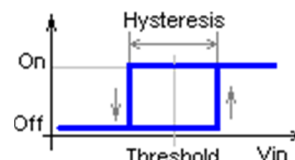
При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC». Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.

## SPDT voltage controlled switch (управляемый напряжением переключатель)

	Parameter	Units	Description
	Threshold	V	Пороговое напряжение.
	Hysteresis	V	Гистерезис.
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

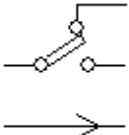
**Voltage controlled switch.** Переключатель устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:

$V_{in} > \text{Threshold} + \text{Hysteresis}/2 \dots$  : активен  
 $V_{in} < \text{Threshold} - \text{Hysteresis}/2 \dots$  : неактивен  
 Иначе ..... : предыдущее состояние



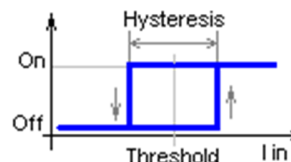
При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC». Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.

## SPDT current controlled switch (управляемый током переключатель)

	Parameter	Units	Description
	Threshold	A	Пороговый ток.
	Hysteresis	A	Гистерезис.
	Active		Активное состояние: Off/On.
	IC		Начальные условия: Off/On.

**Current controlled switch.** Переключатель устанавливается в активное или неактивное состояние, используя следующие правила:


$I_{in} > \text{Threshold} + \text{Hysteresis}/2 \dots$  : активен  
 $I_{in} < \text{Threshold} - \text{Hysteresis}/2 \dots$  : неактивен  
 Иначе ..... : предыдущее состояние



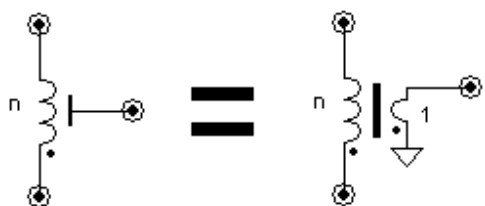
При расчёте рабочей точки на постоянном токе ключ устанавливается в состояние, определённое в «IC». Открытый переключатель имеет бесконечное сопротивление, закрытый нулевое. Переключатель показан в состоянии Off.

## 8. Трансформаторы

### Winding (обмотка)

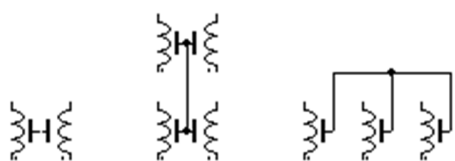
	Parameter	Units	Description
	n	turns	Количество витков.

**Winding.** Winding – это действительно идеальный трансформатор с одним витком вторичной обмотки, один конец которой заземлён, а второй показан как вывод «сердечника» обмотки:

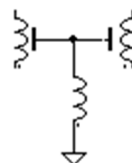


Эквивалентная схема

Чтобы сделать идеальный трансформатор для произвольной конфигурации, соедините сердечники двух или более обмоток. Магнитный сердечник можно задать с помощью линейной или нелинейной индуктивности, подключённой к сердечнику и к земле:

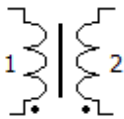


Идеальные трансформаторы



Трансформатор с магнитной индуктивностью


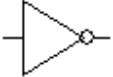
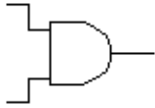
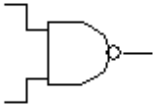
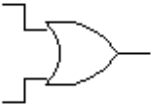
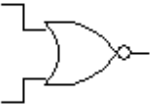
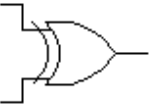
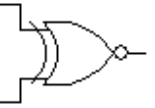
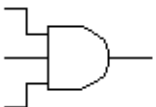
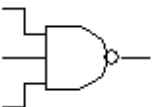
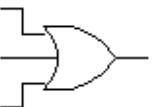
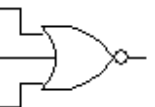
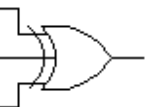
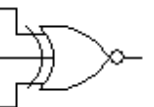
### Transformer

	Parameter	Units	Description
	n1	turns	Количество витков первичной обмотки.
	n2	turns	Количество витков вторичной обмотки.


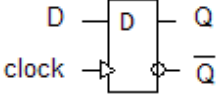
**Ideal transformer with 2 windings.** Коэффициент связи = 1.

# 9. Логические компоненты

## Logical

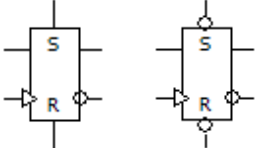
	Parameter	Units	Description
	IC		Начальные условия: Low/High.
<p><b>Logical component.</b> Выходное напряжение может иметь только логические уровни (Low/High). Входное напряжение принимается Low, если оно ниже логического порога, или High, если оно выше логического порога. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к значению, заданному в «IC». Когда рассчитывается переходной процесс, выходное напряжение всегда задерживается на один шаг вычисления.</p>			
<div>   </div> <p>Буфер (Buffer)    Инвертор (Inverter)</p>			
<div>       </div> <p>AND-2 (2-И)    NAND-2 (2-И-НЕ)    OR-2 (2-ИЛИ)    NOR-2 (2-ИЛИ-НЕ)    XOR-2 (исключающие ИЛИ)    XNOR-2</p>			
<div>       </div> <p>AND-3    NAND-3    OR-3    NOR-3    XOR-3    XNOR-3</p>			

## D flip-flop (триггер-защёлка)

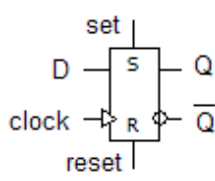
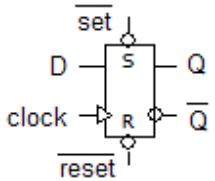
	Parameter	Units	Description
	IC		Начальные условия: Low/High.
<div>  </div>			
<p><b>D flip-flop.</b> Вход D захватывается передним фронтом импульса тактового входа. Выходное напряжение может иметь только логические уровни (Low/High). Входное напряжение принимается Low, если оно ниже логического порога, или High, если оно выше логического порога. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к уровню, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления.</p>			
<div>  </div>			



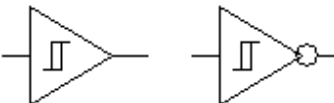
## SR trigger (D-триггер с предустановкой)

	Parameter	Units	Description
	IC		Начальные условия: Low/High.

**SR trigger.** Вход D захватывается передним фронтом импульса тактового входа. Выходное напряжение может иметь только логические уровни (Low/High). Входное напряжение принимается Low, если оно ниже логического порога, или High, если оно выше логического порога. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к уровню, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления.

## Schmitt trigger (триггер Шмитта)

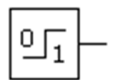
	Parameter	Units	Description
	Hysteresis	V	Гистерезис.
	IC		Начальные условия: Low/High.

**Schmitt trigger.** Выходное напряжение может иметь только логические уровни (Low/High). Выход устанавливается к Low или High уровню, следуя правилам (не инверсный выход):

$V_{in} > \text{Threshold} + \text{Hysteresis}/2 \dots : V = \text{High}$   
 $V_{in} < \text{Threshold} - \text{Hysteresis}/2 \dots : V = \text{Low}$   
 Иначе ..... :  $V = \text{предыдущее состояние}$

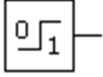
При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к уровню, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления.

## Logic generator – Logical (логический генератор)

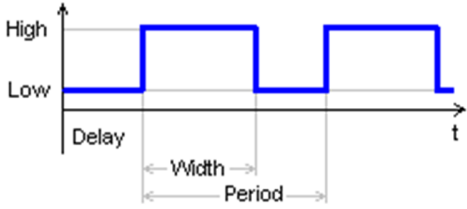
	Parameter	Units	Description
	Out		Логический выход: Low/High.

**Logical output.** Генерирует постоянный Low или High логический выход.

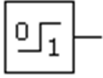
## Logic generator – Pulse (импульсный логический генератор)

	Parameter	Units	Description
	Period	s	Период.
	Width	s	Ширина импульса.
	Delay	s	Задержка перед началом первого импульса.
	Active		Активное состояние выхода: Low/High.

**Logical pulses.** Импульсы начинаются от времени «Delay». Выходной уровень «Active» в течение времени «Width».



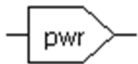
## Logic generator – Step (логический генератор ступеньки)

	Parameter	Units	Description
	Delay	s	Задержка перед активным состоянием.
	Active		Активное состояние выхода: Low/High.

**Logical step.** Выходной уровень не-«Active» перед временем «Delay» и выход переходит к «Active» уровню после времени «Delay».

## 10. Разные компоненты

### Function – Pwr (функция мощности со знаком)

	Parameter	Units	Description
	power		Мощность.
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**“Signed” power function.**  $V = K * \text{pwr}(V_{in}, \text{power})$ . Функция вычисляется следующим образом:

если power = 0:


- if  $V_{in} < 0$  . . . :  $V = -K$
- if  $V_{in} = 0$  . . . :  $V = 0$
- if  $V_{in} > 0$  . . . :  $V = K$

если power  $\neq 0$ :

- if  $V_{in} < 0$  . . . :  $V = -K * (-V_{in})^{\text{power}}$
- if  $V_{in} = 0$  . . . :  $V = 0$
- if  $V_{in} > 0$  . . . :  $V = K * V_{in}^{\text{power}}$

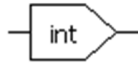
При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

### Function – Abs (абсолютное значение)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные значения: выходное напряжение.

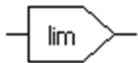
**Absolute value.**  $V = K * \text{abs}(V_{in})$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

### Function – Int (функция округления)

	Parameter	Units	Description
	resolution		Разрешение.
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Rounding function.**  $V = K * \text{round}(V_{in}, \text{resolution})$ . Округляет к ближайшему кратному параметру «resolution». Если resolution = 1, округляет к ближайшему целому. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function – Lim (функция ограничения)

	Parameter	Units	Description
	Max	V	Maximum.
	Min	V	Minimum.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Limiting function.** Функция вычисляется следующим образом:

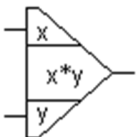
если  $V_{in} < Min$  . . . :  $V = Min$

если  $V_{in} > Max$  . . . :  $V = Max$

Иначе . . . . . :  $V = V_{in}$

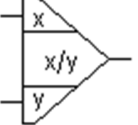
При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Mul (функция умножения)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

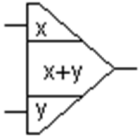
**Multiplication.**  $V = K * V_x * V_y$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Div (функция деления)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

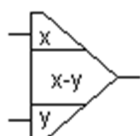
**Division.**  $V = K * V_x / V_y$ . If  $V_y = 0$ ,  $V = 0$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Sum (функция суммирования)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

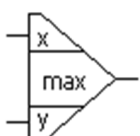
**Addition.**  $V = K * (V_x + V_y)$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Sub (функция вычитания)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Subtraction.**  $V = K * (V_x - V_y)$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Max (функция определения максимума)

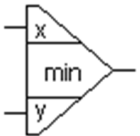
	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Maximum.**  $V = K * \max(V_x, V_y)$ .

если  $V_x \geq V_y$  . . . :  $V = K * V_x$   
 если  $V_x < V_y$  . . . :  $V = K * V_y$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Min (функция определения минимума)

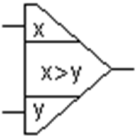
	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Minimum.**  $V = K * \min(Vx, Vy)$ .

если  $Vx \geq Vy$  ... :  $V = K * Vy$   
 если  $Vx < Vy$  ... :  $V = K * Vx$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – GT (больше чем)

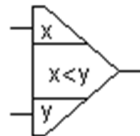
	Parameter	Units	Description
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Greater than.**  $V = Vx > Vy ? \text{High} : \text{Low}$ .

если  $Vx \leq Vy$  ... :  $V = \text{Low}$   
 если  $Vx > Vy$  ... :  $V = \text{High}$

High и Low – логические уровни. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – LT (меньше чем)

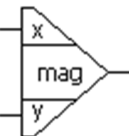
	Parameter	Units	Description
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Less than.**  $V = Vx < Vy ? \text{High} : \text{Low}$ .

если  $Vx < Vy$  ... :  $V = \text{High}$   
 если  $Vx \geq Vy$  ... :  $V = \text{Low}$

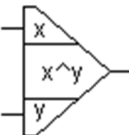
High и Low – логические уровни. При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 – Mag (магнитуда, длина вектора)

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Gain.
	IC	V	Initial condition: output voltage

**Magnitude.**  $V = K * \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 - Pwr

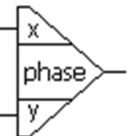
	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**“Signed” power function.**  $V = K * \text{pwr}(V_x, V_y)$ . Эта функция вычисляется следующим образом:

если $V_y = 0$ :	если $V_y \neq 0$ :
if $V_x < 0 \dots : V = -K$	if $V_x < 0 \dots : V = -K * (-V_x)^{V_y}$
if $V_x = 0 \dots : V = 0$	if $V_x = 0 \dots : V = 0$
if $V_x > 0 \dots : V = K$	if $V_x > 0 \dots : V = K * V_x^{V_y}$

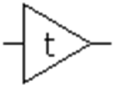
При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Function-2 - Phase

	Parameter	Units	Description
	K	V/V	Усиление.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Phase.**  $V = K * \text{phase}(V_x, V_y)$ .  $V$  в Volts (вольтах) эквивалентно фазе вектора  $V_x + jV_y$  в градусах. Если  $V_x = 0$  и  $V_y = 0$ :  $V = 0$ . При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к выходному напряжению, заданному в «IC». При расчёте переходного процесса выходное напряжение всегда запаздывает на один шаг вычисления. Это может сказаться на стабильности схемы с замкнутой петлёй.

## Delay (задержка)

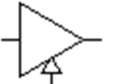
	Parameter	Units	Description
	t0	s	Задержка.
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Delay.** Выходное напряжение эквивалентно выходному, задержанному на время «t0»:

$$V(t) = V_{in}(t - t_0), \text{ где } t - \text{это текущее время.}$$

При расчёте рабочей точки на постоянном токе выход устанавливается к заданному выходному напряжению в «IC» или, если «IC» пусто, к входному напряжению. Затем выходное напряжение не меняется на время задержки «t0». Модель резервирует память для хранения данных только тогда, когда это необходимо, и освобождает её сразу, как только возможно. При начале анализа переходного процесса предполагаемое количество необходимой памяти основывается на шаге вычисления, и, если превышен предел, заданный в Preferences (Transient page), отображается предупреждающее сообщение.

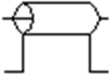
## Sample/Hold (выборка/удержание)

	Parameter	Units	Description
	IC	V	Начальные условия: выходное напряжение.

**Sample/hold.** Входное напряжение выбирается передним фронтом логического тактового сигнала.



## Transmission line (линия передачи)

	Parameter	Units	Description
	t0	s	Задержка.
	z0	Ohm	Характеристический импеданс.
	VIC	V	Начальные условия: напряжение.
	IIC	A	Начальные условия: ток.

**Lossless transmission line (линия без потерь).** Напряжение и ток в линии представлены суперпозицией прямой и отражённой волн, с V/I отношением в каждой волне, эквивалентным характеристическому импедансу линии «z0». Значения V и I каждой волны рассчитываются на основе граничных (вход и выход) условий. Функциональность линии может также быть описана следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} V_{in}(t) &= z_0 * (I_{in}(t) - I_{out}(t - t_0)) \\ V_{out}(t) &= z_0 * (I_{out}(t) - I_{in}(t - t_0)) \end{aligned}$$

где t – это текущее время.

Вход (левый вывод) и выход (правый вывод) гальванически изолированы: ток не проходит от входа к выходу, а любое разностное напряжение между входом и выходом может иметь место. При расчёте рабочей точки на постоянном токе начальные прямое и обратное напряжение и ток рассчитываются на основании следующих условий:

если «VIC» и «IIC» пусты . . . . . :  $V_{in} = V_{out}$ ,  $I_{in} = -I_{out}$ .  
 если «VIC» задано, а «IIC» пусто. . . . :  $V_{in} = V_{out} = \text{«VIC»}$ .  
 если «VIC» пусто, а «IIC» задано . . . . :  $I_{in} = \text{«IIC»}$ ,  $I_{out} = -\text{«IIC»}$ .  
 если «VIC» и «IIC» заданы . . . . . :  $V_{in} = V_{out} = \text{«VIC»}$ ,  $I_{in} = \text{«IIC»}$ ,  $I_{out} = -\text{«IIC»}$ .

Модель резервирует память для хранения данных прямой и обратной волн только тогда, когда это необходимо, и освобождает её сразу, как только возможно. При начале анализа переходного процесса предполагаемое количество необходимой памяти основывается на шаге вычисления, и, если превышен предел, заданный в Preferences (Transient page), отображается предупреждающее сообщение. Если характеристики реальной линии даны как ёмкость и индуктивность на единицу длины, могут использоваться следующие уравнения для получения параметров «t0» и «z0».

$$\begin{aligned} t_0 &= \sqrt{L * C} * D \\ z_0 &= \sqrt{L / C} \end{aligned}$$

где:

C – ёмкость линии на единицу длины, F/m  
 L – индуктивность линии на единицу длины, H/m  
 D – длина линии, m

*The end*