

Программа  
схемотехнического  
моделирования  
*Micro-Cap 7.0*

## Содержание

<b>1. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ MICRO-CAP .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ВЫПОЛНЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>5</b>
2.1. АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ (TRANSIENT ANALYSIS) .....	5
2.1.1. Задание параметров моделирования <b>Transient Analysis Limits</b> .....	5
2.2. РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (AC ANALYSIS) .....	7
2.2.1. Задание параметров моделирования <b>AC Analysis Limits</b> .....	8
2.3. РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ (DC ANALYSIS) .....	10
2.4. РЕЖИМ РАСЧЁТА ПО ПОСТОЯННОМУ ТОКУ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ (DYNAMIC DC) .....	13
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КАТАЛОГ ТИПОВЫХ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ КОМПОНЕНТОВ.....</b>	<b>14</b>
ТАБЛИЦА П1.1. АНАЛОГОВЫЕ ТИПОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ .....	14
ТАБЛИЦА П1.2. ЦИФРОВЫЕ ТИПОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ .....	24

# 1. Интерфейс программы схемотехнического моделирования Micro-Cap

Программа **Micro-Cap** (Microcomputer Circuit Analysis Program) является программой схемотехнического моделирования электронных устройств и предназначена для выполнения исследовательских работ, не предполагающих немедленной конструкторской реализации.

В системе **Micro-Cap** (MC7) используется показанный на рис. 1 стандартный многооконный интерфейс:

- 1 – строка меню;
- 2 – панели инструментов;
- 3 – рабочая область;
- 4 – информационная строка.

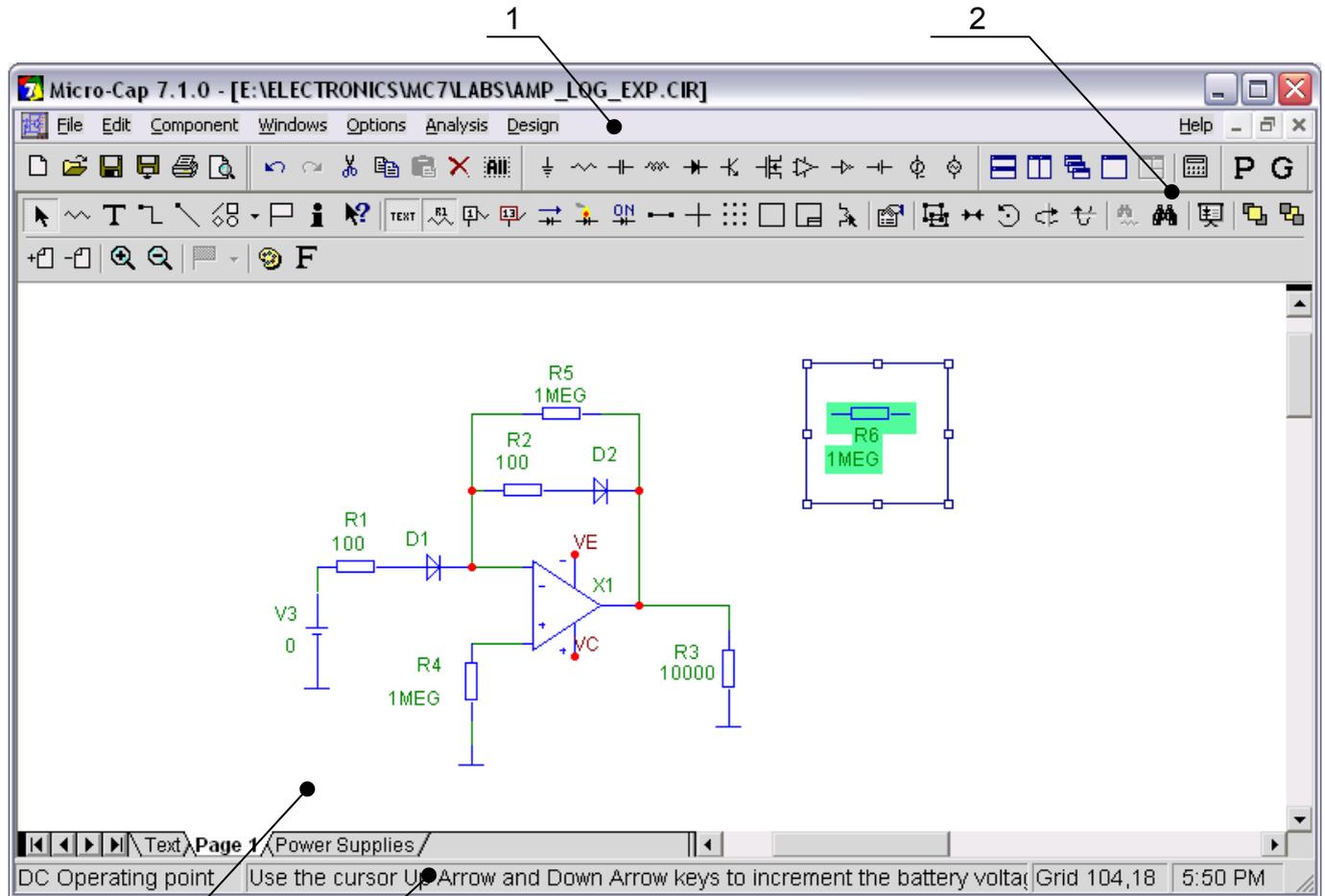


Рис 1. Вид окна программы

Строка меню содержит:

- File** – меню работы файлами;
- Edit** – меню редактирования;
- Component** – меню выбора электронных компонентов схем;
- Window** – меню работы с окнами;
- Options** – меню выборов режима редактирования и задания различных параметров программы MC7;
- Analysis** – меню выбора режима моделирования схем;
- Help** – меню работы с файлами справок.

Некоторые элементы панели инструментов представлены на рис 2:

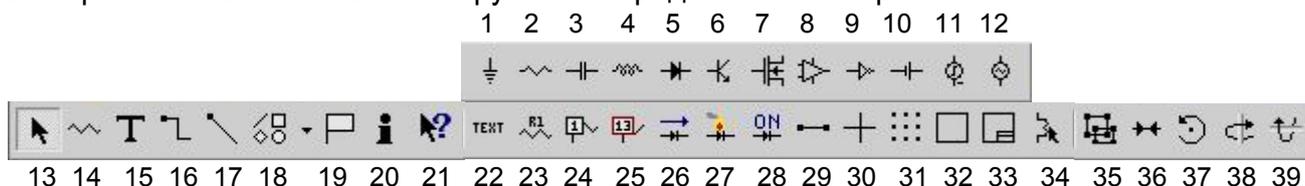


Рис.2 Основные элементы панели инструментов

1 – 12 – кнопки выбора компонентов схем (число отображаемых кнопок можно изменять):

- 1 – общий провод. Этот компонент должен обязательно присутствовать в любой схеме;
- 2 – резистор;
- 3 – конденсатор;
- 4 – катушка индуктивности;
- 5 – диод;
- 6 – биполярный транзистор  $n-p-n$ -типа;
- 7 – МОП транзистор с встроенным каналом  $n$ -типа;
- 8 – операционный усилитель;
- 9 – инвертор;
- 10 – источник постоянного напряжения (батарея);
- 11 – источник импульсного напряжения;
- 12 – источник синусоидального напряжения.

Следующие кнопки становятся активными, если они нажаты (утоплены):

- 13 – выбор объектов для редактирования;
- 14 – добавление в схему компонентов, выбранных кнопками 1–12 или из меню **Component**;
- 15 – переход в текстовый режим для создания надписи или комментария к схеме;
- 16, 17 – проведение соединительных проводов;
- 18 – рисование графических объектов: линий, прямоугольников и т.п.;
- 19 – ввод маркеров для быстрой навигации по схеме;
- 20 – вывод информации о параметрах выбранного щелчком мыши компонента;
- 21 – вывод раздела «Помощи» по выбранному щелчком мыши компоненту;
- 22 – отображение всех текстовых надписей;
- 23 – отображение позиционных обозначений всех компонентов;
- 24 – вывод номеров узлов схемы;
- 25 – вывод значений потенциалов аналоговых узлов и логических состояний цифровых узлов;
- 26 – вывод значений постоянных токов, протекающих во всех ветвях аналоговых схем;
- 27 – вывод значений мощности, рассеиваемой компонентами схемы;
- 28 – выводит параметры моделирования активных компонентов схемы;

При активации кнопок 25 – 28 отображаются значения токов, напряжений и мощностей по постоянному току.

- 29 – отображает выводы всех компонентов в виде точек;
- 30 – отображение курсора в виде перекрестья на весь экран;
- 31 – отображение в рабочей области сетки в виде точек;
- 32 – добавляет рамку к чертежу схемы;
- 33 – добавляет угловой штамп (основную надпись) к чертежу схемы;
- 34 – режим перемещения соединительных проводов вместе с перемещаемыми компонентами;

Следующие кнопки доступны только при наличии выделенных областей:

- 35 – добавляет копии объектов внутри выделенной области;
- 36 – добавляет зеркально отображённые копии выделенных объектов;
- 37 – поворачивает выделенные объекты против часовой стрелки;
- 38 – поворачивает выделенные объекты на  $180^\circ$  относительно оси  $Ox$ ;
- 39 – поворачивает выделенные объекты на  $180^\circ$  относительно оси  $Oy$ .

## 2. Выполнение моделирования

После того как нарисована принципиальная схема или создано её текстовое описание, можно переходить к расчету характеристик, выбирая в меню **Analysis** (рис.1) один из видов анализа. К основным, как правило, относят:

**Transient...** (Alt+1) — расчет переходных процессов (*Transient Analysis*);

**AC...** (Alt+2) — расчет частотных характеристик (*AC Analysis*);

**DC...** (Alt+3) — расчет передаточных функций по постоянному току (*DC Analysis*);

**Dynamic DC** (Alt+4) — режим расчёта и отображения значений потенциалов узлов и токов в ветвях в реальном времени по постоянному току.

### 2.1. Анализ переходных процессов (*Transient Analysis*)

После перехода в режим анализа переходных процессов программа MC7 проверяет правильность составления схемы. При отсутствии ошибок в схеме программа составляет ее топологическое описание, выполняет подготовку к численному расчету переходных процессов и откры-

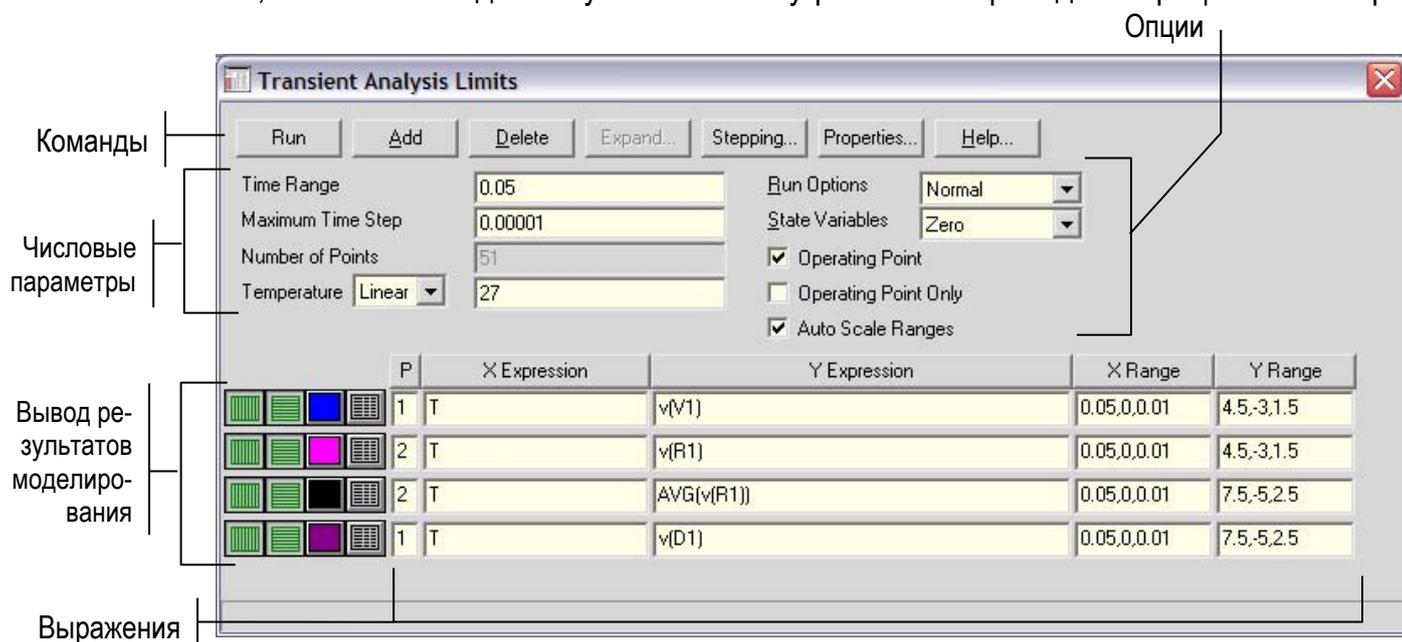


Рис.3 Окно задания параметров расчета переходных процессов

дает окно задания параметров моделирования **Transient Analysis Limits**.

#### 2.1.1. Задание параметров моделирования *Transient Analysis Limits*

В окне задания параметров расчета переходных процессов, показанном на рис. 3, имеются следующие разделы

##### Команды:

**Run** — начало моделирования. Моделирование может быть остановлено в любой момент нажатием на клавишу **Esc**.

**Add** — добавление еще одной строки спецификации вывода результатов после строки, отмеченной курсором. На этой строке устанавливается способ отображения результатов и аналитические выражения для построения графиков. При наличии большого количества строк, не вмещающихся на экране, появляется линейка прокрутки;

**Delete** — удаление строки спецификации вывода результатов, отмеченной курсором;

**Expand** — открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф, содержащих выражения, например **Y Expression**;

**Stepping** — открытие диалогового окна задания вариации параметров;

**Properties** — открывается окно, в котором определяются дополнительные параметры графиков: типы линий, форматы чисел, масштабы, цвета, сохранение на диск и т.п.

**Help** — вызов раздела **Transient Analysis** системы помощи.

### Числовые параметры:

**Time Range** — задается временной диапазон (в секундах) для моделирования. Формат:  $t_{\max}$  — верхняя временная граница,  $t_{\min}$  — нижняя временная граница (по умолчанию равняется 0);

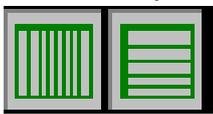
**Maximum Time Step** — задается максимальный шаг по времени ( $\Delta t$ ), используемый при моделировании, если  $\Delta t = 0$  (по умолчанию), шаг выбирается программой автоматически;

**Number of Points** — количество значений, которые будут сохранены во внешнем файле (активизируется при нажатой кнопке **Numeric Output** (см. ниже)). Минимальное значение 6. Если заданные моменты времени не совпадают со значениями, при которых проводился численный расчет, то производится интерполяция;

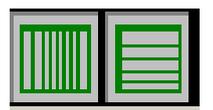
**Temperature** — диапазон изменения температуры; формат **High[,Low,[Step]]** (температура указывается в градусах Цельсия). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющие ненулевой температурный коэффициент ТС, а также ряд параметров полупроводниковых приборов. Если параметр **Step** (шаг) опущен, то анализ выполняется при двух значениях температуры: **Low** (минимальной) и **High** (максимальной). Если опущены оба параметра **Low** и **Step**, то расчет проводится при единственной температуре, равной **High**. Значение установленной здесь температуры может использоваться в различных выражениях, она обозначается как переменная **TEMP**.

### Вывод результатов моделирования:

Ниже раздела "Числовые параметры" и слева от раздела "Выражения" расположена группа пиктограмм. Нажатие каждой пиктограммы определяет характер вывода данных, задаваемых в той же строке. Имеются следующие возможности:



**X Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси X. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Y Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси Y. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Color** — вызов меню для выбора одного из 16 цветов окрашивания графиков. Кнопка окрашивается в выбранный цвет;



**Numeric Output** — при нажатии этой кнопки в текстовый выходной файл заносится таблица отсчетов функции, заданной в графе **Y Expression**. Запись производится в файл "*<имя схемы>.TNO*". Таблица просматривается в окне **Numeric Output** (открывается нажатием клавиши **F5**). Количество отсчетов функции (число строк в таблице) задается параметром **Number of Points** в разделе **Числовые параметры**;

**Plot Group** — в графе **P** числом от 1 до 9 указывается номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Все функции, помеченные одним и тем же номером, выводятся в одном окне. Если это поле пусто, график функции не строится.

### Выражения:

**X Expression** — имя переменной, откладываемой по оси X. Обычно при анализе переходных процессов по этой оси откладывается время (переменная **T**), однако это не обязательно. Так при расчете спектра сигнала с помощью преобразования Фурье по этой оси откладывается частота (переменная **F**), а при расчете петли гистерезиса ферромагнетика — напряженность магнитного поля, например **H(K1)**;

**Y Expression** — математическое выражение для переменной, откладываемой по оси Y. Это может быть простая переменная типа напряжения в узле V(5), падения напряжения на двухполюсном компоненте V(L1), тока ветви I(2,3) или математическое выражение, например  $V(VCC)*I(VCC)$ ;

**X Range** — максимальное и минимальное значение переменной X на графике по формату High[,Low]. Если минимальное значение Low равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается Auto. В этом случае сначала выполняется моделирование, в процессе которого графики строятся в стандартном масштабе и затем автоматически перестраиваются;

**Y Range** — максимальное и минимальное значение переменной Y на графике по формату High[,Low]. Если минимальное значение равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается Auto;

#### **Опции:**

**Run Options** — управление выдачей результатов расчетов:

*Normal* — результаты расчетов не сохраняются,

*Save* — сохранение результатов расчетов в бинарном дисковом файле <имя схемы>.TSA,

*Retrieve* — считывание последних результатов расчета из дисковой файла <имя схемы>.TSA, созданного ранее. При этом производится построение графиков и таблиц переходных процессов, как после обычного расчета.

**State Variables** — установка начальных условий:

*Zero* — установка нулевых начальных условий для потенциалов все аналоговых узлов и токов через индуктивности и неопределенны логических состояний "X" для цифровых узлов,

*Read* — чтение начальных условий из бинарного дискового файл <имя схемы>.TOP, созданного с помощью *State Variables Editor*, перед каждым вариантом расчёта при изменении температуры или другого параметра,

*Leave* — установка в качестве начальных условий значений, полученных при окончании расчета предыдущего варианта. При расчёте первого варианта они полагаются нулевыми. Если в предыдущем варианте рассчитывался только режим по постоянному току, то в качестве начальных значений будут приняты параметры этого режима.

**Operation Point** — включение режима расчета по постоянному току перед началом каждого расчёта переходных процессов. Данные этого режима изменяют значения всех начальных условий, если они были установлены;

**Operation Point Only** — расчёт только режима по постоянному току (расчёт переходных процессов не производится);

**Auto Scale Ranges** — присвоение признака автоматического масштабирования "Auto" по осям X, Y для каждого нового варианта расчетов. Если эта опция выключена, то принимаются во внимание масштабы, указанные в графах X Range, Y Range.

## **2.2. Расчет частотных характеристик (AC Analysis)**

В режиме AC сначала рассчитывается режим схемы по постоянному току, затем линеаризуются все нелинейные компоненты (пассивные компоненты с нелинейными параметрами, диоды, транзисторы, нелинейные управляемые источники) и выполняется расчет комплексных амплитуд узловых потенциалов и токов ветвей. При линеаризации цифровые компоненты заменяются их входными и выходными комплексными сопротивлениями, передача сигналов через них не рассматривается.

Ко входу схемы должен быть подключен источник синусоидального SIN или импульсного сиг-

нала **PULSE** или сигнала **USER**, форма которого задается пользователем. При расчете частотных характеристик комплексная амплитуда этого сигнала полагается равной 1 В, начальная фаза нулевая (независимо от того, как заданы значения параметров модели сигнала), а частота меняется в пределах, задаваемых в меню **AC Analysis Limits**. Возможно также подключение независимых источников напряжения **V** или тока **I** в формате **SPICE**, для которых значения амплитуды и фазы задаются. Если имеется один источник сигнала, то выходные напряжения будут совпадать с частотными характеристиками устройства. Если же источников сигнала несколько, то отклики от каждого сигнала будут складываться.

После перехода в режим анализа частотных характеристик программа MC7 проверяет правильность составления схемы. При отсутствии ошибок в схеме программа составляет ее топологическое описание, выполняет подготовку к численному решению системы линейных алгеб-

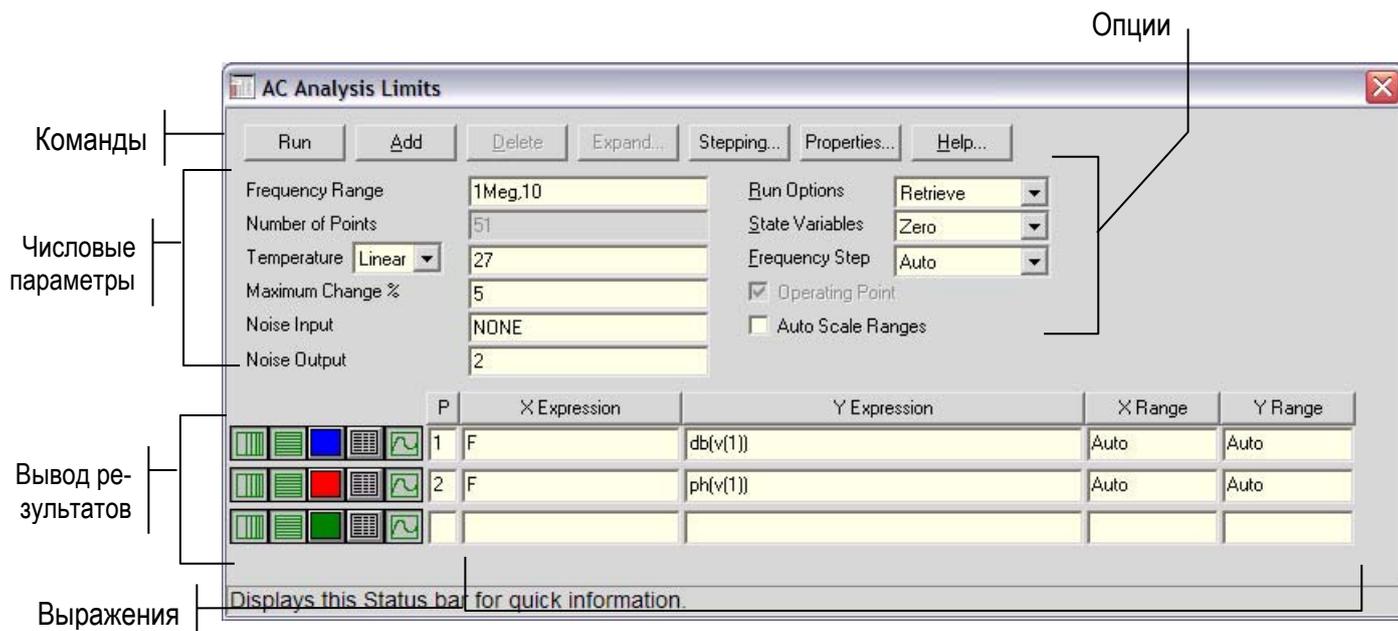


Рис.4 Окно задания параметров расчёта частотных характеристик раических уравнений и открывает окно задания параметров моделирования **AC Analysis Limits**.

### 2.2.1. Задание параметров моделирования **AC Analysis Limits**

В окне задания параметров расчета переходных процессов, показанном на рис. 4, имеются следующие разделы.

#### **Числовые параметры:**

**Frequency Range** — спецификация конечной и начальной частоты по формату **Fmax,Fmin**. Отрицательные значения частоты не допускаются. Если значение **Fmin** не указано, то расчет не производится;

**Number of Points** — количество точек по частоте ( $N_f$ ), в которых производится расчет частотных характеристик. Минимальное значение равно 5. В связи с тем что в режиме AC не производится интерполяции, в таблицы и на графики выводятся все данные, полученные при расчете. Значения частот, на которых производится расчет характеристик, зависит от параметров, установленных в разделе "Опции": **Auto**, **Fixed Linear**, **Fixed Log**. В режиме **Auto** параметр **Number of Points** во внимание не принимается и количество точек определяется величиной **Maximum Change**. Если принят линейный шаг (**Fixed Linear**), то шаг приращения частоты равен  $F_{k+1} - F_k = (F_{\max} - F_{\min}) / (N_f - 1)$ , если принят логарифмический шаг (**Fixed Log**), то отношение соседних точек по частоте равно  $F_{k+1} / F_k = (F_{\max} / F_{\min})^{1/(N_f - 1)}$ .

**Temperature** — диапазон изменения температуры; формат **High[,Low[,Step]]** (температура

указывается в градусах Цельсия). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющие ненулевой температурный коэффициент **ТС**, а также ряд параметров полупроводниковых приборов. Если параметр **Step** (шаг) опущен, то анализ выполняется при двух значениях температуры: **Low** (минимальной) и **High** (максимальной). Если опущены оба параметра **Low** и **Step**, то расчет проводится при единственной температуре, равной **High**. Значение установленной здесь температуры может использоваться в различных выражениях, она обозначается как переменная **TEMP**.

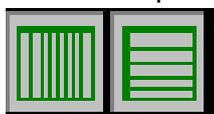
**Maximum Change,%** — максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага по частоте (в процентах от полной шкалы). Принимается во внимание только при выборе опции **Auto**. Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения частоты автоматически уменьшается;

**Noise Input** — имя источника сигнала, подключенного к входным зажимам цепи. При указании переменной **INOISE** в графе **Y expression** выводится график квадратного корня спектральной плотности напряжения или тока внутренних шумов цепи, пересчитанной к этим зажимам. Если в качестве источника входного сигнала включается источник напряжения, то на вход пересчитывается спектральная плотность напряжения, а если источник тока, то спектральная плотность тока;

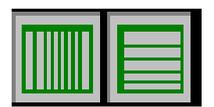
**Noise Output** — номера узлов выходных зажимов цепи, в которых вычисляется спектральная плотность напряжения выходного шума цепи. Формат узел1[,узел2].

### Вывод результатов моделирования:

Ниже раздела "Числовые параметры" и слева от раздела "Выражения" расположена группа пиктограмм. Нажатие каждой пиктограммы определяет характер вывода данных, задаваемых в той же строке. Имеются следующие возможности:



**Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси **X**. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Y Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси **Y**. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Color** — вызов меню для выбора одного из 16 цветов окрашивания графиков. Кнопка окрашивается в выбранный цвет;



**Numeric Output** — при нажатии этой кнопки в текстовый выходной файл заносится таблица отсчетов функции, заданной в графе **Y Expression**. Запись производится в файл "*<имя схемы>.ANO*". Таблица просматривается в окне **Numeric Output** (открывается нажатием клавиши **F5**). Количество отсчетов функции (число строк в таблице) задается параметром **Number of Points** в разделе **Числовые параметры**;

**Plot Group** — в графе **P** числом от **1** до **9** указывается номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Все функции, помеченные одним и тем же номером, выводятся в одном окне. Если это поле пусто, график функции не строится.

### Выражения:

**X Expression** — имя переменной, откладываемой по оси **X**. Обычно при анализе переходных процессов по этой оси откладывается частота (переменная **F**), однако это не обязательно. Так, при расчете импульсной характеристики с помощью преобразования Фурье по этой оси откладывается время (переменная **T**), а при построении годографа для анализа устойчивости по методу Найквиста — действительная часть комплексного напряжения;

**Y Expression** — математическое выражение для переменной, откладываемой по оси **Y**. Это

может быть простая переменная типа напряжения в узле **V(5)**, падения напряжения на двухполюсном компоненте **V(L1)**, тока ветви **I(2,3)**, **I(L1)**, произведение комплексных величин **V(VCC)\*I(VCC)** и другие выражения. Для расчета уровня внутреннего шума в графе Y Expression помещают имена переменных **ONoise**, **INoise**; при этом графики других переменных одновременно выводить на экран нельзя

**X Range** — максимальное и минимальное значение переменной **X** на графике по формату **High[,Low]**. Если минимальное значение **Low** равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается **Auto**. В этом случае сначала выполняется моделирование, в процессе которого графики строятся в стандартном масштабе и затем автоматически перестраиваются;

**Y Range** — максимальное и минимальное значение переменной **Y** на графике по формату **High[,Low]**. Если минимальное значение равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается **Auto**;

### 2.3. Расчет передаточных функций по постоянному току (DC Analysis)

В режиме **DC** рассчитываются передаточные характеристики по постоянному току. Ко входам цепи подключаются один или два независимых источника постоянного напряжения или тока. В качестве выходного сигнала может рассматриваться разность узловых потенциалов или ток через ветвь, в которую включен резистор. При расчете режима **DC** программа закорачивает индуктивности, исключает конденсаторы и затем рассчитывает режим по постоянному току при нескольких значениях входных сигналов. Например, при подключении одного источника постоянного напряжения рассчитывается передаточная функция усилителя, а при подключении двух источников — семейство статических выходных характеристик транзистора.

После перехода в режим **DC** программа **MC7** проверяет правильность схемы. При отсутствии ошибок в схеме программа составляет ее топологическое описание, выполняет подготовку к численному расчету нелинейных уравнений итерационным методом Ньютона-Рафсона и открывает окно задания параметров моделирования **DC Analysis Limits**.

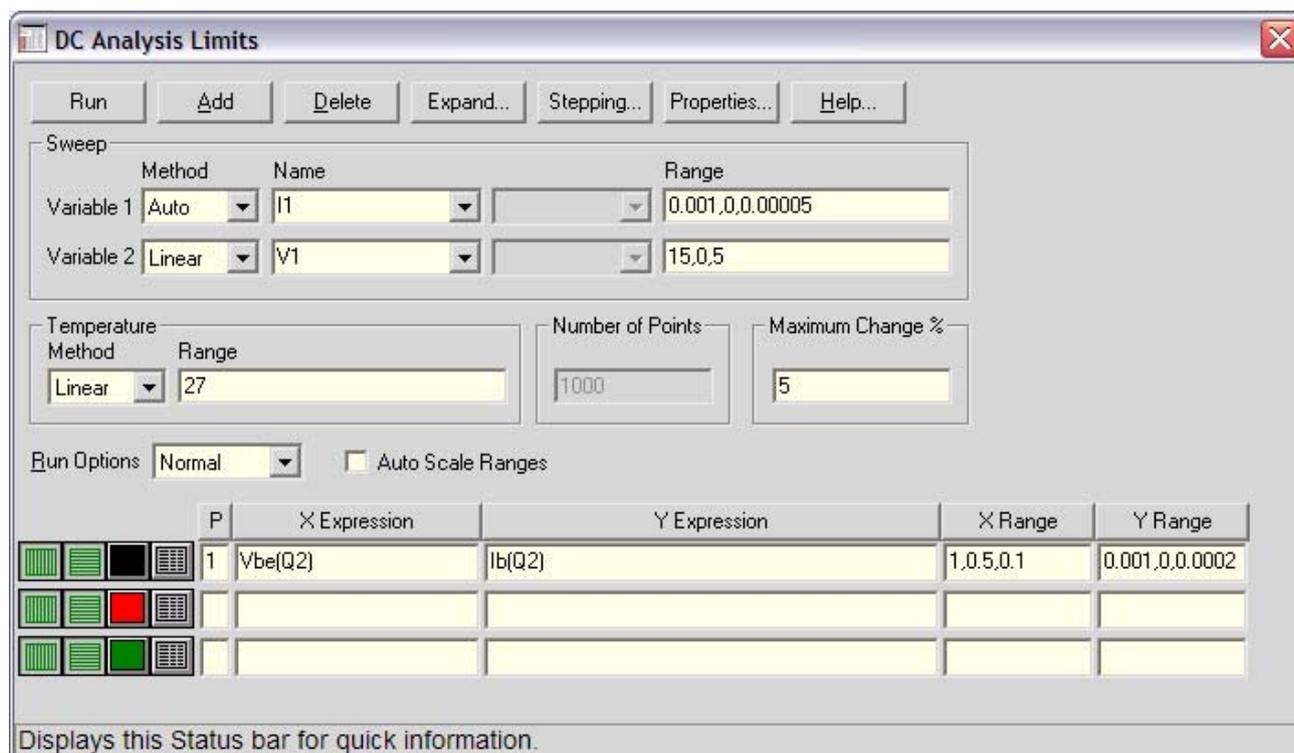


Рис.5 Окно задания параметров расчёта по постоянному току

## Команды:

**Run**— начало моделирования. Моделирование может быть остановлено в любой момент нажатием на клавишу **Esc**.

**Add** — добавление еще одной строки спецификации вывода результатов после строки, отмеченной курсором. На этой строке устанавливается способ отображения результатов и аналитические выражения для построения графиков. При наличии большого количества строк, не уместяющихся на экране, появляется линейка прокрутки;

**Delete** — удаление строки спецификации вывода результатов, отмеченной курсором;

**Expand** — открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф, содержащих выражения, например **Y Expression**;

**Stepping** — открытие диалогового окна задания вариации параметров;

**Properties** — открывается окно, в котором определяются дополнительные параметры графиков: типы линий, форматы чисел, масштабы, цвета, сохранение на диск и т.п.

**Help** — вызов раздела **DC Analysis** системы помощи.

## Числовые параметры:

**Variable 1** — определение параметров основной изменяемой переменной величины (источника постоянного напряжения или тока, температуры, параметра модели):

**Method** — в данном поле выбирается один из четырех методов изменения значения основной переменной величины:

**Auto** — автоматический выбор шага изменения параметра таким образом, чтобы это изменение при переходе от одной точки к другой было меньше значения, заданного в поле **Maximum change, %** (см. ниже);

**Linear** — расчёт с постоянным линейным шагом изменения параметра;

**Log** — расчёт с постоянным шагом в логарифмическом масштабе;

**List** — расчёт выполняется при значениях параметра, заданного в поле **Range** в формате **<v1>[, <v2>[, <v3>[, ...[, <vn>]]]]**, где **<v1>**, **<v2>**, ..., **<vn>** — требуемые значения параметра (напряжения или тока);

**Name** — в этом поле задаётся название основной изменяемой переменной величины: источник постоянного напряжения или тока, температура, параметр модели;

**Range** — в этом поле задаются пределы изменения основного переменной величины. Формат задания зависит от выбора в поле **Method**. Например, при выборе метода **Linear** формат записи **Final,Initial[,MaxStep]**. Первые два параметра задают конечное и начальное значение его величины, а третий — максимальный шаг изменения. Фактический шаг изменения может быть меньше, чтобы удовлетворить задаваемому ниже требованию **Maximum change**. Если опустить параметр **MaxStep**, то шаг изменения будет полностью определяться параметром **Maximum change**. Следует отметить, что **Variable1** использует переменный шаг изменения, а **Variable 2** — постоянный;

**Variable 2** — определение параметров второй изменяемой переменной величины. Имеет те же поля, что и **Variable 1**. Формат задания значений тот же. Если в поле **Method** не выбран параметр **None**, то для каждого значения **Variable 2** строится соответствующая кривая.

**Temperature** — диапазон изменения температуры; формат **High[,Low,Step]** (температура указывается в градусах Цельсия). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющие ненулевой температурный коэффициент **TC**, а также ряд параметров полупроводниковых приборов. Если параметр **Step** (шаг) опущен, то анализ выполняется при двух значениях температуры: **Low** (минимальной) и **High** (максимальной). Если опущены оба параметра **Low** и **Step**, то расчет проводится при единственной температуре, равной **High**. Значение установленной здесь температуры может использоваться в различных выражениях, она обозна-

чается как переменная **TEMP**.

**Number of Points** — количество точек, выводимых в таблицы, т.е. количество строк в таблице вывода результатов; минимальное значение равно 5. При выводе в таблицы применяется линейная интерполяция.

**Maximum change, %** — максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага изменения значения основной переменной величины **Variable 1** (в процентах от полной шкалы). Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения значения основной переменной величины автоматически уменьшается.

### Опции:

**Run Options** — управление выдачей результатов расчетов:

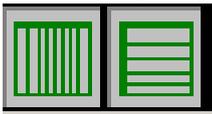
*Normal* — результаты расчетов не сохраняются,

*Save* — сохранение результатов расчетов в бинарном дисковом файле <имя схемы>.DSA

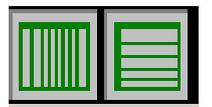
*Retrieve* — считывание последних результатов расчета из дисковой файла <имя схемы>.DSA, созданного ранее. При этом производится построение графиков и таблиц переходных процессов, как после обычного расчета.

**Auto Scale Ranges** — присвоение признака автоматического масштабирования "Auto" по осям X, Y для каждого нового варианта расчетов. Если эта опция выключена, то принимаются во внимание масштабы, указанные в графах X Range, Y Range.

### Вывод результатов моделирования:



**Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси X. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Y Log/Linear Scale** — переключение между логарифмической и линейной шкалой по оси Y. При выборе логарифмической шкалы диапазон изменения переменной должен быть положительным;



**Color** — вызов меню для выбора одного из 16 цветов окрашивания графиков. Кнопка окрашивается в выбранный цвет;



**Numeric Output** — при нажатии этой кнопки в текстовый выходной файл заносится таблица отсчетов функции, заданной в графе Y Expression. Запись производится в файл "<имя схемы>.DNO". Таблица просматривается в окне **Numeric Output** (открывается нажатием клавиши F5). Количество отсчетов функции (число строк в таблице) задается параметром **Number of Points** в разделе **Числовые параметры**;

**Plot Group** — в графе P числом от 1 до 9 указывается номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Все функции, помеченные одним и тем же номером, выводятся в одном окне. Если это поле пусто, график функции не строится.

### Выражения:

**X Expression** — имя переменной, откладываемой по оси X. Обычно при анализе переходных процессов по этой оси откладывается частота (переменная F), однако это не обязательно. Так, при расчете импульсной характеристики с помощью преобразования Фурье по этой оси откладывается время (переменная T), а при построении годографа для анализа устойчивости по методу Найквиста — действительная часть комплексного напряжения;

**Y Expression** — математическое выражение для переменной, откладываемой по оси Y. Это может быть простая переменная типа напряжения в узле V(5), падения напряжения на двухполюсном компоненте V(L1), тока ветви I(2,3), I(L1), произведение комплексных величин V(VCC)\*I(VCC) и другие выражения. Для расчета уровня внутреннего шума в графе Y Expression помещают имена переменных **ONoise**, **INoise**; при этом графики других переменных одновре-

менно выводить на экран нельзя

**X Range** — максимальное и минимальное значение переменной **X** на графике по формату **High[,Low]**. Если минимальное значение **Low** равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается **Auto**. В этом случае сначала выполняется моделирование, в процессе которого графики строятся в стандартном масштабе и затем автоматически перестраиваются;

**Y Range** — максимальное и минимальное значение переменной **Y** на графике по формату **High[,Low]**. Если минимальное значение равно нулю, его можно не указывать. Для автоматического выбора диапазона переменных в этой графе указывается **Auto**.

#### **2.4. Режим расчёта по постоянному току в реальном времени (Dynamic DC)**

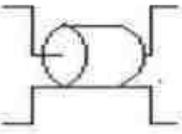
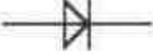
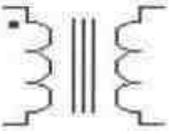
Режим **Dynamic DC** можно использовать для отображения потенциалов узлов, токов в ветвях, рассеиваемой мощности на компонентах схемы в режиме реального времени. Это значит, что значения вышеназванных величин автоматически пересчитываются программой сразу после изменения параметров схемы. Для отображения рассчитанных значений необходимо нажать соответствующие кнопки на панели инструментов (25–28 см. [рис.2](#)).

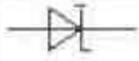
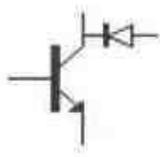
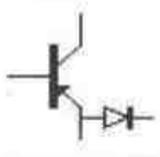
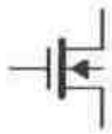
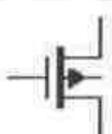
Следует помнить, что в данном режиме расчёт производится только по постоянному току. В этом режиме конденсаторы рассматриваются как разрыв цепи, а индуктивности заменяются коротким замыканием, значения переменных составляющих токов и потенциалов приравниваются к нулю (поэтому, например, отображаемое значение тока в какой-либо ветви с конденсатором будет нулевым).

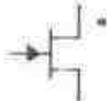
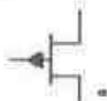
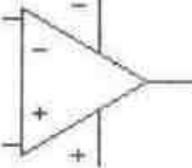
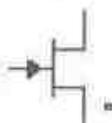
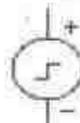
## Приложение 1. Каталог типовых аналоговых и цифровых компонентов

В следующих таблицах приведены условные графические обозначения основных типовых аналоговых и цифровых компонентов и перечень их параметров в том же порядке, в котором они сгруппированы в меню **Component** в разделах **Analog Primitives** и **Digital Primitives**. При этом графические обозначения компонентов по возможности отредактированы согласно требованиям ЕСКД.

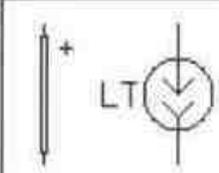
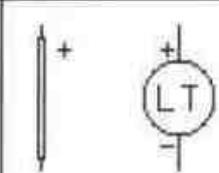
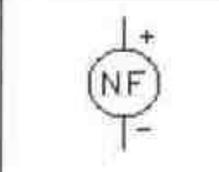
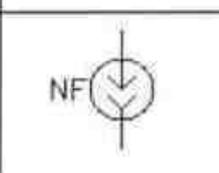
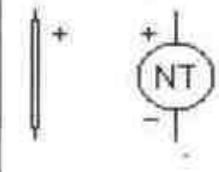
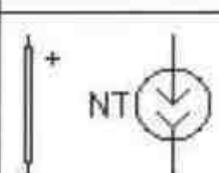
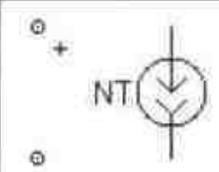
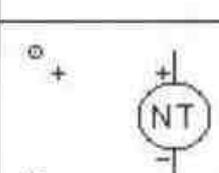
**Таблица П1.1. Аналоговые типовые компоненты**

Имя компонента	Графическое обозначение	Тип	Параметры
<b>Passive components (Пассивные компоненты)</b>			
Resistor		Резистор	<сопротивление> [TC=tc1[,tc2]]
Capacitor		Конденсатор	<емкость> [IC=<начальное напряжение>]
Inductor		Индуктивность	<индуктивность> [IC=<начальный ток>]
Tline		Линия передачи	ZO=<волновое сопротивление> [TD=<задержка>] или [F=<частота> [NL=<электрическая длина линии>]]
Diode		Диод	<имя модели> [area] [OFF] [IC=<начальное напряжение>]
D45		Диод, повернутый на 45°	<имя модели> [area] [OFF] [IC=<начальное напряжение>]
Transformer		Трансформатор высокочастотный	<индуктивности первичной обмотки>, <индуктивность вторичной обмотки>, <коэффициент связи>
K		Взаимная индуктивность	<<имя индуктивности>>* <коэффициент связи> <имя модели> [размер]

Zener		Стабилитрон	<имя модели> [area] [OFF] [IC=<начальное напряжение>]
<b>Active components (Активные компоненты)</b>			
NPN		Биполярный <i>n-p-n</i> транзистор	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vbe[, Vce]]
PNP		Биполярный <i>p-p-p</i> транзистор	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vbe[, Vce]]
NPN4		Биполярный боковой <i>n-p-n</i> транзистор	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vbe[, Vce]]
PNP4		Биполярный боковой <i>p-p-p</i> транзистор	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vbe[, Vce]]
NMOS		МОП-транзистор обедненного типа с <i>n</i> -каналом	<имя модели> [L=] [W=] [AD=] [AS=] [PD=] [PS=] [NRD=] [NRS=] [NRG=] [NRB=] [OFF] [IC=Vds[, Vgs[, Vbs]]]
PMOS		МОП-транзистор обедненного типа с <i>p</i> -каналом	<имя модели> [L=] [W=] [AD=] [AS=] [PD=] [PS=] [NRD=] [NRS=] [NRG=] [NRB=] [OFF] [IC=Vds[, Vgs[, Vbs]]]
DNMOS		МОП-транзистор обогащенного типа с <i>n</i> -каналом и внутренним соединением подложки и истока	<имя модели> [L=] [W=] [AD=] [AS=] [PD=] [PS=] [NRD=] [NRS=] [NRG=] [NRB=] [OFF] [IC=Vds[, Vgs[, Vbs]]]
DPMOS		МОП-транзистор обогащенного типа с <i>p</i> -каналом и внутренним соединением подложки и истока	<имя модели> [L=] [W=] [AD=] [AS=] [PD=] [PS=] [NRD=] [NRS=] [NRG=] [NRB=] [OFF] [IC=Vds[, Vgs[, Vbs]]]

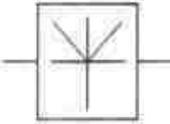
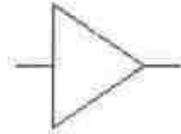
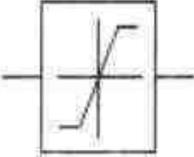
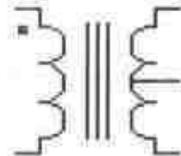
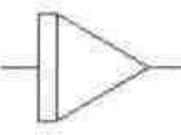
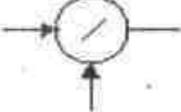
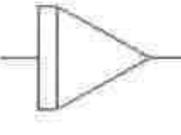
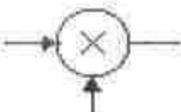
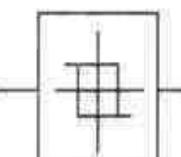
NJFET		Полевой транзистор с управляющим $p$ - $n$ переходом и каналом $n$ -типа	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vds[, Vgs]]
PJFET		Полевой транзистор с управляющим $p$ - $n$ переходом и каналом $p$ -типа	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vds[, Vgs]]
Opamp		Операционный усилитель	<имя модели>
GaAsFET		Арсенид-галлиевый полевой транзистор с каналом $n$ -типа	<имя модели> [area] [OFF] [IC=Vds[, Vgs]]
<b>Waveform sources (Источники сигналов)</b>			
Battery		Источник постоянного напряжения (батарея)	<напряжение> или <имя>
Pulse source		Источник импульсного напряжения	<имя модели> Примечание. Амплитуда сигнала в режиме AC равна 1 В
Isource		Источник постоянного тока	<ток> или <имя>
User source		Источник напряжения, задаваемый пользователем	Имя текстового файла (расширение .USR), содержащего выборочные значения напряжения. Примечание. Амплитуда сигнала в режиме AC равна 1 В
Sine source		Источник синусоидального напряжения	<имя модели> Примечание. Амплитуда сигнала в режиме AC равна 1 В

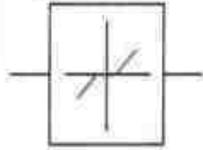
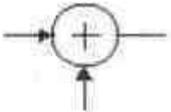
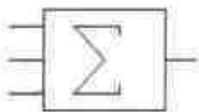
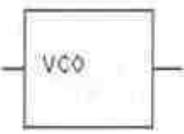
V		Независимый источник переменного напряжения	[DC <напряжение>] [AC <модуль>[фаза]] [PULSE ...] [SIN ...] [EXP ...] [PWL ...] [SFFM ...]
I		Независимый источник переменного тока	[DC <ток>] [AC <модуль>[фаза]] [PULSE ...] [SIN ...] [EXP ...] [PWL ...] [SFFM ...]
<b>Laplace sources (Линейные управляемые источники, задаваемые преобразованием Лапласа)</b>			
LFlofV		Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН), задаваемый формулой	Выражение для передаточной функций (от комплексной переменной $s$ )
LFlofI		Источник тока, управляемый током (ИТУТ), задаваемый формулой	Выражение для передаточной функций (от комплексной переменной $s$ )
LFVofV		Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН), задаваемый формулой	Выражение для передаточной функций (от комплексной переменной $s$ )
LFVofI		Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ), задаваемый формулой	Выражение для передаточной функций (от комплексной переменной $s$ )
LTlofV		Источник тока, управляемый напряжением (ИТУН), задаваемый таблично	(частота 1, модуль 1, фаза 1) (частота 2, модуль 2, фаза 2) ... (частота N, модуль N, фаза N)
LTVofV		Источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН), задаваемый таблично	(частота 1, модуль 1, фаза 1) (частота 2, модуль 2, фаза 2) ... (частота N, модуль N, фаза N)

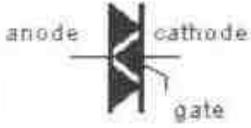
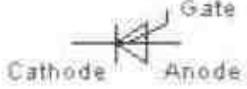
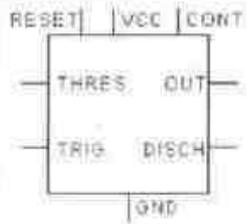
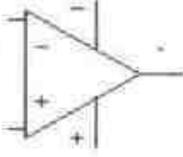
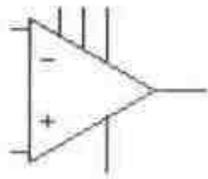
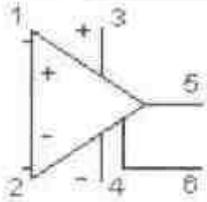
<b>LTlofl</b>		Источник тока, управляемый током (ИТУТ), задаваемый таблично	(частота 1, модуль 1, фаза 1) (частота 2, модуль 2, фаза 2) ... (частота N, модуль N, фаза N)
<b>LTVofl</b>		Источник напряжения, управляемый током (ИНУТ), задаваемый таблично	(частота 1, модуль 1, фаза 1) (частота 2, модуль 2, фаза 2) ... (частота N, модуль N, фаза N)
<b>Function sources (Функциональные источники сигналов)</b>			
<b>NFV</b>		Источник напряжения, задаваемый функциональной зависимостью	Алгебраическая формула для расчета напряжения источника ЭДС (как функции любых зависящих от времени переменных)
<b>NFI</b>		Источник тока, задаваемый функциональной зависимостью	Алгебраическая формула для расчета тока источника тока (как функции любых зависящих от времени переменных)
<b>NTVofl</b>		Таблично задаваемый источник напряжения, управляемый током	(x1,y1) (x2,y2) [(x3,y3) ... (x100,y100)]
<b>NTlofl</b>		Таблично задаваемый источник тока, управляемый током	(x1,y1) (x2,y2) [(x3,y3) ... (x100,y100)]
<b>NTlofV</b>		Таблично задаваемый источник тока, управляемый напряжением	(x1,y1) (x2,y2) [(x3,y3) ... (x100,y100)]
<b>NTVofV</b>		Таблично задаваемый источник напряжения, управляемый напряжением	(x1,y1) (x2,y2) [(x3,y3) ... (x100,y100)]

**Dependent sources (Линейные и нелинейные зависимые источники)**

<b>lofV</b>		Линейный источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)	<коэффициент передачи>
<b>lofl</b>		Линейный источник тока, управляемый током (ИТУТ)	<коэффициент передачи>
<b>Vofl</b>		Линейный источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	<коэффициент передачи>
<b>VofV</b>		Линейный источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)	<коэффициент передачи>
<b>HVofl</b>		Полиномиальный источник напряжения, управляемый током (ИНУТ)	[POLY(k)] n1p n1m [n2p n2m] ... [nkp nkm] [p0 p1 ... pk] [IC=v1,v2,v3,...,vk]
<b>GlofV</b>		Полиномиальный источник тока, управляемый напряжением (ИТУН)	[POLY(k)] n1p n1m [n2p n2m] ... [nkp nkm] [p0 p1 ... pk] [IC=v1,v2,v3,...,vk]
<b>Flofl</b>		Полиномиальный источник тока, управляемый током (ИТУТ)	[POLY(k)] n1p n1m [n2p n2m] ... [nkp nkm] [p0 p1 ... pk] [IC=v1,v2,v3,...,vk]
<b>EVofV</b>		Полиномиальный источник напряжения, управляемый напряжением (ИНУН)	[POLY(k)] n1p n1m [n2p n2m] ... [nkp nkm] [p0 p1 ... pk] [IC=v1,v2,v3,...,vk]

Macros (Макромодели, заданные схемами замещения)			
ABS		Вычисление абсолютной величины	-
AMP		Усилитель	GAIN=<коэффициент усиления>
CLIP		Ограничитель с линейной зоной	MAX =<максимальное напряжение>; DX=<граница линейной зоны>
Centap		Трехобмоточный трансформатор с ферромагнитным сердечником	L1, L2, L3 — индуктивности обмоток (коэффициент связи равен 0,999)
DIF		Дифференцирующее устройство	SCALE =<масштабный коэффициент>
DIV		Делитель	SCALE =<масштабный коэффициент>
INT		Интегратор	SCALE =<масштабный коэффициент> VINIT=<начальное напряжение>
F		Линейное звено, определяемое с помощью преобразования Лапласа	FS=<передаточная функция переменной s>
Mul		Перемножитель	SCALE=<масштабный коэффициент>
Schmitt		Триггер Шмитта	X1, X2, Y1, Y2 — пороговые уровни; Rout=<выходное сопротивление>; Sign=<флаг инверсии> (+1 или -1)

SLIP		Усилитель с зоной нечувствительности	MAX=<максимальное напряжение> DX=<граница зоны нечувствительности>
SUB		Вычитающее устройство	KA, KB — весовые коэффициенты уменьшаемого и вычитаемого
SUM		Сумматор	KA, KB — весовые коэффициенты слагаемых
SUM3		Сумматор трех сигналов	KA, KB, KC — весовые коэффициенты слагаемых
VCO		Управляемый генератор	VP =<амплитуда сигнала> F0=<центральная частота> KF=<крутизна перестройки частоты (Гц/В)>
Triode		Триод (электронная лампа)	k=<масштабный коэффициент> Mu=<коэффициент усиления> Cgr =<емкость анод-сетка> Cgc =<емкость сетка-катод> Crc=<емкость анад-катод>
SCR		Тиристор	IN=<ток удержания> IGT=<ток включения управляющего электрода> TON=<время включения> VTMIN =<минимальное напряжение> VDRM=<напряжение пробоя в прямом включении> DVDT=<максимально допустимая величина dv/dt> TQ = <параметр> K1=<коэффициент> K2 =<коэффициент>

<b>Triac</b>		Тиристор	Те же параметры, что у модели SCR (используется более сложная схема замещения)
<b>Pot</b>		Потенциометр	R=<полное сопротивление> PERCENT=<относительное сопротивление между левым и средним выводами>
<b>Put</b>		Тиристор	Те же параметры, что у модели SCR (в схеме замещения отсутствует резистор RGK)
<b>Xtal</b>		Кварцевый резонатор	F0=<центральная частота> R1=<сопротивление потерь> Q=<добротность>
<b>555</b>		Измеритель временных интервалов	<имя макромодели>
<b>Subckts (Макромодели, заданные текстовым описанием на языке PSpice)</b>			
<b>Opamp_subckt_5</b>		Операционный усилитель с 5 выводами (вход -, вход +, питание -, питание +, выход)	-
<b>Opamp_subckt_7</b>		Операционный усилитель с 7 выводами (вход -, вход +, внешняя коррекция, питание -, питание +, выход)	-
<b>Comp_6</b>		Компаратор напряжения	

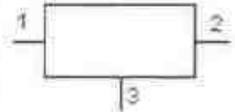
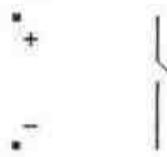
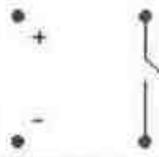
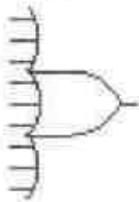
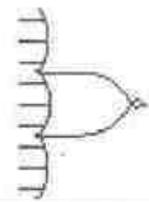
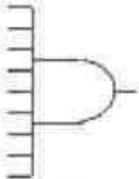
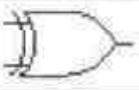
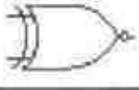
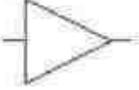
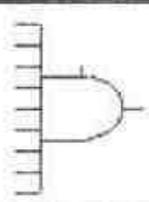
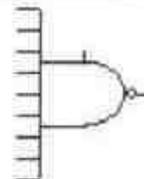
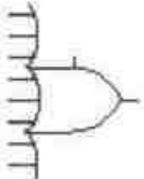
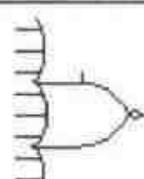
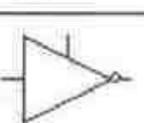
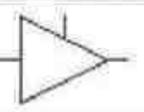
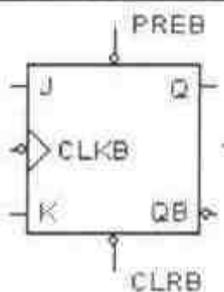
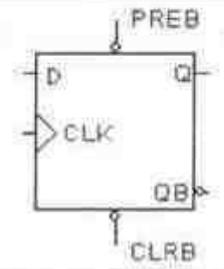
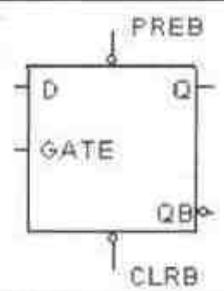
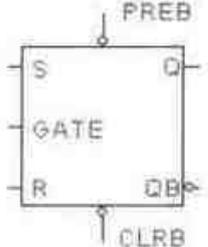
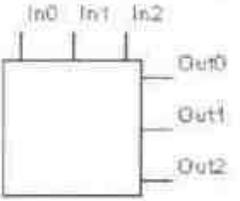
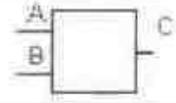
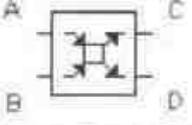
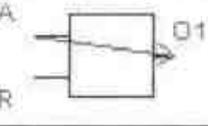
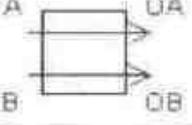
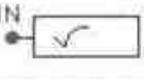
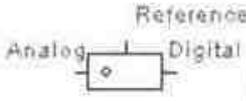
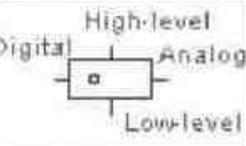
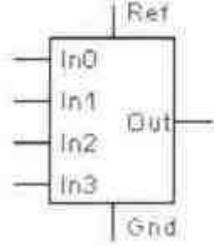
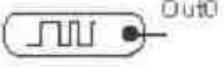
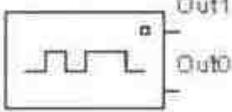
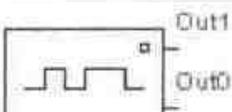
Amp_subck		Усилитель	
<b>Connectors (Соединители)</b>			
Ground		"Земля"	-
Tie		Соединитель	Имя контакта
Jumper Jumper2		Перемычки без электрического соединения в точках пересечения (джамперы)	-
<b>Miscellaneous (Смесь)</b>			
Switch		Ключ, управляемый напряжением, током или временем	[V,] или [I,] или [T,] значение 1, значение 2, [Ron, [Roff]]
Arrow		Стрелка	Имя контакта
Buble1		Контакт	Имя контакта
Bubble2		Контакт	Имя контакта
S (V-Switch)		Ключ, управляемый напряжением	<имя модели>
W (I-Switch)		Ключ, управляемый током	<имя модели>

Таблица П1.2. Цифровые типовые компоненты

Имя компонента	Графическое обозначение	Тип
<b>Standard Gates (Стандартные вентили)</b>		
Or Gates		Логическое ИЛИ с 2-9 входами
Nor Gates		Логическое ИЛИ—НЕ с 2-9 входами
And Gates		Логическое И с 2-9 входами
Nand Gates		Логическое И—НЕ с 2-9 входами
Xor Gates		Исключающее ИЛИ
Xnor Gates		Исключающее ИЛИ—НЕ
Inverters		Инвертор
Buffers		Буфер
<b>Tri-State Gates (Вентили с тремя состояниями)</b>		
And-Tri Gates		Логическое И с 2-9 входами

<b>Nand-Tri Gates</b>		Логическое И—НЕ с 2-9 входами
<b>Or-Tri Gates</b>		Логическое ИЛИ с 2-9 входами
<b>Nor-Tri Gates</b>		Логическое ИЛИ—НЕ с 2-9 входами
<b>Inv-Tri Gates</b>		Инвертор
<b>Buf-Tri Gates</b>		Буфер
<b>Edge-Triggered Flip-Flops (Триггеры с динамическим управлением)</b>		
<b>JKFF</b>		JK-триггер с отрицательным фронтом срабатывания и низким уровнем сигналов установки и сброса
<b>DFF</b>		D-триггер с положительным фронтом срабатывания и низким уровнем сигналов установки и сброса
<b>Gated Flip-Flops/Latches (Триггеры с потенциальным управлением)</b>		
<b>LATCH</b>		Однотактный синхронный D-триггер

SRFF		Двухтактный синхронный RS-триггер
<b>Pullups/Pulldowns (Источники постоянных логических сигналов)</b>		
Pullup		Источник логического сигнала "1"
Pulldown		Источник логического сигнала "0"
<b>Delay Line (Цифровые линии задержки)</b>		
Delay 1		Цифровая линия задержки
<b>Programmable Logic Arrays (Программируемые логические матрицы)</b>		
PLAND33, PLOR33, PLANDC33		Программируемые логические матрицы с 3 входами и 3 выходами
<b>Logic Expression (Логические выражения)</b>		
Logic2x1		Логическое выражение с двумя входами и одним выходом
Logic2x2		Логическое выражение с двумя входами и двумя выходами
<b>Pin Delay (Задержки распространения сигналов)</b>		
Pin Delay 2x1		Назначение задержки распространения сигналов устройству с одним входом, одним узлом разрешения и одним выходом
Pin Delay 2x2		Назначение задержки распространения сигналов устройству с двумя входами и двумя выходами
<b>Constraints (Контроль временных соотношений)</b>		
Constraint		Контроль соблюдения временных соотношений в устройстве с одним входом

<b>AtoD Converters (Аналого-цифровые преобразователи)</b>		
<b>O</b>		Аналого-цифровой интерфейс
<b>AtoD4, AtoD8, AtoD12, AtoD16</b>		Макромодель интерфейса А/Ц с 4 — 16 разрядами
<b>DtoA Converters (Цифро-аналоговые преобразователи)</b>		
<b>N</b>		Цифро-аналоговый интерфейс
<b>DtoA4, DtoA8, DtoA12, DtoA16</b>		Макромодель интерфейса Ц/А с 4 — 16 разрядами
<b>Stimulus Generators (Генераторы цифровых сигналов)</b>		
<b>Stim1</b>		1-разрядный цифровой сигнал
<b>Stim2, Stim4, Stim8, Stim16</b>		2-, 4-, 8-, 16-разрядный цифровой сигнал
<b>FStim1</b>		Источник 1-разрядного цифрового сигнала, записанного в файле
<b>Fstim2, , FStim4, FStim8, FStim16</b>		Источник 2-, 4-, 8-, 16-разрядного цифрового сигнала, записанного в файле