Продолжение. Начало в № 11 `2008

Программа схемотехнического моделирования SwitcherCAD III

Михаил ПУШКАРЕВ

В этой части статьи рассмотрены синтаксис языка LTspice и директивы моделирования.

Кратко о LTspice

LTspice — инструмент моделирования схем в SwitcherCAD III. Это программа моделирования схем с поддержкой рисования. LTspiceсимулятор первоначально базировался на Berkeley SPICE 3F4/5. Симулятор претерпел полную переработку с целью улучшения работы, обнаружения ошибок и доведен до состояния промышленного стандарта в полупроводниковых и поведенческих моделях. Наряду с расширением возможностей аналогового SPICE-моделирования добавлена возможность цифрового моделирования, чтобы сделать LTspice симулятором аналогового и смешанного моделирования промышленного уровня для большого класса схем импульсных регуляторов и фильтров на переключаемых конденсаторах.

Многие продукты Linear Technology смоделированы с использованием составляющих собственность блоков и (или) составляющих собственность языка, которые объединяют реалистичное поведение с традиционными макромоделями. Это дает возможность быстро смоделировать систему питания и изготовить прототип.

LTspice может использоваться как SPICEсимулятор схем общего назначения. Новые схемы можно создать с использованием подключенной программы рисования. Команды моделирования и параметры помещаются на схему как текст с использованием синтаксиса SPICE. Щелчком мыши на цепи схемы в процессе моделирования или после моделирования на экран выводятся графики напряжений и токов.

LTspice — зарегистрированная торговая марка Linear Technology Corporation.

Описание схемы

Схемы описываются текстом списка соединений (netlist). Список соединений состоит из списка элементов схемы и их узлов, определений моделей и других SPICE-команд.

Обычно список соединений формируется при графическом вводе схемы. Чтобы начать новую схему, выберите в меню File>Open. Появится окно файлового браузера. Выберите любую имеющуюся схему и сохраните ее под новым именем или создайте новый чистый файл схемы под новым именем. LTspice использует различные типы файлов и документов. Описание схемы сохраняется в файле с расширением .asc. Команды рисования схемы находятся в меню **Edit**. Клавиши быстрого вызова показаны в списке команд редактора схем.

Когда схема моделируется, информация для списка соединений извлекается из графической информации для создания файла с именем схемы, но с расширением .net. LTspice читает его как netlist.

Можно также открывать, моделировать и редактировать текстовый список соединений, созданный вручную или сгенерированный извне. Файлы с расширениями .net, .cir и .sp распознаются LTspice как список соединений.

Общая структура и соглашения

Анализируемая схема описывается текстовым файлом, называемым списком соединений. Первая строка в списке соединений игнорируется, так как по предположению является комментарием. Последняя строка списка соединений обычно просто строка .END, но она может быть опущена. Любые строки после строки .END игнорируются.

Порядок строк между комментарием и концом не регламентирован. Строки могут быть комментариями, параметрами элементов схемы или директивами моделирования. Начнем с примера:

* Первая строка игнорируется * Схема представляет собой резистивно-емкостной фильтр * с входным сигналом прямоугольной формы 1 МГц R1 nl n2 1K; резистор 1 кОм между узлами n1 и n2 Cl n2 0 100р; конденсатор 100 пФ между узлами n2 и «землей» Vl n1 0 PULSE(0 1 0 0 0 .5µ 1µ); прямоугольный сигнал 1 МГц .tran 3µ; анализ переходного процесса продолжительностью 3 мкс .end

Первые две строки — комментарии. Любая строка, начинающаяся с «*», является комментарием и игнорируется. Строка, начинающаяся с «R1», объявляет, что есть резистор сопротивлением 1 кОм, включенный между узлами n1 и n2. Отметим, что при этом может использоваться точка с запятой «;», чтобы начать комментарий в середине строки. Строка, начинающаяся с «С1», объявляет, что есть конденсатор емкостью 100 пФ между узлом n2 и «землей». Узел «0» — глобальная «земля» схемы.

Случайные знаки, пробелы и табуляции игнорируются.

Первый отличный от пробела знак в строке (табл. 6) определяет тип элемента схемы.

Числа могут быть выражены не только в научном написании, например, 1e12, но и с ис-

Таблица 6. Первый символ в строке

Символ, начинающий строку	Тип строки
*	Комментарий
A	Устройство со специальными функциями
В	Источник с произвольным поведением
С	Конденсатор
D	Диод
E	Источник напряжения, управляемый напряжением
F	Источник тока, управляемый током
G	Источник тока, управляемый напряжением
Н	Источник напряжения, управляемый током
I	Независимый источник тока
J	Полевой транзистор с управляющим <i>р-п</i> -переходом (JFET)
K	Взаимная индуктивность
L	Индуктивность
М	МОП-транзистор (MOS)
0	Линия передачи с потерями
Q	Биполярный транзистор
R	Резистор
S	Ключ, управляемый напряжением
Т	Линия передачи без потерь
U	Распределенная RC-цепь
V	Независимый источник напряжения
W	Ключ, управляемый током
Х	Макромодель
Z	Полевой транзистор с затвором Шоттки (MESFET)
	Директива моделирования, например: .options reltol=1e-4
+	Продолжение предыдущей строки. «+» не учитывается и продолжение строки считают частью предшествующей строки

Таблица 7. Масштабные коэффициенты

Суффикс	Масштабный коэффициент
Т	1×10 ¹²
G	1×10 ⁹
Meg	1×10 ⁶
К	1×10 ³
Mil	25,4×10 ⁻⁶
M	1×10-3
u (или µ)	1×10 ⁻⁶
n	1×10 ⁻⁹
р	1×10 ⁻¹²
f	1×10 ⁻¹⁵

Ахх <узел 1> <узел 2> <узел 3> <узел 4> <узел 5> <узел 6> <узел 7> <узел 8> <имя модели> [дополнительные параметры]

Bxx <+yзел> <-yзел> <V=... или I=...>

Схх <+узел> <-узел> <емкость> [ic=<начальное напряжение>] [Rser=<значение>]

=<значение>] [Rpar=<значение>] [Cpar=<значе [m=<значение>] [дополнительные параметры]

Dxx <узел анода> <узел катода <имя модели> [коэффициент кратности area]

Exx <+yзел> <-yзел> <+управляющий узел> <-управляющий узел> <коэффициент передачи>

Fxx <+yзел> <-yзел> <имя управляющего источника напряжения> <коэффициент передачи>

ние>]

[сопротивление замкнутого ключа, сопротивление разомкнутого ключа]

Ххх n1 n2 n3... <имя макромодели>

Zxx <yзел стока> <yзел затвора> <yзел истока> <имя модели [коэффициент кратности area] [проводимость] [IC=<Vds,Vgs>]

[Lser=

пользованием инженерных множителей. Таким образом, 1000 или 1е3 может также быть записано как 1 К. В таблице 7 перечислены масштабные коэффициенты.

Не специфицированные буквы, следующие после числа или инженерного множителя, игнорируются. Следовательно, 10, 10 V, 10 Volts и 10 Hz представляют одно и то же число, и М, МА, MSec и MMhos представляют один и тот же масштабный коэффициент (0,001). Распространенная о состоит в изображении резистора с нием сопротивления 1М, подразум зистор в один мегаом, однако, 1М претируется как резистор с сопроти ем один миллиом. Этим обеспечи совместимость со стандартными SPI вилами.

LTspice воспринимает числа, напи в форме 6К34, как 6,34 К. Это справ для любого из перечисленных множ Эта возможность может быть выключ дующим путем Tools>Control Panel с отключением Accept 3K4 as 3.4K.

Имена узлов могут быть произво набором символов. Узел глобальной схемы — «0», хотя есть и «GND» — специаль ный синоним. Поскольку узлы обозначаются строкой символов, то «0» и «00» — разные цепи.

Во всех последующих разделах угловые скобки, помещенные вокруг полей данных, должны быть заполнены соответствующей информацией, например, <srcname> будет именем некоего определенного источника. Квадратные скобки указывают, что вложенные в поле данные являются дополнительными и необязательными.

Синтаксис компонента

Компоненты, поддерживаемые в LTSpice, и их синтаксис приведены в таблице 8.

Директивы моделирования. Команды с точкой

Для начала моделирования необходимо определить не только схему, но и вид анализа, который будет выполнен. Есть шесть различных типов анализа: линеаризованный анализ на переменном токе в режиме малого сигнала (linearized small signal AC), анализ на постоянном токе со ступенчатым изменением параметра (DC sweep), анализ шумов (noise), расчет рабочей точки на постоянном токе (DC operating point), нахождение передаточной функции на постоянном токе в режиме малого сигнала (small signal DC transfer function) и анализ переходного процесса (transient analysis). Один из этих типов анализа должен быть правильно описан.

Схема обычно изображается графически, а команды помещаются в схему как текст. Все такие команды начинаются с точки и поэтому названы «команды с точкой».

оэффи-	Источник тока, управляемый напряжением	Gxx <+yзел> <−узел> <+управляющий узел> <−управляющий узел> <коэффициент передачи>
ошибка	Источник напряжения, управляемый током	Hxx <+узел> <-узел> <имя управляющего источника напряжения> <коэффициент передачи>
о значе-	Независимый источник тока	lxx <+узел> <-узел> <значение тока>
евая ре-	Полевой транзистор с управляющим <i>р-п</i> -переходом (JFET)	Јхх <узел стока> <узел затвора> <узел истока> <имя модели> [коэффициент кратности area] [проводимость] [IC= <vds,vgs>] [temp=<температура>]</vds,vgs>
интер-	Взаимная индуктивность	Кхх L1 L2 L3 <коэффициент связи>
ивлени-	Индуктивность	Lxx <+yзел> <-yзел> <индуктивность> [ic=<начальный ток>] [Rser=<значение>] [Rpar=<значение>] [Cpar=<значение>] [m=<значение>] [дополнительные параметры]
ивается СЕ-пра-	МОП-транзистор (MOSFET)	Мхх <узел стока> <узел затвора> <узел истока> <узел подложки> <имя модели> [L=<длина канала>] [W=<ширина канала>] [AD=<ллощадь стока>] [AS=<ллощадь истока>] [PD= <neриметр стока="">] [PS=<neриметр истока="">] [NRD= [NRS=<значение>] [проводимость] [IC=<vds, vbs="" vgs,="">] [temp=<temneparypa>]</temneparypa></vds,></neриметр></neриметр>
	Линия передачи с потерями	Охх <+узел порта L> <-узел порта L> <+узел порта R> <-узел порта R> <имя модели>
асанные ведливо	Биполярный транзистор	Qxx <узел коллектора> <узел базы> <узел эмиттера> [узел подложки] <имя модели> [козффициент кратности аrea] [проводимость] [[C=Vbe,Vce][temp= <remneparypa>]</remneparypa>
кителей.	Резистор	Rxx <узел1> <узел2> <сопротивление> [дополнительные параметры]
иена сле-	Ключ, управляемый напряжением	Sxx <yзел1> <yзел2> <+управляющий узел> <-управляющий узел> <имя модели> [сопротивление замкнутого ключа, сопротивление разомкнутого ключа]</yзел2></yзел1>
I>SPICE	Линия передачи без потерь	Txx <+yaen nopra L> <+yaen nopra R> ZO=≤snauenиe> TD=≤snauenиe>
ОЛЬНЫМ	Однородная RC-линия	Uxx <yзел1> <yзел2> <yзел общий=""> <имя модели> L=< длина, м></yзел></yзел2></yзел1>
«земли»	с распределеными параметрами	[N=<количество сегментов>]
	Независимый источник напряжения	Vxx <+yзел> <-yзел> <значение напряжения>
ісциаль-		Wxx <y3en1> <y3en2> <имя управляющей ветви> <модель></y3en2></y3en1>

Таблица 8. Синтаксис компонентов

Устройство со специальными функциями

Источник с произвольным поведением

Конденсатор

Диод

Источник тока, управляемый током

Источник напряжения, управляемый напряжени

.АС — анализ на переменном токе в режиме малого сигнала, линеаризованный в окрестности рабочей точки по постоянному току (расчет частотных характеристик)

Ключ, управляемый током

Макромодель

Полевой транзистор с затвором Шоттки (MESFET)

Для малых приращений сигнала (линейных) на переменном токе LTspice вычисляет комплексные значения узловых напряжений и токов ветвей в функции частоты. Сначала определяется рабочая точка схемы по постоянному току. Затем находятся линеаризованные лля малого сигнала молели всех нелинейных компонентов схемы в этой рабочей точке. И, наконец, при использовании независимых источников напряжения и тока как управляющие сигналы результирующая линеаризованная схема обсчитывается в заданном диапазоне частот.

Этот метод применяется при анализе фильтров и цепей, устойчивости и шумов.

Синтаксис:

.ac <oct, dec, lin> <количество точек> <начальная частота> <конечная частота>

Частота изменяется от <начальной частоты> до <конечной частоты>. Ключевые слова oct, dec устанавливают логарифмический характер изменения частоты октавами и декалами соответственно, lin — линейное изменение частоты. Ключевое слово <количество точек> определяет количество точек на октаву, декаду или весь диапазон частот.

Директива .АС вносится в лист схемы по команде Edit>SPICE Analysis с последующим вы-

ransient	AC Analysis	DC sweep	Noise	DC Transfer	DC op pnt	
Compute	the small signa	IAC behavio	r of the c point.	ircuit linearized	about its DC ope	erating
		Type of	Sweep:	Decade	~	
	Number	of points per	decade:	100		
		Start Fre	quency:	1		
		Stop Fre	quency:	10MEG		
yn tax .ac ac dec 10	<oct, dec,="" lino<="" th=""><th><npoints> <</npoints></th><th>StartFree</th><th>¢ <endfreq></endfreq></th><th></th><th></th></oct,>	<npoints> <</npoints>	StartFree	¢ <endfreq></endfreq>		
	Cancel	[OK			

бором в диалоговом окне пункта AC Analysis и заполнением ячеек соответственно заданию. Диалоговое окно показано на рис. 31.

Один из примеров анализа на переменном токе содержится в файле ... LTC\SwCADIII\examples\Educational\phono.asc.

.BACKANNO — связь имен выводов макромодели с токами портов Синтаксис:

.backanno

Эта директива автоматически включается в каждый список соединений, генерируемый SwitcherCAD III из схемы. Она заставляет LTspice включить в .raw файл информацию о связи токов портов с именами выводов. Это позволяет отображать ток через вывод компонента щелчком мыши на выводе компонента.

.DC — анализ режима по постоянному току

с вариацией параметров источников

По этой директиве выполняется анализ по постоянному току со ступенчатым изменением параметра источника постоянного напряжения или тока. Одновременно может быть использовано до трех источников. Директива, в частности, применяется для вычисления передаточной функции усилителя по постоянному току или отображения характеристик для проверки модели транзистора.

Синтаксис:

.dc < имя 1-го источника> < начальное значение> <конечное значение> < приращение> [<имя 2-го источника> < начальное значение> <конечное значение> < приращение>]

«Имя источника» — имя независимого источника напряжения или тока, выходной сигнал которого задается ступенями <приращение» от <начального значения» до <конечного значения».</p>

Это не документировано разработчиком, но возможно в качестве одного из источников указывать температуру. При вариации температуры в качестве имени источника указывается ключевое слово TEMP.

Параметры моделирования задаются с использованием диалогового окна, вызываемого по команде меню Edit>SPICE Analysis с выбором пункта DC sweep, показанного на рис. 32.

Compute the DC operating point of a circuit white stepping independent sources treating capacitances as open circuits and inductances as short circuits. 1st Source 2nd Source 3rd Source Name of 1st Source to Sweep; V1 Type of Sweep; Linear Start Value; 10
1st Source 2nd Source Name of 1st Source to Sweep: V1 Type of Sweep: Linear Start Value: 10
Name of 1st Source to Sweep: V1 Type of Sweep: Linear V Start Value: 10
Type of Sweep: Linear Start Value: 10
Start Value: 10
The second se
Stop Value: 30
Increment: 5
Stop Value: 30 Increment: 5

Рис. 32. Задание параметров .DC-анализа

Для каждого от одного до трех независимых источников необходимо указать его имя, характер изменения его выходного сигнала (линейный, логарифмический на октаву или декаду, задаваемый в виде списка значений), начальное и конечное значения, шаг изменения или количество точек.

В качестве выходного сигнала выступают разность узловых потенциалов или ток через ветвь с включенным в нее резистором.

В файле ...LTC\SwCADIII\examples\Educational\ stepmodelparam.asc показан пример использования .DC-директивы для демонстрации выходных характеристик биполярного транзистора.

.END — конец списка соединений

Эта директива отмечает конец текстового списка соединений. Все строки после нее игнорируются. Не нужно помещать директиву как текст на схеме, поскольку экстрактор списка соединений делает это самостоятельно.

.ENDS — конец описания макромодели Синтаксис:

.ends [имя макромодели]

Эта директива отмечает конец описания макромодели. (См. .SUBCKT для дополнительной информации.) Необязательный параметр [имя макромодели] используется для удобства чтения и анализа текстового файла.

.FOUR — вычисление Фурье-компонентов после .TRAN-анализа Синтаксис:

.four <частота первой гармоники> [количество гармоник] [количество периодов] <выходные данные 1> [<выходные данные 2>...]

Например:

.four 1kHz V(out)

Эта команда выполняется после анализа переходного процесса. Результат выполнения команды печатается в файл .log. Для просмотра результата используется команда меню View>Spice Error Log. В большинстве случаев для быстрого преобразования Фурье лучше воспользоваться возможностями окна графиков по команде меню View>FFT.

Задается частота первой гармоники и количество анализируемых гармоник. По умолчанию рассчитываются первые 9 гармоник.

Фурье-анализ выполняется на отрезке времени, отстоящем от конечного времени, Tend, более чем на период, по меньшей мере, на один период, если после количества гармоник указано количество периодов. Если количество периодов задано равным –1, Фурье-анализ выполняется по всему временному отрезку.

Пример использования директивы .FOUR приведен в файле ...LTC\SwCADIII\examples\Educational\audioamp.asc.

.FUNC — функции, определяемые пользователем Синтаксис:

.func <имя>([аргументы]) {<выражение>}

Например:

.func Pythag(x,y) {sqrt(x*x+y*y)}

Директива .FUNC позволяет создание пользовательских функций для использования в собственных параметризованных схемах и поведенческих источниках. Этим обеспечивается понятная ассоциативная связь имени с функцией и параметризованной макромоделью, чтобы абстрактные схемы можно было сохранить в библиотеках.

Директива .FUNC может быть включена в описание макромодели, чтобы ограничить использование функции этой макромоделью и макромоделями, входящими в нее.

Чтобы вводить параметр и оценивать выражение пользовательской функции, выражение заключается в фигурные скобки. Вложенное выражение будет заменено числом с плавающей точкой.

Пример использования директив .FUNC и .PARAM:

```
* Example deck using a .func statement .func myfunc(x,y) [sqrt(x*x+y*y)] .param u=100 v=600 V1 a 0 pulse(0 10 1n 1n .5\mu 1\mu) R1 a b [myfunc(u,v/3)] C1 b 0 100p .tran 3\mu .end
```

Подстановка параметров делается до начала моделирования.

.FERRET — загрузка файла данных с использованием URL

Эта команда позволяет загружать файлы пакетным способом, указывая URL. Это удобно, когда не хочется указывать пути к каждому файлу через интернет-браузер. Загруженный файл будет в том же каталоге, что и исходная схема или список соединений. Эта команда не имеет никакого воздействия на моделирование:

* example deck

.ferret http://ltspice.linear.com/software/scad3.pdf .end

.GLOBAL —

назначение глобальных узлов Синтаксис:

.global <узел1> [узел2 [узел3] [...]]

Например:

.global VDD VCC

Команда .GLOBAL позволяет объявить, что определенные узлы, упомянутые в макромоделях, не локальные для макромодели узлы, а абсолютно глобальные узлы.

Общим глобальным для схемы является узел «0», для этого не требуется использовать директиву .GLOBAL. Узлы с именами в форме «\$G_» также являются глобальными без упоминания в директиве .GLOBAL.

.IС — задание начальных условий

Директива .IC задает начальные условия для анализа переходных процессов. Могут быть заданы узловые напряжения и токи через катушки индуктивности. Решение для постоянного тока выполняется с использованием начальных условий как ограничений. Если катушки индуктивности в решении для постоянного тока в других SPICE-программах обычно рассматриваются коротко замкнутыми, в LTspice, если начальный ток определен, они рассматриваются как источники тока бесконечного импеданса.

Синтаксис:

.ic [V(<y3en>)=<+anpsmenue>] [I(<katymka>)=<tok>]

Например:

.ic V(in)=2 V(out)=5 V(vc)=1.8 I(L1)=300m

.INCLUDE —

подключение текстовых файлов Синтаксис:

.include <имя файла>

Эта директива подключает названный файл, как будто этот файл напечатан в списке соединений вместо команды .INCLUDE. Она используется для подключения библиотек моделей или макромоделей.

В имени файла должен быть указан полный путь к нему. Иначе LTspice смотрит сначала в каталоге <SwCADIII>\lib\sub, а затем в каталоге, который содержит запрашиваемый список соединений, где <SwCADIII> каталог, содержащий исполняемый scad3.exe, типично устанавливается как C:\Program Files\LTC\SwCADIII.

Недопустимо игнорировать расширение имени файла. Следует использовать .inc myfile.lib, а не .inc myfile, если файл называется myfile.lib.

Можно определить url как имя файла следующим образом:

.inc http://www.company.com/models/library.lib

Файл library.lib будет передан в каталог схемы и подключен. Во избежание повторной загрузки файла при следующем сеансе моделирования можно отредактировать директиву .INC.

.inc library.lib

Отметим, что если запрашиваемый url не существует, большинство серверов сети не показывают ошибку, но показывают html web-страницу в вашем web-браузере, которая объясняет ошибку. LTspice может не всегда воспринимать эти страницы как указание на ошибку, таким образом, можно получить некое загадочное сообщение об ошибке, когда идет процесс моделирования с включением html web-страницы как директивы SPICE.

Если полученный документ представляет собой .pdf-файл, моделирование прервется после загрузки. Например, после загрузки файла .pdf будет получен следующий комментарий:

* Dummy simulation to download the help file. * The simulation will abort with an error, but * you'll be left with the file scad3.pdf in the same directory containing the netlist. .inc http://ltspice.linear.com/software/scad3.pdf .end

Директива .INCLUDE использована в примере ...LTC\SwCADIII\examples\Educational\ logamp.asc для подключения макромодели компонента оратр, в атрибутах которого нет указания на имя макромодели или файл, ее содержащий.

.LIB — подключение библиотеки Синтаксис:

.lib <имя файла>

Эта директива подключает модель и описание макромодели в названном файле, как будто этот файл напечатан в списке соединений вместо команды .lib. Если модель (модели) компонентов в подключаемом файле имеет альтернативные описания в библиотеке LTSpice, то последние игнорируются.

В имени файла должен быть указан полный путь к нему. Иначе LTspice смотрит сначала в каталоге <SwCADIII>\lib\sub, а затем в каталоге, который содержит запрашиваемый список соединений, где <SwCADIII>каталог, содержащий исполняемый scad3.exe, типично устанавливается как C:\Program Files\ LTC\SwCADIII.

Недопустимо игнорировать расширение имени файла. Необходимо указать .lib myfile.lib, а не .lib myfile, если файл называется myfile.lib

Можно определить url как имя файла следующим образом:

lib http://www.company.com/models/library.mod

Файл library.mod будет передан в каталог схемы и подключен. Во избежание повторной загрузки файла при следующем сеансе моделирования можно отредактировать указание .lib:

lib library.mod.

Зашифрованные библиотеки

LTspice может генерировать и читать библиотеки, зашифрованные в специальной форме. Это позволяет одному пользователю готовить библиотеку для другого пользователя, которую можно использовать в моделировании, не показывая ее содержимое. Резонно попытаться сделать зашифрованную библиотеку, которую исключительно сложно расшифровывать, но такое решение нельзя считать абсолютным, если только не решить проблему непосредственно в программном обеспечении.

Чтобы подготовить зашифрованную библиотеку, нужно вызвать LTspice из командной строки с выбором опции «-encrypt». Сначала следует сделать копию библиотеки, поскольку она будет заменена зашифрованной версией. Нет никакой возможности преобразовать зашифрованную библиотеку обратно в текстовый формат. Уточним эти два шага: 1. Сделайте резервные копии библиотеки.

Версия, которая кодируется, будет удалена. 2. В командной строке напечатайте:

scad3.exe -encrypt <filename>

Файл <filename> будет заменен зашифрованной версией. Процесс шифрования займет несколько минут.

По окончании этого процесса вы будете иметь зашифрованный ASCII-файл. Можно добавить уведомление об авторском праве выше строки «*Begin:», но первые 9 строк файла должны остаться неизменными, и каждая строка уведомления об авторском праве, добавленная вами, должна начинаться символом «*».

Итак, приведем пример зашифрованного файла, созданный LTspice:

* LTspice Encrypted File

* This encrypted file has been supplied by a 3rd * party vendor that does not wish to publicize * the technology used to implement this library. * Permission is granted to use this file for * simulations but not to reverse engineer its ⁺ contents.

* Begin: 50 3E 46 0F FA 6E 67 FF B8 4D D9 62 14 32 60 24 36 71 35 0B 66 4F AD 52 B8 F5 9E 22 9F C0 18 8B FB FE 1D..

Можете изменить файл следующим образом:

* LTspice Encrypted File

* This encrypted file has been supplied by a 3rd * party vendor that does not wish to publicize the technology used to implement this library

- * Permission is granted to use this file for simulations but not to reverse engineer its
- * contents.

* Copyright © 2005 Acme SPICE Modeling

For additional information, se

* www.acmespicemodels.com

* Begin 50 3E 46 0F FA 6E 67 FF B8 4D D9 62 14 32 60 24 36 71 35 0B 66 4F AD 52 B8 F5 9E 22 9F C0 18 8B FB FE 1D.

.LOADBIAS — загрузка предварительно выполненного расчета по постоянному току

Синтаксис:

.loadbias <имя файла>

Команда LOADBIAS — дополнение к команде .SAVEBIAS. Сначала выполните моделирование по команде .SAVEBIAS. Затем измените команду .SAVEBIAS на команду .LOADBIAS.

.MEASURE — измерение заданных пользователем электрических величин

Есть два различных варианта директив .MEASURE. В первом случае обращаются к точке на оси абсцисс (независимая переменная, откладываемая по горизонтальной оси, ось времени для .TRAN-анализа), во втором случае обращаются к диапазону по оси абсцисс. Первый вариант используется, чтобы найти значение данных или выражения в заданной точке на оси абсцисс, или когда выполняется необходимое условие. Используется следующий синтаксис:

.meas[sure] [ACIDCIOPITRANITFINOISE] <нмя результата> [<FINDIDERIVIPARAM> <выражение>] [WHEN <выражение>] AT=<выражение>]] [TD = <значение1>] [<RISEIFALLICROSS> = [<огсчет1> ILAST]]

Здесь [ACIDCIOPITRANITFINOISE] — вид анализа, к которому применяется директива; FIND (найти); DERIV (производная); PARAM (использование результатов предшествующих измерений); WHEN (условие); AT (координата точки измерения на оси абсцисс); TD (задержка в единицах измерения по оси абсцисс относительно момента выполнения условия); RISE (увеличение); FALL (уменьшение); CROSS (пересечение); LAST (последний случай).

В первой позиции можно указать вид анализа, к которому применяется директива .MEAS. Это позволяет использовать соответствующие директивы .MEAS только в определенных видах анализа. Обязательно следует присваивать имя результату, который может быть использован в качестве параметра в других директивах .MEAS. Далее — примеры директивы .MEAS с обращением к одной точке на оси абсцисс:

.MEAS TRAN res1 FIND V(out) AT=5m

Результат — значение V(out) для t = 5 мс, именованный как res1.

.MEAS TRAN res2 FIND V(out)*I(Vout) WHEN V(x)=3*V(y)

Результат — значение выражения V(out)*I(Vout), когда условие V(x)=3*V(y) встречается в первый раз. Он будет именован как res2.

.MEAS TRAN res3 FIND V(out) WHEN V(x)=3*V(y) cross=3

Результат — значение V(out), когда условие V(x)=3*V(y) встречается в третий раз. Он будет именован как res3.

.MEAS TRAN res4 FIND V(out) WHEN V(x)=3*V(y) rise=last

Результат — значение V(out), для которого условие V(x)=3*V(y) встречается в последний раз, либо когда V(x) максимально близко к 3*V(y). Он будет именован как res4.

.MEAS TRAN res5 FIND V(out) WHEN V(x)=3*V(y) cross=3 TD=1m

Результат — значение V(out) через 1 мс после того, как условие V(x)=3*V(y) встречается в третий раз. Он будет именован как res5.

.MEAS TRAN res6 PARAM 3*res1/res2

Результат — значение 3*res1/res2. Такая форма используется, чтобы определить значение выражения, составленного из результатов других .MEAS-утверждений. Не предполагается, что в оцениваемом выражении присутствуют непосредственные результаты моделирования, например, V(3), если только это не данные из последней точки моделирования. Результат именован как res6.

В приведенных примерах обращения к одной точке на оси абсцисс результат соответствует данным ординаты (зависимые переменные). Если информация об ординате не требуется, результатом .MEAS-утверждения будет точка на оси абсцисс, в которой выполняется условие измерений:

.MEAS TRAN res6 WHEN V(x)=3*V(y)

Результат — это момент времени, когда условие $V(x)=3^*V(y)$ встречается впервые. Он именован как res6.

Второй вариант директивы .MEAS обращается к диапазону по абсциссе. Используется следующий синтаксис:

.meas [ACIDCIOPITRANITFINOISE] <имя результата> [<AVGIMAXIMINIPPIRMSIINTEG> <выражение>] [TRIG <hsl> [[VAL] =] <rhsl>] [TD = <заначение1>] [<RISEIFALLICROSS> = <orgetri>] [TARG <hs2> [[VAL] =] <rhs2>] [TD = <значение2>] [<RISEIFALLICROSS> = <orgetr2>]

Диапазон по абсциссе ограничен точками, определенными как «TRIG» и «TARG». По умолчанию точка TRIG устанавливает начало моделирования и может быть опущена. Точно так же точка TARG по умолчанию соответствует данным в конце моделирования. Если все три из TRIG, TARG и WHEN точки опущены, то утверждение .MEAS действует на весь диапазон данных. Типы измерений, **Таблица 9.** Вычислительные операции, выполняемые по диапазону данных

Ключевое слово	Выполняемая по диапазону операция
AVG	Вычисление среднего значения <выражение>
MAX	Нахождение максимального значения <выражение>
MIN	Нахождение минимального значения <выражение>
PP	Нахождение размаха от пика до пика <выражение>
RMS	Вычисление среднеквадратичного значения <выражение>
INTEG	Интегрирование <выражение>

которые могут быть выполнены в интервале, перечислены в таблице 9.

Если никакое измерение не задано, результат директивы .MEAS — расстояние по абсциссе между точками TRIG и TARG. Далее пример директивы .MEAS по диапазону:

. MEAS TRAN res
7 AVG V(NS01) TRIG V(NS05) VAL=1.5 TD=1.1
u FALL=1 TARG V(NS03) VAL=1.5 TD=1.1
u FALL=1

Результат — среднее значение напряжения V(NS01) на отрезке времени от 1-го уменьшения V(NS05) до 1,5 В с задержкой 1,1 мкс и до 1-го уменьшения V (NS03) до 1,5 В с задержкой 1,1 мкс. Результат именован как res7.

Для .AC-анализа условные выражения в комплексных данных упрощаются до вещественной части с преобразованием в выражение для амплитуды. Например:

.MEAS AC res8 when V(out)=1/sqrt(2)

Результат res8 — частота, на которой величина V(out) равна 0.7071067811865475.

Кроме того, результат директивы .MEAS может использоваться в другой директиве .MEAS. В следующем примере рассчитана полоса пропускания на уровне 3 дБ:

.MEAS AC tmp max mag(V(out)); найдем амплитуду и запомним как tmp .MEAS AC BW trig mag(V(out))=tmp/sqrt(2) rise=1 targ mag(V(out))=tmp/sqrt(2) fall=last

Результат — разность частот между двумя точками, лежащими на 3 дБ ниже максимального значения сигнала. Отметим, что данные, получаемые в .AC-анализе, комплексные, и таковы же результаты по директиве .MEASURE. Тем не менее, равенство оперирует только с реальной частью комплексного числа, то есть выражение mag(V(out))=tmp/sqrt(2) эквивалентно Re(mag(V(out)))=Re(tmp/sqrt(2)).

Операции AVG, RMS и INTEG в .NOISEанализе несколько иные, чем в анализах других типов, так как .NOISE связан с квадратом частоты. Таким образом, и AVG, и RMS дают среднеквадратичное напряжение шумов, а INTEG дает интегрированный полный шум. Следовательно, если вы добавляете SPICE-директивы:

.MEAS NOISE out_totn INTEG V(onoise) .MEAS NOISE in_totn INTEG V(inoise) к .NOISE-анализу, в .log-файле будут напечатаны значения полных интегрированных среднеквадратичных шумов, приведенных к выходу и входу.

Директива .MEAS выполняется после окончания моделирования. Это позволяет записывать сценарии директив .MEAS и выполнять их над набором данных. Для этого сделайте окно графиков активным и выполните команду меню File>Execute .MEAS Script. Другое последствие .MEAS-директив, выполняемых после моделирования, — то, что точность вычислений ограничена точностью данных графика после сжатия. Можно изменить параметры настройки сжатия для получения более точных результатов по .MEAS-директиве.

Не следует задавать условие в виде равенства, типа «when <cond1> = <cond2>». Это объясняется тем, что равенство чисел в форме с плавающей запятой никогда не должно требоваться из-за конечной точности, используемой при хранении чисел.

Пример использования директивы .MEASURE приведен в файле ...LTC\SwCADIII\examples\ Educational\MeasureBW.asc.

.MODEL — определение SPICE-модели

Директива определяет модель для диода, транзистора, ключа, линии передачи с потерями или однородной RC-линии.

Некоторые элементы схемы, например, транзисторы, имеют много параметров. Вместо того чтобы определять каждый параметр для каждого транзистора, транзисторы объединены именем модели и имеют общие параметры. Транзисторы одной модели могут иметь различные размеры, и электрическое поведение масштабируется в соответствии с размером.

Синтаксис:

.model <имя модели> <имя типа модели> [(<список параметров>)]

Например:

.model DIODE D (Is=1E-10)

Таблица 10. Имена типов моделей компонентов

Имя типа модели	Тип компонента
CSW	Ключ, управляемый током
D	Диод
LTRA	Линия передачи с потерями
NJF	Полевой транзистор с каналом <i>п</i> -типа
NMF	MESFET с каналом <i>п</i> -типа
NMOS	МОП-транзистор с каналом <i>п</i> -типа
NPN	Биполярный <i>п-р-п</i> -транзистор
PJF	Полевой транзистор с каналом р-типа
PMF	MESFET с каналом <i>р</i> -типа
PMOS	МОП-транзистор с каналом <i>р</i> -типа
PNP	Биполярный <i>р-п-р</i> -транзистор
SW	Ключ, управляемый напряжением
URC	Однородная RC-линия с распределенными параметрами
VDMOS	Мощный вертикальный МОП-транзистор

Имя модели должно быть уникальным. Таким образом, два различных типа элементов схемы, типа диода и транзистора, не могут иметь одного имени модели. Список параметров зависит от ее типа. В таблице 10 приведен перечень типов моделей.

.NET — расчет параметров цепей в .AC-анализе

Эта директива используется при .AC-анализе в режиме малого сигнала, чтобы вычислить входной и выходной адмиттанс, импеданс, Y-, Z-, H- и S-параметры четырехполюсника. Эту методику можно также использовать для вычисления входного адмиттанса и импеданса двухполюсника. Директива должна использоваться с директивой .AC, определяющей девиацию частоты при анализе цепи.

Синтаксис:

.net [V(out[,ref])|I[(Rout)] <Vin|Iin> [Rin=<значение>] [Rout=<значение>]

Входной порт цепи определяется либо независимым источником напряжения, <Vin>, либо независимым источником тока, lin>. Соответственно, выходной порт определяется либо как узел, V(out), либо как резистор, I(Rout). К портам подключаются резисторы Rin и Rout. Если не указано определенно, подключаемые импедансы по умолчанию 1 Ом, кроме случаев источника напряжения с определенным Rser или выходного порта, определенного как резистор. В этих двух случаях подключаемые резисторы по умолчанию являются импедансами устройства. Импедансы подключаемых по директиве .NET устройств действительны только для вычислений по этой директиве, но не для узловых напряжений и токов обычного .АС-анализа. То есть директива .NET не навязывает подключаемые к цепи импедансы при расчете напряжений и токов в процессе .АС-анализа.

Файл примера — ...\LTC\SwCADIII\examples\ Educational\S-param. Рекомендуется использовать источник напряжения, V4, с установкой требуемого импеданса источника Rser, и резистор, Rout, подключенный к выходу, с простой формой записи директивы .net I(Rout) V4. При этом нет необходимости задавать значения Rin или Rout в директиве .NET, достаточно задать характеристики устройств, подключенных к входу и выходу.

Доступ к графикам зависимостей малосигнальных параметров по команде Plot Settings> Visible Traces или View>Add Trace.

.NODESET — задание начального режима по постоянному току

Директива .NODESET устанавливает начальные значения узловых потенциалов в рабочей точке по постоянному току. Если схема имеет множество возможных состояний по постоянному току, например, триггер, процесс итерации решения по постоянному току может никогда не сойтись. Директиву .NODESET можно использовать, чтобы установить схему в то или иное состояние. В основном, после того как выполнен проход решения с напряжением, определенным в директиве .NODESET, ограничение удаляется в последующих итерациях. Синтаксис:

.nodeset V(узел1)=<напряжение> [V(узел2)=<напряжение [...]]

.NOISE — расчет спектральной плотности шумов Синтаксис:

.noise V(<узел1>[,<узел2>]) <имя источника> <oct, dec, lin> <количество точек> <начальная частота> <конечная частота>

Это — анализ в частотной области, в котором вычисляются джонсоновский тепловой шум, дробовый и фликкер-шумы. Выходные данные — значения квадратного корня из спектральной плотности шумов.

V(<узел1>[,<узел2>]) — участок цепи, для которого вычисляется полный выходной шум. Это может быть выражено как V (n1, n2), чтобы представить напряжение между двумя узлами. <Имя источника> — имя независимого источника напряжения или тока, к входу которого пересчитывается шум. Это фиктивный не шумящий источник сигнала. Параметры <oct, dec, lin>, <количество точек>, <начальная частота> и <конечная частота> определяют интересующий частотный диапазон и разрешение таким же образом, как и при использовании в директиве .АС. Параметры анализа вводятся с помощью диалогового окна (рис. 33), вызываемого по команде меню Edit>Spice Analysis, с выбором пункта Noise.

График выходных данных V(onoise) — спектральная плотность шумового напряжения в узле (узлах), определенных как выход в вышеупомянутом синтаксисе. Если источник входного сигнала — источник напряжения, то график V(inoise) — приведенная к входу плотность напряжения шумов. Если источник входного сигнала — источник тока, то график inoise — шум, приведенный к току источника входного сигнала. Может быть

Perform a stochastic noise analysis of the circuit linearized about its DC ope point. Usdput: V(out) Input: V3 Type of Sweep: Octave V Number of points per octave 100	rating
Dułput: V(out) Input: V3 Type of Sweep: Octave V Number of points per octave 100	
Input: V3 Type of Sweep: Octave Number of point: per octave: 100	
Type of Sweep: Octave Number of points per octave: 100	
Number of points per octave: 100	
Start Frequency: 1	
Stop Frequency: 20K	
mlascnoise V[<oub.[<reb.]] <rec=""> <oct, dec,="" lin=""> <npoints> <statfreq> <er noise V[out] V3 oct 100 1 20K.</er </statfreq></npoints></oct,></oub.[<reb.]]>	dFreq

Рис. 33. Задание параметров .NOISE-анализа

Таблица 11. Параметры моделирования

ABSTOL число 1 nA Αбсолотьа порешность расита токов BAUTRATE число 10 φK Μοποτητές πραγηρούτης το βμάνους 3.824 στρέκεις «παναιθωμαία διέτου αναιστάς» CSHUNT число 0 Дополнительная ексерцирования Казадору уругистоствино завилия CSHUNTTERN число 0 Дополнительная ексерцирования Казадору уругистоствино завилия DEFAD число 0 Площадь истока МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 0 Площадь истока МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 0 Площадь истока МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 0 Использучется пропреклютер тарибилоко. Переенцает спраконстора по умолнанию DEFW число 0 Использучется при просичлоре тарибилоко. Переенцает спраконстора по умолнанию DEFA число 0 Использучется при просичлоре тарибилоко. Переенцает спраконстора по умолнанию DEFA число 0 Использучется при просичлоре тарибилоко. Переенцает спраконстов тока за при проценска FLSGLODAD число 25 Устанализиная просадиность доблаяления какадому до тосистельно за камия. TIL число	Параметр	Тип данных	Значение по умолчанию	Наименование
BAUTRATE wence ier Используется при проскотре прафиков. Задаят реком ставинания слаживания Солона CSHUNT число 0 Дополнительная секость, добаллямая к жидому зулу относлевные замлия. CSHUNT число 0 Дополнительная секость, добаллямая к жидому зулу относлевные замлия. DEFAD число 0 Плопанда стояк МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 0 Плопанда истояк МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 00 мем Длебаллямая к сиждому укруменнему узи укронения DEFA число 00 мем Плопанда истояк МОП-трананстора по умолнанию DEFA число 0 Используется при проскотре графиков. Перемещает полания бого в трафиков. DEFW число 0 Используется при проскотре графиков. Перемещает полания бого в трафиков. FLSTACCESS филаr false Веллечение вишких источников. Ваконсечение вишких источников. Ваконсечение вишких источников. GMIN 1 число 0 Дополнительныя правида праконсе по по постоянному трано. GMIN 1 число 0 Дополнительныя правида праконсе по по постоянному трано. GMIN 1 число	ABSTOL	число	1 nA	Абсолютная погрешность расчета токов
CHOTOL число 10 ф.K Абсолотака потрешность рачента зарада CSHUNTINTERN число 0 Дополнятельная в кождору удлу стойслетанно завилия DEFAD число 0 Дополнятельная в кождору удлу стойслетанно завилия DEFAD число 0 Площадь тисток МОП-транзистора по умолнанию DEFAD число 0 Площадь тисток МОП-транзистора по умолнанию DEFA число 0 Площадь тисток МОП-транзистора по умолнанию DEFW число 0 Используется при рисложав редикоко. Премещается пользини битов в трафике FASTACCESS флаг false Преобразование 4 формат фаña fastacces в коще моделокари пользини битов в трафике FLSGLOADS флаг false Проодумисл., добалления к каждору <i>p</i> -лекрехару для облек-чемя рокразования GMIN число 0 Дополнительная провдутов страфиков. Премещадителя пользини битов в трафике GSHUNT число 5 Victawasinaece количество итрадий пр расисте переходу к сласурошутову полотеленной у току TLS число 0 Дополнительная провдутов срасурошутову полу TLS число 5 Маскомалино	BAUTRATE	число	нет	Используется при просмотре графиков. Задает режим сглаживания битовых переходов
CSHUNT число 0 Дополнительная енисоть, добавляемая к каждому удо стосительно еземлия Дополнительная енисоть, добавляемая к каждому учутрейства относительно еземлия DEFAD число 0 Площарь стока МОП-трананстора по учолнанию DEFA число 0 Площарь стока МОП-трананстора по учолнанию DEFA число 100 мим Длековим МОП-трананстора по учолнанию DEFA число 0 Исползувуста при проскорае графиков. Перекемцает ползици бито в ракон в ракон в ракон то учолнанию DEFW число 0 Исползувуста при проскорае графиков. Перекемцает ползици бито в ракон в трафиков FLSGLOADS флаг false Преобразоване в формат файла fatacces в нолеки моделировании FLSGLOADS флаг false Ословнительная проводимость, добавляемая к каждому улу относительно еземлия GMIN число 0 Дополнительная проводимость, добавляемая к каждому улу относительно еземлия GMIN 1 число 0 Дополнительная к каждому улу относительно еземлия GMIN число 0 Дополнительная проводимость, добавляемая к каждому улу относительно еземлия GMIN число 0 Масимальная кождому улу относительно	CHGTOL	число	10 фК	Абсолютная погрешность расчета заряда
CSHUNTINTERN wiczo calunt Defaultion Defaultion DEFAD wiczo 0 Плоцадь стока MOIT-транзистора по умолчанию DEFA wiczo 0 Плоцадь стока MOIT-транзистора по умолчанию DEFA wiczo 100 мюм Длина камала MOIT-транзистора по умолчанию DEFW wiczo 100 мюм Длина камала MOIT-транзистора по умолчанию DEFW wiczo 0 Использутст просохотре графиков. Перемещает позиции битов в графике FASTACCESS флаг false Преобразование формат файли fastaccess в скине модиноразите просокотре графиков. GMIN wiczo 1.00E-12 Проводимсть, добалееная к каждому ри-переходу для облетиена преобразование GMINTEPS wiczo 2.5 Verawannaec количество и тераций при прехотор падежета при изналиси и преилого закили GMINT wiczo 0 Дополинтельная преодитор просоктро с падежета преи преилокотр у при тераций при прехотор падежета при изнали и начали и преилого преилов закили GMINT wiczo 0 Массимальное количество итераций при прехото предирателет предистелени предителени предирателе предистелени предирателени предирателе предирателени предирателе предирателе предирателени предирателе предирателе предирателе предирателе предират	CSHUNT	число	0	Дополнительная емкость, добавляемая к каждому узлу относительно «земли»
DEFAD число 0 Площадь стока MOI-транзистора по умолчанию DEFAD число 100 мом Длиня кнала MOI-транзистора по умолчанию DEFW число 100 мом Ширика канала MOI-транзистора по умолчанию DEFW число 0 Используетсток MOI-транзистора по умолчанию DELAY число 0 Используетсток MOI-транзистора по умолчанию DELAY число 0 Используетсток при просотреграфиков. Терееменанает позиции блога прафике FASTACCESS флаг false Преобразование формат файли fastaccess в конке модиморазования GMINSTEPS число 25 Устанавляется в куль, чтобы прадотвратить преобря правитер при келалико решении GMINSTEPS число 0 Дополнительная проводимость, добаллевая к каждому угалу относительне землике TIL1 число 100 Масимальное количество и перемете по постоянному току TIL4 число 25 Устанавляеное количество и пераций при рехесте по сталеникому току TIL4 число 26 Устанавляеное количество и постоянному току MAXCLOCK число 56 Устанавляеное сораниство и количество по	CSHUNTINTERN	число	cshunt	Дополнительная емкость, добавляемая к каждому внутреннему узлу устройства относительно «земли»
DEFAS число 0 Площадь истока MOIT-транизстора по умолчанию DEFL число 100 мом Щирина канала MOIT-транизстора по умолчанию DEFW число 0 Используется при просматре графиков. Перемещает позици ботов в графиков FASTACCESS флаг false Преобразение в форма флайл falsacces в конце моделирования FISELOADS флаг false Влочение внешних источников тока в реком нагрокарания GMIN число 25 Устанавливается в куль, чтобы предотратить пребо долавието как кандому ри-переходу для обягичения пребазований GMINSTEPS число 0 Дополнительная проводимость, добалименая к кандому узлу относительное землия TIL2 число 0 Дополнительная проводимость, добализемая к кандому узлу относительное землия TIL1 число 50 Масимальное количество итераций при переходе к следуощици по источники при кальное количество потраций при переходе к следуощици по источники при кальное количество потраций при переходе к следуощици и посточники при кальное количество потраций при переходе к следуощици и посточники при кальное количество потраци и при кальное калечение посточники при кальное количество паком MAXCLOCKS число 6 (сколи. Масимальное сохраняеме количество паком MAXCLOCKS	DEFAD	число	0	Площадь стока МОП-транзистора по умолчанию
DEFL число 100 мкм Длинак канала MOIT-рананстора по умоланию DEFW число 0 Используется при просмотре графиков. Перемещает позиции битов в графике FASTACCESS флаг false Преобразование в формат файла fastaccess в конценстров по умолению FISELOADS флаг false Преобразование в формат файла fastaccess в конценсков в реком мардики GMIN число 1.00E-12 Преобразование в формат файла fastaccess в конценсков в реком мардики GMINSTEPS число 2.5 Устанавляется в чуль, чтобы преогратратить преобразований по постоянному току GSHUNT число 0 Дополнительная проводимость, добавлееная к каждому ули относительном решении no постоянному току TIL1 число 10 Массимальное количество и тераций при расчете по постоянному току TIL4 число 10 Массимальное количество и тераций при расчете по постоянному току MAXCIOCKS число 6 Устанавливается в чуль, чтобы преоходикого прицесса TIL4 число 6 Разирансть викичела да ре зультатов до рекитатов до векити MAXCIOCKS число 6 Разираность викулений при расчетатов до векити <tr< th=""><th>DEFAS</th><th>число</th><th>0</th><th>Площадь истока МОП-транзистора по умолчанию</th></tr<>	DEFAS	число	0	Площадь истока МОП-транзистора по умолчанию
DEFW число 100 кихи Ширина какала MOT-транзистора по умоллизиио DELAY число 0 Исплаучист при просклура графиков. Перемещает позиции битов в графике FASTACCESS флаг false Преобразование в формат файла fastaccess в конце моделирования GMIN число 100E-12 Преовдимстот, добалителак и каждому <i>pr</i> -перекоду для обсегчения преобразование GMINSTEPS число 0 Допличтельная проводимость, добаляеная к каждому <i>pr</i> -перекоду для обсегчения преобразование GSHUNT число 0 Допличтельная проводимость, добаляеная к каждому <i>pr</i> -переклари относительно 4 землия TIL1 число 10 Максимальное количество итераций при расчете передаточной функции по постоянному току TIL4 число 25 Устанавливается и тераций при перехода к сладуощему можнту времени при акачете передаточной функции по постоянному току TIL4 число 25 Устанавливается и тибы пересотралить ступенато к измили по постоянному току MAXCLOCKS число 6 Разираность вколинство и тераций при перехода к сладуощему моженту времени MASCLL/KMT слово босесон. Максимальное сохраняемое количестви. MAXSTEP число	DEFL	число	100 мкм	Длина канала МОП-транзистора по умолчанию
DELAY число 0 Используется при просмотре графиков. Перемещает полици битов в графике FASTACCESS флаг false Преобразование в форми факina fastacces в конце моделнования GMIN число 1.00E-12 Проводимость, добаление в ифодотратиля перебор параметра при начальном решении GMINSTEPS число 2.5 Устанавливается в уль, чтоба переотратиля перебор параметра при начальном решении GSHUNT число 0 Дополнительная проводимость, добаляения к каждому ули относительно заямия TIL1 число 0 Массимальное количество итераций при расчете по постоянному току TIL4 число 10 Массимальное количество итераций при расчете перехадито процектерании TIL6 число 25 Устанавливается в чуль, чтоба предотратить ступненатов камерики то постоянному току MAXCLOCKS число 6 Массимальное количество итераций при расчете перехадито процекса MAXCLOCKS число 6 Разрадность выходичь данимо постоянному току MAXCLOCKS число 6 Разрадность выходичь данимы постоянному току MAXCLOCKS число 10 Масинальном постоянному току MAX	DEFW	число	100 мкм	Ширина канала МОП-транзистора по умолчанию
FASTACCESS dnar false Tipeofpasoaawae a dopwar dawina fastaccess a sorum vogenupoaawa FLSGLOADS dnar false Bknoretwee sevenue arcyneuks or sa peskwi wargysuu GMIN число 1.00E-12 Проводимость, добавления к сточиков то sa peskwi wargysuu GMINSTEPS число 0 Дополнительная проводимость, добавления к каждом у ли-переходу для облегчения преобразований GMINSTEPS число 0 Дополнительная проводимость, добавления к trovinkown y toxy GMIN число 0 Дополнительная проводимость, добавления к travatycowy y ortockrtenetwy toy ITL1 число 0 Дополнительная проводимость и добавления в каждому у узлу относительно е земли» ITL2 число 10 Максимальное количество и repayuid npu nepexoge к следующему моменту времени ITL4 число 25 Устанавливается в иул, итобы предотвратить ступенато и комичество продесса ITL5 число 25 Устанавливается в иул, итобы предотвратить ступенато и комичество таков MAXSEP число 6 Разрадиость вклодних данных ли доколичество продесса ITL6 число 6 Разрадиость вклодних данных дандиристетверходая дана	DELAY	число	0	Используется при просмотре графиков. Перемещает позиции битов в графике
FLSGLOADS флаг Talse Включение внешних источников тока реком натрузки GMIN число 1.00E-12 Проводимость, добаленная каждому р-лерекзод для облечения преобразований GMINSTEPS число 25 Устанализмается в нуль, чтобы предотаратить перебор параметра при начальном решении по постоянному току ITL1 число 0 Дополнительная проводимость, добаляенная каждому р-леуносительно «земли» ITL1 число 100 Маскимальное количество итераций при засячая каждому р-лосительно «земли» ITL2 число 10 Маскимальное количество итераций при засячая каждому р-лосительно уземличе ITL6 число 10 Маскимальное количество итераций при засячае передодими по постоянному току MAX число 6 Утанавливается в нуль, чтобы предотвратить ступеннатое изменение параметра источника при начальное коранечество тактов MAXSTEP число 6 Формая коллоскимальное коранечество тактов MAXSTEP число 6 Разридность висло предотвратить по постоянном токтов MAXSTEP число 6 Разридность висло предока кала директивы. МЕАSURE. MEASOT число 6 Разридность вакала <	FASTACCESS	флаг	false	Преобразование в формат файла fastaccess в конце моделирования
GMIN число 1.00E-12 Проводимость, добаленная к каждому <i>p-n</i> -переход длято болечения преобразования GMINSTEPS число 25 Устанавливается в нуль, чтобы предотратить перебор параметра при начальном решении по постоянному току GSHUNT число 0 Дополнительная проводимость, добалялемая к каждому злу относительно зевилия ITL1 число 10 Максимальное количество итераций при расчете по постоянному току ITL2 число 10 Максимальное количество итераций при расчете передотеранть стоянному току ITL4 число 10 Максимальное количество итераций при расчете передотерани монету моменту времени ITL5 число 25 Устанавливается в нуль, чтобы передотвратить ступенатов каменение параметра источника при начальное колячество тактов MAXSTEP число 6 Различество и тераций при начальное колячество тактов MAXSTEP число 6 Различество итерацириство выходных для директивы. МАSURE. MAXSTEP число 6 Различество пактов MAXSTEP число 6 Различество пактов MAXSTEP число 6 Различество пактов МАКСНА <t< th=""><th>FLSGLOADS</th><th>флаг</th><th>false</th><th>Включение внешних источников тока в режим нагрузки</th></t<>	FLSGLOADS	флаг	false	Включение внешних источников тока в режим нагрузки
GMINSTEPS число 25 Устанавливается в нуль, чтобы предотратить перебор параметра при начальном решении по постоянному току GSHUNT число 0 Дополнительная проводимость, добавляемая к каждому зилу относительно заемлие ITL1 число 100 Максимальное количество итераций при расчете передаточной функции по постоянному току ITL2 число 50 Максимальное количество итераций при преходе к спередоцему моменту времени при начальное количество итераций при преходе к следущему моменту времени при начальное преходе к следущему поку MAXCLOCKS число беском. Максимальные изи при следущему при авлизе при начальное преходе к следущему при авлизе моменту времени при начальное преходе к следущему при авлизе MAXCLOCKS число 6 Разрафисто в володику данику. Максимальное сохраняемое количество токтов MINDELT следу выбор метода численного интерирования MASURE. MENEDD следя Габе Отно-очение выбода графиков в процесса тактов MINDET число	GMIN	число	1.00E-12	Проводимость, добавленная к каждому <i>р-п</i> -переходу для облегчения преобразований
GSHUNT число 0 Дополнительная проводимость, добавляемая к каждому узлу относительно землие Масимальное количество итераций в расчете по постоянному току ITL1 число 50 Масимальное количество итераций при раскуранство постоянному току ITL4 число 50 Масимальное количество итераций при раскуранство процесса ITL4 число 25 Устанавливое количество итераций при рескодено с изменение параметра источника при накализе переходного процесса MAXCLOCKS число бескон. Масимальное количество итераций при переходено процесса MAXSTEP число бескон. Масимальное количество итерации по постоянному току MAXCLOCKS число бескон. Масимальное сохраняемое количество тактов MAXSTEP число 6 Разрядность выходных для директивы. MEASURE. MEABOT слово trap Выбор метода численного интергирования MINELLOCKS число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флая false Отклочение вывода графиков в процессе коделирования MINELLOCKS число 6 В Трерскод к непосредсятенокоу впраиместо в ныходных далных используется дв	GMINSTEPS	число	25	Устанавливается в нуль, чтобы предотвратить перебор параметра при начальном решении по постоянному току
ITL1 число 100 Максимальное количество итераций при десчете по постоянному току ITL2 число 50 Максимальное количество итераций при расчете передаточной функции по постоянному току ITL4 число 10 Максимальное количество итераций при переходе к следующему коменту времени при знализе переходисто функции по постоянному току ITL6 число 25 Устанавливается в игль, чтобы предотратить стуленчатое изменение параметра источника при начальном решении по постоянному току MAXCLOCKS число бескон. Максимальное количество тереходного процесса MAXSTEP число бескон. Максимальное исолянектов тактов MAXESTEP число 6 Разрадность выходных данных для директивы. MEASURE. MEASOCT число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINCLOCKS число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINCLOCKS число 100 Минимальное сохраняемое количество тактов MINCLOCKS число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора grin NOMARCH флаг false Перход к непосредственному управлению шаги grin	GSHUNT	число	0	Дополнительная проводимость, добавляемая к каждому узлу относительно «земли»
ITL2 число 50 Максимальное количество итераций при расчете перагочной функции по постоянному току при акализе переходи при переходи с переходи то процесса ITL4 число 10 Максимальное количество итераций при переходи с переходи колектрования моменту времени при акализе переходи по постоянному току ITL6 число 25 Устанавливается в нуль, чтобы передотвратить ступненатое каменение параметра источника при акализе переходиото процесса MAXCLOCKS число бескон. Максимальное сохраняемсе количество тактов MAXSTEP число 6 Формат комплексных числе лля результатов директивы MEASURE. MEASDGT число 6 Разрадность выходных данных для директивы MEASURE. MEASDGT число 10 Минимальное сохраняемсе количество тактов MINDELTAGNIN число 10 Минимальное сохраняемсе количество тактов MINDELTAGNIN число 6 Разрадность выходных данных для завершения по добора дтіп NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования MINDELTAGNIN число 1.00E-03 Относительная величина элеквента для установки раврадности выходных данных. BLTspice, если "nundgt" копловаба для акачестве	ITL1	число	100	Максимальное количество итераций в расчете по постоянному току
ITL4 число 10 Максимальное количество игераций при переходного процесса ITL6 число 25 Устанавливается в нуль, чтобы предотвратить ступнатов изменение параметра источника при накальном решении по постоянному току MAXCLOCKS число бескон. Максимальное количество тактов MAXSTEP число бескон. Максимальное количество тактов MAXSTEP число бескон. Максимальное количество тактов MEASCPLXFMT слово bode Формат комплексных числе для результатов директивы. MEASURE. MEASDCT число 6 Разрадность выходных данных для для прехитивы. MEASURE. METHOD слово trap Budop метода численного интегрирования MINCLOCKS число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOOPITER флаг false Переход к непсоредстаноких разрадность выходных данных. NUMDGT число 6 В LTspice, если "nundgt" коллозался для установки разрадность выходных данных. PIVTOL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в хачстев ведущего элемента PIVTOL	ITL2	число	50	Максимальное количество итераций при расчете передаточной функции по постоянному току
ITL6 число 25 Устанавливается в нуль, чтобы предотаратить супренчатое изменение параметра источника при начальное решении по постоянному току MAXCLOCKS число бескон. Максимальное сохраняемое количество тактов MAXSTEP число бескон. Максимальной шат при начальное для результатов директивы. MEASURE. MEASOGT число 6 Формат комплексных числе, для результатов директивы. MEASURE. METHOD слово trap Bubdop encogna численного интеррирования MINDELTAGMIN число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 100E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NUMDGT число 6 В LTspice, если * пилибц* больше б. для зависимых празметики в данных, ислользуется двойная точность PIVTOL число 1.00E-03 Относительная величина злеемента строих матрицы, необходимая для его выделения в качестее ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина злеементе стре	ITL4	число	10	Максимальное количество итераций при переходе к следующему моменту времени при анализе переходного процесса
MAXCLOCKS число бескон. Максимальное сохраняемое количество тактов MAXSTEP число бескон. Максимальный шаг при анализе переходного процесса MEASCPLXFMT слово bode Формат комплексных числе для результатов директивы. MEASURE. MEASDGT число 6 Разрядность выходных данных для директивы. MEASURE. METHOD слово trap Выбор метода численного интеррирования MINCLOCKS число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NUMDGT число 6 В LTspice, если "numdgt" больше 6, для зависима разрадности выходных данных используется двойная точность PIVTEL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестев е ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестее ве едущего элемента PLOTRELTOL число 1.00E-53 Установка абсолютной потрешиости по току при сжати	ITL6	число	25	Устанавливается в нуль, чтобы предотвратить ступенчатое изменение параметра источника при начальном решении по постоянному току
МАХSTEP число бескон. Максимальный шаг при анализе переходного процесса MEASCPLXFMT слово bode Формат комплексных числе для результатов директивы. MEASURE. Один из возможных: "polar", "cartesian" или "bode" MEASDGT число 6 Разрядность выходных диных дили упрективы. MEASURE. METHOD слово trap Выбор метода численного интерирования MINCLOCKS число 10 Минимальное сохраняемее количество тактов MINDELTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NUMDGT число 6 В Гърісе, если "numdgi" использовался для установки разрядности выходных данных. NUMDGT число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTRL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1 мА Установка абсолютной погрешности при сжатии графиков PLOTWINSLE число 0.01 Относительная погрешности	MAXCLOCKS	число	бескон.	Максимальное сохраняемое количество тактов
MEASCPLXFMT слово bode Формат комплексных чисел для результатов директивы. MEASURE. Один из возможных: "polar", "сатезана" или "bode". MEASDGT число 6 Разрядность выходных данных для директивы. MEASURE. METHOD слово trap Выбор метода численного интегрирования MINDELTAGMIN число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 100 Минимальное сохраняемое количество тактов NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NUMDGT число 6 В LTspice, если "numdgt" окольза саковалоя для установки разрядности выходных данных. PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTRABSTOL число 10 мкВ Установка оспости по току при сжатии графиков PLOTRABSTOL число 10 мкВ Установка оспости по току при сжатии графиков PLOTRELTOL число 0.001 Относительная потреш	MAXSTEP	число	бескон.	Максимальный шаг при анализе переходного процесса
МЕАSDGT число 6 Разрядность выходных данных для директивы МЕХDIRE. МЕТНОD слово trap Выбор метода численного интегрирования MINCLOCKS число 10 Миниальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NOMOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 B LTspice, если "numdgt" колользовался для установки разрядности выходных данных используется двойная точность PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTTRITOL число 1 нА Установка абсолютной погрешности по ток упри сжатии графиков PLOTWNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению пра сжатии графиков PLOTWNINSIZE число 0,001 Относительная	MEASCPLXFMT	слово	bode	Формат комплексных чисел для результатов директивы .MEASURE. Один из возможных: "polar", "cartesian" или "bode"
МЕТНОD слово trap Выбор метода численого интегрирования MINDELTAGMIN число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NOOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 В LTspice, если "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. B UVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTMINSIZE число 0.0025 Установка относительной погрешности по ток при сжатии графиков PLOTWINDL <t< th=""><th>MEASDGT</th><th>число</th><th>6</th><th>Разрядность выходных данных для директивы .MEASURE.</th></t<>	MEASDGT	число	6	Разрядность выходных данных для директивы .MEASURE.
MINCLOCKS число 10 Минимальное сохраняемое количество тактов MINDELTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NOOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 Исторически "numdgt" больше б, для зависимых переменных данных используется двойная точность PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютной погрешности потрешности при сжатии графиков PLOTRELTOL число 1 мК Установка абсолютной погрешности при сжатии графиков PLOTWINDL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 0.001 Относительная погрешности по напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгорит супеннато изменения параметра источни	METHOD	слово	trap	Выбор метода численного интегрирования
МІНДЕLTAGMIN число 1.00E-04 Установка ограничения для завершения подбора gmin NOMARCH флаг false Отклочение вывода графиков в процессе моделирования NOOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 Исторически "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. В LTspice, если "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных используется двойная точность PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Количество торки ракатии графиков PLOTRELTOL число 1.00E-03 Установка абсолютной погрешности по току при скатии графиков PLOTNTOL число 10.00E-03 Количество точек данных в одном окик еполе скатия. PLOTWINDL число 0 Алогорити ступенчатого изменелисти по токов	MINCLOCKS	число	10	Минимальное сохраняемое количество тактов
NOMARCH флаг false Отключение вывода графиков в процессе моделирования NOOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 Исторически "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. PIVREL число 6 Исторически "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютной погрешности по току при скатии графиков PLOTNOL число 1 нА Установка абсолютной погрешности по скатии графиков PLOTNTOL число 10 мкВ Установка обсолютной погрешности по искатии графиков PLOTWINSIZE число 0,001 Относительная погрешности по напряжению при сжатии графиков SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешности по скатии графиков STARTCLOCKS число 5 Количестоь пори расчете напряжений и то	MINDELTAGMIN	число	1.00E-04	Установка ограничения для завершения подбора gmin
NOOPITER флаг false Переход к непосредственному управлению шагом gmin NUMDGT число 6 Исторически "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. В LTspice, если "numdgt" больше 6, для зависимых переменных данных используется двойная точность PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTABSTOL число 0,0025 Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTVNTOL число 0,0025 Установка абсолютной погрешности при сжатии графиков PLOTVNTOL число 0,001 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие SRCSTEPMETHOD число 0,001 Относительная погрешности по напряжений и токов SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешности видаражети покатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие STARTCLOCKS число 27 °C Для которки не зад	NOMARCH	флаг	false	Отключение вывода графиков в процессе моделирования
NUMDGT число 6 Исторически "numdgt" исповзовался для установки разрядности выходных данных. В LTspice, если "numdgt" больше 6, для зависимых переменных данных используется двойная точность PIVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTRELTOL число 0.0025 Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTVINTOL число 0.0010 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешности при расчете напряжений и токов SRCSTEPN число 0,001 Относительная погрешность в нуль, чтобы отменить сжатие STARTCLOCKS число 27 С Длогритик ступенчатого заменения параметра источника STARTCLOCKS число 27 °C По умолчания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C </th <th>NOOPITER</th> <th>флаг</th> <th>false</th> <th>Переход к непосредственному управлению шагом gmin</th>	NOOPITER	флаг	false	Переход к непосредственному управлению шагом gmin
РІVREL число 1.00E-03 Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PIVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1 нА Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTRELTOL число 0,0025 Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTWINDL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, контуров источнико вилачение температуры TNOM число 1 Установика погрешность цализа переходного и вибхов укорукления TNOM	NUMDGT	число	6	Исторически "numdgt" использовался для установки разрядности выходных данных. В LTspice, если "numdgt" больше 6, для зависимых переменных данных используется двойная точность
РІVTOL число 1.00E-13 Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента PLOTABSTOL число 1 нА Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTRELTOL число 0,0025 Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTVNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTVNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгорити ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 25 Альтернативное имя для itl6 STARTCLOCKS число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Цля которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное з	PIVREL	число	1.00E-03	Относительная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента
PLOTABSTOL число 1 нА Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков PLOTRELTOL число 0,0025 Установка относительной погрешности по току при сжатии графиков PLOTNTOL число 10 мкВ Установка относительной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окие после сжатия. RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения прамятра источника SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов STARTCLOCKS число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчании те попредиком установившегося режима TNOM число 1 Установлива погрешность напляза переходноги и клов в зачение температуры TNOL число 1 Установаливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витк	PIVTOL	число	1.00E-13	Абсолютная величина элемента строки матрицы, необходимая для его выделения в качестве ведущего элемента
PLOTRELTOL число 0,0025 Установка относительной погрешности при сжатии графиков PLOTVNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTVNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перад поиском установившегося режима TEMP число 27 °C Для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Установка погрешности анализа переходного поецесса. Этот параметр – козффициен, пределялий фолкетичков и напряжениях в длинных линиях с потерями TRYDCOMPACT число 1 <t< th=""><th>PLOTABSTOL</th><th>число</th><th>1 нА</th><th>Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков</th></t<>	PLOTABSTOL	число	1 нА	Установка абсолютной погрешности по току при сжатии графиков
PLOTVNTOL число 10 мкВ Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 0.001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима TEMP число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Устанавливается в нисон индоралии о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	PLOTRELTOL	число	0,0025	Установка относительной погрешности при сжатии графиков
PLOTWINSIZE число 300 Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Устанавливается в ниль, чтобы отменить проверку плавающих уоков, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Этот параметр – козффициент, определяющий фактическую ошибку округления в длинных линиях с потерями </th <th>PLOTVNTOL</th> <th>число</th> <th>10 мкВ</th> <th>Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков</th>	PLOTVNTOL	число	10 мкВ	Установка абсолютной погрешности по напряжению при сжатии графиков
RELTOL число 0,001 Относительная погрешность при расчете напряжений и токов SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 25 Альтернативное имя для itl6 SSTOL число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы откноих проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологи и витков тралекорова TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. Этот параметр — коэффициент, определяющий фактическую ошибку округления TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	PLOTWINSIZE	число	300	Количество точек данных в одном окне после сжатия. Устанавливается в нуль, чтобы отменить сжатие
SRCSTEPMETHOD число 0 Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника SRCSTEPS число 25 Альтернативное имя для itl6 SSTOL число 0,001 Относительная погрешность детектирования установишегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установишегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжихов паражити и топологи и витков трансороматоров TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	RELTOL	число	0,001	Относительная погрешность при расчете напряжений и токов
SRCSTEPS число 25 Альтернативное имя для itl6 SSTOL число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансорматоров TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	SRCSTEPMETHOD	число	0	Алгоритм ступенчатого изменения параметра источника
SSTOL число 0,001 Относительная погрешность детектирования установившегося режима STARTCLOCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима TEMP число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. этот параметр — козффициент, определяющий фактическую ошибку округления Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	SRCSTEPS	число	25	Альтернативное имя для itl6
STARTICLOUCKS число 5 Количество тактов ожидания перед поиском установявшегося режима TEMP число 27 °C По умолчания перед поиском установявшегося режима TNOM число 27 °C По умолчания перед поиском установявшегося режима TNOM число 27 °C По умолчания перед поиском установявшегося режима TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плаеающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	SSTOL	число	0,001	Относительная погрешность детектирования установившегося режима
ТЕМР число 27 °C По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры TNOM число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 27 °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. ТRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	STARTCLOCKS	число	5	Количество тактов ожидания перед поиском установившегося режима
ТNOM число 2/ °C Номинальное значение температуры TOPOLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавющих узлов, контуров источников напряжи и топологи и витков трансформаторов TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длиных линиях с потерями	TEMP	число	27 °C	По умолчанию температура элементов схемы, для которых не задано определенное значение температуры
ТОРОLOGYCHECK число 1 Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. TRYTOCOMPACT число 1 Этот параметр — козффициент, определяющий фактическую ошибку округления TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	TNOM	число	27 °C	Номинальное значение температуры
TRTOL число 1 Установка погрешности анализа переходного процесса. Этот параметр — козффициент, определяющий фактическую ошибку округления Этот параметр — козффициент, определяющий фактическую ошибку округления TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	TOPOLOGYCHECK	число	1	Устанавливается в нуль, чтобы отменить проверку плавающих узлов, контуров источников напряжения и топологии витков трансформаторов
TRYTOCOMPACT число 1 Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями	TRTOL	число	1	Установка погрешности анализа переходного процесса. Этот параметр — коэффициент, определяющий фактическую ошибку округления
	TRYTOCOMPACT	число	1	Представление в компактной форме информации о токах и напряжениях в длинных линиях с потерями
VNTOL число 1 мкВ Абсолютная погрешность при расчете напряжений	VNTOL	число	1 мкВ	Абсолютная погрешность при расчете напряжений

отображен шумовой вклад каждого компонента. Эти вклады пересчитываются к выходу. Можно пересчитать их к входу, поделив данные графика на усиление.

В окне графиков можно суммировать шумы в полосе пропускания, нажав на имя соответствующего графика правой кнопкой мыши при нажатой клавише Ctrl.

Пример использования директивы .NOISE приведен в файле ...LTC\SwCADIII\examples\ Educational\noise.asc.

.OP — определение режима по постоянному току в рабочей точке

Выполняется решение для постоянного тока с отключенными емкостями и коротко замкнутыми индуктивностями. Обычно решение для постоянного тока выполняется как часть другого анализа, чтобы найти рабочую точку схемы. Используйте директиву .OP, если нужно только найти рабочую точку. Результаты появятся в диалоговом окне. Решение по постоянному току появится в управляющей строке, если указать на узел или цепь с током после .OP-моделирования.

В файле ...\LTC\SwCADIII\examples\Educational\DcopPnt.asc приведен пример использования директивы .OP.

.OPTIONS — установка параметров моделирования

Все доступные параметры моделирования приведены в таблице 11.

.PARAM — параметры, определяемые пользователем

Директива .PARAM позволяет создавать определяемые пользователем переменные. Она обеспечивает понятную ассоциативную связь имени с параметризованной макромоделью, чтобы абстрактные схемы можно было сохранить в библиотеках.

Директива .PARAM может быть включена в описание макромодели, чтобы ограничить действие значения параметра этой макромоделью и макромоделями, включенными в эту макромодель.

Для подстановки параметра в оцениваемое выражение заключите выражение в фигурные скобки. Вложенное выражение будет заменено величиной с плавающей точкой.

Далее приведен пример использования как собственно директивы .PARAM, так и непосредственного ввода параметров в строке вызываемой макромодели:

* This is the circuit definition
.params x=y y=z z=1k*tan(pi/4+.1)
X1 a b 0 divider top=x bot=z
V1 a 0 pulse(0 1 0 .5µ .5µ 0 1µ)
* this is the definition of the subcircuit
.subckt divider n1 n2 n3
r1 n1 n2 {top}
r2 n2 n3 {bot}
.ends
*
.tran 3μ
and

Доступные математические функции и операции собраны в таблицах 12, 13.

В файле ...\LTC\SwCADIII\examples\Educational\Cohn.asc приведен пример использования директивы .PARAM.

.SAVE — ограничение количества сохраняемых данных

В процессе некоторых видов анализа, особенно при моделировании во временной области, может быть сгенерирован большой объем данных. Объем выходных данных может быть ограничен при использовании директивы .SAVE, чтобы сохранить только определенные интересующие узловые напряжения и токи в устройстве.

Синтаксис:

.save V(out) [V(in) [I(L1) [I(S2)]]] [dialogbox]

Директива .save I(Q2) сохраняет токи базы, коллектора и эмиттера биполярного транзистора Q2. Чтобы сохранить ток через один вывод транзистора, следует указать Ic(Q2).

Чтобы сохранить данные графиков, соответствующих образцу, можно использовать символы группировки «*» и «?». Например, «.save V(*) Id(*)» позволит сохранить каждое значение напряжения и каждое значение тока.

Если присутствует ключевое слово **dialogbox**, то появляется диалоговое окно со списком всех доступных по умолчанию узловых напряжений и токов, позволяющее пользоваТаблица 12. Математические функции

Функция	Определение
ABS(x)	Абсолютное значение х
ACOS(x)	Действительная часть arcos(x), например, acos(—5) возвращает 3.14159, а не 3.14159+2.29243i
ARCOS(x)	Синоним для acos(x)
ACOSH(x)	Действительная часть acosh(x), например, acosh(.5) возвращает 0, а не 1.0472i
ASIN(x)	Действительная часть арксинуса x, например, asin(—5) возвращает — 1.57080, а не — 1.57080+2.29243i
ARCSIN(x)	Синоним для asin(x)
ASINH(x)	Гиперболический арксинус
ATAN(x)	Арктангенс х
ARCTAN(x)	Синоним для atan(x)
ATAN2(y, x)	Арктангенс (х/у)
ATANH(X)	Гипероолический арктангенс
BUF(X)	but(x)=1, если х>0,5; but(x)=0, если х≤0,5
CBRT(X)	Кубический корень из х
	целое число, равное или оольшее х
	Косинус х
	Залержка сигнала х на время у
EXP(x)	Экспоненциальная функция х
FABS(x)	То же самое, что и abs(x)
	Случайное число между —х и х
FLAT(X)	с нормальным распределением
FLOOR(x)	Целое число, равное или меньше х
GAUSS(x)	Случайное число с распределением Гаусса
	sart(x**2 + x**2)
	Округление х до целого числа
	inv(x)=0, если x>0.5; inv(x)=1, если x<0.5
LIMIT(x.v.z)	x. если v <x<z; v.="" x="" x<v;="" z.="" если="">v</x<z;>
LN(x)	Натуральный логарифм х
LOG(x)	Альтернатива In(x)
LOG10(x)	Десятичный логарифм х
MAX(x,y)	Максимальное из х или у
MC(x,y)	Случайное число между х * (1+у) и х * (1–у) с нормальным распределением
MIN(x,y)	Минимальное из х или у
POW(x, y)	Действительная часть х**у, например, pow(—0.5,1.5) возвращает 0, а не 0,353553i
PWR(x, y)	abs(x)**y
PWRS(x, y)	sgn(x)*abs(x)**y
RAND(x)	Случайные числа между U и 1 в зависимости от значения х
RANDOM(x)	Функция, подобная rand(x), но с более плавными переходами между значениями
ROUND(x)	Ближайшее целое число к х
SGN(x)	Знак х
SIN(x)	Синус х
SINH(X)	І иперболический синус х
SQRT(x)	деиствительная часть квадратного корня х, например, sqrt(—1) возвращает 0, не 0,707107i
TABLE(x,a,b,c,d,)	Табличная зависимость функции от х. Координаты точек (х, у) в виде таблицы, в промежутках между точками линейная аппроксимация
TAN(x)	Тангенс х
TANH(x)	Гиперболический тангенс х
U(x)	Ступенчатая функция: u(x)=1, если x> 0; u(x)=0, если x≤0
URAMP(x)	Функция ограничения: uramp(x)=x, если x> 0; uramp(x)=0, если x≤0
WHITE(x)	Случайные числа между —0,5 и 0,5 с плавными переходами между значениями, даже более плавными, чем в random()

телю составить список сохраняемых данных. Если список соединений был сгенерирован из схемы, то, указав на выбранные ранее узлы и устройства и нажав кнопку мыши, можно отобразить графики в окне.

Если указать для сохранения только один график, то после запуска процесса моделирования он будет отображаться в окне графиков по ходу процесса, если только не дезактивирована ячейка Marching Waveforms в окне Operation панели управления.

Таблица 13. Математические операции

Символ операции	Назначение
δ	Преобразование, эквивалентное логическому И (AND)
	Преобразование, эквивалентное логическому ИЛИ (OR)
^	Преобразование, эквивалентное логическому исключающему ИЛИ (XOR)
>	ИСТИНА (TRUE), если выражение слева больше выражения справа, иначе ЛОЖЬ (FALSE)
<	ИСТИНА (TRUE), если выражение слева меньше выражения справа, иначе ЛОЖЬ (FALSE)
>=	ИСТИНА (TRUE), если выражение слева больше или равно выражению справа, иначе ЛОЖЬ (FALSE)
=>	ИСТИНА (TRUE), если выражение слева меньше или равно выражению справа, иначе ЛОЖЬ (FALSE)
+	Сложение с плавающей точкой
-	Вычитание с плавающей точкой
*	Умножение с плавающей точкой
/	Деление с плавающей точкой
**	Возведение в степень, возвращается только действитель- ная часть, например, -2**1,5 возвращает 0, а не 2,82843i
!	Преобразование, эквивалентное логической инверсии
@	Оператор выбора шага

.SAVEBIAS —

сохранение рабочей точки на диске Синтаксис:

.savebias <имя файла> [internal] [temp=<значение>] [time=< значение > [repeat]] [step=< значение >] [DC1=< значение >] [DC2=< значение >] [DC3=< значение >]

Это команда записи на диск текстового файла, который при последующем моделировании загружается командой .LOADBIAS. Для схемы, имеющей сложный расчет режима по постоянному току в рабочей точке, можно сохранить решение на диске, чтобы сэкономить время на расчете режима по постоянному току при последующих анализах.

Ключевое слово INTERNAL добавляется, чтобы указать, что внутренние узловые потенциалы некоторых устройств также должны быть сохранены с сохранением более полного решения по постоянному току.

Чтобы сохранить определенную рабочую точку по постоянному току при расчете переходных процессов .TRAN, необходимо указать момент времени. Первое решение для момента времени, следующего за указанным, будет сохранено. Модификатор REPEAT заставляет записывать решение по постоянному току через каждый период после указанного момента времени. В файл записывается только последнее решение по постоянному току. Можно указать DC1, DC2 и DC3, чтобы извлечь единственную рабочую точку из .DC-анализа с вариацией параметров.

По директиве .SAVEBIAS записывается текстовый файл в формате директивы .NODESET. Отметим, что директивы .NODESET — только рекомендации для решения. Таким образом, вычислитель начнет повторять решение с узловыми напряжениями, заданными в директиве .NODESET, но продолжит повторять вычисления, пока не будет найдено правильное решение. Если нужно повторно запустить .TRAN-решение из рабочей точки по постоянному току, можно изменить файл .NODESET на .IC, чтобы принудить вычислитель начать решение с этой рабочей точки по постоянному току. Поскольку суммарное состояние всех реактивностей схемы не сохраняется в .SAVEBIAS файле, успешное решение в этой технике достижимо не всегда.

.STEP — ступенчатое изменение параметра

Эта команда заставляет неоднократно выполнять анализ, ступенчато изменяя температуру, параметр модели, глобальный параметр или параметр независимого источника. Ступени могут быть линейными, логарифмическими или определенными как список значений. Например:

step oct v1 1 20 5.

Ступенчатое изменение напряжения независимого источника напряжения V1 от 1 до 20 В с логарифмическим изменением ступеней с 5 точками на октаву.

Например:

.step I1 10u 100u 10u

Изменение тока независимого источника тока I1 от 10 до 100 мкА с шагом 10 мкА. Например:

step param RLOAD LIST 5 10 15.

Трехкратное выполнение моделирования с глобальным параметром Rload, равным 5, 10 и 15.

Например:

.step NPN 2N2222(VAF) 50 100 25

Ступенчатое изменение параметра VAF модели NPN от 50 до 100 с шагом 25. Например:

.step temp -55 125 10

Изменение температуры от -55 до 125 °C с шагом 10 °C.

Вариации шага могут быть вложениями глубиной до трех уровней.

Например:

.step I1 10u 100u 10u temp list 25 100

Изменение тока независимого источника тока I1 от 10 до 100 мкА с шагом 10 мкА при двух значениях температуры: 25 и 100 °С.

.SUBCKT — описание макромодели

Для упрощения описания повторяющиеся схемы могут быть оформлены в виде макромоделей со своим описанием и использоваться в одной схеме многократно. Прежде чем начнется моделирование, список соединений схемы будет расширен с заменой каждого обращения к макромодели элементами схемы из описания макромодели. Нет никаких ограничений по размеру или сложности макромоделей.

Описание макромодели должно заканчиваться директивой .ENDS. Для удобства работы с текстовым файлом в дальнейшем целесообразно строку дополнить именем макромодели. Пример использования макромодели:

*	Cancel
* Описание схемы X1 a b 0 divider V1 a 0 pulse(0 1 0 .5µ .5µ 0 1µ)	Рис. 34. Задание па
* Описание макромодели .subckt divider n1 n2 n3 r1 n1 n2 1k	Например:
rz n2 n5 ik .ends .tran 3μ .end	.TF V(out) Vin .TF V(5,3) Vin .TF I(Vload) Vin
Расширение после запуска моделирования:	.TRAN — анали

* Ραςιπирение X1 до набора из двух резисторов r:1:1 a b 1k r:1:2 b 0 1k * a 0 pulse(0 1 0 .5μ .5μ 0 1μ) .tran 3μ .end

Отметим, что для элементов схемы, образованных расширением макромодели, созданы уникальные имена, основанные на имени макромодели и именах элементов описания макромодели.

.ТЕМР — температурный анализ

Это устаревшая форма для команды ступенчатого изменения температуры. Все виды анализа выполняются для каждой указанной температуры.

Синтаксис:

.TEMP <температура1> <температура2> ...

Что эквивалентно:

.STEP TEMP LIST <температура1> <температура2> ...

.TF — определение малосигнальной передаточной функции по постоянному току

В этом режиме определяется малосигнальная передаточная функция по постоянному току для узлового напряжения или тока ветви при малых изменениях параметра независимого источника. Параметры моделирования можно задать через диалоговое окно, показанное на рис. 34.

Синтаксис:

.TF V(<узел>[, <опорный узел>]) <независимый источник> .TF I(<источник напряжения>) <независимый источник>

LOCIONEL N.	AC Analysis	DC sweep	Noise	DC Transfer	DC op pnt
	Fi	nd the DC sm	all-signal	I transfer function	m.
		Dutou	Viou	8	
		Course	160	_	
mtax .tf \	/(<out>[,<ref>]</ref></out>) (arc)			
yntax: .tf \ tf V(out) Vi	/(<aut>[.<ref>] n</ref></aut>	(arc)			

Рис. 34. Задание параметров .TF-анализа

.TRAN — анализ переходных процессов

По этой директиве выполняется анализ переходного процесса. Это наиболее информативное моделирование схемы. В процессе анализа вычисляется, что происходит в схеме после подачи питания. В качестве испытательных сигналов часто применяются независимые источники.

Синтаксис:

.TRAN <Tstep> <Tstop> [Tstart [dTmax]] [modifiers] .TRAN <Tstop> [modifiers]

TRAN <пат вывода данных> <конечное время> [начальный момент времени вывода данных [максимальный шаг]] [модификаторы] .TRAN <конечное время> [модификаторы]

Первая запись представляет собой традиционную форму для SPICE команды .TRAN. Tstep — шаг вывода графиков. LTspice использует сжатие графиков, так что этот параметр не имеет большого значения и может быть опущен или установлен в ноль. Tstop — продолжительность моделирования. Анализ переходного процесса всегда начинается с момента времени, равного нулю. Однако, если определено Tstart, данные для графика между нулем и Tstart не сохраняются. Это — средство управления размером файлов графиков, позволяющее иг-

al AC behavior o	of the ci point.	ircuit linearized	l about its DC operat
Type of Sweep:			~
of points per de	cade:	100	
Start Frequency:			
Stop Frequ	10MEG		
Oppoints> <si< p=""></si<>	tartFreq	<endfreq></endfreq>	
	al AC behavior of Type of S of points per de Start Frequ Stop Frequ	al AC behavior of the c point. Type of Sweep: of points per decade: Start Frequency: Stop Frequency: > <npoints> <startfreq< td=""><td>al AC behavior of the circuit lineatized point. Type of Sweep: Decade of points per decade: 100 Start Frequency: 1 Stop Frequency: 10MEG > <npoints> <startfreq> <endfreq></endfreq></startfreq></npoints></td></startfreq<></npoints>	al AC behavior of the circuit lineatized point. Type of Sweep: Decade of points per decade: 100 Start Frequency: 1 Stop Frequency: 10MEG > <npoints> <startfreq> <endfreq></endfreq></startfreq></npoints>

Рис. 35. Задание параметров .TRAN-анализа

норировать переходные процессы при включении. Последний параметр dTmax является максимальным шагом интегрирования. Если заданы Tstart или dTmax, то должен быть задан и Tstep. Параметры моделирования легко задаются с использованием диалогового окна, изображенного на рис. 35.

В строку .TRAN могут быть помещены несколько модификаторов из перечисленных далее.

UIC

Использование начальных условий. Обычно расчет рабочей точки по постоянному току выполняется перед началом анализа переходного процесса. Директива подавляет эту инициализацию. Начальные условия для некоторых элементов схемы могут быть определены случайным образом. UIC — не особенно рекомендуемая возможность SPICE. Пропуск расчета рабочей точки по постоянному току пункта ведет к нереализуемому физически начальному условию. Рассмотрим, например, подключение емкости к источнику напряжения. Узловое напряжение равно нулю, если не задано иное. Тогда в первый момент бесконечный ток обязан заряжать конденсатор. Симулятор не может найти достаточно короткий шаг времени и выдает сообщение time step too small convergence fail.

STARTUP

Модификатор подобен оригинальному SPICE UIC. Он означает, что независимые источники должны отключаться на первые 20 мс моделирования. Однако анализ рабочей точки по постоянному току выполнен с использованием ограничений, заданных директивой .IC.

STEADY

Останавливает моделирование по достижению установившегося режима. Это требуется для создания отчета о расчете эффективности. Обнаружение установившегося режима записано в макромоделях ВИП. Обычное решение — обнаружение нулевого значения в выходном токе усилителя ошибки, усредненном по периоду тактовой частоты. Алгоритм предполагает анализ выходного сигнала усилителя ошибки. Доля импульсного тока, считающаяся нулевым током, задается параметром SSTOL.

Автоматическое обнаружение установившегося режима может быть неудачным вследствие неоптимального критерия его детектирования. Можно в интерактивном режиме определить установившийся режим следующим образом: как только моделирование начинается, выполните команду меню Simulate>Efficiency Calculation>Mark Start. При выполнении этой команды в первый раз вы указываете LTspice, что собираетесь вручную определять пределы интегрирования. После того как схема достигла установившегося режима, выполните эту команду снова. Это очистит историю и перезапустит расчет потерь. Затем, по меньшей мере через 10 тактовых импульсов выполните команду Simulate> Efficiency Calculation>Mark End. Каждый раз при выполнении команды Simulate>Efficiency Calculation>Mark Start повторно начинается расчет потерь и очищается история графиков. Это хороший метод воспрепятствовать чрезмерному увеличению файла и замедлению рисования. Рекомендуется периодически выполнять Simulate>Efficiency Calculation> Mark Start всякий раз, когда ясно, что накоплено существенное количество данных, которые нецелесообразно включать в расчет потерь.

Используйте директиву .IC для определения узловых напряжений и токов через катушки индуктивности, чтобы уменьшить длительность анализа переходного процесса, предшествующего установившемуся режиму.

NODICARD

Не удалять часть моделирования переходного процесса, прежде чем будет достигнут установившийся режим.

STEP

Расчет отклика схемы на ступенчатое воздействие. Эта функция работает с использованием в качестве нагрузки источника тока со ступенчатым изменением тока. Процедура включает в себя следующие этапы:

1. Определяется установившийся режим и очищается история, если не используется NODISCARD.

- Нагрузка ступенчато изменяется к следующему значению из списка со скоростью 20 А/мкс.
- 3. Определяется установившийся режим.
- Нагрузка ступенчато изменяется к следующему значению из списка или отключается, если его нет.

В сложной схеме автоматически изменение тока нагрузки можно и не обнаружить. В подобном случае лучше использовать команду .TRAN для запуска моделирования переходного процесса и наблюдать начало и конец периода желаемого отклика на скачок нагрузки. Используйте команду PWL, чтобы программировать выходной ток нагрузки и переключать его на различные уровни в желаемые моменты времени. Например:

PWL(0 0.5 1m 0.5 1.01m 0.1 3m 0.1 3.01m 0.5) Ток нагрузки начинается с 0,5 A в момент времени 0, пребывает равным 0,5 A в течение 1 мс, переключается на 0,1 A в момент времени 1,01 мс, пребывает равным 0,1 A до 3 мс, переключается на 0,5A в 3,01 мс и остается равным 0,5 A.

PWL может иметь почти неограниченную последовательность пар (время, значение).

.WAVE —

запись выбранных узлов в .wav-файл

LTspice может записывать звуковые файлы .wav. Эти файлы можно слушать или использовать в качестве входных для другого моделирования.

Синтаксис:

...wave <имя файла .wav> <Nbits> <SampleRate> V(out) [V(out2) ...]

Например:

.wave C:\output.wav 16 44.1K V(left) V(right)

Здесь <имя файла .wav> — полный путь к .wav-файлу или относительный путь, определяемый из каталога, содержащего симулируемую схему или список соединений. <Nbits> — число битов в выборке. Допустимый диапазон — от 1 до 32 битов. <SampleRate> — количество выборок в секунду. Допустимый диапазон — от 1 до 4 294 967 295 выборок в секунду. Далее в синтаксисе — перечисление узловых напряжений, значения которых нужно сохранить. Каждый узел будет независимым каналом в .wav-файле. Число каналов может быть от одного до 65 535. Можно записать ток в устройстве, например, Ib(Q1), или узловое напряжение. .wav-аналог цифрового преобразователя имеет полномасштабный диапазон от -1 до +1 вольта или ампера.

В файле ...\LTC\SwCADIII\examples\Educational\wavein.asc приведен пример использования директивы .WAVE.

В следующей статье — примеры моделирования схем с использованием программы.