

Продолжение. Начало в № 11 '2008

Программа схемотехнического моделирования SwitcherCAD III

Михаил ПУШКАРЕВ

В данной части статьи речь пойдет об отображении результатов моделирования и возможных операциях с этими результатами.

Окно графиков

SwitcherCAD III включает в себя интегрированное окно графиков, обеспечивающее полное управление отображением данных моделирования. Окно графиков открывается одновременно с запуском процесса моделирования по команде **Simulate->Run**.

Выбор графика

Есть три основных средства выбора отображаемых графиков.

1. Использование пробника в схеме. Это самый простой метод. Выбираете цепь и щелкаете по проводнику, чтобы построить график напряжения на этом проводнике. Для отображения графика тока через любой компонент с двумя выводами (резистор, конденсатор или катушка индуктивности) нужно нажать на изображение компонента. Способ работает на любом уровне иерархии схемы. Чтобы вывести график тока через соответствующий вывод компонента, имеющего более двух выводов,

следует щелкнуть по нужному выводу компонента. Двойной щелчок стирает все предыдущие графики, отобразится один график, вызванный двумя щелчками. Можно удалить отдельные графики, нажав на имя графика и выбрав команду удаления.

Как отобразить ток в цепи, показано на рис. 17. Курсор мыши превращается в изображение, похожее на зажим амперметра, когда он указывает на ток, который будет отображен. По принятому условию втекающий ток считается положительным.

Можно также указать мышью на разность напряжений. Нажмите на проводник и тяните курсор к другому проводнику. Увидите красный пробник напряжения на первом проводнике и черный пробник на втором. Это позволяет отобразить разность напряжений, как показано на рис. 19.

Еще один схемный пробник позволяет отобразить график мощности, рассеиваемой в компоненте. Для этого нажмите на компонент, удерживая клавишу Alt. Отобразится график мгновенной мощности как произведение напряжений и токов. Он будет изображен со своей шкалой в ваттах. Курсор мыши превращается в изображение, похожее на термометр (рис. 20), когда он указывает на потери, которые будут отображены. Можно найти средние потери, для этого нужно щелкнуть на имени графика при нажатой клавише Ctrl.

2. Команда меню **Plot Settings->Visible Traces**. Эта команда показывает диалоговое окно (рис. 21) для начала отображения данных, полученных при моделировании. Окно

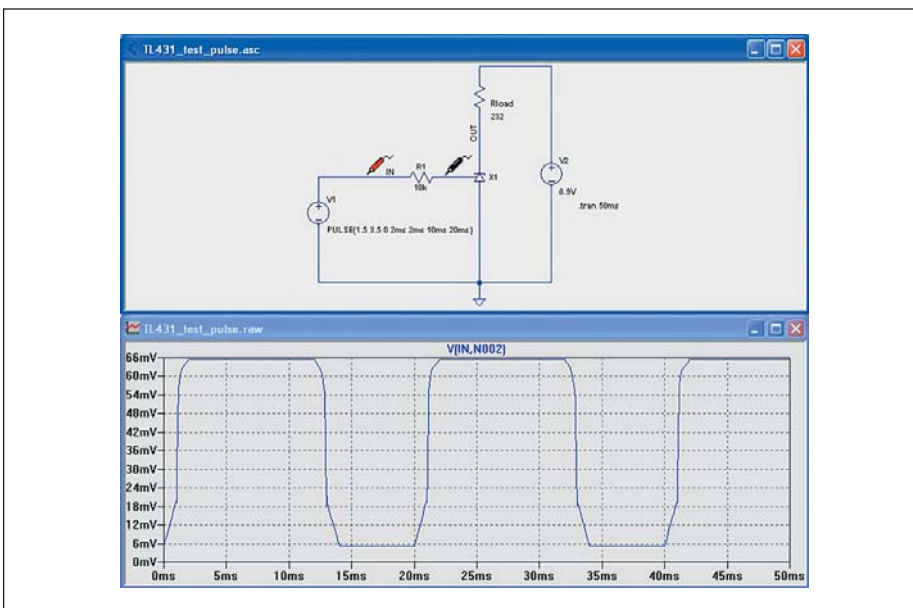


Рис. 19. Выбор отображаемой разности напряжений потенциальными пробниками

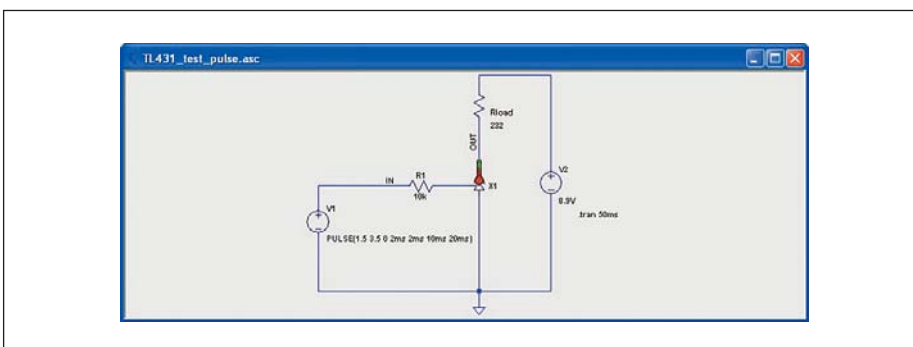


Рис. 20. Пробник мощности

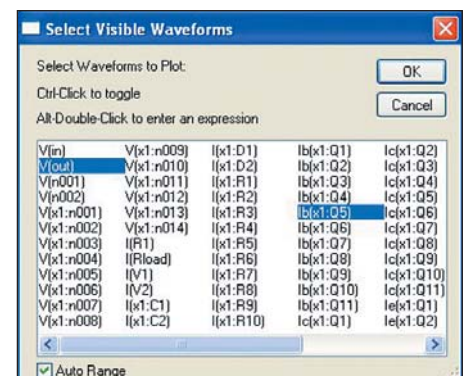


Рис. 21. Выбор отображаемых графиков

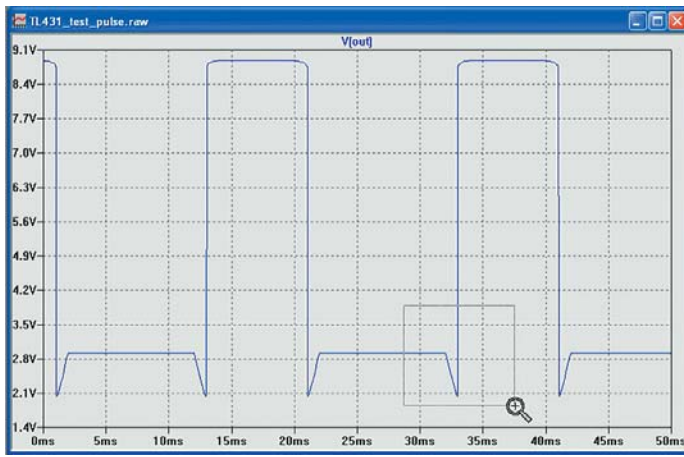


Рис. 22. Изменение масштаба

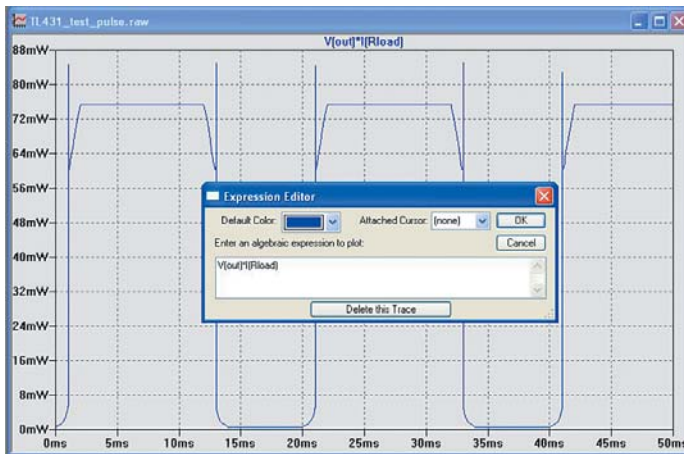


Рис. 23. Редактор математических выражений

позволяет выбрать графики перед отображением. Оно также дает произвольный доступ к полному списку отображаемых графиков. Удерживая нажатой клавишу Ctrl, можно добавлять графики к списку одновременно отображаемых графиков. Двойной щелчок при нажатой клавише Alt открывает диалоговое окно для ввода математического выражения.

- Команда **Plot Settings>Add Trace** подобна команде **Plot Settings>Visible Traces**. Однако при ее использовании не удаляются графики, отображенные ранее. Имеются две полезных возможности. Введите в ячейку редактирования вверху диалогового окна часть имени графика. В диалоговом окне будут показаны имена только тех графиков, которые соответствуют образцу. Это очень полезно при поиске нужного графика, когда известна только часть его имени. Кроме того, несколько легче составлять выражения из данных графиков, потому что можно нажимать на имя графика в списке вместо его вписывания. Команды **Undo** и **Redo** позволяют просматривать разные графики независимо от использованного способа выбора.

Изменение масштаба изображения

LTspice/SwitcherCAD III автоматически изменяет масштаб изображения всякий раз, когда появляются новые данные для отображения. Чтобы изменить масштаб изображения области, просто начертите рамку вокруг области (рис. 22), которую следует увеличить.

Есть кнопки на панели инструментов и команды меню для изменения масштаба изображения и возврата к автоматически установленному масштабу. Команды **Undo** и **Redo** при просмотре графиков тоже действуют.

Математические операции с графиками

С данными графиков могут быть выполнены три типа математических операций.

1. Отображение преобразованных графиков.

Обе команды, **Plot Settings>Visible Traces** и **Plot Settings>Add Trace**, позволяют вводить выражения для преобразования данных. При другом методе вывода графиков преобразованных данных моделирования нужно поместить курсор на имя графика в верхней части окна графиков и щелкнуть правой кнопкой мыши. Диалоговое окно редактирования выражений (рис. 23) позволяет также

установить цвет графика и подключить курсор к кривой. LTspice проанализирует размерность выражения и разметит вертикальную ось в соответствующих единицах измерений. Все графики отобразятся в тех же единицах, что указаны на соответствующей оси.

Разность двух напряжений, например, $V(a) - V(b)$, может быть эквивалентно записана как $V(a, b)$.

Для данных в действительных величинах доступны функции, перечисленные в таблице 3.

Для данных в комплексных числах функции **ATAN2(,)**, **SGN(,)**, **U(,)**, **BUF(,)**, **INV(,)**, **URAMP(,)**, **INT(,)**, **FLOOR(,)**, **CEIL(,)**, **RAND(,)**, **MIN(,)**, **LIMIT(,)**, **IF(,,)** и **TABLE(...)** недоступны.

Операции, доступные для действительных чисел, приведены в таблице 4.

Таблица 3. Математические функции для преобразования графиков

Функция	Определение
ABS(x)	Абсолютное значение x
ACOS(x)	Аркосинус x
ARCOS(x)	Синоним для acos(x)
ACOSH(x)	Гиперболический косинус x
ASIN(x)	Арсинус x
ARCSIN(x)	Синоним для asin(x)
ASINH(x)	Гиперболический синус x
ATAN(x)	Арттангенс x
ARCTAN(x)	Синоним для atan(x)
ATAN2(y, x)	Арттангенс y/x
ATANH(x)	Гиперболический тангенс x
BUF(x)	buf(x)=1, если x>0,5; buf(x)=0, если x<0,5
CEIL(x)	Целое число, равное или большее, чем x
CONJ(x)	Комплексная функция, сопряженная x
COS(x)	Косинус x
COSH(x)	Гиперболический косинус x
D(x)	Производная dx/dt
EXP(x)	Экспонента числа x
FLOOR(x)	Целое число, равное или меньшее, чем x
HUPOT(x,y)	sqrt(x ** 2 + y ** 2)
IF(x, y, z)	y, если x истинно, иначе z
IM(x)	Мнимая часть комплексного аргумента
INT(x)	Округление x до целого числа
INV(x)	inv(x)=0, если x>0,5; inv(x)=1, если x<0,5
LIMIT(x,y,z)	x, если y<x<z; y, если x<y; z, если x>y
LN(x)	Натуральный логарифм x
LOG(x)	Альтернативный синтаксис для ln(x)
LOG10(x)	Десятичный логарифм x
MAG(x)	Действительная часть, равная амплитуде комплексного аргумента
MAX(x,y)	Максимальное из x или y
MIN(x,y)	Минимальное из x или y
PH(x)	Действительная часть, равная фазе комплексного аргумента
POW(x, y)	x ** y
PWR(x, y)	abs(x) ** y
PWRS(x, y)	sgn(x) * abs(x) ** y
RAND(x)	Случайные числа между 0 и 1 в зависимости от значения x
RANDOM(x)	Функция, подобная rand(x), но с более плавными переходами между значениями
RE(x)	Действительная часть комплексного аргумента
ROUND(x)	Ближайшее целое к x
SGN(x)	Знак числа x
SIN(x)	Синус x
SINH(x)	Гиперболический синус x
SQRT(x)	Квадратный корень из x
TABLE(x,a,b,c,d,...)	Табличная зависимость функции от x. Координаты точек (x, y) в виде таблицы, в промежутках между точками линейная аппроксимация
TAN(x)	Тангенс x
TANH(x)	Гиперболический тангенс x
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()

Таблица 4. Математические операции для преобразования графиков

Символ операции	Назначение
&	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
-	Вычитание
*	Умножение
/	Деление
**	Возведение в степень
!	Преобразование, эквивалентное логической инверсии
@	Оператор выбора шага

ИСТИНА (TRUE) в цифровой форме равна 1, а ЛОЖЬ (FALSE) — 0. В булевом преобразовании значение преобразуется в 1, если оно больше 0,5, иначе преобразованное значение 0.

Оператор выбора шага @ используется, когда возможны многократные проходы моделирования как в .STEP, .TEMP или .DC анализе. Так выбираются данные из определенного прохода. Например, V(1)@3 отобразил бы данные от 3-го прохода независимо от того, какие шаги выбраны для отображения.

Для комплексных чисел доступны только операции +, -, *, /, **, и @. Также для комплексных чисел булев оператор XOR, ^, понимается как возведение в степень, **.

Встроенные в программу константы перечислены в таблице 5.

Таблица 5. Встроенные константы

Символ	Описание	Величина
E	e	2,7182818284590452354
Pi	π	3,14159265358979323846
K	Постоянная Больцмана	1,3806503e-23
Q	Заряд электрона	1,602176462e-19

Ключевое слово **time** подразумевается при подготовке к отображению результатов анализа переходных процессов. Точно так же **freq** и **omega** подразумеваются при подготовке отображения данных анализа по переменному току. Знак **w** может использоваться как синоним для омеги.

2. Вычисление среднего или среднеквадратичного значения для графика.

В окне графиков можно интегрировать графики, чтобы получить среднее или среднеквадратичное значения в указанном диапазоне. Увеличьте масштаб изображения кривой до интересующего участка, затем переместите курсор на имя графика и, удерживая нажатой клавишу Ctrl, щелкните левой кнопкой мыши.

3. Показ Фурье-преобразования графика.

Используйте команду **View->FFT** для вызова диалогового окна выбора графиков (рис. 25), чтобы выполнить быстрое преобразование Фурье над данными различных графиков.

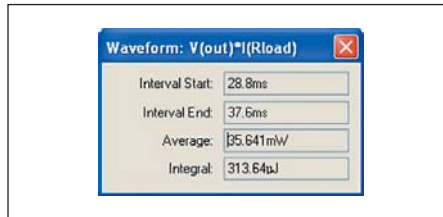


Рис. 24. Окно результатов вычисления средних значений

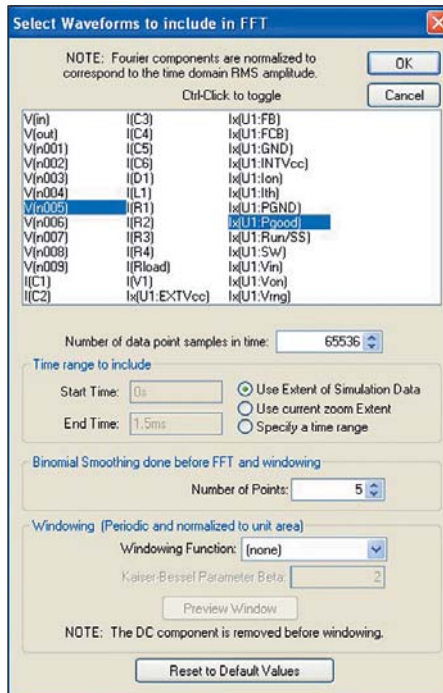


Рис. 25. Выбор графиков для быстрого преобразования Фурье

Функции, определяемые пользователем

Команда меню **Plot Settings->Edit Plot Defs File** позволяет вводить собственные определения функций и параметров для использования в окне графиков. Эти функции сохра-

няются в файле plot.defs в том же каталоге, что и исполняемый файл SwCADIII, scad3.exe.

Синтаксис тот же самый, что и в директивах .PARAM и .FUNC, которые будут рассмотрены далее. Например, строка .func Pythag(x,y) {sqrt(x*x+y*y)} определяет функцию Pythag() как квадратный корень из суммы двух ее аргументов. Точно так же строка .param twopi = 2*pi определяет twopi равным 6.28318530717959. При этом используется встроенная константа π.

Управление осями

Если переместить курсор мыши за пределы области данных, он превращается в линейку. Это показывает возможность изменения атрибутов соответствующей оси. Щелчком левой кнопки мыши открывается диалоговое окно ручного ввода данных для масштабирования оси графика. Например, для данных в действительных числах, если переместить курсор мыши в низ экрана и щелкнуть левой кнопкой, можно войти в диалог для изменения масштаба горизонтальной оси. Это позволяет изменить параметры изображения.

Для данных в комплексных числах можно отобразить любую фазу, групповую задержку или что-то иное с правой вертикальной осью. Можно изменить представление комплексных данных от диаграмм Боде к годографу Найквиста или декартовым координатам, переместив мышь к левой вертикальной оси комплексных данных и нажав левую кнопку мыши.

Панели отображения графиков

Несколько панелей графиков могут быть размещены в одном окне по команде **Plot Setting->Add Plot Pane**. Это обеспечивает лучшее разделение между графиками и независимое масштабирование разных графиков (рис. 26). Графики можно перемещать между панелями путем перетягивания метки. Копия графика может быть сделана в другой панели.

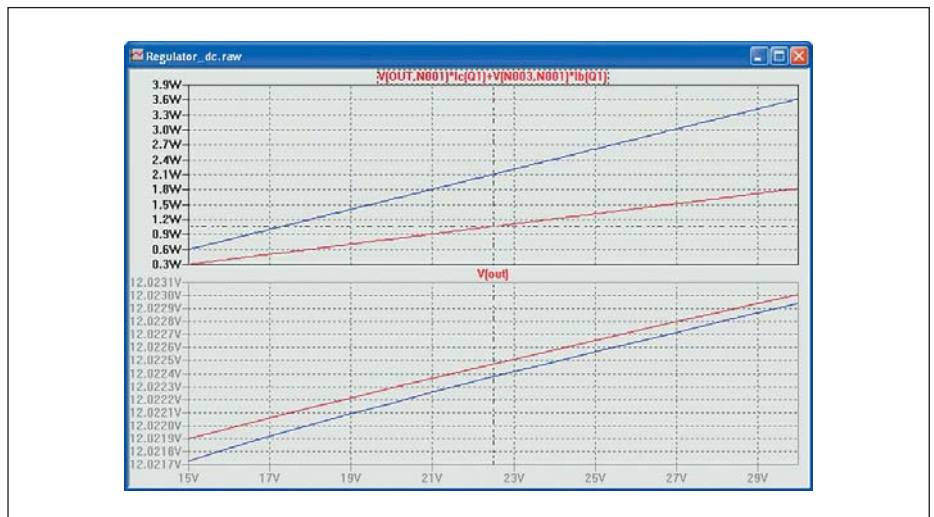


Рис. 26. Отображение графиков на нескольких панелях

Если в меню **Plot Setting** пометить ячейку **Grid**, панель отображения графиков будет дополнена сеткой.

Управление цветом

Команда меню **Tools->Color Preferences** позволяет установить цвета, используемые для отображения данных (рис. 27). Нажмите на объект и, используя красный, зеленый и синий ползунки, изменяйте цвета по вашему желанию.

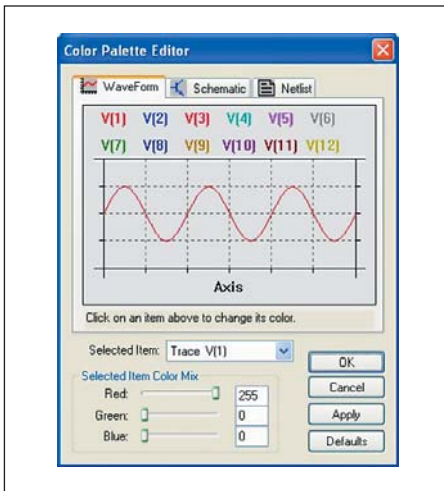


Рис. 27. Управление цветами графиков

Подключаемые курсоры

Два курсора доступны для подключения. Подключить курсор к графику можно щелчком левой кнопки мыши на имени графика. Можно подключить оба курсора к одному графику, нажав правую кнопку мыши на имени графика и выбрав **1st & 2nd** в ячейке **Attached Cursor** всплывающего меню. Можно также подключить 1-й или 2-й курсор или оба курсора к любому графику по выбору (рис. 28). Подключенные курсоры могут перемещаться перетягиванием мышью или при помощи курсорной клавиатуры.

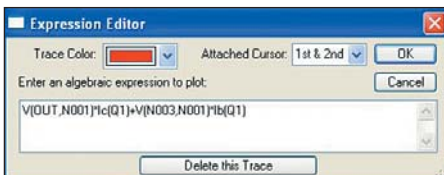


Рис. 28. Подключение курсоров

С подключением курсоров появляется окно, в котором показаны координаты и разность координат курсоров.

Возможно также считывание позиции курсора мыши, независимо от вышеупомянутого считывания подключенным курсором (рис. 29). При перемещении курсора мыши по окну графиков, положение мыши отображается в управляющей строке. Если перемещать мышь, как при изменении масштаба изображения, в строке управления отобра-



Рис. 29. Координаты курсоров

жается размер рамки. Это позволяет быстро проводить различные измерения с помощью курсора мыши. Если координата горизонтальной оси — время, то разность координат преобразуется в частоту.

Таким способом можно измерить разность координат, не изменяя масштаба изображения, если нажать клавишу Esc или правую кнопку мыши, перед тем как отпустить левую кнопку мыши.

Подключенные курсоры можно использовать для считывания сведений о графике соответствующей ступени в семействе графиков, полученных .step/.dc/.temp моделированием (рис. 30). Курсор можно перемещать от графика одной ступени к графику другой ступени клавишами вверх/вниз курсорной клавиатуры и, нажав затем на курсор правой кнопкой мыши, увидеть информацию о соответствующем графике.

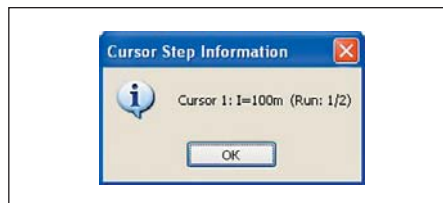


Рис. 30. Окно информации о графике

Сохранение конфигурации отображения графиков

Команды меню **Plot Settings->Save Plot Settings/Open Plot Settings File** позволяют прочитать и записать конфигурацию отображения на диск. Файлы настройки отображения графиков — ASCII файлы с расширением .plt. По умолчанию имя файла совпадает с именем файла данных с заменой расширения .raw файла данных на .plt. Если файл с таким именем существует, то, когда открывается файл данных, считывается и соответствующий файл конфигурации отображения.

Каждый тип анализа — .TRAN, .AC, .NOISE и пр. — имеет собственный файл настроек отображения. Это не дает возможности загружать параметры настройки от одного вида анализа к другому. Но можно использовать файл параметров настройки отображения от другого моделирования такого же вида анализа.

Формат файла быстрого доступа Fast Access

В процессе моделирования программа LTspice обычно использует формат сжатого бинарного файла, позволяющий присоединить дополнительные данные моделирования без изменения остальной части файла. Но когда моделирование закончено, может оказаться, что этот формат файла слишком медленный для доступа с целью добавления единственного нового графика в файл.

Чтобы сократить время, можно преобразовать файл в альтернативный формат **Fast Access**. Это может быть сделано только после того, как моделирование закончено, то есть никакие новые данные не будут добавлены к файлу. Как только файл преобразован в этот формат, время загрузки новых графиков будет уменьшено пропорционально количеству графиков, сохраненных в файле. Например, для файла объемом 5 Гбайт с данными на 2000 графиков может потребоваться 4 мин, чтобы добавить новый график. После преобразования этого файла в формат **Fast Access**, время загрузки с четырех минут уменьшится до секунды. Это облегчает многократный анализ больших схем с огромными файлами данных моделирования. Время, требуемое для того, чтобы загрузить файл графика в формате **Fast Access**, в большей степени зависит от количества имеющейся памяти и скорости жесткого диска.

Чтобы преобразовать графики в формат **Fast Access**, нужно сделать окно графиков активным и выполнить команду меню **File->Convert to Fast Access**. Процесс преобразования потребует свободного дискового пространства, равного размеру преобразуемого файла, но преобразованный файл будет только на 11 байт больше оригинального.

Процесс преобразования может занять много времени и использовать до одной четверти оперативной памяти. Фактически для преобразования файла в формат **Fast Access** может потребоваться больше времени, чем было необходимо для первоначального моделирования. Точное время преобразования будет зависеть от фрагментации жесткого диска и количества имеющейся оперативной памяти. В течение преобразования можно заметить, что компьютер неохотно откликается на действия мыши и клавиатуры. Возможно преобразование файлов командой из командной строки со следующим синтаксисом:

```
scad3.exe -FastAccess <file>
```

Здесь <file> — название .raw файла, который преобразуется в формат **Fast Access**. Этот формат поддерживается только для действительных данных, а не комплексных данных, получаемых при .AC анализе.

Далее будет рассмотрен синтаксис и директивы моделирования языка LTSpice. ■

Продолжение следует