

## 9. Моделирование цифровых и аналого-цифровых устройств

Первая — колом;  
Вторая — соколом;  
Третья — легкой пташечкой...

*Гост*

Среда OrCAD 9.2 позволяет осуществлять моделирование аналоговых, цифровых, а также смешанных аналого-цифровых устройств. При моделировании цифровых устройств предоставляются следующие возможности:

- 1) использование примитивов цифровых устройств и их комбинаций (таблица цифровых примитивов, имеющихся в PSpice A/D, приведена в разд. 1.2);
- 2) использование цифровых элементов, являющихся моделями реально существующих цифровых устройств (например, библиотека CD4000, содержащая модели цифровых элементов общеизвестной цифровой серии).

Использование возможностей, перечисленных в пунктах 1 и 2, практически перекрывает подавляющее большинство встречающихся на практике случаев построения цифровых и аналого-цифровых систем. Однако если все-таки возникнет необходимость моделирования цифровой системы, формирование которой не удастся осуществить стандартными методами, пользователь может построить собственную цифровую модель.

Законченная модель цифрового устройства имеет три основные характеристики:

- 1) функциональные зависимости: описаны уровнем затвора и цифровыми примитивами поведения, включенными в подсхему;
- 2) входные/выходные зависимости: описаны моделью входа/выхода, интерфейсом подсхемы и источниками питания, относящимися к логическому семейству;
- 3) временные зависимости: описаны одной или более временными моделями, примитивами межвыводной задержки или примитивами проверки состояния.

При моделировании аналого-цифровых устройств осуществляется возможная их стыковка с применением стандартных AtoD и DtoA интерфейсов, которые подключаются по умолчанию автоматически, или построение собственных интерфейсов пользователя. Для использования стандартных интерфейсов необходимо подключить к проекту библиотеку dig\_io.lib.

В библиотеках PSpice (например, SOURCSTM.lib) содержатся цифровые источники сигналов с широким набором функциональных свойств, применение которых во многих случаях может упростить решение задач моделирования цифровых устройств.

Для работы с цифровыми элементами имеются источники постоянного логического нуля \$D\_LO и постоянной логической единицы \$D\_HI (см. п. 3.2).

При работе с моделями выпускаемых промышленностью цифровых элементов PSpice позволяет применять либо стандартное напряжение питания (5 В), либо напряжение питания по желанию пользователя.

## 9.1. Построение цифровых моделей

Ниже приведены рецепты, которые могут быть применены при моделировании цифровых устройств.

### 9.1.1. Создание цифрового источника

#### Задача.

Создать цифровой источник с именем 'X' и заданными параметрами: частотой 'F', временем задержки 'TD' и начальным значением (0;1).

#### Решение.

PE - E2.Libraries^SOURCSTM, Part List^DigStim1,OK - DigStim1 - A3.PSpice Stimulus.New Stimulus->'X', Name->'X', Digital^Clock, OK - {Frequency->'F' & Initial Value->0[1] & Time Delay->'TD'}, OK↓

### 9.1.2. Создание цифрового источника в редакторе Stimulus Editor

#### Задача.

Создать цифровой источник с именем 'X' и заданными параметрами: частотой 'F', временем задержки 'TD' и начальным значением (0;1) в редакторе Stimulus Editor.

#### Решение.

SE - B1 - A3.New, Name->'X', DigitalClock, OK - {Frequency->'F' & Initial Value->0[1] & Time Delay->'TD'}, OK↓

### 9.1.3. Изменение свойства цифрового источника в редакторе Stimulus Editor

#### Задача.

У цифрового источника с именем 'X' изменить параметр частоты на 'F', время задержки на 'TD' и начальное значение (0;1) в редакторе Stimulus Editor.

**Решение.**

SE -- B2.Имя файла (Filename)->'X' — A2.Attributes — {Frequency->'F' & Initial Value->0[1] & Time Delay->'TD'}, OK↓

#### **9.1.4. Создание цифрового источника с сигналом произвольной формы в редакторе Stimulus Editor**

**Задача.**

Создать цифровой источник 'X' с сигналом произвольной формы в редакторе Stimulus Editor.

**Решение.**

SE - B1 - A3.New, Name->'X', Digital^Signal, OKI

**Замечание.**

В результате этого создается источник, обеспечивающий на выходе ноль, единицу или неопределенность.

#### **9.1.5. Добавление переходов «ноль-единица» и «единица-ноль» в цифровом источнике**

**Задача.**

Определен цифровой источник 'X' с сигналом произвольной формы. Добавить в сигнал переходы «ноль-единица» и «единица-ноль».

**Решение.**

SE - A2.Add - 'X'↓

**Замечание.**

По каждому клику мыши создается один переход в точке клика (по времени). Таким образом, формируется сигнал с задаваемыми пользователем моментами перехода.

#### **9.1.6. Изменение длительности состояний «единица» и «ноль» в цифровом источнике сигнала произвольной формы**

**Задача.**

Определен цифровой источник 'X' с сигналом произвольной формы. Изменить длительность состояний «единица» и «ноль».

**Решение.**

SE — 'X', 'o', "Left Mouse", "Переместить курсор мыши в нужную точку"↓

### 9.1.7. Редактирование сигнала произвольной формы путем задания времени переходов «единица-ноль» и «ноль-единица»

#### Задача.

Определен цифровой источник 'X' с сигналом произвольной формы. Задать времена переходов «единица-ноль» и «ноль-единица». Начальное время перехода 'TS', длительность 'TW'.

#### Решение.

SE - 'X' - A2.Attributes, {Start Time->'TS' & Duration->'TW' & Value^ 0{1}}, OK↓

### 9.1.8. Удаление сигнала произвольной формы

#### Задача.

Определен цифровой источник 'X' с сигналом произвольной формы. Следует удалить сигнал.

#### Решение.

SE - 'X' - A2.Delete↓

### 9.1.9. Визуализация выводов питания цифрового элемента

#### Задача.

Дан цифровой элемент 'X'. Визуализировать выводы питания этого цифрового элемента

#### Решение.

PE - 'X'."Right Mouse", Power Pins Visible->'√' - PE↓

### 9.1.10. Установка уровня входа/выхода для аналого-цифровых интерфейсов

#### Задача.

Установить для аналого-цифровых интерфейсов схемы уровень входа/выхода равный 3.

#### Решение.

PE — D3.Options, Category^Gate Level Simulation, Default I/O Level for A/D interfaces^3, OK↓

#### Замечание.

Предусмотрены уровни с 0 до 4. Смысл значения уровней приведен в табл. 9.1.

**Таблица 9.1. Уровни моделей интерфейса входа/выхода**

Уровень	Характеристика уровня
0	Расчетное значение переменной в цифровых примитивах
1	Минимально возможное значение переменной в цифровых примитивах
2	Более вероятное значение переменной в цифровых примитивах
3	Максимально возможное значение переменной в цифровых примитивах
4	Значение переменной в цифровых примитивах при наихудшем времени переключения цифровых примитивов

### **9.1.11. Установка начального состояния триггеров**

**Задача.**

Установить в качестве начального состояния триггеров в схеме логический ноль.

**Решение.**

PE — D3.Options, Category^Gate Level Simulation, Initialize all flip-flops to^0, OK

**Замечание.**

Всего имеется три начальных состояния триггера: логический ноль (0), логическая единица (1) и неопределенное состояние (X). По умолчанию используется неопределенность.

## **9.2. Пример моделирования аналого-цифровой схемы**

Для демонстрации моделирования аналого-цифровых схем рассмотрим пример моделирования варианта схемы, обеспечивающей генерирование двух последовательностей противофазных прямоугольных импульсов, длительность которых плавно увеличивается при постоянстве периода их следования. Принципиальная схема модели приведена на рис. 9.1. В схеме используются два генератора пилообразного напряжения, выполненных на источниках V2, V3 типа VPULSE, компаратор LM139, триггер CD4027A, двухвходовые элементы И-НЕ с петлей гистерезиса CD4093B и трехвходовые элементы ИЛИ-НЕ CD4025A.

Все применяемые микросхемы запитаны от источника постоянного напряжения V1 15 В. Для того чтобы таким образом запитать микросхемы необходимо было визуализировать выводы питания микросхем (см. 3.1.2.31 или 9.1.9) На соответствующие входы триггера подаются логический ноль \$D\_LO и логическая единица \$D\_HI. Характерным является то, что установка начального состояния триггера (см. 9.1.11) определяет режим работы схемы. На рис. 9.2 приведены осциллограммы работы схемы в штатном режиме, когда начальное

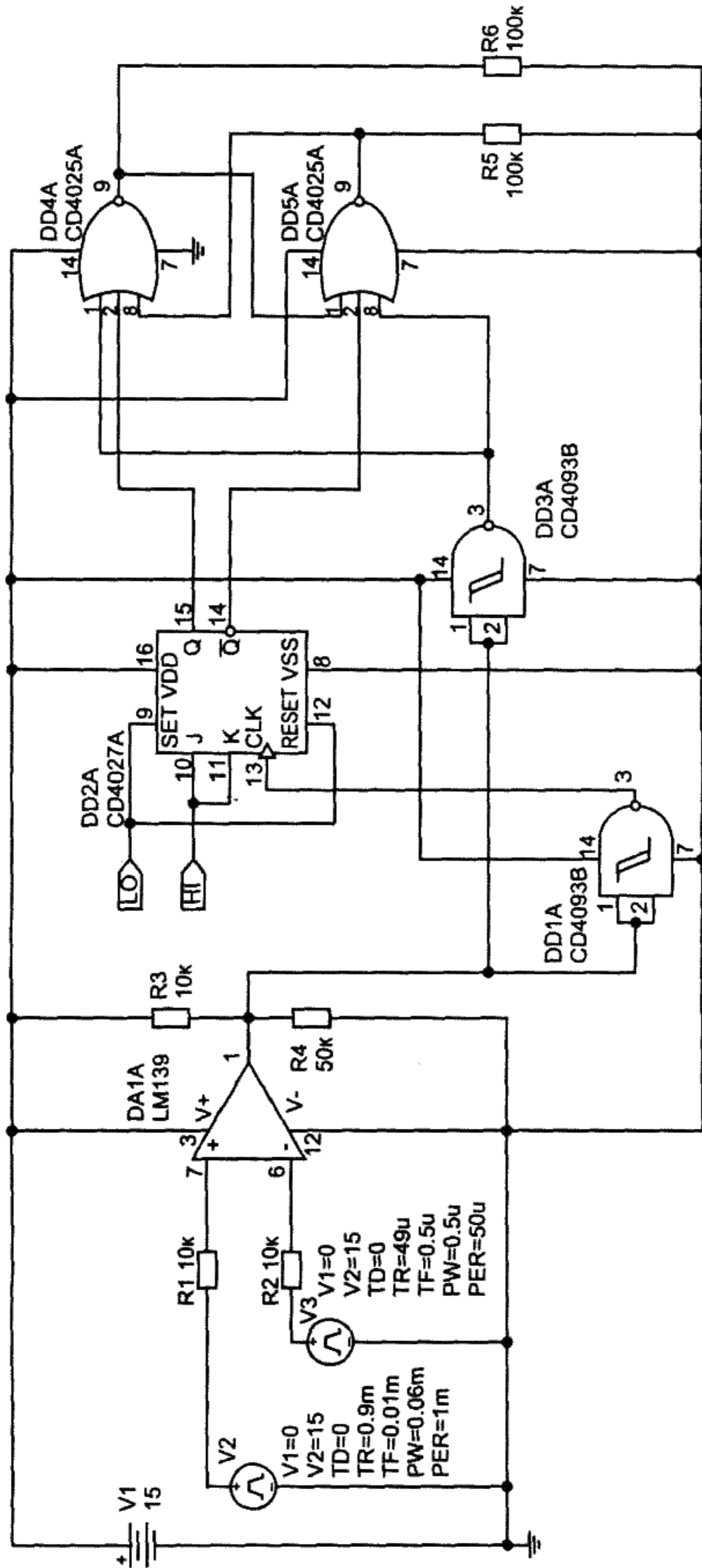


Рис. 9.1. Схема аналого-цифровой модели генератора импульсов

состояние триггера — логическая единица. Осциллограммы, приведенные на рис. 9.3, соответствуют начальному состоянию триггера — неопределенность. Работа схемы в этом случае является нештатной.

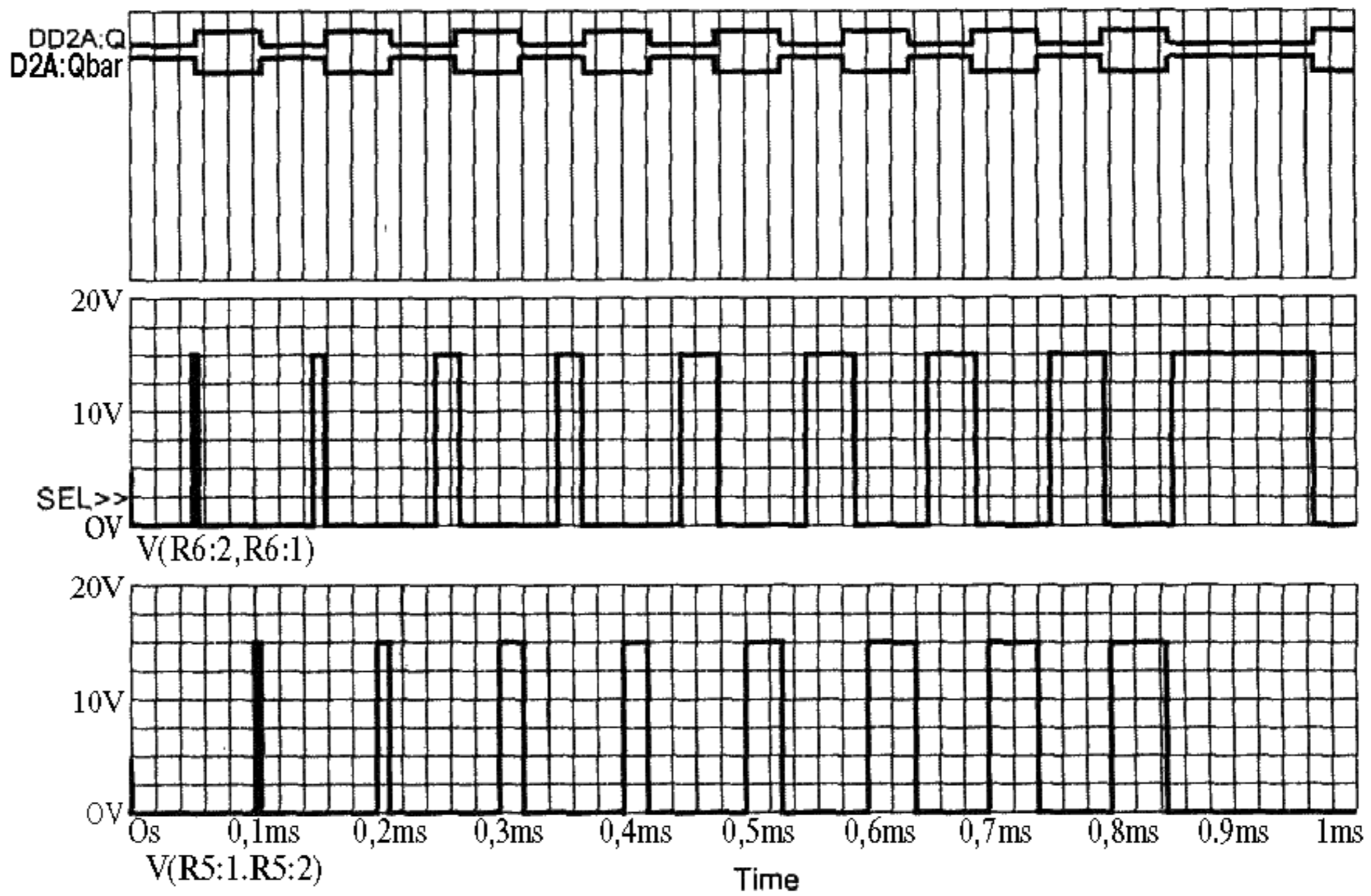


Рис. 9.2. Осциллограммы, отображающие штатный режим работы схемы генератора

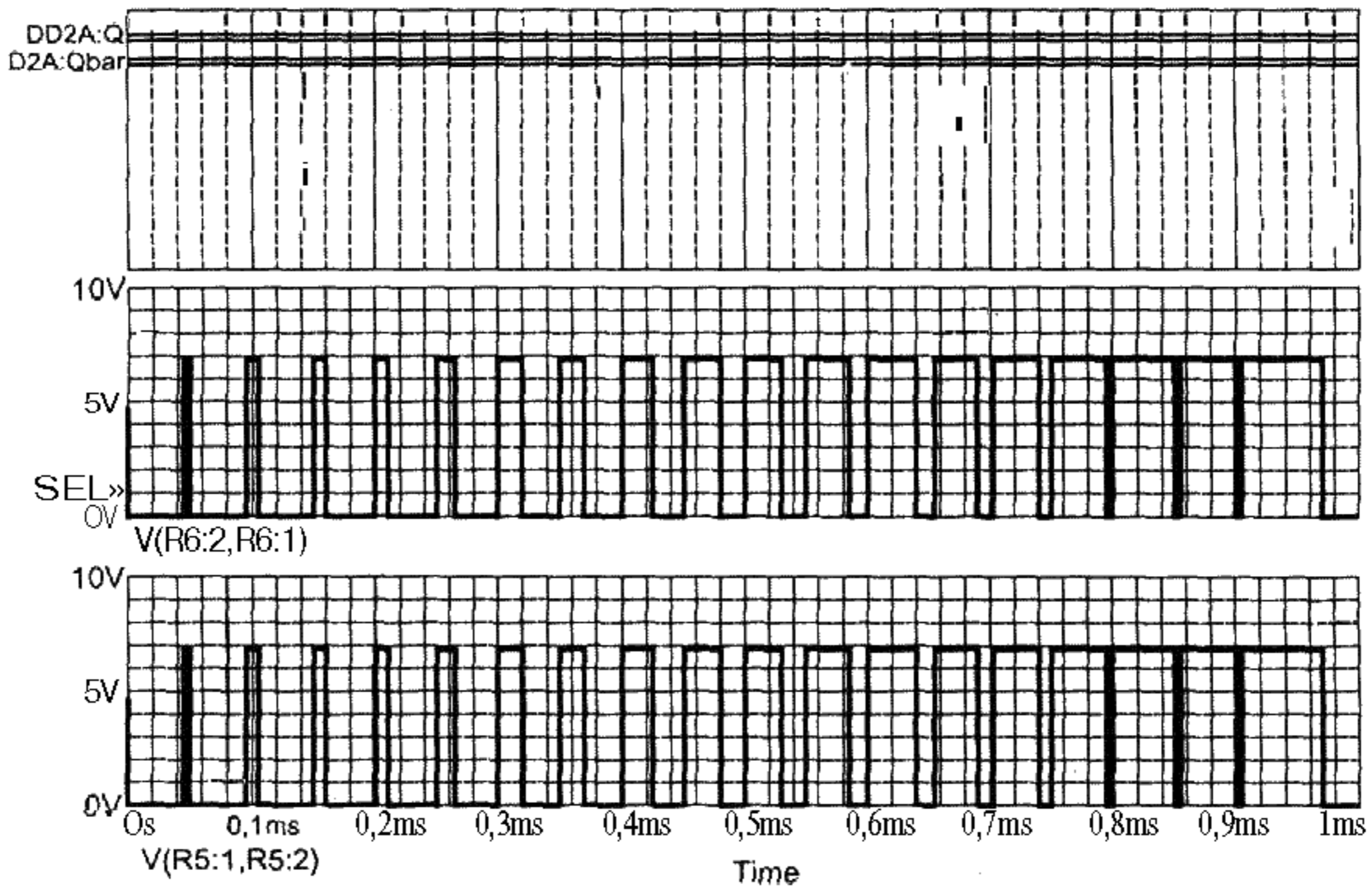


Рис. 9.3. Осциллограммы, отображающие нештатный режим работы схемы генератора

В данном примере использовались стандартные аналого-цифровой и цифро-аналоговый интерфейсы (подключение библиотеки `dig_io.lib`, см. 3.2.4.2).

Верхний луч на осциллограммах (рис. 9.2, 9.3) отображает цифровые сигналы выходов триггера, а остальные осциллограммы отображают аналоговые сигналы, соответствующие напряжениям на резисторах R5 и R6.

## 10. Сервисные функции

...на маленьком столике сервирован поднос, на коем имеется нарезанный белый хлеб, паюсная икра в вазочке, белые маринованные грибы на тарелочке... водка в объемистом графинчике. Накрыто, словом, было чисто, умело.

*М. А. Булгаков, «Мастер и Маргарита»*

Одним из важных факторов, определяющих эффективность применения среды OrCAD 9.2, является развитая система сервисных функций. Некоторые правила пользования этими функциями приведены в настоящей главе.

### 10.1. Вывод информации на печать

В данном параграфе будут рассмотрены вопросы и приведены рецепты, связанные с выводом информации, полученной в среде OrCAD 9.2, на печать.

#### 10.1.1. Выбор ориентации листа бумаги

##### Задача.

Выбрать ориентацию листа для печати.

##### Решение.

PS — A2.Page Setup, Orientation ^ Landscape (Portrait), ОК↓

#### 10.1.2. Предварительный просмотр графической информации перед печатью в Capture

##### Задача.

Осуществить предварительный просмотр графической информации перед печатью в Capture.

##### Решение.

PE — A2.Print Preview, Scale to paper size [Scale to page size][Scaling], ОК↓

#### 10.1.3. Предварительный просмотр графической информации перед печатью в PSpice

##### Задача.

Осуществить предварительный просмотр графической информации перед печатью в PSpice.



**Решение.**

PE — A2.Print Preview!

### 10.1.4. Выбор масштаба печати на всю страницу

**Задача.**

Дана схема. Необходимо распечатать ее полностью на одной странице как можно крупнее.

**Решение.**

PE — A2.Print, Scale^Scale to paper size, OK↓

**Замечание.**

Размер страницы определяется принтером и его настройками.

### 10.1.5. Выбор масштаба печати по заданному формату бумаги

**Задача.**

Дана схема. Необходимо распечатать ее на формате бумаги A2(C).

**Решение.**

PE — A2.Print, Scale^Scale to page size, Page size^C, OK↓

**Замечание.**

Рецепт справедлив также для форматов бумаги A0(A), A1(B), A3(D), A4(E).

### 10.1.6. Назначение масштаба печати

**Задача.**

Дана схема. Необходимо распечатать ее с масштабом, равным 'X'.

**Решение.**

PE - A2.Print, Scale^Scaling->'X', OK!

**Замечание.**

Величина 'X' может быть как больше, так и меньше 1.

## 10.2. Выбор масштаба изображения схемы

На разных этапах работы со схемой модели целесообразно использование различных масштабов ее изображения на экране: изображение схемы во весь экран, выделение части схемы путем ее смещения по вертикали и/или горизонтали, выделение области схемы в окрестности заданной курсором точки и т. д. Ниже приведены рецепты, позволяющие реализовать различные способы масштабирования схемы на экране.

### **10.2.1. Увеличение на схеме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом**

**Задача.**

Увеличение масштаба схемы в окрестности заданной точки 'Y'.

**Решение.**

PE - C2 - 'Y'↓

**Замечание.**

Данная процедура может повторяться.

### **10.2.2. Уменьшение на схеме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом**

**Задача.**

Уменьшение масштаба схемы в окрестности заданной точки 'Y'.

**Решение.**

PE - C3 - 'Y'↓

**Замечание.**

Данная процедура может повторяться.

### **10.2.3. Выделение на схеме требуемой области с увеличением масштаба**

**Задача.**

Выделить на схеме требуемую область в окрестности точки 'Y'.

**Решение.**

PE - C4 - <'Y'>↓

**Замечание.**

Данная процедура может повторяться.

### **10.2.4. Отображение на экране схемы целиком**

**Задача.**

Отобразить на экране схему целиком.

**Решение.**

PE - C5↓

### **10.2.5. Перевод экрана со стандартного на альтернативный вид**

В некоторых случаях для увеличения размера выведенных на экран осциллограмм (не путать с выделением, см. пп. 9.2.1Л — 9.2.1.4) среда OrCAD 9.2

предоставляет пользователю возможность применять альтернативный вид экрана. При этом увеличение размера изображения достигается за счет удаления всей вспомогательной информации в виде панелей инструментов с экрана.

### **Задача.**

Перевести экран со стандартного на альтернативный вид.

### **Решение.**

**PS – AII↓**

## **10.3. Прочие сервисные функции**

### **10.3.1. Проверка ошибок в схеме**

В среде OrCAD 9.2 заложена диагностическая подсистема обнаружения формальных ошибок, которые могут возникнуть при построении схем моделей. Информация об обнаруженных подсистемой диагностики ошибках предоставляется в выходном файле проекта и состоит из указания на тип ошибки и, иногда, способа ее устранения. В качестве примеров могут быть рассмотрены диагностика топологических ошибок (см. п. 3.3) или диагностика ошибок, связанных с конвергенцией (см. п. 7).

Для уменьшения количества ошибок, возникающих при построении схемы, в среде OrCAD 9.2 проведена формализация этих ошибок. Результат этой работы оформлен в виде правил проверки ошибок (Design Rules Check), которые представлены в окне Design Rules Check (вкладка ERC Matrix). Копия данного окна приведена на рис. 10.1.

В таблице по двум осям приведены следующие характеристики и особенности схем моделей:

- 1) Input — вход;
- 2) Bidirectional — двунаправленный элемент;
- 3) Output — выход;
- 4) Open Collector — открытый коллектор;
- 5) Passive — пассивный элемент;
- 6) 3 State — элемент с тремя состояниями;
- 7) Open Emitter — открытый эмиттер;
- 8) Input Port — входной порт;
- 9) Bidirectional Port — двунаправленный порт;
- 10) Output Port — выходной порт;
- И) Open Collector Port — порт с открытым коллектором;
- 12) Passive Port — пассивный порт;
- 13) 3 State Port — порт с тремя состояниями;
- 14) Open Emitter Port — порт с открытым эмиттером;
- 15) Power — силовой вывод;
- 16) Unconnected — отсутствие соединения.

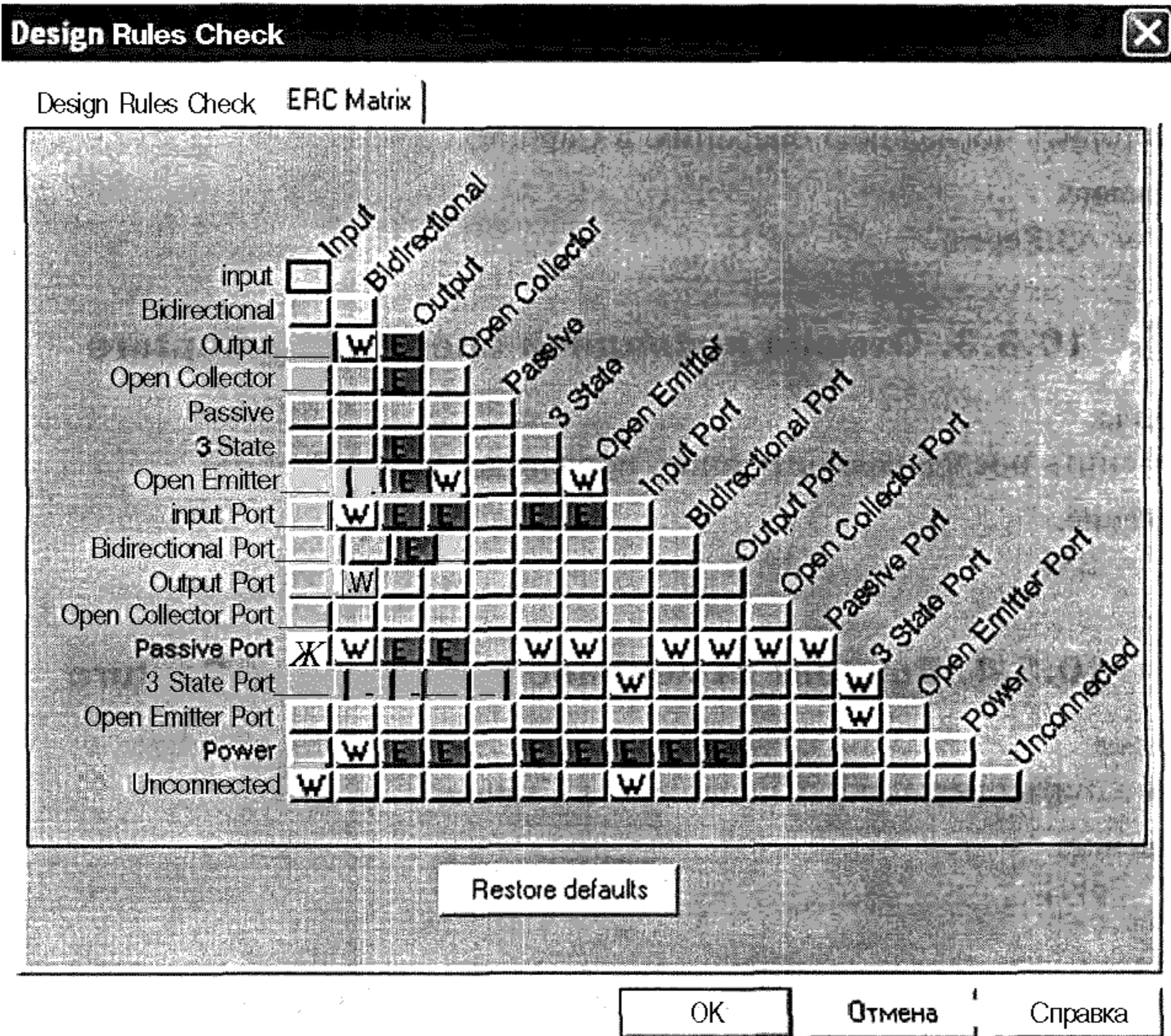


Рис. 10.1. Таблица возможных ошибок при построении схем в среде OrCAD 9.2

На пересечении соответствующих строк и столбцов таблицы в зависимости от топологических отношений между перечисленными выше характеристиками и особенностями схем возможны три варианта:

- 1) клетка пустая — соединение является разрешенным;
- 2) клетка, обозначенная буквой W (Warning), — предупреждение о возможной ошибке или некорректности. Данная ошибка не вызывает прекращения анализа схемы;
- 3) клетка, обозначенная буквой E (Error), — сообщение об ошибке, при которой анализ схемы становится невозможным и прекращается.

Для того чтобы осуществить проверку схемы модели до запуска ее анализа, можно воспользоваться специальной процедурой проверки ошибок.

#### Задача.

Проверить схему на наличие ошибок.

#### Решение.

DM — A6.Design Rules Check, OK↓

#### Замечание.

Результаты проверки заносятся в Session Log.

### 10.3.2. Повтор последней операции в Capture

**Задача.**

Повторить последнюю операцию в Capture.

**Решение.**

PE — A3.Repeat↓

### 10.3.3. Отмена последней операции в Capture

**Задача.**

Отменить последнюю операцию, произведенную в Capture.

**Решение.**

PE — B8↓

### 10.3.4. Возврат отмененной операции в Capture

**Задача.**

Выполнить операцию, отмененную в Capture.

**Решение.**

PE — B9↓

### 10.3.5. Запись макроса в Capture

**Задача.**

Создать в Capture макрос под псевдонимом X.

**Решение.**

PE — A6.Configure, Macro Name->'X', Macro, Record↓

### 10.3.6. Исполнение макроса

**Задача.**

Исполнить макрос с псевдонимом X.

**Решение.**

PE - 'X'— A6.Play↓

### 10.3.7. Запись макросов в PSpice

**Задача.**

Создать в PSpice макрос под псевдонимом X со значением 'Y'.

**Решение.**

PS - A6.Macros, 'X'='Y', Save, Close↓

### 10.3.8. Переход курсора в заданную точку схемы

**Задача.**

Осуществить переход курсора в точку схемы с координатами 'X','Y'.

**Решение.**

PE - A4.Go To, Location, {X->'X' & Y->'Y'}, OKI

### 10.3.9. Переход курсора в заданную область страницысхемы

**Задача.**

Осуществить переход курсора в область страницы схемы 'X.Y'.

**Решение.**

PE - A4.Go To, Grid Reference, {Horizontal^'X' & Vertical^'Y'}, OK↓

**Замечание.**

Под областью страницы понимается область, полученная в результате в соответствии с маркировкой внешней рамки.

# Приложение 1. Аналоги моделей российских полупроводниковых приборов в PSpice-библиотеках

**Таблица 1. Bipolarные транзисторы**

Тип	Аналог	Библиотека	Тип	Аналог	Библиотека
КТ3102А	MPS3709	Bipolar.lib			
КТ3107А	MPS3703	Bipolar.lib			
КТ3107Ж	MPS6518	Bipolar.lib			
КТ3107Л	MPS6519	Bipolar.lib			

**Таблица 2. Транзисторы Дарлингтона**

Тип	Аналог	Библиотека	Тип	Аналог	Библиотека
КТ829А	BDX53С	Darlngtn.lib			
КТ853А	BDX54С	Darlngtn.lib			
КТ873А	BDX53С	Darlngtn.lib			
КТ8141В	BDX53С	Darlngtn.lib			

**Таблица 3. Стабилитроны**

Тип	Аналог	Библиотека	Тип	Аналог	Библиотека
КС509Б	D1N5248	Diode.lib			
КС522А	D1N4748	Diode.lib			
2С522А	D1N4748	Diode.lib			
2С524А	D1N4749	Diode.lib			
КС168А	1N4099	Diode.lib			

Таблица 4. Диоды

Тип	Аналог	Библиотека		Тип	Аналог	Библиотека
КД521А	D1N914A	Diode.lib				
	D1N914B	Diode.lib				
	D1N916A	Diode.lib				
	D1N916B	Diode.lib				
КД240К	D1N3940	Diode.lib				
2Д254А	D1N4007	Diode.lib				
КД509А	D1N4149	Diode.lib				
	D1N4532	Diode.lib				
	D1N360	Diode.lib				
КД522Б	D1N4149	Diode.lib				
	D1N4151	Diode.lib				
	D1N4153	Diode.lib				
	D1N4154	Diode.lib				
	D1N4001	Diode.lib				
	D1N4305	Diode.lib				
Д521А	D1N4446	Diode.lib				
	D1N4447	Diode.lib				
	D1N4448	Diode.lib				
	D1N4449	Diode.lib				
	D1N4454	Diode.lib				
	D1N4531	Diode.lib				
	BAW62	Ediod.lib				
КД503А	D1N4747	Diode.lib				

Таблица 5. Диоды силовые

Тип	Аналог	Библиотека		Тип	Аналог	Библиотека
В25	D1N3491	Diode.lib				
	D1N3492	Diode.lib				
	D1N3493	Diode.lib				
Д112-25	D1N3491	Diode.lib				
	D1N3492	Diode.lib				
	D1N3493	Diode.lib				



**Таблица 6. Тиристоры**

Тип	Аналог	Библиотека		Тип	Аналог	Библиотека
Т2-12	2N6397	Thyistr.lib				
	2N6398	Thyistr.lib				
	2N6399	Thyistr.lib				
Т10-12	2N3668	Thyistr.lib				
	2N3669	Thyistr.lib				
	2N3670	Thyistr.lib				
Т10-20	2N6168	Thyistr.lib				
	2N6169	Thyistr.lib				
	2N6170	Thyistr.lib				
Т132-200	2N2574	Thyistr.lib				
ТС2-40	2N5444	Thyistr.lib				
	2N5445	Thyistr.lib				
	2N5446	Thyistr.lib				

**Таблица 7. Компараторы**

Тип	Аналог	Библиотека		Тип	Аналог	Библиотека
521СА3	LM111	opamp.lib				
597СА3	LM119	opamp.lib				
К554СА3	LM311	opamp.lib				
КР597СА3	LM319	opamp.lib				

Незаполненные места в таблицах дают читателю возможность самостоятельно расширить списки аналогов.

## Приложение 2. Соответствие зарубежных и отечественных микросхем (Библиотека CD4000)

CD	К176 / К561
4000	ЛП4
4001	ЛЕ5
4002	ЛЕ6
4009	ПУ2
4010	ПУ3
4011	ЛА7
4012	ЛА8
4013	ТМ2
4017	ИЕ8
4018	ИЕ19
4019	ЛС2
4020	ИЕ16
4022	ИЕ9
4023	ЛА9
4025	ЛЕЮ
4027	ТВ1
4028	ИД1
4029	ИЕН
4030	ЛП2
4042	ТМ3
4043	ТР2
4049	ЛН2
4050	ПУ4
4093	ТЛ1
40107	ЛАЮ
40108	ИР12

## Приложение 3.

# Перечень сайтов фирм-производителей электронных компонентов, на которых можно найти PSpice-модели элементов и их паспорта

Analog Devices	<a href="http://www.analog.com">www.analog.com</a>
Apex Microtechnology Corp.	<a href="http://www.teamapex.com">www.teamapex.com</a>
Burr-Brown Corp.	<a href="http://www.burr-brown.com">www.burr-brown.com</a>
California Eastern Laboratory	<a href="http://www.cel.com">www.cel.com</a>
Fairchild	<a href="http://www.fairchildsemi.com">www.fairchildsemi.com</a>
Harris Semiconductor	<a href="http://www.semi.harris.com">www.semi.harris.com</a>
Infineon	<a href="http://www.infineon.com">www.infineon.com</a>
International Rectifier	<a href="http://www.irf.com">www.irf.com</a>
Linear Technology Corp.	<a href="http://www.linear-tech.com">www.linear-tech.com</a>
Maxim Integrated Circuits	<a href="http://www.mxim.com">www.mxim.com</a>
Motorola	<a href="http://www.motorola.com">www.motorola.com</a>
National Semiconductors	<a href="http://www.natsemi.com">www.natsemi.com</a>
Philips	<a href="http://www.philipslogic.com">www.philipslogic.com</a>
POLYFET RF Devices	<a href="http://www.polyfet.com">www.polyfet.com</a>
Shindengen	<a href="http://www.shindengen.com">www.shindengen.com</a>
Siemens	<a href="http://www.siemens.de">www.siemens.de</a>
Texas Instruments	<a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a>
Zetex Inc.	<a href="http://www.zetex.com">www.zetex.com</a>

## Список литературы

1. Воронин П. А., «Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики и применение», М.: «Додэка-XXI», 2001. — 380 с.
2. Петраков О., Серия статей в журнале «Схемотехника» за 2001 год.
3. Разевиг В. Д., «Система проектирования OrCAD 9.2», М.: «Солон-Р», 2001. - 520 с.
4. Разевиг В. Д., «Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0», М.: «Солон», 1999. — 700 с.
5. OrCAD Capture Quick Reference, Cadence Design System, Inc. — 8 с.
6. OrCAD Capture User's Guide. Cadence Design System, Inc. — 374 с.
7. OrCAD Component Information System Quick Reference. Cadence Design System, Inc. — 5 с.
8. OrCAD Component Information System User's Guide. Cadence Design System, Inc. — 142 с.
9. PSpice Application Notes, [www.orcad.com](http://www.orcad.com)
10. PSpice Datasheet, [www.orcad.com](http://www.orcad.com)
11. PSpice Frequently Asked Question, [www.orcad.com](http://www.orcad.com)
12. PSpice Library List, Cadence Design System, Inc. - 678 с.
13. PSpice Optimizer User's Guide, Cadence Design System, Inc. - 172 с.
14. PSpice Quick Reference Guide, Cadence Design System, Inc. - 10 с.
15. PSpice Reference Guide, Cadence Design System, Inc. - 360 с.
16. PSpice Schematics. User's Guide. Cadence Design System, Inc. - 350 с.
17. PSpice Tutorial, [www.orcad.com](http://www.orcad.com)
18. PSpice User's Guide, Cadence Design System, Inc. - 600 с.
19. Болотовский Ю. И., Таназлы Г. И., «Опыт моделирования систем силовой электроники в среде OrCAD 9.2», «Силовая электроника», № 1, СПб, 2004. - с. 90-95.

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1. Характеристики и функциональные возможности среды OrCAD 9.2</b>	<b>4</b>
1.1. Структура среды OrCAD 9.2 и требования к компьютеру для ее установки	4
1.2. Элементная база среды OrCAD 9.2	8
1.2.1. Типы элементов и функциональных блоков, с которыми работает среда OrCAD 9.2	8
1.2.2. Состав стандартных библиотек среды OrCAD 9.2	И
1.3. Функциональные возможности среды OrCAD 9.2	15
1.4. Моделирование и некоторые сервисные функции среды OrCAD 9.2	17
<b>2. EUL — язык пользователя среды OrCAD 9.2</b>	<b>22</b>
2.1. Определения языка EUL	22
2.2. Перечень редакторов, входящих в OrCAD 9.2	25
2.3. Перечень идентификаторов, входящих в редакторы	25
2.4. Пример применения языка EUL	45
<b>3. Проект в OrCAD Capture</b>	<b>47</b>
3.1. Проект: его свойства и функциональные характеристики	48
3.1.1. Бланк проекта	48
3.1.2. Оформление проекта	52
3.1.3. Панели инструментов	58
3.1.4. Шрифты	60
3.1.5. Цветовое оформление	63
3.1.6. Масштабирование областей проекта	69
3.1.7. Списки соединений	69
3.1.8. Протоколы и отчеты	70
3.2. Создание принципиальной схемы	74
3.2.1. Размещение объектов на схеме	74
3.2.2. Операции с объектами	79
3.2.3. Операции со свойствами элементов	85
3.2.4. Операции с библиотеками	85
3.3. Топологические ограничения	86
3.4. Создание профиля моделирования и установка его настроек	87
3.4.1. Создание профиля моделирования	88
3.4.2. Установка настроек профиля моделирования	88
3.4.3. Изменение пути поиска библиотеки	88
3.4.4. Подключение библиотек к проекту	88
3.4.5. Выдача результатов в процессе моделирования	89

3.4.6. Выдача результатов после окончания моделирования . . . . .	89
3.4.7. Отображение информации, соответствующей всем щупам, расположенным на схеме. . . . .	89
3.4.8. Отображение информации, соответствующей предыдущему варианту анализа. . . . .	89
3.4.9. Режим моделирования без выдачи осциллограмм . . . . .	90
3.4.10. Изменение интервала продления осциллограмм в секундах . . . . .	90
3.4.11. Изменение интервала продления осциллограмм в процентах . . . . .	90
3.4.12. Исключение из выходного файла информации, полученной при моделировании без помощи щупов. . . . .	90
<b>4. Виды анализа. . . . .</b>	<b>91</b>
4.1. Анализ по постоянному току . . . . .	91
4.1.1. Выбор анализа по постоянному току. . . . .	92
4.1.2. Настройка и запуск анализа по постоянному току. . . . .	92
4.1.3. Пример анализа по постоянному току. . . . .	93
4.2. Анализ по переменному току. . . . .	94
4.2.1. Выбор анализа по переменному току. . . . .	94
4.2.2. Настройка и запуск анализа по переменному току. . . . .	94
4.2.3. Введение дополнительных щупов при анализе по переменному току. . . . .	95
4.2.4. Пример анализа по переменному току. . . . .	95
4.3. Анализ шумов . . . . .	97
4.3.1. Выбор анализа шумов. . . . .	97
4.3.2. Настройка и запуск анализа шумов. . . . .	97
4.4. Анализ переходных процессов . . . . .	98
4.4.1. Выбор анализа переходных процессов . . . . .	99
4.4.2. Настройка и запуск анализа переходных процессов. . . . .	99
4.4.3. Отключение расчета режима по постоянному току при анализе переходных процессов. . . . .	99
4.4.4. Включение расчета режима по постоянному току при анализе переходных процессов. . . . .	100
4.4.5. Анализ переходных процессов с временным сдвигом выдачи осциллограмм . . . . .	100
4.4.6. Пример анализа переходного процесса . . . . .	100
4.5. Фурье-анализ . . . . .	102
4.5.1. Выбор фурье-анализа . . . . .	102
4.5.2. Настройка и запуск фурье-анализа . . . . .	102
4.5.3. Быстрое преобразование Фурье. . . . .	103
4.5.4. Изменение частотного диапазона. . . . .	103
4.5.5. Пример фурье-анализа . . . . .	103
4.6. Параметрический анализ . . . . .	105
4.6.1. Выбор параметрического анализа . . . . .	105
4.6.2. Настройка и запуск параметрического анализа . . . . .	105
4.6.3. Пример параметрического анализа . . . . .	105
4.7. Температурный анализ . . . . .	107
4.7.1. Выбор температурного анализа . . . . .	107
4.7.2. Настройка и запуск температурного анализа . . . . .	107
4.7.3. Пример температурного анализа . . . . .	108

4.8. Анализ разброса параметров методом Монте-Карло . . . . .	109
4.8.1. Выбор анализа разброса параметров методом Монте-Карло. . . . .	ПО
4.8.2. Настройка и запуск анализа разброса параметров методом Монте-Карло. . . . .	ПО
4.8.3. Составление отчета о значениях параметров модели при анализе методом Монте-Карло. . . . .	111
4.8.4. Создание гистограмм. . . . .	111
4.8.5. Задание количества делений интервала целевой функции для формирования гистограмм . . . . .	111
4.8.6. Пример анализа разброса параметров методом Монте-Карло. . . . .	112
4.9. Анализ чувствительности методом наихудшего случая . . . . .	113
4.9.1. Выбор анализа чувствительности методом наихудшего случая . . . . .	115
4.9.2. Настройка и запуск анализа чувствительности методом наихудшего случая . . . . .	115
4.9.3. Пример анализа чувствительности методом наихудшего случая . . . . .	115
4.10. Анализ начального приближения . . . . .	118
4.10.1. Выбор анализа начального приближения . . . . .	118
4.10.2. Настройка и запуск анализа начального приближения. . . . .	118
4.10.3. Расчет малосигнальных импульсов, входного и выходного сопротивлений . . . . .	118
4.10.4. Сохранение начального приближения . . . . .	119
4.10.5. Настройки для сохранения начального приближения . . . . .	119
4.10.6. Сохранение начального приближения без учета токов и напряжений в подсхемах . . . . .	119
4.10.7. Загрузка начального приближения . . . . .	120
4.10.8. Выдача в выходной файл информации о начальном приближении. . . . .	120
4.10.9. Визуализация всей информации о начальном приближении . . . . .	120
4.10.10. Девизуализация всей информации о начальном приближении . . . . .	120
4.10.11. Визуализация информации о начальном приближении токов схемы . . . . .	120
4.10.12. Девизуализация информации о начальном приближении токов схемы . . . . .	121
4.10.13. Визуализация информации о начальном приближении напряжений схемы . . . . .	121
4.10.14. Девизуализация информации о начальном приближении напряжений схемы . . . . .	121
4.10.15. Визуализация информации о начальном приближении мощностей схемы . . . . .	121
4.10.16. Девизуализация информации о начальном приближении мощностей схемы . . . . .	121
4.10.17. Визуализация информации о начальном приближении выбранных токов схемы . . . . .	122
4.10.18. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных токов схемы . . . . .	122
4.10.19. Визуализация информации о начальном приближении выбранных напряжений схемы . . . . .	122
4.10.20. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных напряжений схемы . . . . .	122
4.10.21. Визуализация информации о начальном приближении выбранных мощностей схемы . . . . .	122
4.10.22. Девизуализация информации о начальном приближении выбранных мощностей схемы . . . . .	123

4.11. Анализ характеристик . . . . .	123
4.11.1. Выбор анализа характеристик . . . . .	123
<b>5. Моделирование . . . . .</b>	<b>124</b>
5.1. Настройка процесса моделирования. . . . .	124
5.1.1. Моделирование схемы из Capture. . . . .	124
5.1.2. Моделирование схемы из PSpice. . . . .	124
5.1.3. Пауза в PSpice при моделировании. . . . .	124
5.1.4. Переназначение времени TSTOP в процессе моделирования. . . . .	125
5.1.5. Остановка в PSpice при моделировании. . . . .	125
5.1.6. Остановка моделирования для изменения параметров расчетов. . . . .	125
5.1.7. Плановое изменение опций моделирования . . . . .	126
5.1.8. Установка опций для менеджера очереди. . . . .	127
5.1.9. Использование PSpice при работе с <b>очередью</b> . . . . .	127
5.1.10. Запуск параллельного моделирования. . . . .	127
5.1.11. Запуск проекта на моделирование из очереди. . . . .	127
5.1.12. Добавление проектов в очередь на моделирование. . . . .	128
5.1.13. Пауза при моделировании проекта из очереди. . . . .	128
5.1.14. Остановка моделируемого проекта из очереди. . . . .	128
5.1.15. Трансляция <b>PSpice-программы</b> в исполняемый файл. . . . .	128
5.2. Обработка результатов <b>моделирования</b> . . . . .	128
5.2.1. Отображение осциллограммы с помощью щупа. . . . .	129
5.2.2. Отображение осциллограммы путем задания переменной. . . . .	129
5.2.3. Изменение цвета осциллограммы. . . . .	129
5.2.4. Изменение ширины линии осциллограммы. . . . .	130
5.2.5. Отображение осциллограмм без специальных значков. . . . .	130
5.2.6. Нахождение локального максимума на заданном участке. . . . .	130
5.2.7. Нахождение локального минимума на заданном участке. . . . .	130
5.2.8. Определение длительности импульса двумя лучами. . . . .	131
5.2.9. Отображение осциллограммы в требуемом диапазоне по оси ординат. . . . .	131
5.2.10. Увеличение на осциллограмме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом. . . . .	131
5.2.11. Уменьшение на осциллограмме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом. . . . .	131
5.2.12. Выделение на осциллограмме требуемой области с увеличением масштаба. . . . .	132
5.2.13. Возвращение к масштабу осциллограмм, определенному при первоначальной настройке моделирования. . . . .	132
5.2.14. Изменение переменной по оси абсцисс. . . . .	132
5.2.15. Добавление второй оси ординат. . . . .	132
5.2.16. Удаление второй оси ординат. . . . .	133
5.2.17. Отображение двух осциллограмм в одном <b>окне</b> . . . . .	133
5.2.18. Отображение в одном окне графиков двух осциллограмм, амплитуда которых существенно отличается. . . . .	133
5.2.19. Отображение в одном окне осциллограмм из разных проектов. . . . .	134
5.2.20. Построение выражений в PSpice. . . . .	135
5.2.21. Вычисление средних значений. . . . .	135
5.2.22. Вычисление действующих значений. . . . .	137
5.2.23. Выбор типов переменных, отображаемых при построении графиков. . . . .	138
5.2.24. Вызов списка целевых функций. . . . .	138



5.2.25. Добавление целевой функции в список . . . . .	138
5.2.26. Выдача целевых функций в виде графика . . . . .	138
5.2.27. Выдача целевых функций в виде текста . . . . .	138
5.2.28. Удаление всех осциллограмм из окна моделирования . . . . .	139
5.2.29. Просмотр выходного файла результатов моделирования . . . . .	139
5.2.30. Добавление текстовых меток в PSpice . . . . .	139
5.2.31. Способ сравнения идентичных схемных характеристик, реализуемых различными схемами. . . . .	139
<b>6. Модели и их особенности . . . . .</b>	<b>140</b>
6.1. Создание моделей . . . . .	140
6.1.1. Примеры создания моделей по шаблонам . . . . .	141
6.1.2. Схемные модели. . . . .	144
6.1.3. Коррекция моделей в Capture. . . . .	150
6.1.4. Создание графического изображения модели . . . . .	152
6.2. Работа PSpice-моделей полупроводниковых приборов в аварийных режимах . . . . .	155
6.3. Сервисные функции при работе с моделями . . . . .	157
6.3.1. Вызов текста модели . . . . .	157
6.3.2. Импорт моделей . . . . .	157
<b>7. Конвергенция и достоверность получения результатов при моделировании. . . . .</b>	<b>158</b>
7.1. Требования, определяемые методом Ньютона—Рафсона . . . . .	158
7.2. Анализ по постоянному току . . . . .	160
7.3. Параметры моделей полупроводниковых и ключевых элементов . . . . .	160
7.4. Анализ переходных процессов . . . . .	162
7.5. Диагностика при конвергенции . . . . .	164
7.6. Эмпирическая процедура подбора параметров, позволяющих избежать конвергенции . . . . .	165
<b>8. Иерархические структуры . . . . .</b>	<b>169</b>
8.1. Иерархические блоки. . . . .	170
8.1.1. Назначение глобальных параметров иерархических блоков . . . . .	171
8.1.2. Переход на верхний уровень иерархии . . . . .	172
8.1.3. Переход на нижний уровень иерархии. . . . .	172
8.1.4. Переход к иерархическому формату списка соединений. . . . .	172
8.2. Пример использования иерархической структуры . . . . .	172
<b>9. Моделирование цифровых и аналого-цифровых устройств . . . . .</b>	<b>174</b>
9.1. Построение цифровых моделей. . . . .	175
9.1.1. Создание цифрового источника . . . . .	175
9.1.2. Создание цифрового источника в редакторе Stimulus Editor . . . . .	175
9.1.3. Изменение свойства цифрового источника в редакторе Stimulus Editor. . . . .	175
9.1.4. Создание цифрового источника с сигналом произвольной формы в редакторе Stimulus Editor. . . . .	176
9.1.5. Добавление переходов «ноль-единица» и «единица-ноль» в цифровом источнике. . . . .	176

9.1.6. Изменение длительности состояний «единица» и «ноль» в цифровом источнике сигнала произвольной формы . . . . .	176
9.1.7. Редактирование сигнала произвольной формы путем задания времени переходов «единица-ноль» и «ноль-единица». . . . .	177
9.1.8. Удаление сигнала произвольной формы . . . . .	177
9.1.9. Визуализация выводов питания цифрового элемента . . . . .	177
9.1.10. Установка уровня входа/выхода для аналого-цифровых интерфейсов . . . . .	177
9.1.11. Установка начального состояния триггеров . . . . .	178
9.2. Пример моделирования аналого-цифровой схемы . . . . .	178
<b>10. Сервисные функции . . . . .</b>	<b>181</b>
10.1. Вывод информации на печать . . . . .	181
10.1.1. Выбор ориентации листа бумаги . . . . .	181
10.1.2. Предварительный просмотр графической информации перед печатью в Capture. . . . .	181
10.1.3. Предварительный просмотр графической информации перед печатью в PSpice. . . . .	181
10.1.4. Выбор масштаба печати на всю страницу. . . . .	182
10.1.5. Выбор масштаба печати по заданному формату бумаги . . . . .	182
10.1.6. Назначение масштаба печати . . . . .	182
10.2. Выбор масштаба изображения схемы . . . . .	182
10.2.1. Увеличение на схеме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом. . . . .	183
10.2.2. Уменьшение на схеме масштаба окрестности заданной точки с дискретным шагом . . . . .	183
10.2.3. Выделение на схеме требуемой области с увеличением масштаба . . . . .	183
10.2.4. Отображение на экране схемы целиком . . . . .	183
10.2.5. Перевод экрана со стандартного на альтернативный вид . . . . .	183
10.3. Прочие сервисные функции . . . . .	184
10.3.1. Проверка ошибок в схеме. . . . .	184
10.3.2. Повтор последней операции в Capture . . . . .	186
10.3.3. Отмена последней операции в Capture. . . . .	186
10.3.4. Возврат отмененной операции в Capture. . . . .	186
10.3.5. Запись макроса в Capture. . . . .	186
10.3.6. Исполнение макроса . . . . .	186
10.3.7. Запись макросов в PSpice. . . . .	186
10.3.8. Переход курсора в заданную точку схемы . . . . .	187
10.3.9. Переход курсора в заданную область страницы схемы . . . . .	187
<b>Приложение 1. Аналоги моделей российских полупроводниковых приборов в PSpice-библиотеках . . . . .</b>	<b>188</b>
<b>Приложение 2. Соответствие зарубежных и отечественных микросхем (Библиотека CD4000). . . . .</b>	<b>191</b>
<b>Приложение 3. Перечень сайтов фирм-производителей электронных компонентов, на которых можно найти PSpice-модели элементов и их паспорта. . . . .</b>	<b>192</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>193</b>

*Серия «Библиотека студента»*

**Юрий Израилевич Болотовский  
Георгий Иванович Таназлы**

# **OrCAD. Моделирование**

## **«Поваренная» книга**

Ответственный за выпуск *В. Митин*

Верстка *Н. Бармина*

Обложка *Е. Жбанов*

ООО «СОЛОН-Пресс»  
123242, Москва, а/я 20  
Телефоны:  
(095) 254-44-10, 252-36-96, 252-25-21  
E-mail: Solon-Avtor@coba.ru

По вопросам приобретения обращаться:

**ООО «Альянс-книга»**  
Тел.: (095) 258-91-94, 258-91-95  
**www.abook.ru**

ООО «СОЛОН-Пресс»  
127051, г. Москва, М. Сухаревская пл., д. 6, стр. 1 (пом. ТАРП ЦАО)  
Формат 70 × 100/16. Объем 12,5 п. л. Тираж 1000

отпечатано в ООО «Аделия»  
142605, Московская обл., г. Орехово-Зуево,  
ул. Красноармейская, д. 1  
Заказ № **276**