

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная электроника»

Ю. В. Крышнев, О. В. Гуреева

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ЛАБОРАТОНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по курсу «Системы автоматизированного проектирования
устройств промышленной электроники»**

для студентов специальности 1-36 04 02

«Промышленная электроника»

дневной и заочной форм обучения

В четырех частях

Часть 1

Гомель 2009

УДК 621.38:681.5.017(075.8)
ББК 30.2-5-05я73
К85

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 10.11.2007 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук,
доц. К. С. Курочка

Крышнев, Ю. В.
К85 Схемотехническое моделирование : лаборатор. практикум по курсу «Системы автоматизированного проектирования устройств промышленной электроники» для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» днев. и заоч. форм обучения. В 4 ч. Ч. 1 / Ю. В. Крышнев, О. В. Гуреева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 79 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержатся необходимые сведения для изучения особенностей программы схемотехнического моделирования MicroCAP 7. Владение приемами схемотехнического моделирования позволит эффективно проводить анализ информационно-измерительных схем и частноизбирательных устройств. При этом повысится качество и сократится время проектирования.

Для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.38:681.5.017(075.8)
ББК 30.2-5-05я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

1 Основные сведения о программе

Программы семейства MicroCAP (Microcomputer circuit analysis program) фирмы Spectrum software предназначены для схемотехнического моделирования электронных устройств [3, 9].

В программе MicroCAP7 используется многооконный интерфейс с ниспадающими и разворачивающимся меню.

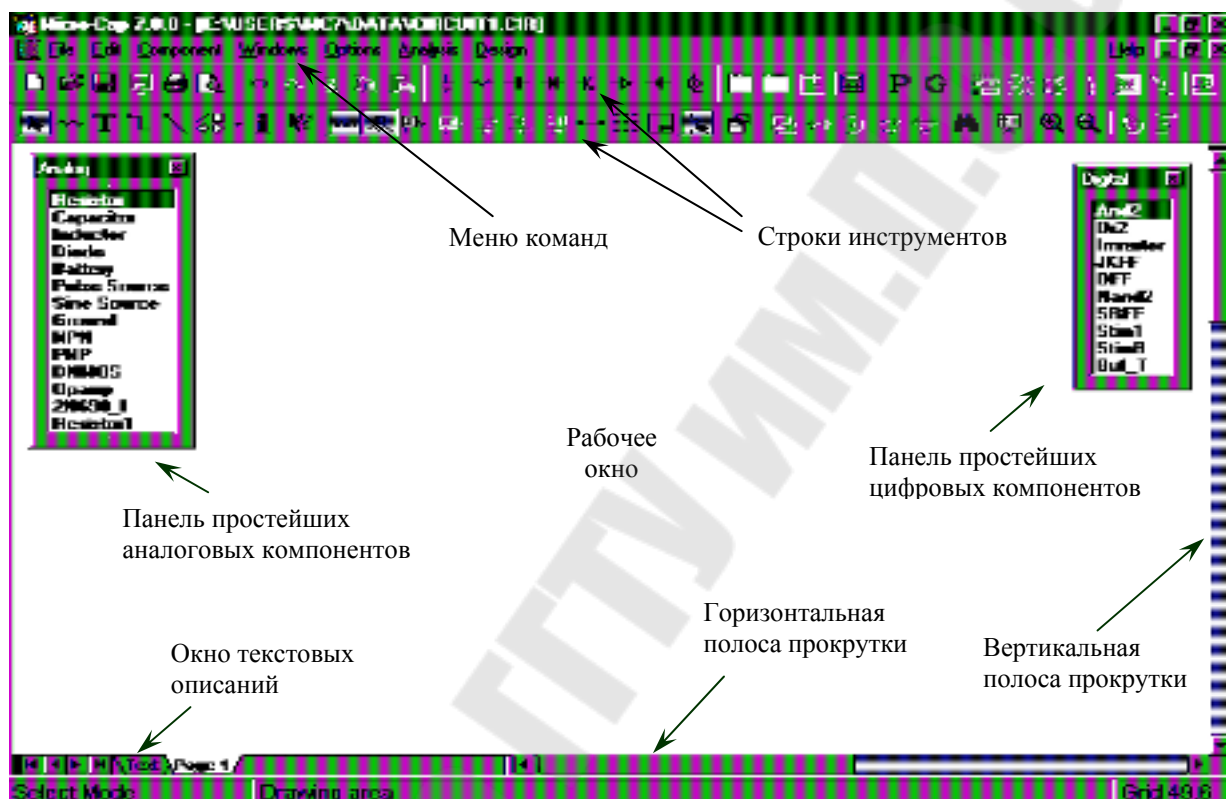


Рис. 1. Стандартное окно программы MicroCap7

Главное меню (меню команд) включает в себя разделы:

- File – содержит команды для работы с файлами схем, библиотек математических моделей, текстовыми заданиями в формате Spice и текстовыми документами.
- Edit – содержит команды редактирования.
- Component – содержит каталог библиотек аналоговых и цифровых компонентов.
- Windows – содержит команды работы с окнами.
- Options – содержит команды выборов режима редактирования и задания различных параметров программы MC7.
- Analysis – содержит перечень режимов моделирования.

- Design – содержит установки для создания активных и пассивных фильтров.
- Help – содержит команды работы со средствами встроенной помощи.

Подчиненные разделы главного меню MicroCAP7 приведены в табл. 1

Таблица 1

Перечень и описание подчиненных разделов главного меню MicroCAP7

| Команда | Назначение |
|-------------------|---|
| Меню File | |
| New | Создать новый файл |
| Open | Открыть существующий файл |
| Save | Сохранить файл |
| Save as | Сохранить файл как... |
| Paths | Указание путей |
| Translate | Преобразовать файл MC7 в... |
| Load MC file | Найти файл |
| Revert | Восстановление содержания файла текущего окна с диска |
| Close | Закрыть файл |
| Print preview | Предварительный просмотр перед печатью |
| Print | Печать файла |
| Print setup | Установка принтера, размера и ориентации бумаги |
| Files 1..N | Список последних N загруженных файлов |
| Exit | Выход из программы |
| Меню Edit | |
| Undo | Отмена последней команды редактирования |
| Redo | Повтор последней команды форматирования |
| Cut | Вырезать в буфер выделенный объект |
| Copy | Скопировать в буфер |
| Paste | Вставить из буфера |
| Clear | Удалить без копирования в буфер |
| Clear Cut Wire | Вырезать без удаления |
| Select All | Выбрать все объекты |
| Copy to clipboard | Копировать в буфер содержание окна в формате одного из графических файлов BMP, WMF, EMF |

| | |
|--|---|
| Copy the entire window to a picture file | Копировать в буфер содержание окна в виде рисунка формата WMF |
| Add page | Добавить новую страницу |
| Delete page | Удалить страницу |
| Refresh models | Обновить модели |
| Box | Редактировать объекты, заключенные в прямоугольник |
| Change | Изменение статуса атрибутов компонентов схемы |
| Bring to front | Перемещение нижнего объекта вверх на выбранных перекрывающихся объектах |
| Send to back | Перемещение верхнего объекта вниз на выбранных перекрывающихся объектах |
| Go to flag | Перейти к флагу |
| Find | Поиск объекта в текущем окне |
| Repeat last find | Поиск следующего объекта, удовлетворяющего заданному критерию |
| Replace | Замена фрагмента текста |
| Меню Component | |
| Analog primitives | Типовые аналоговые компоненты |
| Analog library | Библиотека аналоговых элементов различных фирм |
| Digital primitives | Типовые цифровые компоненты |
| Digital library | Библиотека цифровых элементов различных фирм |
| Animation | Анимация |
| Filters | Фильтры |
| Find component | Найти компонент |
| 1..10 | Список последних десяти вызванных компонентов |
| Меню Windows | |
| Cascade | Каскадное расположение окон |
| Tile vertical | Вертикальное последовательное расположение окон |
| Tile horizontal | Горизонтальное последовательное расположение окон |
| Overlap | Совмещение окон |
| Maximize | Максимальный размер окна |

Продолжение табл. 1

| | |
|--|---|
| Arrange icons | Упорядочить размещение иконок свернутых окон внизу |
| Zoom-in | Увеличение масштаба изображения |
| Zoom-out | Уменьшение масштаба изображения |
| Toggle drawing/ Text | Переключение между окном схемы и его текстовым окном |
| Split horizontal | Разделение окон по горизонтали |
| Split vertical | Разделение окон по вертикали |
| Remove splits | Перенести разделение |
| Component editor | Редактор компонентов библиотеки |
| Shape editor | Редактор графики символов библиотеки |
| Package editor | Редактор блока компонентов |
| Model program | Вызов программы MODEL |
| Calculator | Калькулятор |
| Check model library parameters | Проверка параметров библиотеки моделей |
| 1...N | Выбор окна открытых файлов |
| Меню Options | |
| Main tool bar | Главная строка инструментов |
| Default main tool bar | Главная строка инструментов (по умолчанию) |
| Status bar | Строка статуса |
| Mode | Режим |
| View | Видимая информация на схеме |
| Show all paths | Показать все пути |
| Preferences | Установки |
| Default properties for new circuits | Свойства новой схемы по умолчанию |
| Global settings | Задание глобальных параметров, определяющих режим моделирования |
| User definitions | Описания, задаваемые пользователем |
| Model parameter limits editor | Редактор размеров параметров модели |
| Component palettes | Панели компонентов |
| Меню Analysis | |
| Transient | Анализ переходных процессов |

| | |
|--------------------|---|
| AC | Анализ по переменному току |
| DC | Анализ по постоянному току |
| Dynamic DC | Динамический анализ по постоянному току |
| Transfer function | Передаточная характеристика |
| Sensitivity | Анализ чувствительности |
| Probe Transient | Анализ переходных процессов в режиме Probe |
| Probe AC | Анализ по переменному току в режиме Probe |
| Probe DC | Анализ по постоянному току в режиме Probe |
| Меню Design | |
| Active filters | Создание активных фильтров |
| Passive filters | Создание пассивных фильтров |
| Меню Help | |
| Contents | Содержание встроенной документации по программе |
| Search for help on | Вызов справочной поисковой системы |
| Product support | Информация о технической поддержке |
| Tip of the day | Совет дня |
| About Microcap... | Информация о версии программы |
| Statistics | Статистика по программе |
| Key ID | Клавиша идентификации |
| Demo... | Демонстрация различных режимов работы программы |

Подчиненные разделы меню «Component» описаны в приложении А, встроенные редакторы меню «Windows» – в приложении Б, подчиненные разделы меню «Options» – в приложении В.

2 Создание чертежа схемы

Новая схема создается по команде File-New. При этом возможно как графическое изображение схемы (режим Schematic), так и ее текстовое описание (Spice/Text). Созданные ранее схемы загружаются по команде File-Open.

Рабочее окно представляет собой пустое пространство, на котором создается новая схема. Перед построением схемы рекомендуется вынести на рабочее поле панели простейших компонентов (аналоговых или цифровых). Для этого надо в меню Options вы-

брать строку Component Palette и в открывшемся меню выбрать (поставить «птичку») аналоговые (Analog Ctrl+1) или цифровые (Digital Ctrl+3) простейшие компоненты. В результате на рабочем поле появляются панели компонентов. Чтобы перенести какой-нибудь элемент из панели на рабочее поле, надо выбрать его курсором мыши и, удерживая левой кнопкой, перенести на рабочее поле. Для поворота элемента на 90° надо, не отпуская левой кнопки мыши, нажать правую кнопку. Отпуская левой кнопки мыши осуществляется установка элемента на рабочее поле. После этого появляется диалоговое окно установки параметров элемента (например, на рис. 2 представлено окно для резистора).

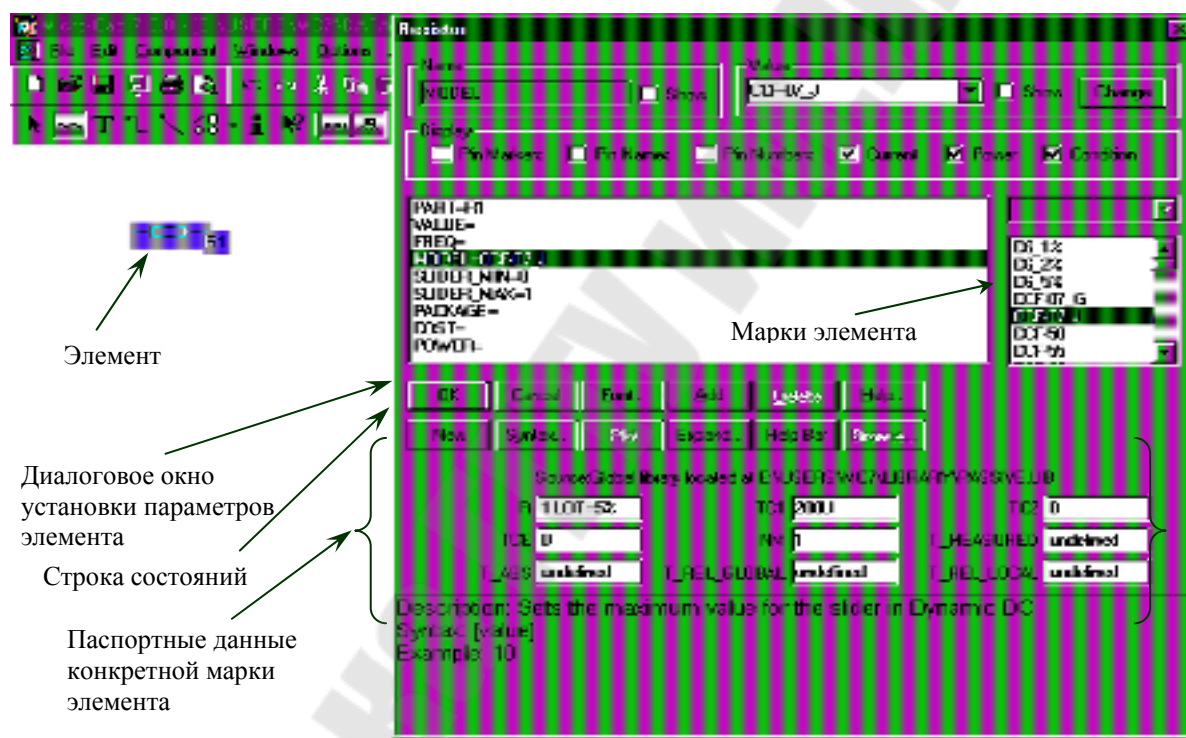


Рис. 2. Диалоговое окно задания элемента

В диалоговом окне указываются:

- Part – название элемента в схеме (например, R0, DA1, C5 и т.д.);
- Value:
- для пассивных элементов и батарейки – номинал элемента (100, 0.02 и т.д.), причем указываются только числа, т.к. в MC7 запрограммированы единицы измерения для каждого пассивного элемента (для сопротивления – Ом, для емкости – Ф, для индуктивности – Гн) и температурный коэффициент;

- для некоторых активных элементов – физические параметры;
- Freq – указывается вспомогательное частотно-зависимое выражение для использования только в частотном анализе;
- Model – указывается в правом активированном окне марка элемента, при этом активизируется нижнее окно, где указываются основные паспортные данные на марку;
- Package – указывается тип корпуса для PSB списка;
- Cost – указывается стоимость элемента для подготовки счета схемы;
- Power – указывается мощность элемента для расчета мощностей схемы.

Вышеперечисленные опции диалогового окна являются основными для большого количества элементов. Но для каждого из задаваемых элементов могут добавляться свои специальные опции установок.

В строке состояний указываются дополнительные параметры:

- Font – выбор шрифта и цвета;
- Add – добавить новый параметр по выбору пользователя;
- Delete – удалить параметр по выбору пользователя;
- New – добавить новую модель по выбору пользователя;
- Syntax – описание параметров и модели выбранного элемента;
- Plot – построение характеристики элемента;
- Expand – добавить текстовое описание к элементу;
- Help bar – вкл./выкл. комментарии внизу диалогового окна.

В программе используются условные обозначения степеней, кратных и дробных единиц (табл. 2) [3]:

Таблица 2

Условные обозначения степеней, кратных и дробных единиц

| Обозначение | Код (математическое описание) | |
|-------------|-------------------------------|------|
| Пико... | p | E-12 |
| Нано... | n | E-9 |
| Микро... | u | E-6 |
| Милли... | m | E-3 |
| Кило... | k | E3 |
| Мега... | meg | E6 |
| Гига... | G | E9 |
| Терра... | T | E12 |

Для дополнительных степеней можно воспользоваться математическим описанием, например, $0.047 \text{ мкФ} = 0.047\text{u} = 0.047\text{E-6} = 4.7\text{E-8}$. Десятичные дроби вводятся через разделитель целой и дробной частей «точка», при ошибочном вводе запятой дробная часть будет игнорироваться. Пробелы между числом и буквой степени не допускаются.

3 Проведение анализа

3.1 Меню анализа схем

После составления и ввода схемы переходят к анализу ее в различных режимах (Analysis). Программа предусматривает следующие режимы анализа (рис. 3):

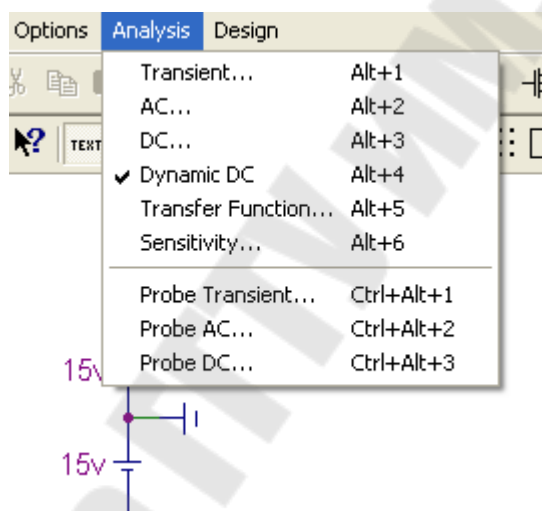


Рис. 3. Меню анализа MicroCAP7

Transient Analysis (Alt+1) – временной анализ (переходная характеристика);

AC Analysis (Alt+2) – анализ по переменному току;

DC Analysis (Alt+3) – анализ по постоянному току;

Dynamic DC (Alt+4) – динамический анализ по постоянному току с возможностью индикации мгновенных значений потенциалов, токов, рассеиваемых и генерируемых мощностей, состояний активных элементов;

Transfer Function (Alt+5) – расчет параметров схемы в зависимости от функции входного источника;

Sensitivity (Alt+6) – расчет чувствительности выходной величины от элементов схемы;

Probe Transient, Probe AC, Probe DC – пробные, примерные анализы в различных режимах без точной установки параметров. Последовательно выводятся графики анализа для точек схемы, указываемых мышью.

3.2 Задание параметров анализа

Порядок установления диапазона значений в любом режиме анализа одинаков: сначала указывается максимальное значение, затем минимальное (если не указано, принимается по умолчанию нуль), затем шаг (если не указан, принимается по умолчанию десятая часть разницы максимального и минимального значений).

Величины на графиках могут иметь следующие условные обозначения (табл. 3):

Таблица 3

Обозначения величин на графиках анализа MicroCAP7

| | |
|---------|--|
| D(A) | Логическое состояние цифрового узла A |
| V(A) | Напряжение в узле A (относительно земли) |
| V(A,B) | Разность потенциалов между узлами A и B |
| V(D1) | Напряжение на зажимах устройства D1 |
| I(D1) | Ток через устройство D1 |
| I(A,B) | Ток через ветвь между узлами A и B |
| IR(Q1) | Ток, втекающий в вывод R устройства Q1 |
| VRS(Q1) | Напряжение между выводами R и S устройства Q1 |
| CRS(Q1) | Емкость между выводами R и S устройства Q1 |
| QRS(Q1) | Заряд емкости между выводами R и S устройства Q1 |
| R(R1) | Сопротивление резистора R1 |
| C(X1) | Емкость конденсатора или диода X1 |
| Q(X1) | Заряд конденсатора или диода X1 |
| L(X1) | Индуктивность катушки или сердечника X1 |
| X(X1) | Магнитный поток в катушке или сердечнике X1 |
| B(L1) | Магнитная индукция сердечника L1 |
| H(L1) | Напряженность магнитного поля в сердечнике L1 |
| T | Время |
| F | Частота |
| S | Комплексная частота, равная $2\pi Fj$ |

| | |
|--------|---|
| RND | Случайное число с равномерным законом распределения на отрезке [0,1] |
| ONoise | Квадратный корень из спектральной плотности выходного напряжения |
| INoise | Квадратный корень из спектральной плотности входного напряжения, равный ONoise/коэффициент передачи по мощности |
| DB(Z) | Логарифмическая амплитуда ($20 \cdot \log(Z)$) |
| Re(Z) | Действительная часть Z |
| Im(Z) | Мнимая часть Z |
| MAG(Z) | Модуль Z |
| PH(Z) | Фаза Z в градусах |
| GD(Z) | Групповое время запаздывания |

В таблице 3:

A и B – номера узлов схемы;

D1 – имя компонента с двумя выводами или управляемого источника;

Q1 – имя любого активного устройства или линии передачи;

Z – комплексная величина (напряжение, ток и т.д.)

3.3 Проведение временного анализа (Transient analysis)

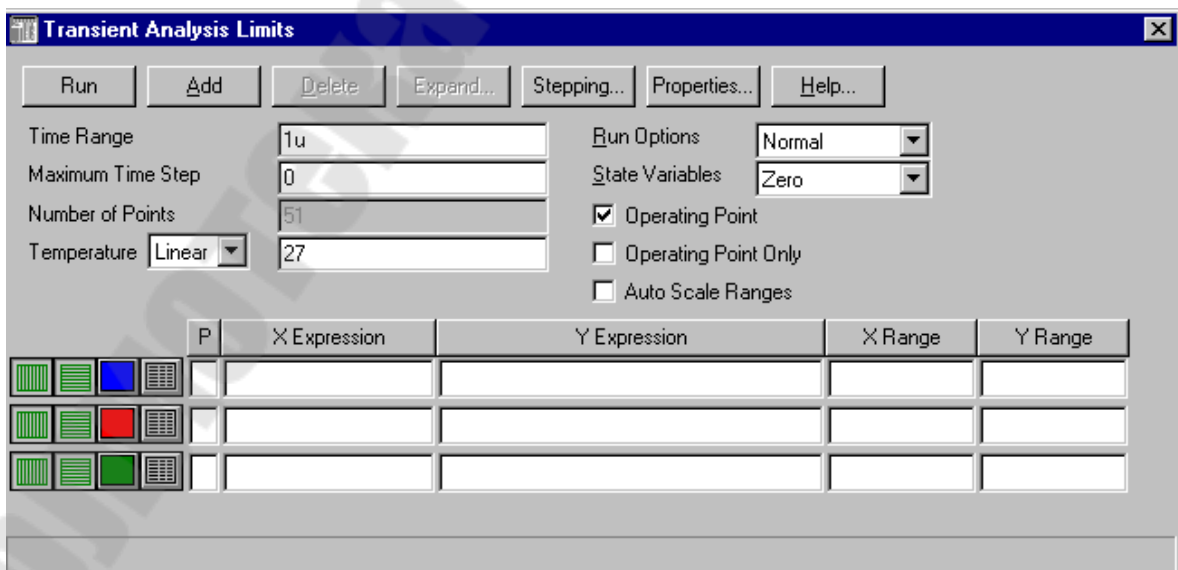


Рис. 4. Окно задания параметров графика при временном анализе

На рис. 4 показано диалоговое окно задания параметров графика. В этом окне указываются:

Time range – диапазон изменения времени, для которого производится расчет точек графика;

Maximum time step – максимальный шаг по времени, рекомендуется устанавливать на несколько порядков меньше величины Time range;

Number of points – количество информационных точек (строк в таблице вывода цифровых результатов результатов окна Numeric Output), по умолчанию принимается равным 51, минимальное значение 6;

Temperature – задается закон (Linear – линейный, List – перечень дискретных значений) и диапазон изменения температуры (High, Low, Step). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющих ненулевой температурный коэффициент, и ряд параметров полупроводниковых приборов. Если шаг не задан, то анализ проводится при двух значениях температуры (максимальном и минимальном), если и минимальное значение не указано, то анализ проводится только при одной температуре;

P – номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Если все заданные функции отмечены одной цифрой, они строятся в одном окне. Если в этой графе пусто, графики не строятся;

X expression, Y expression – задаются переменные, которые откладываются по осям. Для Transient-анализа по оси X обычно задается время T, но для расчета спектра сигнала можно задавать частоту F, а по оси Y можно задавать выражение напряжения, тока, либо спектр сигнала $\text{fft}(v(k))$;

X Range, Y Range – диапазоны изменений переменных. Для быстрого построения графиков можно включить опцию Auto Scale Range, однако для вывода графиков с заданной разметкой по осям необходимо заполнить крайние точки и шаг по осям (High, Low, Step);

Run options – управление выводом результатов расчетов: Normal – результаты расчетов не сохраняются, Save – сохранение результатов расчетов в бинарном файле /имя схемы.tsa/, Retrieve – считывание последних результатов расчета из файла /имя схемы.tsa/, созданного ранее;

State variables – установка начальных условий: Zero – установка нулевых начальных условий для потенциалов всех аналоговых узлов и токов через индуктивности и неопределенных логических состоя-

ний «X» для цифровых узлов, Read – чтение начальных условий из файла /имя схемы.top/, созданного с помощью State variable editor, Leave – установка в качестве начальных условий значений, полученных при окончании расчета предыдущего варианта (при расчете первого варианта они считаются нулевыми);

Operating point – включение режима расчета по постоянному току перед началом каждого расчета переходных процессов (данные этого режима заменяют значения всех начальных условий, если они были установлены);

Operating point only – расчет только режима по постоянному току;

Auto scale range – автоматическое масштабирование по осям X и Y;

Run – запуск расчетов режима;

Add – добавление строки для задания параметров;

Delete – удаление строки для задания параметров;

Expand – открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф Expression;

Stepping – открытие диалогового окна задания вариации параметров;

Properties – вызов окна для редактирования параметров графиков;

Help – вызов помощи данного режима.

В левом нижнем углу размещены 4 пиктограммы, позволяющие изменять масштаб и цвет строимых графиков, а также включать/отключать вывод цифровых результатов результатов в окне Numeric Output (рис. 5).

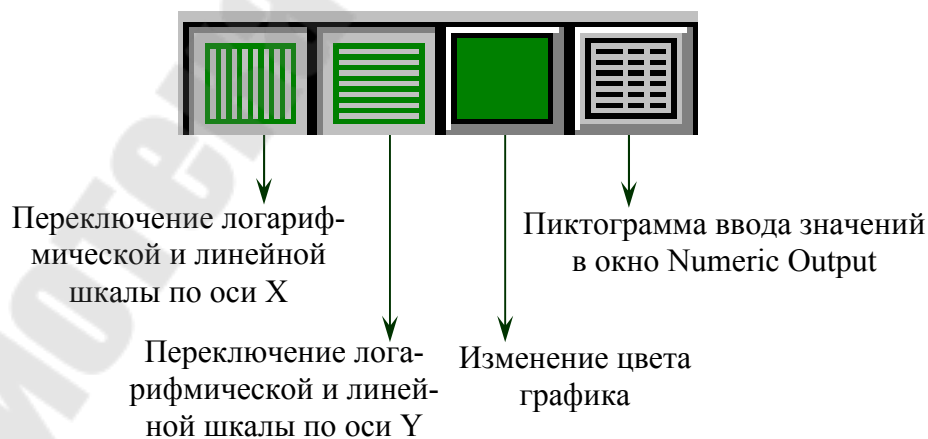


Рис. 5. Пиктограммы задания параметров графиков

В диалоговом окне Stepping (рис. 6) дополнительно можно указывать разброс значений различных компонентов схемы.

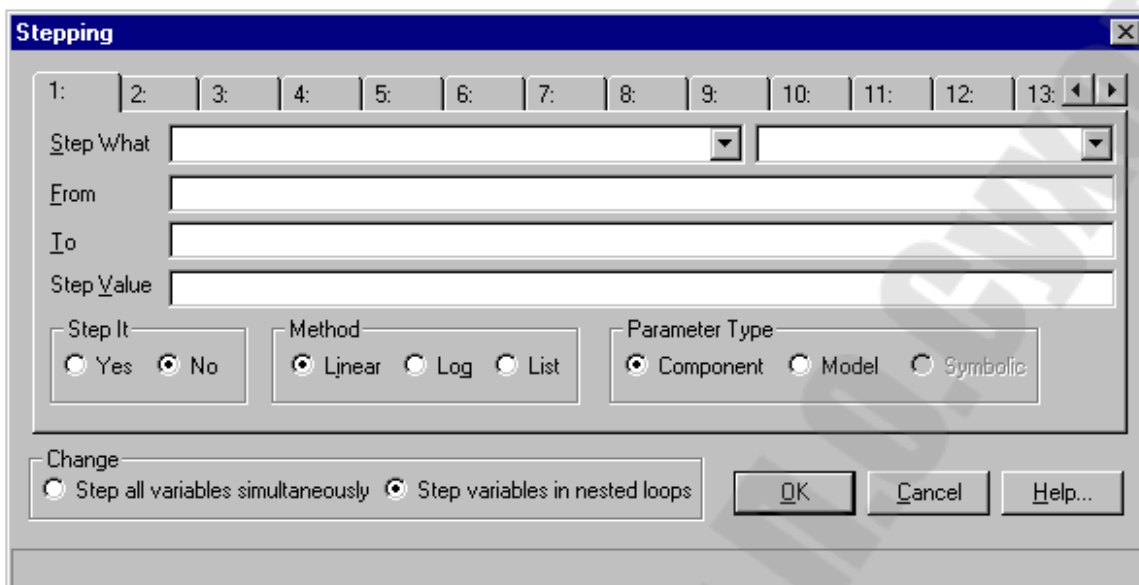


Рис. 6. Диалоговое окно Stepping

В верхней строке указывается номер частного диалогового окна. В строке Step what указывается элемент, значение которого меняется. Диапазон изменения значения указывается в строках From, To, Step value (максимум – «от», минимум – «до», шаг – «значение шага»). В опции Step it для запуска вариации указывается Yes, для отмены – No. В опции Method указывается закон изменения вариации. В опции Parameter type указывается тип варьируемого элемента. В опции Change указывается: Step all variables simultaneously – варьировать все переменные одновременно, Step variables in nested loop – варьировать переменные во вложенных циклах.

Во время проведения Transien-анализа изменяется содержание строки меню команд – добавляются меню Transient, Scope, Monte Carlo. В меню Transient указываются команды работы в данном режиме анализа (кроме того, указывается ряд «горячих клавиш», облегчающих работу), в меню Scope – команды управления масштабом графиков и просмотра численных значений в заданных точках графика. Меню Monte Carlo включает статистический метод Монте-Карло, общий для всех режимов анализа. При этом должна быть отключена вариация элементов в окне Stepping. В меню Monte Carlo имеется дополнительное меню: Options (рис. 7), Histograms, Statistics.

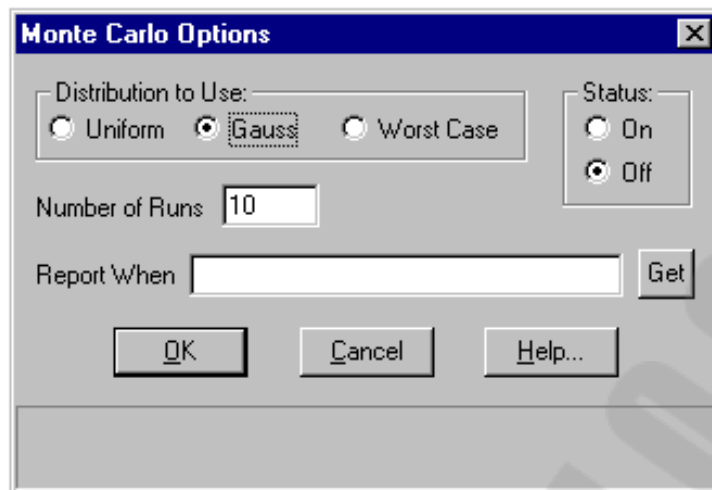


Рис.7. Диалоговое окно опций метода Монте-Карло

В диалоговом окне Options указываются:

Distribution to use – используемое распределение, Uniform – равномерное, Gauss – Гаусса, Worst Case – наихудший случай;

Number of runs – количество статистических испытаний. В первом испытании случайные величины принимают свои номинальные значения, в последующем – в соответствии с выбранным законом распределения;

Report when – формулировка логического условия, которое точно определяет, когда будет добавляться уведомление об исключительных ситуациях в текстовый выходной файл;

Get – установка параметров Report when;

Status – включение/выключение расчета методом Монте-Карло.

Опция Histograms включается после проведения расчета в Options. В данной опции производится статистическая обработка результатов моделирования и построение гистограммы по данным обработки.

Опция Statistics – статистическая обработка результатов (доступна после выполнения моделирования).

Для задания параметров расчета спектральных плотностей используется окно DSP Parameters из опции Transient. В этом окне задаются границы интервала времени для расчета спектра (Upper time limits, Lower time limits – верхний и нижний предел соответственно) и количество отсчетов Number of points (равное 2^n , интервал отсчетов от 64 до 8192).

3.4 Проведение частотного анализа по переменному току (AC analysis)

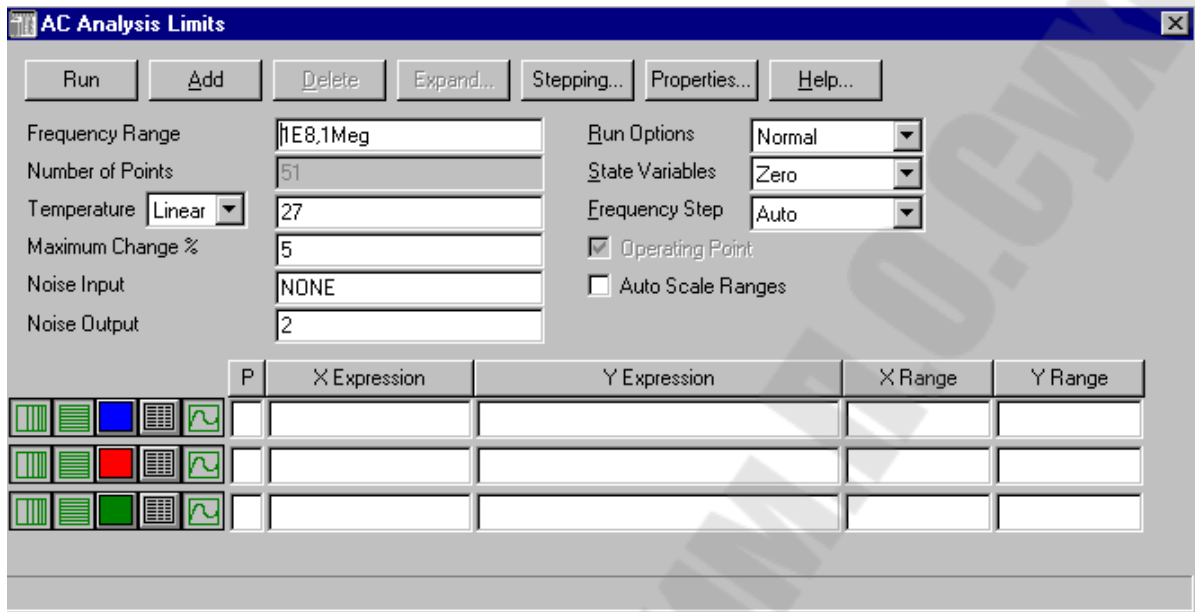


Рис. 8. Окно задания параметров графика при анализе по переменному току

На рис. 8 показано диалоговое окно задания параметров графика. В этом окне указываются:

Frequency Range – диапазон изменения частоты от F_{MAX} до F_{MIN} . Отрицательные значения частоты не допускаются, если не указано минимальное значение, расчет не производится;

Number of points – количество информационных точек по частоте (строк в таблице вывода цифровых результатов результатов окна Numeric Output), по умолчанию принимается равным 51, минимальное значение 5;

Temperature – задается закон и диапазон изменения температуры (High, Low, Step). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющих ненулевой температурный коэффициент, и ряд параметров полупроводниковых приборов. Если шаг не задан, то анализ проводится при двух значениях температуры (максимальном и минимальном), если и минимальное значение не указано, то анализ проводится только при одной температуре;

Maximum Change % – максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага по частоте (в % от пол-

ной шкалы). Учитывается только при включенной опции Auto. Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения частоты автоматически уменьшается;

Noise Input – имя источника сигнала, подключенного ко 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/*.

P – номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Если все заданные функции отмечены одной цифрой, они строятся в одном окне. Если в этой графе пусто, графики не строятся;

X expression, Y expression – задаются переменные, которые откладываются по осям. Для данного режима по оси X обычно задается частота F, для построения АФХ задается действительная часть от комплексной величины, для построения импульсной характеристики задается время. По оси Y можно задавать выражение напряжения, тока, спектр сигнала $\text{fft}(v(k))$, для построения АЧХ – $\text{db}(v(k))$, ФЧХ – $\text{ph}(v(k))$, АФХ – мнимая часть комплексной величины, задаются также произведения комплексных величин, переменные для расчета шума;

X Range, Y Range – диапазоны изменений переменных. Для удобства расчетов можно включить опцию Auto Scale Range;

Run options – управление выводом результатов расчетов: Normal – результаты расчетов не сохраняются, Save – сохранение результатов расчетов в бинарном файле /имя схемы.tsa/, Retrieve – считывание последних результатов расчета из файла /имя схемы.tsa/, созданного ранее;

State variables – установка начальных условий: Zero – установка нулевых начальных условий для потенциалов всех аналоговых узлов и токов через индуктивности и неопределенных логических состояний «X» для цифровых узлов, Read – чтение начальных условий из файла /имя схемы.top/, созданного с помощью State variable editor, Leave – установка в качестве начальных условий значений, получен-

ных при окончании расчета предыдущего варианта (при расчете первого варианта они считаются нулевыми);

Frequency step – шаг изменения частоты: Auto – автоматический выбор шага, Linear – линейный, Log – логарифмический, List – табличный;

Operating point – включение режима расчета по постоянному току перед началом каждого расчета переходных процессов (данные этого режима заменяют значения всех начальных условий, если они были установлены);

Auto scale range – автоматическое масштабирование по осям X и Y;

Run – запуск расчетов режима;

Add – добавление строки для задания параметров;

Delete – удаление строки для задания параметров;

Expand – открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф Expression;

Stepping – открытие диалогового окна задания вариации параметров;

Properties – вызов окна для редактирования параметров графиков;

Help – вызов помощи данного режима.

Режим Stepping и Monte Carlo включают в себя те же опции, что и в Transient Analysis.

3.5 Проведение анализа по постоянному току (DC analysis)

При расчете режима по постоянному току (DC analysis) программа закорачивает индуктивности, исключает конденсаторы и затем рассчитывает режим при нескольких значениях входных сигналов.

На рис. 9 показано диалоговое окно задания параметров графика. В этом окне указываются:

Variable 1, Variable 2 – первый (основной) и второй (дополнительный) источники тока (напряжения) соответственно;

Method – задание метода изменения величины тока (напряжения) в источниках Variable. Для основного источника выставляется автоматически;

Name – имя источника тока (напряжения) в схеме (напр., V1, I2). Если второго источника в схеме нет, то в графе Method следует записать None;

Range – диапазон изменения источника тока (напряжения);

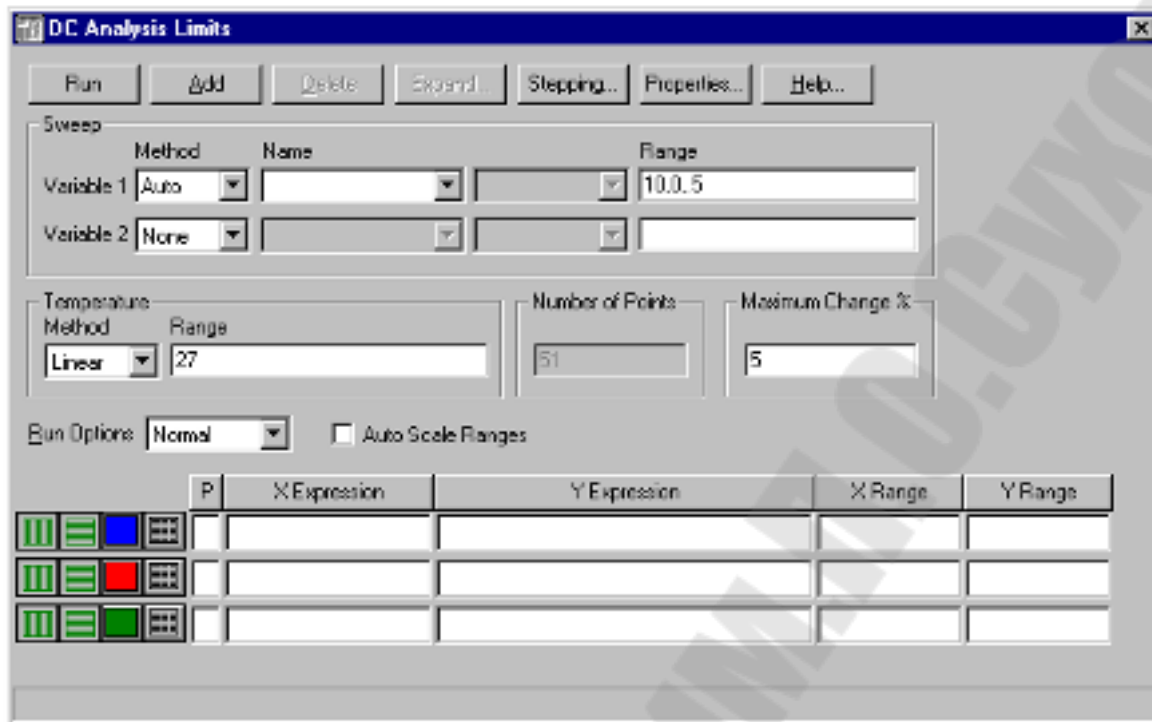


Рис. 9. Окно задания параметров графика при анализе по постоянному току

Number of points – количество точек по частоте, выводимых в таблицы, т.е. количество строк в таблице вывода результатов, по умолчанию принимается 51, минимальное значение 5. Применяется линейная интерполяция;

Temperature – задается закон и диапазон изменения температуры (High, Low, Step). При изменении температуры изменяются параметры компонентов, имеющих ненулевой температурный коэффициент, и ряд параметров полупроводниковых приборов. Если шаг не задан, то анализ проводится при двух значениях температуры (максимальном и минимальном), если и минимальное значение не указано, то анализ проводится только при одной температуре;

Maximum Change % – максимально допустимое приращение графика первой функции на интервале шага изменения первого источника Input 1 (в % от полной шкалы). Учитывается только при включенной опции Auto. Если график функции изменяется быстрее, то шаг приращения частоты автоматически уменьшается;

P – номер графического окна, в котором должна быть построена данная функция. Если все заданные функции отмечены одной циф-

рой, они строятся в одном окне. Если в этой графе пусто, графики не строятся;

X expression, Y expression – задаются переменные, которые строятся по осям. Для данного режима по оси X и Y задаются выражения напряжения в узле либо разность потенциалов, тока через ветвь, в которую включен резистор;

X Range, Y Range – диапазоны изменений переменных. Для удобства расчетов можно включить опцию Auto Scale Range;

Run options – управление выводом результатов расчетов: Normal – результаты расчетов не сохраняются, Save – сохранение результатов расчетов в бинарном файле /имя схемы.tsa/, Retrieve – считывание последних результатов расчета из файла /имя схемы.tsa/, созданного ранее;

Auto scale range – автоматическое масштабирование по осям X и Y;

Run – запуск расчетов режима;

Add – добавление строки для задания параметров;

Delete – удаление строки для задания параметров;

Expand – открытие дополнительного окна для ввода текста большого размера при расположении курсора в одной из граф Expression;

Stepping – открытие диалогового окна задания вариации параметров;

Properties – вызов окна для редактирования параметров графиков;

Help – вызов помощи данного режима.

Режим Stepping и Monte Carlo включают в себя те же опции, что и в Transient Analysis.

3.6 Проведение динамического анализа по постоянному току (Dynamic DC analysis)

Удобным средством для проведения анализа схем является динамический анализ по постоянному току (Dynamic DC analysis). При этом рассчитываются потенциалы в узлах схемы, токи в ветвях, рассеиваемые и генерируемые мощности, режимы активных элементов (линейный, отсечка или насыщение). Результаты не представляются в виде графиков, а выводятся численно непосредственно на схеме после активизации пиктограмм верхнего меню (рис. 10).

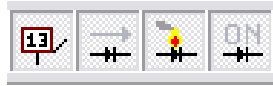


Рис. 10. Пиктограммы верхнего меню, управляющие выводом потенциалов в узлах схемы, токов в ветвях, рассеиваемых и генерируемых мощностей, режимов активных элементов (слева направо)

Основным преимуществом Dynamic DC analysis является динамический пересчет и вывод значений всех индицируемых величин при редактировании параметров любых элементов схемы. В качестве примера на рис. 11, а и б приведен анализ характеристик схемы источника тока [1], полученных в одном сеансе анализа, при изменении сопротивления нагрузки (R_n) от 2000 Ом до 20 Ом. Видно, что ток в нагрузке поддерживается постоянным и равен 1 мА.

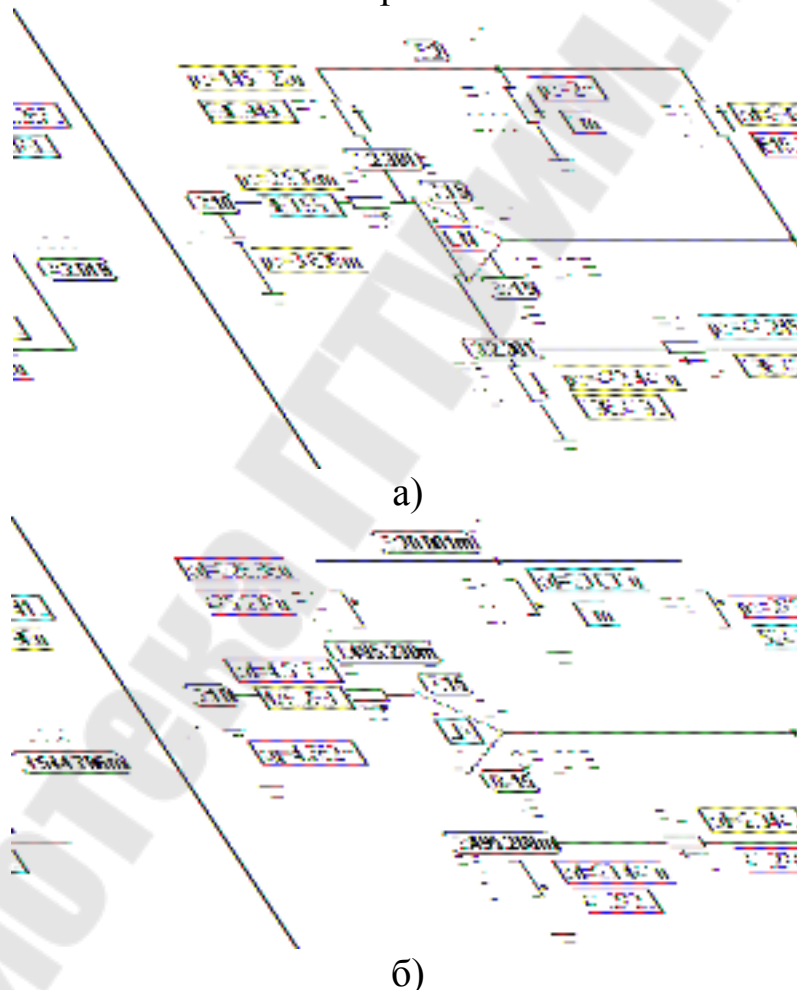


Рис. 11. Пример динамического анализа по постоянному току схемы источника тока (схема Хауленда), работающего на нагрузку 2000 Ом (а) и 20 Ом (б).

Приложение А. Подчиненные разделы меню «Component»

А.1 Analog Primitives (Аналоговые устройства)

А.1.1 Пассивные компоненты (Passive components)

Таблица А.1

Параметры модели Resistor (Резистор)

| | |
|--------------|---|
| R | Масштабный множитель сопротивления |
| TCE | Экспоненциальный температурный коэффициент |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| TC1 | Линейный температурный коэффициент |
| TC2 | Квадратичный температурный коэффициент |
| NM | Коэффициент шума |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.2

Параметры модели Capacitor (Конденсатор)

| | |
|--------------|---|
| C | Масштабный множитель емкости |
| TC1 | Линейный температурный коэффициент |
| TC2 | Квадратичный температурный коэффициент |
| VC1 | Линейный коэффициент напряжения |
| VC2 | Квадратичный коэффициент напряжения |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.3

Параметры модели Inductor (Катушка индуктивности)

| | |
|--------------|---|
| L | Масштабный множитель индуктивности |
| TC1 | Линейный температурный коэффициент |
| TC2 | Квадратичный температурный коэффициент |
| IL1 | Линейный коэффициент тока |
| IL2 | Квадратичный коэффициент тока |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.4

Параметры модели Diode (Диод)

| | |
|-------|--|
| Level | Тип модели (1 – SPICE2G, 2 – PSpice) |
| IS | Ток насыщения при температуре 27 °C |
| N | Коэффициент эмиссии (инжекции) |
| ISR | Параметр тока рекомбинации |
| NR | Коэффициент эмиссии для тока ISR |
| IKF | Предельный ток при высоком уровне инжекции |
| BV | Обратное напряжение пробоя (положительная величина) |
| IBV | Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (положительная величина) |
| NBV | Коэффициент неидеальности на участке пробоя |
| IBVL | Начальный ток пробоя низкого уровня |
| NBVL | Коэффициент неидеальности на участке пробоя низкого уровня |
| RS | Объемное сопротивление |
| TT | Время переноса заряда |
| CJO | Барьерная емкость при нулевом смещении |
| VJ | Контактная разность потенциалов |
| M | Коэффициент лавинного умножения |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямосмещенного перехода |

| | |
|--------------|---|
| EG | Ширина запрещенной зоны |
| XTI | Температурный коэффициент тока насыщения |
| TIKF | Линейный температурный коэффициент IKF |
| TBV1 | Линейный температурный коэффициент BV |
| TBV2 | Квадратичный температурный коэффициент BV |
| TRS1 | Линейный температурный коэффициент RS |
| TRS2 | Квадратичный температурный коэффициент RS |
| KF | Коэффициент фликкер-шума |
| AF | Показатель степени в формуле фликкер-шума |
| RL | Сопротивление утечки |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.5

Параметры модели TLine (Линия передачи)

| | |
|-------------|---|
| Lossy/Ideal | Линия с потерями/без потерь |
| ZO | Волновое сопротивление (линия без потерь) |
| TD | Время задержки сигнала (линия без потерь) |
| F | Частота для расчета NL (линия без потерь) |
| NL | Электрическая длина на частоте F (линия без потерь) |
| R | Погонное сопротивление (линия с потерями) |
| L | Погонная индуктивность (линия с потерями) |
| G | Погонная проводимость (линия с потерями) |
| C | Погонная емкость (линия с потерями) |
| LEN | Длина линии (линия с потерями) |

Параметр NL рассчитывается по формуле $NL=l/\lambda$, где l – геометрическая длина линии, λ – длина волны в линии

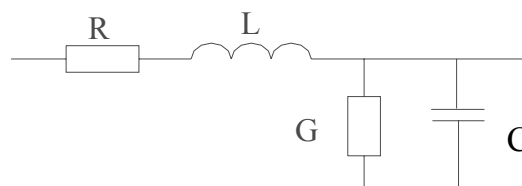


Рис. А.1 Линия передачи с потерями

Линия передачи без потерь при расчете переходных процессов выполняет роль линии задержки, при расчете частотных характеристик она представляет собой безынерционное звено. Для линии передач с потерями аналитически рассчитывается комплексный коэффициент передачи линии. Анализ переходных процессов производится с помощью интеграла свертки с импульсной характеристикой линии, которая вычисляется как преобразование Фурье коэффициента передачи.

Для модели **Transformer (Трансформатор высокочастотный)** в строке Value указывается через запятую индуктивность первичной обмотки L_1 , вторичной обмотки L_2 и коэффициент связи M , например, 1m,10m,0.98.

Таблица А.6

Параметры модели К (Взаимная индуктивность или магнитный сердечник)

| | |
|-------|---|
| AREA | Площадь поперечного сечения магнитопровода |
| PATH | Средняя длина магнитной силовой линии |
| GAP | Ширина воздушного зазора |
| MS | Намагниченность сердечника |
| A | Параметр формы безгистерезисной кривой намагничивания |
| C | Постоянная упругого смещения доменных границ |
| K | Постоянная подвижности доменов |
| ALPHA | Параметр магнитной связи доменов |

В строках Inductors и Coupling указываются соответственно имена индуктивностей (напр., L_1 L_2) и коэффициент связи между ними.

Таблица А.7

Параметры модели Zener (Стабилитрон)

| | |
|-------|--|
| Level | Тип модели (1 – SPICE2G, 2 – PSpice) |
| IS | Ток насыщения при температуре 27 °C |
| N | Коэффициент эмиссии (инжекции) |
| ISR | Параметр тока рекомбинации |
| NR | Коэффициент эмиссии для тока ISR |
| IKF | Предельный ток при высоком уровне инжекции |

| | |
|--------------|--|
| BV | Обратное напряжение пробоя (положительная величина) |
| IBV | Начальный ток пробоя, соответствующий напряжению BV (положительная величина) |
| NBV | Коэффициент неидеальности на участке пробоя |
| IBVL | Начальный ток пробоя низкого уровня |
| NBVL | Коэффициент неидеальности на участке пробоя низкого уровня |
| RS | Объемное сопротивление |
| TT | Время переноса заряда |
| CJO | Барьерная емкость при нулевом смещении |
| VJ | Контактная разность потенциалов |
| M | Коэффициент лавинного умножения |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямосмещенного перехода |
| EG | Ширина запрещенной зоны |
| XTI | Температурный коэффициент тока насыщения |
| TIKF | Линейный температурный коэффициент IKF |
| TBV1 | Линейный температурный коэффициент BV |
| TBV2 | Квадратичный температурный коэффициент BV |
| TRS1 | Линейный температурный коэффициент RS |
| TRS2 | Квадратичный температурный коэффициент RS |
| KF | Коэффициент фликкер-шума |
| AF | Показатель степени в формуле фликкер-шума |
| RL | Сопротивление утечки |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

А.1.2 Активные устройства (Active devices)

Таблица А.8

Параметры модели NPN, PNP (Биполярный транзистор)

| | |
|-----|--|
| IS | Ток насыщения при температуре 27 °С |
| BF | Максимальный коэффициент усиления тока в нормальном режиме в схеме с ОЭ (без учета токов утечки) |
| NF | Коэффициент неидеальности в нормальном режиме |
| VAF | Напряжение Эрли в нормальном режиме |
| IKF | Ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в нормальном режиме |
| ISE | Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер |
| NE | Коэффициент неидеальности перехода база-эмиттер |
| BR | Максимальный коэффициент усиления тока в инверсном режиме в схеме с ОЭ |
| NR | Коэффициент неидеальности в инверсном режиме |
| VAR | Напряжение Эрли в инверсном режиме |
| IKR | Ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в инверсном режиме |
| ISC | Ток насыщения утечки перехода база-коллектор |
| NC | Коэффициент неидеальности коллекторного перехода |
| NK | Коэффициент увеличения тока |
| ISS | Ток насыщения p-n-перехода подложки |
| NS | Коэффициент эмиссии p-n-перехода подложки |
| RE | Объемное сопротивление эмиттера |
| RB | Объемное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер |
| RBM | Минимальное сопротивление базы при больших токах |
| IRB | Ток базы, при котором сопротивление базы уменьшается на 50 % полного спада между RB и RBM |
| RC | Объемное сопротивление коллектора |

| | |
|------|--|
| CJE | Емкость эмиттерного перехода при нулевом смещении |
| VJE | Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер |
| MJE | Коэффициент, учитывающий плавность эмиттерного перехода |
| CJC | Емкость коллекторного перехода при нулевом смещении |
| VJC | Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор |
| MJC | Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода |
| XCJC | Коэффициент расщепления емкости база-коллектор |
| CJS | Емкость коллектор-подложка при нулевом смещении |
| VJS | Контактная разность потенциалов перехода коллектор-подложка |
| MJS | Коэффициент, учитывающий плавность перехода коллектор-подложка |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерных емкостей прямосмещенных переходов |
| TF | Время переноса заряда через базу в нормальном режиме |
| XTF | Коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения база-коллектор |
| VTF | Напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения база-коллектор |
| ITF | Ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах |
| PTF | Дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{гр}=1/(2\pi TF)$ |
| TR | Время переноса заряда через базу в инверсном режиме |
| EG | Ширина запрещенной зоны (эВ) |
| XTB | Температурный коэффициент BF и BR |
| XTI | Температурный коэффициент IS |
| TRE1 | Линейный температурный коэффициент RE |

Окончание табл. А.8

| | |
|--------------|--|
| TRE2 | Квадратичный температурный коэффициент RE |
| TRB1 | Линейный температурный коэффициент RB |
| TRB2 | Квадратичный температурный коэффициент RB |
| TRM1 | Линейный температурный коэффициент RBM |
| TRM2 | Квадратичный температурный коэффициент RBM |
| TRC1 | Линейный температурный коэффициент RC |
| TRC2 | Квадратичный температурный коэффициент RC |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.9

Параметры модели NMOS, PMOS (Полевой МОП-транзистор обедненного типа)

| | |
|--------|--|
| Level | Индекс модели (1,2,3). Модель 1 используется, когда не предъявляются высокие требования к точности моделирования ВАХ транзистора, модели 2 и 3 учитывают более тонкие физические эффекты |
| VTO | Пороговое напряжение при нулевом смещении подложки $V_{bs}=0$ |
| KP | Параметр удельной крутизны |
| L | Длина канала |
| W | Ширина канала |
| GAMMA | Коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение |
| PHI | Поверхностный потенциал сильной инверсии |
| LAMBDA | Параметр модуляции длины канала |
| RD | Объемное сопротивление стока |

Продолжение табл. А.9

| | |
|------|---|
| RS | Объемное сопротивление истока |
| CBD | Емкость донной части перехода сток-подложка при нулевом смещении |
| CBS | Емкость донной части перехода исток-подложка при нулевом смещении |
| IS | Ток насыщения р-п-перехода сток-подложка (исток-подложка) |
| PВ | Напряжение инверсии приповерхностного поля подложки |
| CGSO | Удельная емкость перекрытия затвор-исток (за счет боковой диффузии) |
| CGDO | Удельная емкость перекрытия затвор-сток на длину канала (за счет боковой диффузии) |
| CGBO | Удельная емкость перекрытия затвор-подложка (за счет выхода затвора за пределы канала) |
| RSH | Удельное сопротивление диффузионных областей истока и стока |
| CJ | Удельная емкость донной части р-п-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода) |
| MJ | Коэффициент, учитывающий плавность перехода подложка-сток (исток) |
| CJSW | Удельная емкость боковой поверхности перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на длину канала) |
| MJSW | Коэффициент наклона боковой поверхности перехода подложка-сток (исток) |
| JS | Плотность тока насыщения перехода сток (исток)-подложка |
| TOX | Толщина оксида |
| NSUB | Уровень легирования подложки |
| NSS | Плотность медленных поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид |
| NFS | Плотность быстрых поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид |

Продолжение табл. А.9

| | |
|-------|---|
| TPG | Легирование затвора (+1 – примесью того же типа, что и для подложки; -1 – примесью противоположного типа; 0 – металл) |
| XJ | Глубина металлургического перехода областей стока и истока |
| LD | Длина области боковой диффузии |
| WD | Ширина области боковой диффузии |
| UO | Подвижность носителей тока в инверсном слое канала |
| UCRIT | Критическая напряженность вертикального поля, при которой подвижность носителей уменьшается в два раза |
| UEXP | Экспоненциальная константа, определяющая подвижность носителей заряда |
| UTRA | Коэффициент изменения поперечного поля |
| VMAX | Максимальная скорость дрейфа носителей |
| NEFF | Эмпирический коэффициент коррекции концентрации примесей в канале |
| XQC | Доля заряда канала, ассоциированного со стоком |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямосмещенного перехода подложки |
| DELTA | Коэффициент влияния ширины канала на пороговое напряжение |
| THETA | Коэффициент модуляции подвижности носителей под влиянием вертикального поля |
| ETA | Параметр влияния напряжения сток-исток на пороговое напряжение (статическая обратная связь) |
| KAPPA | Параметр модуляции длины канала напряжением сток-исток |
| RG | Объемное сопротивление затвора |
| RB | Объемное сопротивление подложки |
| RDS | Сопротивление утечки сток-исток |

Окончание табл. А.9

| | |
|--------------|---|
| JSSW | Удельная плотность тока насыщения (на длину периметра) |
| N | Коэффициент неидеальности перехода подложка-сток |
| PBSW | Напряжение инверсии боковой поверхности р-п-перехода |
| TT | Время переноса заряда через р-п-переход |
| NLEV | Параметр, используемый в текстовом режиме |
| GDSNOI | Параметр, используемый в текстовом режиме |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.10

Параметры модели DN MOS, DP MOS (МОП-транзистор обогащенного типа с внутренним соединением подложки и истока)

| | |
|--------|--|
| Level | Индекс модели (1,2,3). Модель 1 используется, когда не предъявляются высокие требования к точности моделирования ВАХ транзистора, модели 2 и 3 учитывают более тонкие физические эффекты |
| VTO | Пороговое напряжение при нулевом смещении подложки $V_{bs}=0$ |
| KP | Параметр удельной крутизны |
| L | Длина канала |
| W | Ширина канала |
| GAMMA | Коэффициент влияния потенциала подложки на пороговое напряжение |
| PHI | Поверхностный потенциал сильной инверсии |
| LAMBDA | Параметр модуляции длины канала |
| RD | Объемное сопротивление стока |
| RS | Объемное сопротивление истока |
| CBD | Емкость донной части перехода сток-подложка при нулевом смещении |

| | |
|------|---|
| CBS | Емкость донной части перехода исток-подложка при нулевом смещении |
| IS | Ток насыщения р-n-перехода сток-подложка (исток-подложка) |
| PВ | Напряжение инверсии приповерхностного поля подложки |
| CGSO | Удельная емкость перекрытия затвор-исток (за счет боковой диффузии) |
| CGDO | Удельная емкость перекрытия затвор-сток на длину канала (за счет боковой диффузии) |
| CGBO | Удельная емкость перекрытия затвор-подложка (за счет выхода затвора за пределы канала) |
| RSH | Удельное сопротивление диффузионных областей истока и стока |
| CJ | Удельная емкость донной части р-n-перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на площадь перехода) |
| MJ | Коэффициент, учитывающий плавность перехода подложка-сток (исток) |
| CJSW | Удельная емкость боковой поверхности перехода сток (исток)-подложка при нулевом смещении (на длину канала) |
| MJSW | Коэффициент наклона боковой поверхности перехода подложка-сток (исток) |
| JS | Плотность тока насыщения перехода сток (исток)-подложка |
| TOX | Толщина оксида |
| NSUB | Уровень легирования подложки |
| NSS | Плотность медленных поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид |
| NFS | Плотность быстрых поверхностных состояний на границе кремний-подзатворный оксид |
| TPG | Легирование затвора (+1 – примесью того же типа, что и для подложки; -1 – примесью противоположного типа; 0 – металл) |
| XJ | Глубина металлургического перехода областей стока и истока |
| LD | Длина области боковой диффузии |

| | |
|-------|--|
| WD | Ширина области боковой диффузии |
| UO | Подвижность носителей тока в инверсном слое канала |
| UCRIT | Критическая напряженность вертикального поля, при которой подвижность носителей уменьшается в два раза |
| UEXP | Экспоненциальная константа, определяющая подвижность носителей заряда |
| UTRA | Коэффициент изменения поперечного поля |
| VMAX | Максимальная скорость дрейфа носителей |
| NEFF | Эмпирический коэффициент коррекции концентрации примесей в канале |
| XQC | Доля заряда канала, ассоциированного со стоком |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямосмещенного перехода подложки |
| DELTA | Коэффициент влияния ширины канала на пороговое напряжение |
| THETA | Коэффициент модуляции подвижности носителей под влиянием вертикального поля |
| ETA | Параметр влияния напряжения сток-исток на пороговое напряжение (статическая обратная связь) |
| KAPPA | Параметр модуляции длины канала напряжением сток-исток |
| RG | Объемное сопротивление затвора |
| RB | Объемное сопротивление подложки |
| RDS | Сопротивление утечки сток-исток |
| JSSW | Удельная плотность тока насыщения (на длину периметра) |
| N | Коэффициент неидеальности перехода подложка-сток |
| PBSW | Напряжение инверсии боковой поверхности р-п-перехода |
| TT | Время переноса заряда через р-п-переход |

Окончание табл. А.10

| | |
|--------------|---|
| NLEV | Параметр, используемый в текстовом режиме |
| GDSNOI | Параметр, используемый в текстовом режиме |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.11

Параметры модели NJFET, PJFET (полевой транзистор с управляющим р-п-переходом)

| | |
|--------------|--|
| VTO | Пороговое напряжение |
| BETA | Коэффициент пропорциональности |
| LAMBDA | Параметр модуляции длины канала |
| IS | Ток насыщения р-п-перехода затвор-канал |
| RD | Объемное сопротивление области стока |
| RS | Объемное сопротивление области истока |
| CGD | Емкость перехода затвор-сток при нулевом смещении |
| CGS | Емкость перехода затвор-исток при нулевом смещении |
| M | Коэффициент запираения р-п-перехода |
| PB | Контактная разность потенциалов р-п-перехода затвора |
| FC | Коэффициент нелинейности емкостей переходов при прямом смещении |
| VTOTC | Температурный коэффициент VTO |
| BETATCE | Температурный коэффициент BETA |
| XTI | Температурный коэффициент IS |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Параметры модели Орапр (Операционный усилитель)

| | |
|--------------|---|
| Level | Тип модели (1 – 3) |
| TYPE | Тип входных транзисторов (1 – NPN, 2 – PNP, 3 – NJFET) |
| C | Емкость коррекции (компенсации) |
| A | Коэффициент усиления на постоянном токе |
| ROUTAC | Выходное сопротивление переменному току |
| ROUTDC | Выходное сопротивление постоянному току |
| VOFF | Напряжение смещения нуля |
| IOFF | Разность входных токов |
| SRP | Максимальная скорость нарастания выходного напряжения |
| SRN | Максимальная скорость спада выходного напряжения |
| IBIAS | Средний входной ток |
| VEE | Напряжение отрицательного питания |
| VCC | Напряжение положительного питания |
| VPS | Максимальное выходное положительное напряжение |
| VNS | Максимальное выходное отрицательное напряжение |
| CMRR | Коэффициент подавления синфазного сигнала |
| GBW | Площадь усиления (произведение коэффициента А на частоту первого сигнала) |
| PM | Запас по фазе на частоте единичного усиления, град. |
| PD | Потребляемая мощность |
| IOSC | Выходной ток короткого замыкания |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Параметры модели GaAsFET (Арсенид-галлиевый полевой транзистор с каналом n-типа)

| | |
|--------|---|
| LEVEL | Тип модели |
| VTO | Барьерный потенциал Шотки |
| ALPHA | Константа, определяющая ток I_{gain} |
| BETA | Коэффициент пропорциональности в выражении для тока стока |
| B | Параметр легирования (level=2) |
| LAMBDA | Параметр модуляции длины канала |
| GAMMA | Параметр статической обратной связи (level=3) |
| DELTA | Параметр выходной обратной связи (level=3) |
| Q | Показатель степени (level=3) |
| TAU | Время переноса носителей заряда |
| RG | Объемное сопротивление области затвора |
| RD | Объемное сопротивление области стока |
| RS | Объемное сопротивление области истока |
| IS | Ток насыщения р-n-перехода затвор-канал |
| N | Коэффициент неидеальности |
| M | Коэффициент лавинного умножения перехода затвора |
| VBI | Контактная разность потенциалов |
| CGD | Емкость перехода затвор-сток при нулевом смещении |
| CGS | Емкость перехода затвор-исток при нулевом смещении |
| CDS | Емкость перехода сток-исток при нулевом смещении |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерной емкости прямосмещенного перехода затвора |
| VDELTA | Напряжение, входящее в выражения для емкостей переходов |
| VMAX | Максимальное напряжение, входящее в выражения для емкостей переходов |
| EG | Ширина запрещенной зоны |
| XTI | Температурный коэффициент IS |
| VTOTC | Температурный коэффициент VTO |

Окончание табл. А.13

| | |
|--------------|--|
| BETATCE | Температурный коэффициент BETA |
| TRG1 | Линейный температурный коэффициент RG |
| TRD1 | Линейный температурный коэффициент RD |
| TRS1 | Линейный температурный коэффициент RS |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

Таблица А.14

Параметры модели NPN4, PNP4 (Биполярный транзистор с выводом подложки)

| | |
|-----|--|
| IS | Ток насыщения при температуре 27 °С |
| BF | Максимальный коэффициент усиления тока в нормальном режиме в схеме с ОЭ (без учета токов утечки) |
| NF | Коэффициент неидеальности в нормальном режиме |
| VAF | Напряжение Эрли в нормальном режиме |
| IKF | Ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в нормальном режиме |
| ISE | Ток насыщения утечки перехода база-эмиттер |
| NE | Коэффициент неидеальности перехода база-эмиттер |
| BR | Максимальный коэффициент усиления тока в инверсном режиме в схеме с ОЭ |
| NR | Коэффициент неидеальности в инверсном режиме |
| VAR | Напряжение Эрли в инверсном режиме |
| IKR | Ток начала спада зависимости BF от тока коллектора в инверсном режиме |
| ISC | Ток насыщения утечки перехода база-коллектор |

| | |
|------|---|
| NC | Коэффициент неидеальности коллекторного перехода |
| NK | Коэффициент увеличения тока |
| ISS | Ток насыщения р-п-перехода подложки |
| NS | Коэффициент эмиссии р-п-перехода подложки |
| RE | Объемное сопротивление эмиттера |
| RB | Объемное сопротивление базы (максимальное) при нулевом смещении перехода база-эмиттер |
| RBM | Минимальное сопротивление базы при больших токах |
| IRB | Ток базы, при котором сопротивление базы уменьшается на 50 % полного спада между RB и RBM |
| RC | Объемное сопротивление коллектора |
| CJE | Емкость эмиттерного перехода при нулевом смещении |
| VJE | Контактная разность потенциалов перехода база-эмиттер |
| MJE | Коэффициент, учитывающий плавность эмиттерного перехода |
| CJC | Емкость коллекторного перехода при нулевом смещении |
| VJC | Контактная разность потенциалов перехода база-коллектор |
| MJC | Коэффициент, учитывающий плавность коллекторного перехода |
| XCJC | Коэффициент расщепления емкости база-коллектор |
| CJS | Емкость коллектор-подложка при нулевом смещении |
| VJS | Контактная разность потенциалов перехода коллектор-подложка |
| MJS | Коэффициент, учитывающий плавность перехода коллектор-подложка |
| FC | Коэффициент нелинейности барьерных емкостей прямосмещенных переходов |
| TF | Время переноса заряда через базу в нормальном режиме |

| | |
|--------------|--|
| XTF | Коэффициент, определяющий зависимость TF от смещения база-коллектор |
| VTF | Напряжение, характеризующее зависимость TF от смещения база-коллектор |
| ITF | Ток, характеризующий зависимость TF от тока коллектора при больших токах |
| PTF | Дополнительный фазовый сдвиг на граничной частоте транзистора $f_{гр}=1/(2\pi TF)$ |
| TR | Время переноса заряда через базу в инверсном режиме |
| EG | Ширина запрещенной зоны (эВ) |
| XTB | Температурный коэффициент BF и BR |
| XTI | Температурный коэффициент IS |
| TRE1 | Линейный температурный коэффициент RE |
| TRE2 | Квадратичный температурный коэффициент RE |
| TRB1 | Линейный температурный коэффициент RB |
| TRB2 | Квадратичный температурный коэффициент RB |
| TRM1 | Линейный температурный коэффициент RBM |
| TRM2 | Квадратичный температурный коэффициент RBM |
| TRC1 | Линейный температурный коэффициент RC |
| TRC2 | Квадратичный температурный коэффициент RC |
| KF | Коэффициент, определяющий спектральную плотность фликкер-шума |
| AF | Показатель степени, определяющий зависимость спектральной плотности фликкер-шума от тока через переход |
| T_ABS | Абсолютная температура |
| T_REL_GLOBAL | Относительная температура |
| T_REL_LOCAL | Разность между температурой устройства и модели-прототипа |
| T_MEASURED | Температура измерения |

А.1.3 Источники колебательных сигналов (Waveform sources)

Таблица А.15

Параметры модели **Battery** (источник постоянного напряжения или батарея)

| Value | Номинал |
|------------|--|
| SLIDER_MIN | Минимальный уровень для расчета в динамическом режиме по постоянному току |
| SLIDER_MAX | Максимальный уровень для расчета в динамическом режиме по постоянному току |

Для модели **Pulse source** (Источник импульсного напряжения) параметры амплитуды задаются при помощи переменных VZERO, VONE, а параметры скважности, периода и задержки нарастания (спада) – при помощи переменных P1, P2, P3, P4 и P5 (см. рис. А.2).

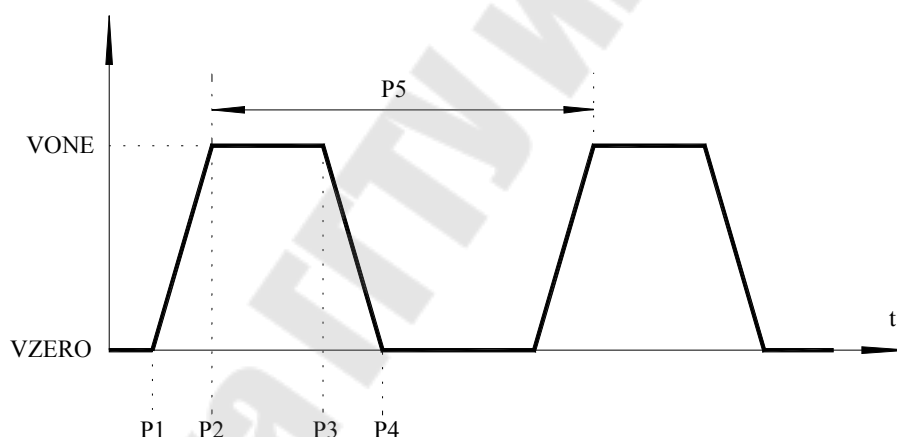


Рис. А.2 Выходной сигнал источника импульсного напряжения

Таблица А.16

Параметры модели **Pulse source** (Источник импульсного напряжения)

| | | |
|----------|---------|---------------|
| Impulse | | Импульсная |
| Pulse | | Пульсирующая |
| Sawtooth | Форма | Пилообразная |
| Square | сигнала | Прямоугольная |
| Triangle | | Треугольная |

Окончание табл. А.16

| | |
|-------|--|
| VZERO | Уровень нуля |
| VONE | Уровень единицы |
| P1 | Время задержки (начало переднего фронта) |
| P2 | Начало плоской вершины импульса |
| P3 | Конец плоской вершины импульса |
| P4 | Момент достижения уровня VZERO |
| P5 | Период повторения |

Для модели **ISource (Источник постоянного тока)** в строке Value указывается значение тока (например, 0.5).

Для модели **User source (Источник напряжения, задаваемый пользователем)** пользователь может задать источник напряжения произвольной формы, отсчеты сигнала записываются в текстовый файл с расширением .USR. В этом файле записывается общее количество отсчетов N и пары значений, определяющие выражения для отсчетов моментов времени и значений напряжений соответственно (напр., N – количество отсчетов моментов времени, M – количество сигналов, T_i-U_{i1} – пара время-напряжение для первого отсчета, всего может быть пар T_N-U_{MN}). Далее в строке File указывается имя файла *.USR, в строке Expression записывается выражение зависимости из указанного файла (напр., V(1) vs T).

Таблица А.17

Параметры модели Sine source (Источник синусоидального напряжения)

| | |
|-----|------------------------------------|
| F | Частота |
| A | Амплитуда |
| DC | Уровень постоянной составляющей |
| PH | Начальная фаза (в радианах) |
| RS | Внутреннее сопротивление источника |
| RP | Период повторения экспоненты |
| TAU | Постоянная экспоненты |

Параметры моделей V (Независимый источник напряжения), I (Независимый источник тока)

| | | |
|------------------|---|---|
| DC | Величина напряжения, используемая в DC analysis | |
| AC magnitude | Величина напряжения, используемая в AC analysis | |
| AC phase | Величина фазы в градусах, используемая в AC analysis | |
| Transient format | Форма сигнала, используемая в Transient analysis, может быть: | |
| | None | Сигнала нет |
| | PULSE | Импульсный сигнал |
| | SIN | Синусоидальный сигнал |
| | EXP | Экспоненциальный сигнал |
| | PWL | Кусочно-линейный сигнал |
| | SFFM | Синусоидальная функция с частотной модуляцией |
| V1 I1 | PULSE | Начальное значение |
| V2 I2 | | Максимальное значение |
| TD | | Начало переднего фронта |
| TR | | Длительность переднего фронта |
| TF | | Длительность заднего фронта |
| PW | | Длительность плоской части импульса |
| PER | | Период повторения |
| V0 I0 | SINE | Постоянная составляющая |
| VA IA | | Амплитуда |
| F0 | | Частота |
| TD | | Задержка |
| DF | | Коэффициент затухания |
| PH | | Фаза |
| V1 I1 | EXP | Начальное значение |
| V2 I2 | | Максимальное значение |
| TD1 | | Начало переднего фронта |
| TC1 | | Постоянная времени переднего фронта |
| TD2 | | Начало заднего фронта |
| TC2 | | Постоянная времени заднего фронта |

| | | |
|-------|------|----------------------------|
| V0 I0 | SFFM | Постоянная составляющая |
| VA IA | | Амплитуда |
| F0 | | Несущая частота |
| MI | | Индекс частотной модуляции |
| FM | | Частота модуляции |

Для кусочно-линейного сигнала внизу открывается окно задания координат точек излома t_i, u_i , например, 6,4 5,8 9,0. Координаты задаются через пробел. Результаты можно просмотреть на графике, нажав кнопку PLOT.

Модель Fixed analog – устройство, моделирующее постоянный аналоговый сигнал. В строке Value указывается значение напряжения.

А.1.4 Функциональные источники (Function sources)

Для моделей **NFV**, **NFI** (Зависимые источники напряжения и тока) описание параметров заключается в следующем: в строке Value записывается нелинейное алгебраическое выражение зависимости напряжения или тока от времени (например, $1.5 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 1e6 \cdot t) + 2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2e5 \cdot t)$), затем в строке Freq указывается частотно-зависимое выражение для работы в AC analysis (например, $1e-4 \cdot (1 + F/1e9)$), в строке Noise_expression записывается выражение для расчета зависимости шума сигнала от частоты.

Для моделей: **NTIofI** (Источник тока, управляемый током), **NTIofV** (Источник тока, управляемый напряжением), **NTVofI** (Источник напряжения, управляемый током), **NTVofV** (Источник напряжения, управляемый напряжением) параметры задаются в строке Table, где указывается две или более упорядоченные пары, описывающие кривую характеристики зависимости выходной величины от входной преобразователя (например, (0,0) (1.5,3) (10,26)).

А.1.5 Лапласовские источники (Laplace sources)

Для моделей четырехполюсников **LFIofI**, **LFIofV**, **LFVofI**, **LFVofV** передаточная функция управляемого источника задается в

виде формулы (после буквы L идет буква F), которая записывается лапласовским выражением в строке LAPLACE (например, $1/(1+.001*S+1e-8*S*S)$), где S – комплексная переменная; при АС-анализе она заменяется на $2*PI*j*F$, при DC-анализе принимается равной 0). Справа от окна задания параметров находится окно выбора вида характеристики выходного сигнала: Bode (диаграмма Боде) или Step Response (реакция на скачок).

Для моделей четырехполюсников **LTIofI**, **LTIofV**, **LTVofI**, **LTVofV** передаточная функция управляемого источника задается в виде табличной зависимости (после буквы L идет буква T), которая записывается в строках **FREQ** и **KEYWORD**. В строке **FREQ** указывается в скобках частота, модуль и фаза (например, (0,1,90) (1k,3,120) (3k,2.6,88)). В строке **KEYWORD** указываются ключевые слова формата вывода введенных выше величин: **DB|MAG** (модуль передаточной функции задается в децибелах | модуль передаточной функции задается в абсолютных единицах) – для амплитуды, **DEG|RAD** (фаза передаточной функции в градусах | фаза передаточной функции в радианах) – для фазы, **R_I** – таблица содержит действительные и мнимые части передаточной функции. По умолчанию устанавливается **DB DEG**.

Справа от окна задания параметров находится окно выбора вида характеристики выходного сигнала: Bode (диаграмма Боде) или Step Response (реакция на скачок).

А.1.6 Линейные управляемые источники, задаваемые z-преобразованиям (Z Transform sources)

Для данных четырехполюсников передаточная функция управляемого источника задается в виде формулы z-преобразования, которая записывается в строке **ZEXP**. Пример: $(z*z+z)/\text{pow}(z-1,3)$, где z – комплексная переменная, pow – комплексный оператор степени, т.е. запись $\text{pow}(z-1,3)$ в математической форме выглядит так: $(z-1)^3$.

В строке **CLOCK FREQUENCY** задается тактовая частота для z-выражения (например, 10k).

Справа от окна задания параметров находится окно выбора вида характеристики выходного сигнала: Bode (диаграмма Боде) или Step Response (реакция на скачок).

А.1.7 Линейные и нелинейные зависимые источники (Dependent sources)

Модели четырехполюсников **IofI**, **IofV**, **VofI**, **VofV** (ИТУТ, ИТУН, ИНУТ, ИНУН – линейные зависимые источники) задаются в строке Value коэффициентом передачи.

Модель EVOFV (Нелинейный зависимый источник напряжения, управляемый напряжением) задается в строке Value ключевым словом полинома, обозначениями выводов и коэффициентами: [POLY(<n>)] NC1+ NC1- [NC2+ ...] [PO P1 ...], где n – порядок полинома, NCi+, NCi- – номера положительного и отрицательного вывода i-го управляющего источника, PO – постоянная составляющая полинома, Pi – i-тый коэффициент полинома. Сам полином записывается как:

$$y = P_0 + P_1 x_1 + \dots + P_n x_n + P_{n+1} x_1^2 + P_{n+2} x_1 x_2 + \dots + P_{2n} x_1 x_n + P_{2n+1} x_2^2 + P_{2n+2} x_2 x_3 + \dots + P_{3n-1} x_2 x_n + \dots + P_{n/(2(n-2)!)+2n} x_n^2 + P_{n/(2(n-2)!)+2n+1} x_1^3 + P_{n/(2(n-2)!)+2n+2} x_1^2 x_2 + \dots$$

Здесь x_1, x_2, \dots, x_n – управляющие переменные, могут быть разностью потенциалов (или токами для источников тока, одновременное управление током и разностью потенциалов не допускается). Все коэффициенты полинома вводятся подряд, без пропусков. Пример: POLY(2) 10 0 5 0 0 0 0 1.

Модель FIOFI (Нелинейный зависимый источник тока, управляемый током) задается в строке Value ключевым словом полинома, обозначениями источников и коэффициентами: [POLY(<n>)] VN1 [VN2 ...] [PO P1 ...], где n – порядок полинома, VNi – имя источника напряжения, ток через который является i-м управляющим сигналом, PO – постоянная составляющая полинома, Pi – i-тый коэффициент полинома. Пример: POLY(3) V1 V2 V3 0 1 1 1.

Модель GIOFV (Нелинейный зависимый источник тока, управляемый напряжением) задается в строке Value ключевым словом полинома, обозначениями выводов и коэффициентами: [POLY(<n>)] NC1+ NC1- [NC2+ ...] [PO P1 ...], где n – порядок полинома, NCi+, NCi- – номера положительного и отрицательного вывода i-го управляющего источника, PO – постоянная составляющая полинома, Pi – i-тый коэффициент полинома. Пример: POLY(2) 10 0 5 0 0 0 0 1.

Модель HVOFI (Нелинейный зависимый источник напряжением, управляемый током) задается в строке Value ключевым словом полинома, обозначениями источников и коэффициентами: [POLY(<n>)] VN1 [VN2 ...] [PO P1 ...], где n – порядок полинома, VN_i – имя источника напряжения, ток через который является i-м управляющим сигналом, PO – постоянная составляющая полинома, P_i – i-тый коэффициент полинома. Пример: POLY(3) V1 V2 V3 0 1 1 1.

А.1.8 Макромодели, заданные схемами замещения (Macros)

В меню Macros находится список уже существующих макромоделей, заданных определенными схемами замещения. В большинстве своем эти макромодели задаются строками File, где указывается имя макромодели, и Param (может быть несколько), где указываются основные параметры макромодели.

В список макромоделей входят:

555 (модель измерителя временных интервалов),

Abs (модель устройства вычисления абсолютной величины – выходной сигнал является модулем от входного),

Amp (модель усилителя с задающимся коэффициентом усиления Gain),

Centap (модель трехобмоточного трансформатора с ферромагнитным сердечником, имеющего параметры L1 – индуктивность первичной обмотки, L2, L3 – индуктивности вторичных обмоток),

Clip (модель ограничителя с линейной зоной и с параметрами Low – нижний выходной уровень, High – высокий выходной уровень, Gain – линейный коэффициент усиления),

Delay (модель устройства задержки времени с параметром Delay – время задержки в секундах),

Dif (модель дифференцирующего устройства с параметром Scale – масштабный множительный коэффициент перед производной входного сигнала),

Div (модель делителя с параметром Scale – масштабный множительный коэффициент перед дробью),

F (модель линейного звена, в котором передаточная функция задается выражением Лапласа),

FSK (модель модулятора с параметрами: WMAG – величина выходного сигнала, NC0 – число тактов выходного сигнала за время продолжительности одного нулевого бита входного сигнала, NC1 –

число тактов выходного сигнала за время продолжительности одного единичного бита входного сигнала, T_B – продолжительность одного бита в секундах),

Gyrator (модель гиратора с параметром коэффициента передачи),

Int (модель интегрирующего устройства с параметрами Scale – масштабный множительный коэффициент перед интегралом входного сигнала, Vinit – начальное значение),

Mul (модель перемножителя с параметром Scale – масштабный множительный коэффициент),

Noise (модель источника шума с параметрами TS – период повторения шума, каждое новое значение шума генерируется через TS секунд, VS – амплитуда шума в вольтах),

Pot (модель потенциометра с параметрами Potsize – максимальное сопротивление потенциометра в омах, Percent – относительное сопротивление между первым – PINA – и средним – PINB – выводами),

PSK (модель модулятора с параметрами: WMAG – величина выходного сигнала, NC – число тактов выходного сигнала за время продолжительности одного бита входного сигнала, T_B – продолжительность одного бита в секундах),

PUT (модель управляемого с катода тиристора с параметрами: IH – постоянный ток фиксации состояния активного элемента (ток удержания), IGT – ток включения управляющего электрода, TON – время включения, VTMIN – минимальное напряжение включенного состояния анод-катод, VDRM – максимум повторяющихся пиков напряжения выключенного состояния (напряжение пробоя), DVDT – критическое значение увеличения напряжения выключенного состояния (dv/dt), TQ – время выключения, K1, K2 – параметры для TQ и DVDT),

Relay1, Relay2 (модели реле),

Resonant (модель резонатора с параметрами: LIN – индуктивность, Center frequency – центральная или резонансная частота, Q0 – добротность),

Schmitt (модель триггера Шмитта с параметрами X1, X2 – нижний и верхний уровень входного постоянно изменяющегося напряжения соответственно, Y1, Y2 – нижний и верхний уровень выходного напряжения соответственно, Rout – выходное сопротивление цепи, Sign – -1 – инвертирующий, 1 – неинвертирующий),

SCR (модель управляемого с анода тиристора с параметрами: IH – постоянный ток фиксации состояния активного элемента (ток

удержания), IGT – ток включения управляющего электрода, TON – время включения, VTMIN – минимальное постоянное напряжение анод-катод, VDRM – максимум повторяющихся пиков напряжения выключенного состояния (напряжение пробоя), DVDT – критическое значение увеличения напряжения выключенного состояния (dv/dt), TQ – время выключения, K1, K2 – коэффициенты регулирования для TQ и DVDT),

Sparkgap (модель искрового промежутка с параметрами: Vthres – напряжение удара искры, Varc – напряжение через один искровой промежуток, Isus – поддерживающий ток, пока стоит искровая дуга, Rneg – отрицательное сопротивление, Lpl – индуктивность выводов/вводов, Cprg – емкость пробоя, Carc – емкость искровой дуги, Rpl – сопротивление выводов/вводов),

Sub (модель вычитающего устройства с параметрами KA, KB – множительные коэффициенты перед входными величинами A – уменьшаемого и B – вычитаемого),

Sum3 (модель сумматора с тремя входными сигналами и с множительными коэффициентами KA, KB, KC),

Sum (модель сумматора с двумя входными сигналами и с множительными коэффициентами KA и KB),

Triac (модель устройства сложного тиристора с параметрами: IH – постоянный ток фиксации состояния активного элемента (ток удержания), IGT – ток включения управляющего электрода, TON – время включения, VTMIN – минимальное постоянное напряжение анод-катод, VDRM – максимум повторяющихся пиков напряжения выключенного состояния (напряжение пробоя), DVDT – критическое значение увеличения напряжения выключенного состояния (dv/dt), TQ – время выключения, K1, K2 – коэффициенты регулирования для TQ и DVDT),

Trigger (модель триггерного устройства),

Triode (модель триода с параметрами: K – постоянная лампы k, MU – постоянная лампы μ – коэффициент усиления, CGP – емкость сетка-анод, CGC – емкость сетка-катод, CPC – емкость анод-катод),

VCO (модель управляемого генератора с параметрами: VP – амплитуда выходного сигнала, F0 – центральная частота, KF – крутизна перестройки частоты в Гц/В),

Wideband (модель широкополосного трансформатора с параметрами: RS – первичное сопротивление потерь, N – число витков, FL – нижняя частота, FH – верхняя частота),

Xtal (модель кварцевого генератора с параметрами: F0 – центральная частота, R – сопротивление, Q – добротность кварцевого генератора).

A.1.9 Макромодели, задающиеся текстовым описанием (Subckts)

Данные макромодели могут быть созданы самим пользователем. Для задания моделей в схеме в строке Name вводится название макромодели, File – название файла с моделью, Params – вводятся требуемые параметры модели по формату <name>=<value>, Text – вводится текстовое описание используемых величин или файла. Внизу в окне можно задать текстовое описание модели. Модели создаются с помощью программы model.exe.

A.1.10 Соединители (Connectors)

В программе используются три вида соединителей:

GROUND – «земля» обязательно должна присутствовать на каждой схеме. При анализе программа присваивает узлу GROUND номер 0, потенциал считается равным нулю;

TIE – соединитель используется для электрического соединения двух или нескольких далеко разнесенных на схеме точек. TIE помечается текстовой меткой, все элементы TIE с одинаковыми метками считаются электрически соединенными;

JUMPER, JUMDIAG – соединитель используется для пересечения проводников без электрического соединения, представляет собой дугообразную горизонтальную (JUMPER) или диагональную (JUMDIAG) перемычку.

A.1.11 Раздел SMPS

Данный раздел содержит в себе список созданных ранее макромоделей, заданных текстовым описанием (см. Subckts).

A.1.12 Смесь (Miscellaneous)

Модель Sample and Hold (Устройство выборки-хранения УВХ) задается следующими параметрами:

Input expr – сохраняемое выражение (напр., $V(\text{OUT}), V(10)*I(V2)$);

Sample expr – выражение, которое определяет время, в течение которого будет сохраняться Input expr. Формат: $\langle \text{Input expr} \rangle$ сохраняется, когда $\langle \text{Sample expr} \rangle$ правдиво (напр., $(V(5,4)>1.1)\&\&(V(3)<1.2)$);

Period – время (период) сохранения в секундах.

Таблица A.19

S (V-Switch) (Ключ, управляемый напряжением)

| | |
|------|----------------------------------|
| RON | Сопротивление замкнутого ключа |
| ROFF | Сопротивление разомкнутого ключа |
| VON | Напряжение замыкания ключа |
| VOFF | Напряжение размыкания ключа |

Модель Switch (Ключ) описывается в строке Value.

Формат записи: $\langle [V][T][I] \rangle, \langle n1, n2 \rangle [\langle ron \rangle [\langle roff \rangle]]$, где V – управление разностью потенциалов, I – управление токов, T – переключение в определенные моменты времени, n1, n2 – значения управляющей величины, при которых происходят переключения, ron, roff – сопротивления ключа в замкнутом и разомкнутом режиме. При $n1 < n2$ ключ замкнут при $n1 \leq X \leq n2$ (состояние ON), при $n2 < n1$ ключ замкнут при $X > n1$ и $X < n2$. Управляющие сигналы представляют собой: V – разность потенциалов между управляющими выводами ключа, I – ток через индуктивность, включенную между управляющими выводами ключа, T – время, при этом управляющие выводы ключа должны быть заземлены. Пример: T,1m,5m или V,3,0,1m,1e6.

W (I-Switch) (Ключ, управляемый током)

| | |
|--------------------|--|
| REF (строка Value) | Имя источника напряжения, ток через который управляет ключом |
| RON | Сопротивление замкнутого ключа |
| ROFF | Сопротивление разомкнутого ключа |
| ION | Ток замыкания ключа |
| IOFF | Ток размыкания ключа |

Модели Arrow, Bubble (Стрелка, контакт) предназначены для нанесения дополнительной информации на схему и не участвуют в моделировании.

А.1.13 Четырехполюсник с S-параметрами (S-Parameter Two-Port)

Четырехполюсник с S-параметрами (S – матрица рассеивания) задается через файл, в котором создано описание всех S-параметров. Имя файла указывается в строке File.

А.2 Библиотека аналоговых устройств (Analog Library)

Включает в себя библиотеку аналоговых устройств различных марок, среди которых пользователь может выбрать готовую микросхему.

А.3 Digital Primitives (Цифровые устройства)

Для всех цифровых устройств устанавливаются общие параметры:

Part – имя модели;

Timing model – модель динамики с ключевыми словами

UADC – АЦП

UDAC – ЦАП

UIO – Модель входа/выхода цифрового устройства

UGATE – Стандартный вентиль

UTGATE – Вентиль с тремя состояниями

| | |
|--------|-------------------------------------|
| UEFF – | Триггер с динамическим управлением |
| UGFF – | Триггер с потенциальным управлением |
| UDLY – | Цифровая линия задержки |
| UPLA – | Программируемые логические матрицы |

I/O model – модель входа/выхода (выбирается из правого активного окна). Параметры модели приведены в табл. А.21.

Таблица А.21

I/O model (Модель входа/выхода)

| | |
|--------------|---|
| INLD | Входная емкость |
| OUTLD | Выходная емкость |
| DRVH | Выходное сопротивление высокого уровня |
| DRVL | Выходное сопротивление низкого уровня |
| AtoD 1,2... | Имена макромоделей интерфейса А/Ц N-го уровня |
| DtoA 1,2... | Имена макромоделей интерфейса Ц/А N-го уровня |
| TSWLH 1,2... | Время переключения от 0 к 1 для ЦАП |
| TSWHL 1,2... | Время переключения от 1 к 0 для ЦАП |
| DIGPOWER | Имя макромоделей источника питания |

MNTYMXDLY – выбор значения времени задержки сигнала:
 0 – DIGMNTYMX, 1 – минимум, 2 – типичное значение, 3 – максимум, 4 – наихудший случай;

IO_Level – параметр для выбора одной из четырех макромоделей интерфейса вход/выход (необязательный параметр);

Power node – обозначение узла источника питания;

Ground node – обозначение земли.

А.3.1 Стандартные логические элементы (Standard Gates)

Данный раздел включает в себя список стандартных логических элементов: **AND gates** (Логический элемент И), **Buffer** (Логический элемент БУФЕР), **Inverters** (Логический элемент ИНВЕРТОР), **OR gates** (Логический элемент ИЛИ), **NAND gates** (Логический элемент И-НЕ), **NOR gates** (Логический элемент ИЛИ-НЕ), **XOR gates** (Логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ). Параметры данных элементов приведены в табл. А.22.

Параметры стандартных логических элементов

| | |
|--------|---|
| TPLHMN | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, минимум |
| TPHLMN | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, минимум |
| TPLHTY | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, типичное значение |
| TPHLYT | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, типичное значение |
| TPLHMX | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, максимум |
| TPHLMX | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, максимум |

А.3.2 Логические элементы с тремя состояниями (Tri-State Gates)

Данный раздел включает в себя список логических элементов с тремя состояниями: **And_Tri** (Логический элемент И с тремя состояниями), **Buf_Tri** (Логический элемент БУФЕР с тремя состояниями), **Inv_Tri** (Логический элемент ИНВЕРТОР с тремя состояниями), **Or_Tri** (Логический элемент ИЛИ с тремя состояниями), **Nand_Tri** (Логический элемент И-НЕ с тремя состояниями), **Nor_Tri** (Логический элемент ИЛИ-НЕ с тремя состояниями), **Xor_Tri** (Логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ с тремя состояниями), **Xnor_Tri** (Логический элемент ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ-НЕ с тремя состояниями). Параметры данных элементов приведены в табл. А.23.

Параметры логических элементов с тремя состояниями

| | |
|--------|---|
| TPLHMN | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, минимум |
| TPHLMN | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, минимум |
| TPLHTY | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, типичное значение |
| TPHLYT | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, типичное значение |

| | |
|---------|--|
| TPLHMX | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, максимум |
| TPHLMX | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, максимум |
| TPLZMN | Задержка при переходе от низкого уровня к уровню Z, минимум |
| TPLZTY | Задержка при переходе от низкого уровня к уровню Z, типичное значение |
| TPLZMX | Задержка при переходе от низкого уровня к уровню Z, максимум |
| TRHZMN | Задержка при переходе от высокого уровня к уровню Z, минимум |
| TRHZTY | Задержка при переходе от высокого уровня к уровню Z, типичное значение |
| TRHZMX | Задержка при переходе от высокого уровня к уровню Z, максимум |
| TPZLMN | Задержка при переходе от уровня Z к низкому уровню, минимум |
| TPZLTY | Задержка при переходе от уровня Z к низкому уровню, типичное значение |
| TPZLMX | Задержка при переходе от уровня Z к низкому уровню, максимум |
| TPZHMN | Задержка при переходе от уровня Z к высокому уровню, минимум |
| TPZHNTY | Задержка при переходе от уровня Z к высокому уровню, типичное значение |
| TPZHMX | Задержка при переходе от уровня Z к высокому уровню, максимум |

А.3.3 Триггеры с динамическим управлением (Edge-Triggered Flip-Flops)

Данный раздел включает в себя модели **JKFF** (JK-триггер с отрицательным фронтом срабатывания и низким уровнем сигналов установки и сброса) и **DDFF** (D-триггер с положительным фронтом срабатывания и низким уровнем сигналов установки и сброса). Параметры данных элементов приведены в табл. А.24.

**Параметры триггеров с динамическим управлением
(в скобках указаны обозначения выводов в программе MicroCAP7)**

| | |
|------------|---|
| TPPCQLNMN | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPPCQLHTY | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPPCQLNMX | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPPCQHLMN | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPCCQHLY | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPCCHLMX | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TWPCLMN | Максимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), минимальное значение |
| TWPCLTY | Максимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), типичное значение |
| TWPCLMX | Максимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), максимальное значение |
| TPCLKQLHMN | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPCLKQLHTY | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPCLKQLHMX | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPCLKQHLMN | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |

| | |
|-----------------|--|
| TPCLKQHLY | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPCLKQHLMX | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса C/C ⁻ (clk/clkb) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TWCLKLMN | Минимальная длительность сигнала «0» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), минимальное значение |
| TWCLKLY | Минимальная длительность сигнала «0» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), типичное значение |
| TWCLKLMX | Минимальная длительность сигнала «0» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), максимальное значение |
| TWCLKHMN | Минимальная длительность сигнала «1» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), минимальное значение |
| TWCLKHY | Минимальная длительность сигнала «1» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), типичное значение |
| TWCLKHMX | Минимальная длительность сигнала «1» на входе C/C ⁻ (clk/clkb), максимальное значение |
| TSUDCLKMN | Время подготовки к работе по входам J/K/D (j/k/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), минимальное значение |
| TSUDCLKY | Время подготовки к работе по входам J/K/D (j/k/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), типичное значение |
| TSUDCLKMX | Время подготовки к работе по входам J/K/D (j/k/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), максимальное значение |
| TSUPCCLKHM N | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), минимальное значение |
| TSUPCCLKHY | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), типичное значение |
| TSUPCCLKHM X | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), максимальное значение |

Окончание табл. А.24

| | |
|----------|---|
| THDCLKMN | Длительность сигнала на входе J/K/D (j/k/d) после действия фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), минимальное значение |
| THDCLKTY | Длительность сигнала на входе J/K/D (j/k/d) после действия фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), типичное значение |
| THDCLKMX | Длительность сигнала на входе J/K/D (j/k/d) после действия фронта синхроимпульса C/C ⁻ (clk/clkb), максимальное значение |

А.3.4 Триггеры с потенциальным управлением (Gated Flip-Flops/Latches)

Данный раздел включает в себя модели **Latch** (Однотактный синхронный D-триггер) и **SRFF** (Двухтактный синхронный RS-триггер). Параметры данных элементов приведены в табл. А.25.

Таблица А.25

Параметры триггеров с потенциальным управлением (в скобках указаны обозначения выводов в программе MicroCAP7)

| | |
|-----------|---|
| TPPCQLNMN | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPPCQLHTY | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPPCQLNMX | Задержка перехода «0»→«1» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPPCQHLMN | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPCCQHHTY | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPCCHLMX | Задержка перехода «1»→«0» со входа S/R (preb/clrb) к выходам Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |

| | |
|----------|--|
| TWPCLMN | Минимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), минимальное значение |
| TWPCLTY | Минимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), типичное значение |
| TWPCLMX | Минимальная длительность сигнала «0» на входе S/R (preb/clrb), максимальное значение |
| TPGQLHMN | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса синхронизации G(gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPGQLHTY | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса синхронизации G (gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPGQLHMX | Задержка перехода «0»→«1» от фронта импульса синхронизации G (gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPGQHLMN | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса синхронизации G (gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPGQHLY | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса синхронизации G (gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPGQHLMX | Задержка перехода «1»→«0» от фронта импульса синхронизации G (gate) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPDQLHMN | Задержка перехода «0»→«1» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPDQLHTY | Задержка перехода «0»→«1» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |
| TPDQHLMX | Задержка перехода «0»→«1» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TPDQHLMN | Задержка перехода «1»→«0» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), минимальное значение |
| TPDQHLY | Задержка перехода «1»→«0» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), типичное значение |

| | |
|-----------|---|
| TPDQLHMX | Задержка перехода «1»→«0» от выхода S/R/D (s/r/d) до выхода Q/Q ⁻ (q/qb), максимальное значение |
| TWGHMN | Минимальная длительность сигнала «1» на входе G (gate), минимальное значение |
| TWGHTY | Минимальная длительность сигнала «1» на входе G (gate), типичное значение |
| TWGHMX | Минимальная длительность сигнала «0» «1» на входе G (gate), максимальное значение |
| TSUDGMN | Время подготовки к работе по входам S/R/D (s/r/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), минимальное значение |
| TSUDGKTY | Время подготовки к работе по входам S/R/D (s/r/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), типичное значение |
| TSUDGMX | Время подготовки к работе по входам S/R/D (s/r/d) перед действием фронта синхроимпульса C (clk/clkb), максимальное значение |
| TSUPCGHMN | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса G (gate), минимальное значение |
| TSUPCGHTY | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса G (gate), типичное значение |
| TSUPCGHMX | Длительность сигнала «1» на входах S/R (preb/clrb) при действии фронта синхроимпульса G (gate), максимальное значение |
| THDGMN | Длительность сигнала на входе S/R/D (s/r/d) после действия фронта синхроимпульса G (gate), минимальное значение |
| THDGTY | Длительность сигнала на входе S/R/D (s/r/d) после действия фронта синхроимпульса G (gate), типичное значение |
| THDGMX | Длительность сигнала на входе S/R/D (s/r/d) после действия фронта синхроимпульса G (gate), максимальное значение |

А.3.5 Источники логических сигналов (Pullups/Pulldowns)

Данный раздел включает в себя источники логических сигналов «1» (**Pullups**) и «0» (**Pulldowns**) с токоограничивающими резисторами. Для данных источников указываются только общие параметры (Part, Timing model), описанные выше.

А.3.6 Цифровая линия задержки (Delay line)

Таблица А.26

Параметры цифровой линии задержки

| | |
|-------|-----------------------|
| DLYMN | Минимальная задержка |
| DLYTY | Типичная задержка |
| DLMX | Максимальная задержка |

А.3.7 Программируемые логические матрицы (Programmable Logic Arrays)

Данный раздел включает в себя список программируемых логических матриц (ПЛА): **PLAND33** (ПЛА логики И с 3 входами и 3 выходами), **PLOR33** (ПЛА логики ИЛИ с 3 входами и 3 выходами), **PLANDC33** (ПЛА логики И, содержащая для каждого входа столбцы прямого и дополнительного кода, с 3 входами и 3 выходами). Параметры данных элементов приведены в табл. А.27.

Таблица А.27

Параметры программируемых логических матриц

| | |
|--------|--|
| TPLHMN | Время задержки со входа на выход при переключении 0→1, минимальное значение |
| TPLHTY | Время задержки со входа на выход при переключении 0→1, типичное значение |
| TPLHMX | Время задержки со входа на выход при переключении 0→1, максимальное значение |
| TRPLMN | Время задержки со входа на выход при переключении 1→0, минимальное значение |

Окончание табл. А.27

| | |
|------------|--|
| TRHLY | Время задержки со входа на выход при переключении 1→0, типичное значение |
| TRHLMX | Время задержки со входа на выход при переключении 1→0, максимальное значение |
| OFFSET | Адрес данных, управляющих подключением первого входа к первому выходу (в файле JEDEC) |
| COMPOFFSET | Адрес данных, управляющих подключением дополнения первого входа к первому выходу (в файле JEDEC) |
| INSCALE | Количество адресов для программирования изменения состояния каждого входа (в файле JEDEC) |
| OUTSCALE | Количество адресов для программирования изменения состояния каждого выхода-вентиля (в файле JEDEC) |

Data – необязательные данные для ПЛА. Состоят из флага системы счисления и данных программы (<radix flag>\$<program data>\$).

А.3.8 Логические выражения (Logic Expression)

Данный раздел включает в себя модели **Logic 2x1** (Логическое выражение с двумя входами и одним выходом) и **Logic 2x2** (Логическое выражение с двумя входами и двумя выходами). Параметры данных элементов приведены в табл. А.28.

Таблица А.28

Параметры логических выражений

| | |
|--------|---|
| TPLHMN | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, минимум |
| TRHLMN | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, минимум |
| TPLHTY | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, типичное значение |
| TRHLY | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, типичное значение |

| | |
|--------|--|
| ТРЛНМХ | Задержка при переходе от низкого уровня к высокому, максимум |
| ТРНЛМХ | Задержка при переходе от высокого уровня к низкому, максимум |

Logic – строка задания логического выражения, записываемого в виде <номер выходного узла (или промежуточная переменная)>={<логическое выражение>}. Для логического выражения используются следующие логические операторы: ~ - логическое отрицание, & - логическое И, ^ - логическое исключающее ИЛИ, | - логическое ИЛИ. Пример: $g3bar = \{\sim G3\}$.

А.3.9 Задержки распространения (Pin Delay)

Данный раздел включает в себя модели **Pindelay 2x1** (два входа – один выход) и **Pindelay 2x2** (два входа – два выхода), которые позволяют назначить задержки распространения сигналов сложным устройствам. Выражение назначения задержек записывается в строке Pindelay. Выражение отмечает начало секции, содержащей одно или несколько назначений задержек, которые имеют формат <+узел источника питания> <-узел источника питания> <выражение задержки> ENAB <вход высокого разрешения> <вход низкого разрешения>. Пример: DPWR DGND Y_O W_O ENAB D0 D1.

А.3.10 Контроль временных соотношений (Constraints)

Выражение контроля временных соотношений записывается в строку Constraint. Выражение будет контролировать минимальное время установки/сброса, минимальную длительность импульсов, частоту переключений и общий механизм проверки условий, формируемых пользователем. Формат выражения: <+узел источника питания> <-узел источника питания> <входной узел 1> ... <входной узел n> <контролируемый выходной узел>. Пример: DPWR DGND DCBAR D0 D1 D2 D3 D4 D6 D7 SCBAR S2.

А.3.11 Аналогово-цифровые преобразователи (AtoD Convertors)

Данный раздел включает в себя модели **О** (Аналогово-цифровой интерфейс), **AtoD4**, **AtoD8**, **AtoD12**, **AtoD16** (соответственно АЦП с 4, 8, 12 и 16 разрядами). Параметры данных элементов приведены в табл. А.29 и А.30.

Таблица А.29

Параметры модели аналого-цифрового интерфейса (выбираются в правом окне, активизируемом строкой Model)

| | |
|-----------|--|
| RLOAD | Сопротивление нагрузки |
| CLOAD | Емкость нагрузки |
| TIMESCALE | Масштабный коэффициент для TIMESTEP |
| S0NAME | Имя логического состояния «0» |
| S0VHI | Верхний логический уровень напряжения состояния «0» |
| S0VLO | Нижний логический уровень напряжения состояния «0» |
| S1NAME | Имя логического состояния «1» |
| S1VHI | Верхний логический уровень напряжения состояния «1» |
| S2VLO | Нижний логический уровень напряжения состояния «1» |
| ... | ... |
| S19NAME | Имя логического состояния «19» |
| S19VHI | Верхний логический уровень напряжения состояния «19» |
| S19VLO | Нижний логический уровень напряжения состояния «19» |
| SXNAME | Имя логического состояния, когда напряжение на узле интерфейса находится вне заданных границ |

Параметры модели АЦП

| | |
|--------|---|
| TPCSMN | Время задержки запуска – запаздывание между передними фронтами импульсов разрешения и запуска, минимальное значение |
| TPCSTY | Время задержки запуска – запаздывание между передними фронтами импульсов разрешения и запуска, типичное значение |
| TPCSMX | Время задержки запуска – запаздывание между передними фронтами импульсов разрешения и запуска, максимальное значение |
| TPSDMN | Время цикла кодирования – интервал времени между передним фронтом импульса запуска и переходом выходного сигнала в новое состояние, минимальное значение |
| TPSDTY | Время цикла кодирования – интервал времени между передним фронтом импульса запуска и переходом выходного сигнала в новое состояние, типичное значение |
| TPSDMX | Время цикла кодирования – интервал времени между передним фронтом импульса запуска и переходом выходного сигнала в новое состояние, максимальное значение |
| TPDSMN | Запаздывание заднего фронта сигнала запуска относительно момента перехода выходного сигнала в новое состояние, минимальное значение |
| TPDSTY | Запаздывание заднего фронта сигнала запуска относительно момента перехода выходного сигнала в новое состояние, типичное значение |
| TPDSMX | Запаздывание заднего фронта сигнала запуска относительно момента перехода выходного сигнала в новое состояние, максимальное значение |

А.3.12 Цифро-аналоговые преобразователи (DtoA Convertors)

Данный раздел включает в себя модели **N** (Цифро-аналоговый интерфейс), **DtoA4**, **DtoA8**, **DtoA12**, **DtoA16** (соответственно ЦАП с 4, 8, 12 и 16 разрядами). Параметры данных элементов приведены в табл. А.31 и А.32.

Таблица А.31

Параметры модели цифро-аналогового интерфейса (выбираются в правом окне, активизируемом строкой Model)

| | |
|---------|--|
| CLO | Емкость между выходным узлом и «землей» |
| CHI | Емкость между выходным узлом и источником питания |
| S0NAME | Имя логического состояния «0» |
| S0TSW | Время переключения в состояние «0» |
| S0RLO | Сопротивление между выходным узлом и «землей» для состояния «0» |
| S0RHI | Сопротивление между выходным узлом и источником питания для состояния «0» |
| S1NAME | Имя логического состояния «1» |
| S1TSW | Время переключения в состояние «1» |
| S1RLO | Сопротивление между выходным узлом и «землей» для состояния «1» |
| S1RHI | Сопротивление между выходным узлом и источником питания для состояния «1» |
| ... | ... |
| S19NAME | Имя логического состояния «19» |
| S19TSW | Время переключения в состояние «19» |
| S19RLO | Сопротивление между выходным узлом и «землей» для состояния «19» |
| S19RHI | Сопротивление между выходным узлом и источником питания для состояния «19» |

В строке IS указывается начальное состояние.

Таблица А.32

Параметры модели ЦАП

| | |
|-------|--|
| TSWMN | Время установления (от момента изменения входного кода до момента достижения выходным напряжением уровня 0,9 установившегося значения), минимальное значение |
| TSWTY | Время установления (от момента изменения входного кода до момента достижения выходным напряжением уровня 0,9 установившегося значения), типичное значение |

| | |
|-------|---|
| TSWMX | Время установления (от момента изменения входного кода до момента достижения выходным напряжением уровня 0,9 установившегося значения), максимальное значение |
|-------|---|

А.3.13 Генераторы цифровых сигналов (Stimulus Generations)

Для модели **Stim 1, 2, 4, 8, 16** (Устройства Stim, определяющие форму цифрового сигнала в задании на моделирование) формат схем состоит из описаний:

Format – формат данных, в которых представлены логические уровни сигналов генератора, представлен в виде последовательности цифр, общее число которых равно значению количества сигналов. Цифры могут быть 1, 3 и 4 – двоичная, восьмеричная и шестнадцатеричная система счисления;

Command – команда описания формы сигнала в открывающемся внизу окне, представляет собой текстовую строку;

Timestep – временной шаг квантования (период квантования).

Для модели **FStim 1, 2, 4, 8, 16** (Устройства FStim для считывания цифрового сигнала из файла) формат схем состоит из описаний:

File – имя файла с цифровым сигналом;

Signames – имя воздействия для устройства Fstim (напр., B0 B1 B2 B3).

Для модели **Fixed digital** (Источник постоянного цифрового сигнала) формат схем состоит из строки Value, задающей цифровой режим, формат его <0|1|R|F|Z|X> - 0-1 – логические/цифровые сигналы, R – передний фронт, F – задний фронт, Z – высокого импеданса, X – неопределенные.

А.4 Библиотека цифровых устройств (Digital Library)

Включает в себя библиотеку цифровых устройств различных марок, среди которых пользователь может выбрать готовую микросхему.

A.5 Анимация (Animation)

Данный раздел включает в себя три компонента: **Digital Switch**, **LED**, **Seven Segment**. Digital Switch – цифровой ключ с типовыми параметрами модели входа/выхода. LED – Light emission diode – светодиод, используемый для создания световой индикации результатов измерений и преобразований. Для этого же используется и Seven Segment – семисегментный индикатор. Так же, как и цифровой ключ, они задаются лишь параметрами модели входа/выхода.

A.6 Фильтры (Filters)

Данный раздел включает в себя активные либо пассивные фильтры, созданные пользователем через меню Design. Создание схемы-макроса любого из реализуемых фильтров облегчается путем задания и визуализации параметров АЧХ в процессе создания схемы (рис. А.3).

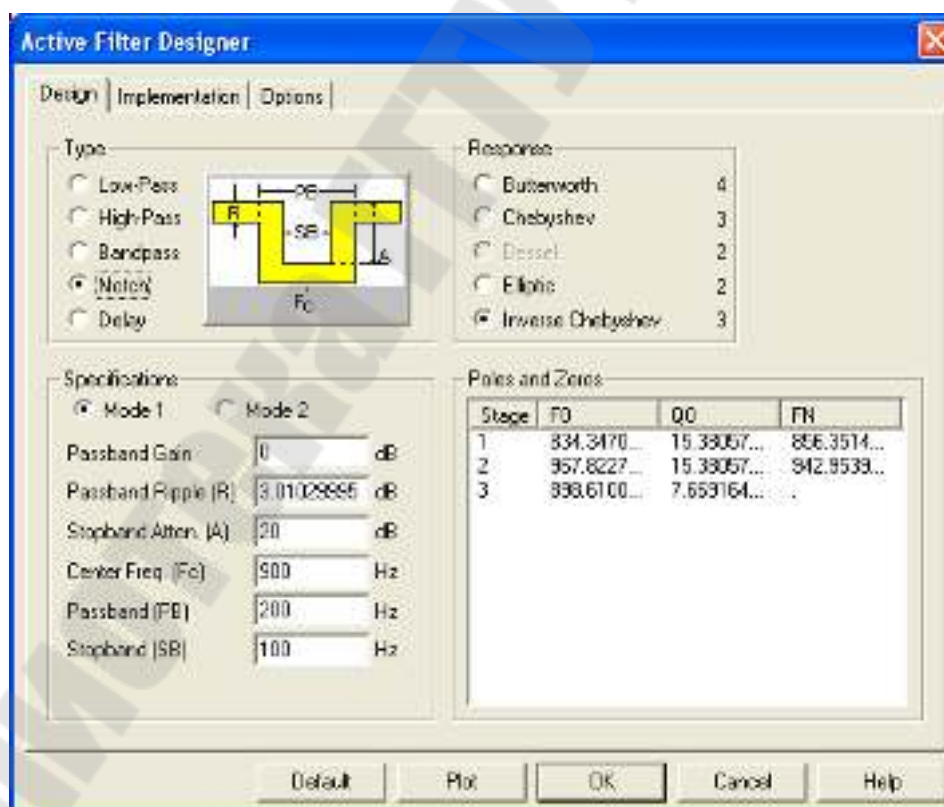


Рис. А.3 Пример окна задания/визуализации параметров АЧХ при создании схемы фильтра

Б.1 Редактор компонентов (Component editor)



Рис. Б.1 Окно редактора компонентов

Редактор компонентов предназначен для изменения пользователем графического обозначения элементов программы. В окне редактора компонентов указывается:

Name – имя элемента (присваивается произвольно);

Shape – имя формы условного графического обозначения или имя символа компонента (создаются с помощью Shape editor);

Definition – имя математической модели компонента, выбираемое из списка моделей;

Cost, Power – указывается стоимость и мощность элемента соответственно для составления баланса мощностей и сметы стоимости схемы;

Palette – указывается номер панели инструментов, к которой будет принадлежать редактируемый элемент;

Мето – комментарий к наименованию компонента;

Display PART attribute – отображение на схеме позиционного обозначения компонента, задаваемого с помощью атрибута Part. При размещении на схеме таких компонентов позиционные обозначения будут присваиваться автоматически, но не будут видны, при этом значение этой опции можно изменить в панели атрибутов индивидуально для каждого компонента;

Display VALUE attribute – отображение на схеме атрибута Value, с помощью которого задаются параметры простых компонентов. Значение этой опции можно изменить в панели атрибутов индивидуально для каждого компонента.

Примечание. Наименование атрибутов отображения на схеме могут меняться в зависимости от выбранного компонента (File, Table, Laplace, Freq, Zexp, Name, Text, Timing model и т.д.).

Справа в окне редактора расположен список компонентов, разбитый на группы. Рядом с названием группы указывается в скобках количество содержащихся в группе компонентов.

В левом нижнем окне находится изображение самого компонента и его выводов, справа два окна содержат отображения мест расположения атрибутов компонента на схеме при вертикальном и горизонтальном положении.

Б.2 Редактор форм (Shape editor)

Сверху окна (см. рис. Б.2) расположена панель инструментов. Слева находится библиотека компонентов, графическое изображение которых можно редактировать. Ниже окна библиотеки находятся кнопки:

Add – добавить в библиотеку новый символ, графика которого создается с помощью редактора;

Delete – удаление выбранного символа;

Revert – восстановление первоначальной графики символа, которую он имел до вызова редактора;

Editor – вызов редактора Object Editor, предназначенного для редактирования числовых параметров графических объектов;

Close – завершение работы с редактором;

Help – вызов помощи редактора.

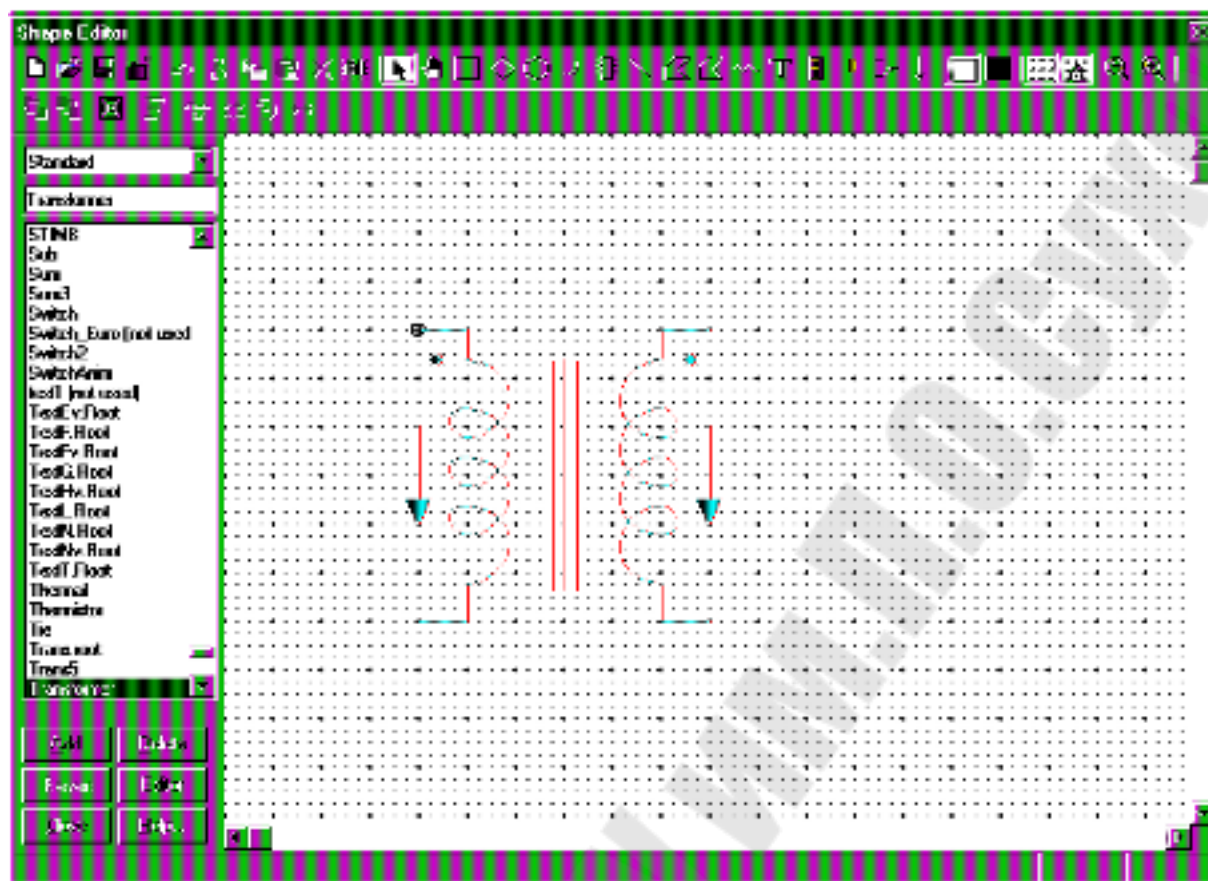


Рис. Б.2. Окно редактора форм

Б.3 Редактор корпусов микросхем (Package editor)

В окне располагаются:

Package – тип корпуса микросхемы;

Component – наименование редактируемого компонента;

Pin Cnt – количество выводов корпуса;

Total parts – общее число имеющихся компонентов;

Accel, OrCad, Protel, PADS – наименования специальных программ для разводки плат, откуда можно скопировать тип корпуса микросхемы;

Pin name – обозначения выводов на корпусе;

PCB – нумерация узлов на печатной плате;

Add – найти и добавить новый корпус в библиотеку;

Add Complex – найти и добавить новый корпус в библиотеку с замещением старого;

Duplicate – найти компонент и добавить в библиотеку такой же без замещения;

Delete – найти и удалить компонент из библиотеки;

Merge – соединить два указанных компонента в один;

Find – найти компонент в библиотеке;

Close – закрыть редактор;

Help – вызвать помощь редактора;

Info – справочная информация.

Справа находится окно библиотеки всех имеющихся компонентов, корпуса которых можно отредактировать.

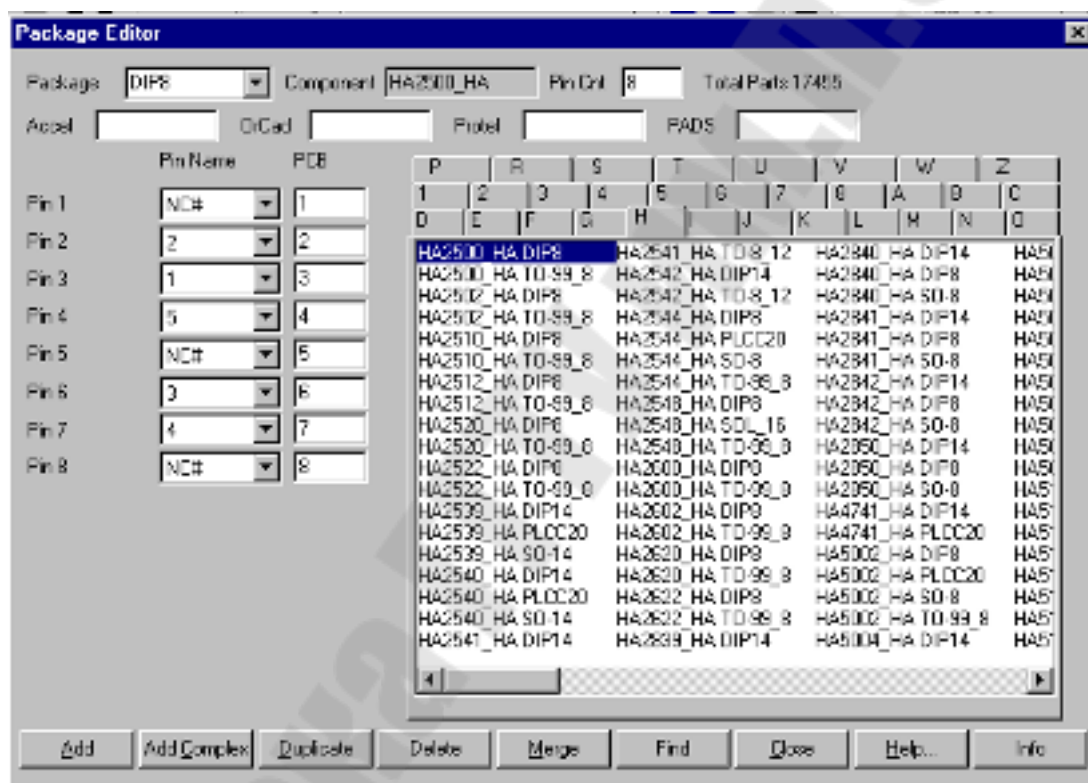


Рис. Б.3. Редактор корпусов микросхем

Приложение В. Подчиненные разделы меню «Options»

В.1 Предпочтения (Preferences)

В данном разделе (см. рис. В.1) содержатся опции для настройки общих параметров программы MicroCAP7; настроек цветовой гаммы; формата вывода значений на графиках и схемах (количество десятичных знаков после запятой); используемых шрифтов; набора включенных меню; компонентных меню (Component Palettes), выведенных на экран основного окна; времени автосохранения; предупреждений, выдаваемых программой.

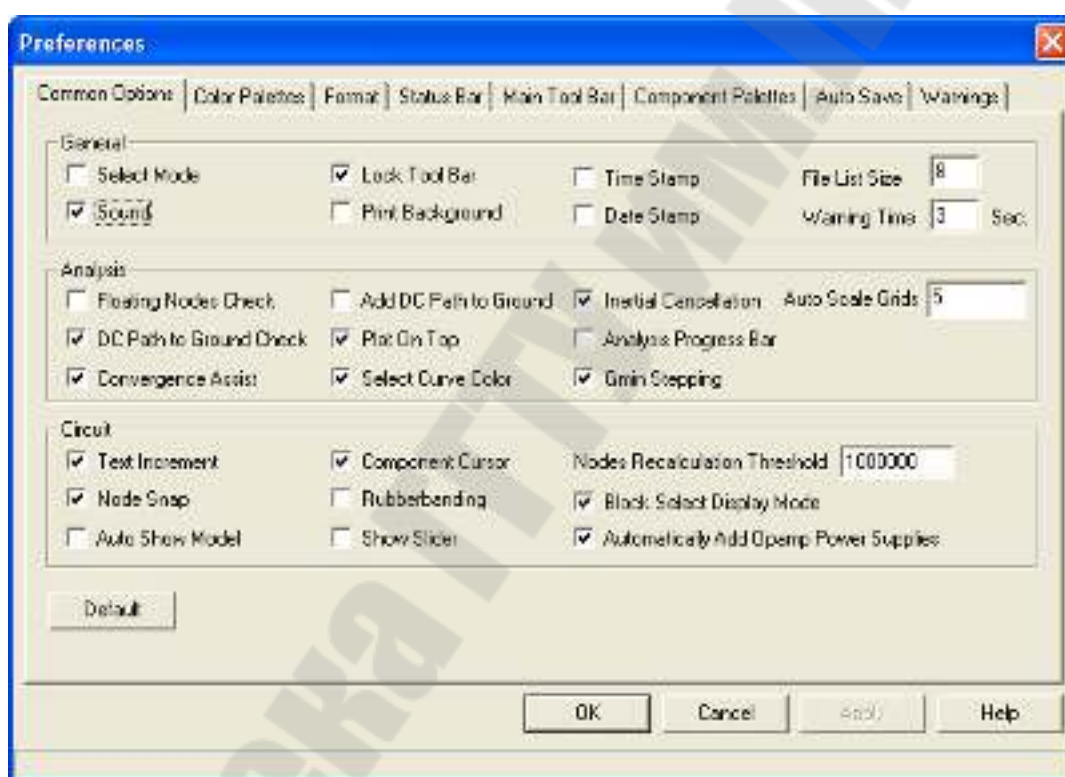


Рис В.1 Окно Preferences

В.2 Редактор пределов параметров моделей (Model parameter limits editor)

В окне редактора (см. рис. В.2) указывается:

Types – библиотека типов моделей, параметры которых можно отредактировать;

Parameter – раздел, где выбирается параметр (в левом крайнем столбце), Default – значение параметра по умолчанию, Min – минимальное значение параметра, Max – максимальное значение параметра; OK – принять установленные значения и выйти из редактора; Cancel – отменить установленные значения и выйти из редактора; Default – установить по умолчанию; Help – вызов помощи редактора.

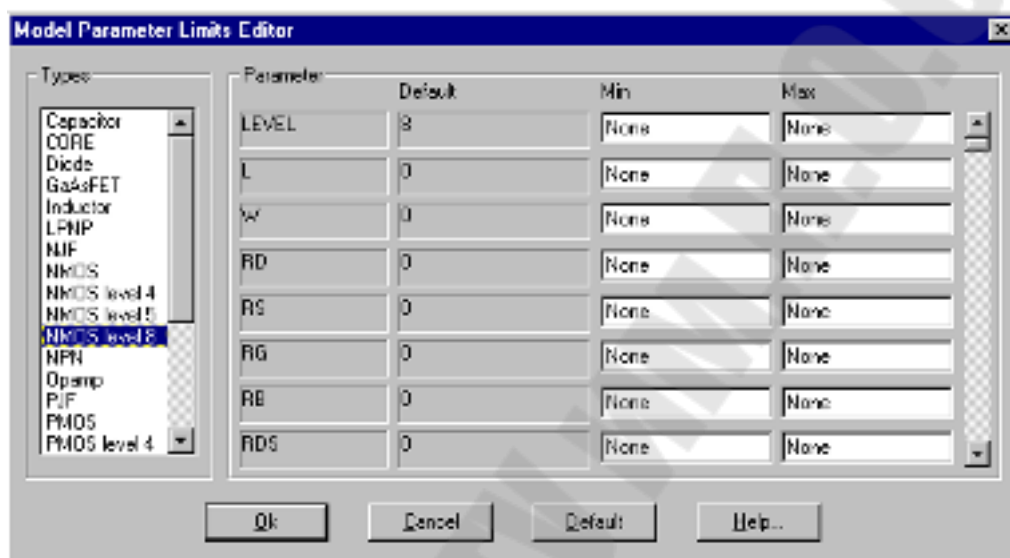


Рис В.2 Окно редактора пределов параметров моделей

В.3 Общие установочные параметры (Global settings)

В окне общих установочных параметров (см. рис. В.3) указываются значения для следующих величин:

ABSTOL – абсолютный допуск тока в цепях;

CHGTOL – абсолютный допуск изменения заряда;

DEFAD – площадь переноса в канале МОП-транзистора;

DEFAS – площадь истока канала МОП-транзистора;

DEFL – длина канала МОП-транзистора;

DEFW – ширина канала МОП-транзистора;

DIGDRVF – минимальное управляемое сопротивление входа-выхода цифровых моделей;

DIGDRVZ – максимальное сопротивление z-состояния выхода цифровых моделей;

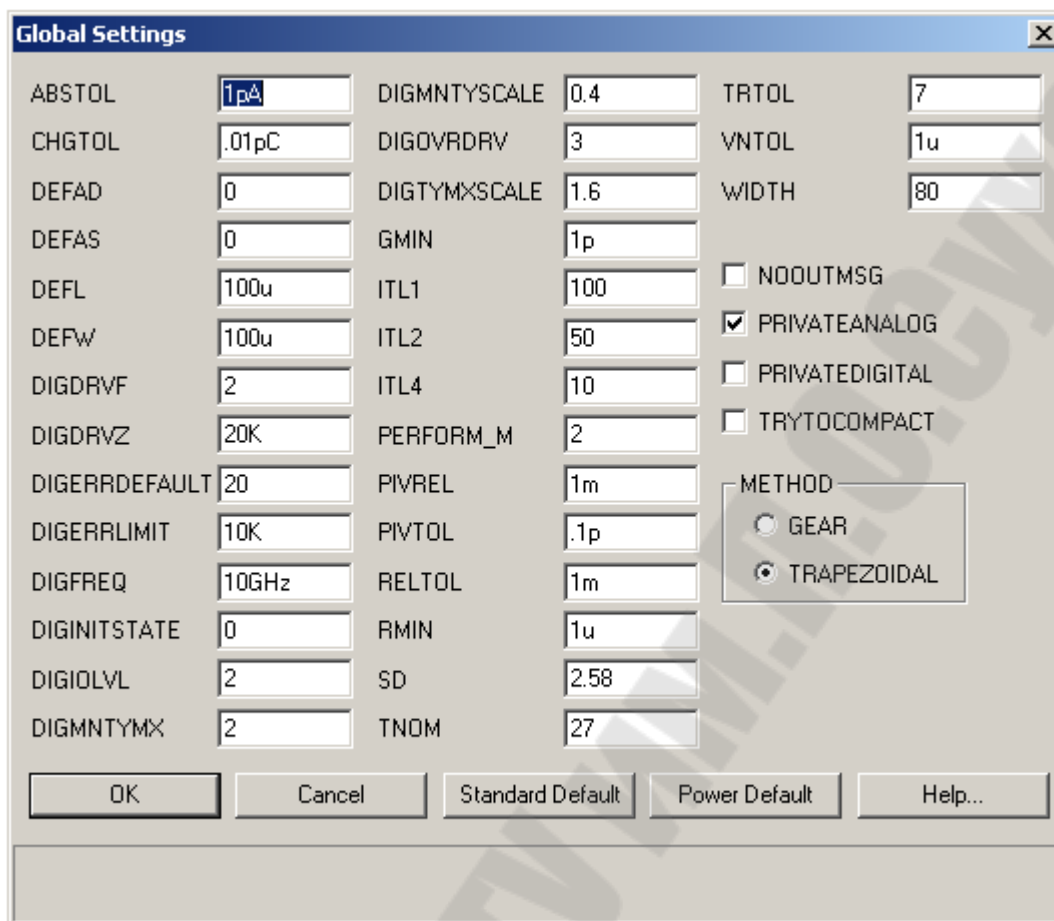


Рис В.3 Окно общих установочных параметров

DIGERRDEFAULT – максимальное значение сообщения ошибки для единичных ограниченных цифровых элементов;

DIGERRLIMIT – максимальное значение сообщения ошибки для всех ограниченных элементов во время запуска каждого анализа;

DIGFREQ – минимальный дискретный шаг времени ($1/DIGFREQ$);

DIGINITSTATE – начальное значение для триггеров с потенциальным управлением и триггеров-защелок (0 – сброс, 1 – установка в единицу, 2 – в z-состояние);

DIGIOLVL – уровень цифрового входа-выхода для цепей с ЦАП и АЦП (от 1 до 4);

DIGMNTYMX – значение цифровой задержки времени (1 – минимальное, 2 – обычное, 3 – максимальное, 4 – мин/макс);

DIGMNTYSCALE – устанавливает масштабирующий параметр, используемый при расчете неуказанных временных задержек из известных значений временных задержек;

DIGOVRDRV – минимальное отношение управляемых сопротивлений для одного направления передачи при внешнем управлении;

DIGTYMXSCALE – устанавливает масштабирующий параметр, использующийся при расчете неуказанных максимальных временных задержек из известных значений временных задержек;

GMIN – минимальное отклонение проводимости;

ITL1 – предел итераций рабочей точки перед новым запуском расчетов;

ITL2 – предел итераций кривой намагниченности для каждой точки DC кривой;

ITL4 – предел итераций для каждой точки при построении переходного процесса;

PERFORM_M – выбор количества точек данных, которые смогут обеспечить аппроксимацию заданных характеристик функции;

PIVREL – минимальное относительное значение, применяемое при возврате матрицы;

PIVTOL – максимальное абсолютное значение, применяемое при возврате матрицы;

RELTOL – устанавливает относительный допуск напряжения и тока;

RMIN – устанавливает минимальное абсолютное значение сопротивления резистора или другого активного элемента (например, сопротивлений базы, эмиттера и коллектора биполярного транзистора)

SD – количество стандартных отклонений от значения допуска;

TNOM – температура измерения параметров моделей и анализов;

TRTOL – значение, на которое по формулам LTE допускают переоценку истинного значения погрешностей;

VNTOL – определяет абсолютный допуск напряжения, который может быть добавлен к относительному допуску;

WIDTH – контролирует входную и выходную величину текстовых колонок. Может быть от 80 до 132;

NOOUTMSG – максимальное количество максимальных ошибок или сообщений;

PRIVATEANALOG – определяет возможность использования личной библиотеки аналоговых элементов;

PRIVATEDIGITAL – определяет возможность использования личной библиотеки цифровых элементов;

TRYTOCOMPACT – архивирует историю входных токов или напряжений приемопередающих линий.

Method – методы интегрирования для расчета итераций и ошибок (Gear и Trapezoidal).

Standard default – устанавливает параметры по умолчанию для всех цепей.

Power default – устанавливает параметры по умолчанию для цепей с большими мощностями.

Список литературы

1. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1988.
2. Интегральные микросхемы. Справочник / Б.В.Тарабрин, Л.Ф.Лунин, Ю.Н.Смирнов и др.; Под редакцией Б. В. Тарабрина. – М.: Радио и связь, 1983.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap V. – Изд. «Солон», 1997.
4. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА. Справочник / Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренок. – Мн.: Беларусь, 1994.
5. Резисторы: Справочник. Под ред. И.И. Четверткова и Н.Я. Четверткова – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и Связь, 1991.
6. Цифровые интегральные микросхемы. Справочник / М.И.Богданович, И.Н.Грель, В.А.Прохоренко, В.В. Шалимо. – Мн.: Беларусь, 1991.
7. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1988.
8. URL: <http://autex.spb.ru/analogdevices/spice>.
9. URL: <http://spectrumsoftware.com>.

Содержание

| | стр. |
|---|------|
| 1 Основные сведения о программе | 3 |
| 2 Создание чертежа схемы | 7 |
| 3 Проведение анализа | 10 |
| 3.1 Меню анализа схем | 10 |
| 3.2 Задание параметров анализа | 11 |
| 3.3 Проведение временного анализа (Transient analysis) | 12 |
| 3.4 Проведение частотного анализа по переменному току (AC analysis)..... | 17 |
| 3.5 Проведение анализа по постоянному току (DC analysis) | 19 |
| 3.6 Проведение динамического анализа по постоянному току (Dynamic DC analysis)..... | 21 |
| Приложение А. Подчиненные разделы меню «Component» | 23 |
| А.1 Analog Primitives (Аналоговые устройства) | 23 |
| А.2 Библиотека аналоговых устройств (Analog Library) | 53 |
| А.3 Digital Primitives (Цифровые устройства) | 53 |
| А.4 Библиотека цифровых устройств (Digital Library) | 68 |
| А.5 Анимация (Animation) | 69 |
| А.6 Фильтры (Filters) | 69 |
| Приложение Б. Редакторы меню Window | 70 |
| Б.1 Редактор компонентов (Component editor) | 70 |
| Б.2 Редактор форм (Shape editor) | 71 |
| Б.3 Редактор корпусов микросхем (Package editor) | 72 |
| Приложение В. Подчиненные разделы меню «Options» | 74 |
| В.1 Предпочтения (Preferences)..... | 74 |
| В.2 Редактор пределов параметров моделей (Model parameter limits editor) | 74 |
| В.3 Общие установочные параметры (Global settings) | 75 |
| Список литературы | 78 |

**Крышнев Юрий Викторович
Гуреева Ольга Викторовна**

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Лабораторный практикум
по курсу «Системы автоматизированного проектирования
устройств промышленной электроники»
для студентов специальности 1-36 04 02
«Промышленная электроника»
дневной и заочной форм обучения
В четырех частях
Часть 1**

Подписано в печать 22.09.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 3,2.

Изд. № 6.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.