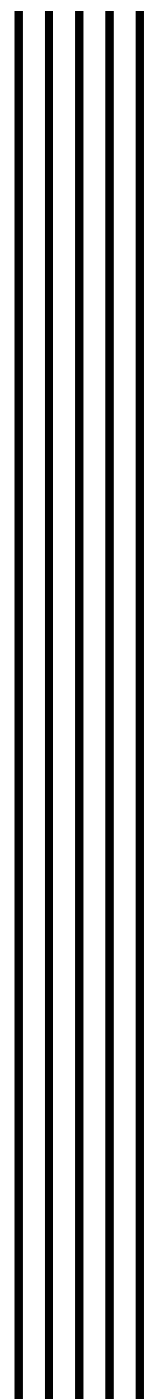


Министерство образования и науки Украины

Севастопольский национальный технический университет



ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Методические указания
к практическим и лабораторным
занятиям по дисциплине
**"ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ "**
для студентов дневной формы обучения
направления 6.050102 "Компьютерная инженерия"

Севастополь
2014

Проектирование систем моделирования цифровых устройств. Методические указания к выполнению практических и лабораторных занятий по дисциплине "Автоматизация проектирования вычислительных систем" для студентов дневной формы обучения направления 6.050102 "Компьютерная инженерия"/ составители А.И. Тертычный, В.И. Шевченко.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2014. - 28 с.

В методических указаниях кратко изложены теоретические сведения по методам и алгоритмам моделирования цифровых устройств. Рассматриваются примеры решения основных задач моделирования цифровых устройств. Приведены варианты заданий для выполнения лабораторных работ студентами.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры кибернетики и вычислительной техники, протокол № 11 от 25 июня 2014 г.

Рецензент:

Мащенко Е.Н., к.т.н., доцент кафедры кибернетики и вычислительной техники.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Краткие теоретические сведения	4
1.1 Моделирование цифровых устройств	4
1.2 Методы моделирования	5
1.3 Модели цифровых устройств	5
1.4 Модели элементов цифровых устройств	6
2 Практическое занятие №1. Модели элементов цифровых устройств	9
2.1 Порядок проведения занятия	9
2.2 Теоретические сведения	9
2.2.1 Представление модели в виде таблицы	10
2.2.2 Представление модели в виде системы булевых функций	11
3 Практическое занятие №2. Синхронное моделирование	13
3.1 Порядок проведения занятия	13
3.2 Теоретические сведения	13
3.3 Пример реализации синхронного моделирования	15
3.4 Задание на самостоятельную работу	18
4 Практическое занятие №3. Асинхронное Событийное моделирование	18
4.1 Порядок проведения занятия	18
4.2 Теоретические сведения	19
4.3 Пример реализации событийного моделирования	20
4.4 Задание на самостоятельную работу	24
5 Лабораторная работа №1. Разработка подсистемы моделирования цифровых устройств	24
5.1 Требования к выполнению лабораторной работы	24
5.2 Задание на лабораторную работу	25
5.3 Содержание отчета	25
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	27

1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Моделирование цифровых устройств

В настоящее время логическое моделирование широко применяется в системах автоматизированного проектирования сложных цифровых устройств. Логическое моделирование – это процесс построения математической модели устройства (система отношений, описывающая поведение устройства с заданной точностью) и последующий анализ поведения этой модели по её реакции на входные воздействия. Система отношений создаётся на основе логических сигналов.

Моделирование цифровых устройств (ЦУ) рассматривается, как процесс автоматизации эксперимента с анализируемым устройством. Для проведения эксперимента с моделью ЦУ должен быть подготовлен набор входных воздействий, при которых выполняется анализ, называющийся тестом.

Целью логического моделирования является построение и исследование логико-временной картины работы цифрового устройства.

С помощью логического моделирования ЦУ [1] решаются следующие основные задачи:

1. Проверка правильности функционирования устройства (то есть определение его функций).
2. Сравнение различных вариантов реализаций устройства по заданным критериям.
3. Исследование временных соотношений при функционировании устройства.
4. Проверка установки и работы устройства при сбросе значений параметров.
5. Проверка качества диагностических тестов и анализ диагностических свойств устройства.

Математическая модель характеризуется степенью точности, т.е. адекватностью. Адекватность – это степень соответствия поведения модели истинному поведению устройства. При моделировании ЦУ степень адекватности модели обычно задаётся как исходные данные и при этом решается задача минимизации времени и объёма памяти. На точность модели влияет уровень представления устройства и модель сигнала.

Формулировка задачи моделирования ЦУ: задана модель цифрового устройства и набор входных воздействий, на которых проверяется функционирование устройства. Необходимо определить значение сигналов во всех цепях устройства с учетом времени.

1.2 Методы моделирования

Существует много различных методов и алгоритмов моделирования. Они различаются по быстродействию, адекватности и требуемому объему памяти. Адекватность моделирования зависит в основном от принятой модели ЦУ, моделей элементов и сигналов, а также от способа учета временных соотношений между сигналами.

Методы моделирования ЦУ классифицируются [2]:

- по моделям сигналов, используемых при моделировании;
- по способу учета задержек в элементах (моделирование с задержками и без). При моделировании без задержек, задержка не учитывается или же считается равной 1 у всех элементов;
- по способу выбора шага моделирования (синхронное – шаг постоянный, асинхронное – шаг не постоянный, момент моделирования зависит от времени изменения сигнала);
- по способу выбора элементов моделирования (несобытийное моделирование – на каждом шаге моделируются все элементы, событийное – моделируются только те элементы, которые могут изменить свое состояние).

Обычно в системах моделирования используется синхронное несобытийное моделирование с задержками (реже – без задержек). Применяется в основном для схем малой и средней степени интеграции или ПЛИС. Также используется синхронное событийное моделирование с задержками – для элементов средней степени интеграции и БИС.

1.3 Модели цифровых устройств

Модель ЦУ представляет собой описание структуры устройства с некоторым уровнем детализации. В модели указывается перечень используемых элементов, перечень внешних контактов и описание цепей.

Модели цифровых устройств классифицируются:

1. По уровням представления описания устройства.

- Одноуровневая модель. Содержит описание на уровне схемы устройства. Функции элемента описываются в таблице элементов. Данная модель применяется, если элемент реализует простые функции.
- Двухуровневая модель. Описание разделено на 2 уровня: первый – уровень схемы, где задаётся информация о перечне элементов, внешних контактах и цепях; второй – уровень модели элемента, где представляется информация о функционировании элемента.
- Многоуровневая модель. Имеет уровень описания схемы и несколько уровней описания элемента. Используется в тех случаях, когда невозможно эффективно использовать одну модель элемента для реализации моделирования.

2. По способу организации вычислительного процесса.

- **Компилятивная модель.** Представляет собой фрагмент программы, реализующей один шаг моделирования ЦУ. Процесс моделирования заключается в итерационном обращении к указанному фрагменту программы и выводу полученных значений сигналов в выходной файл.

Достоинство: высокое быстродействие.

Недостатки:

1. Модель требует значительного объёма памяти.
2. Добавление новых элементов требует значительных затрат.

- **Интерпретативная модель.** Представляет собой набор данных описывающих процесс моделирования элементов и программу моделирования, которая представляет собой описание процесса моделирования элемента на машинно-независимом языке.

Достоинства:

1. Модель устройства требует меньше памяти.
2. Требуется меньше затрат на разработку, так как используются машинно-независимые форматы команд.
3. Система более универсальна, легко переносится на новые платформы.

Недостаток: низкое быстродействие.

В современных системах моделирования, в основном, используется интерпретативная модель. В случае недостатка быстродействия используют аппаратные акселераторы.

1.4 Модели элементов цифровых устройств

Для описания работы цифровых устройств используют самые разные модели, отличающиеся друг от друга сложностью, точностью, большим или меньшим учетом тонких физических эффектов. В основном эти модели используются при компьютерных расчетах цифровых схем. В настоящее время существуют компьютерные программы, которые не только рассчитывают готовые схемы, но способны и проектировать новые схемы по формализованным описаниям функций, которые данное устройство должно выполнять.

Различают функциональные и структурные модели. При моделировании используются оба типа моделей. Для простых элементов используются функциональные, для сложных — структурные. Совокупность моделей элементов называется базисом моделирования. Очень часто базис моделирования не совпадает с элементным базисом. В общем случае модель элемента может быть достаточно сложной: главной составляющей является функция элемента, также могут входить сведения о задержках, температурные зависимости и прочее.

Модели элементов цифровых устройств предназначены для указания информации о функции, структуре, характеристиках элемента устройства и используются для моделирования поведения элементов в процессе функционирования устройства. Они представляют собой модели элементов и являются составной частью двух- и многоуровневой модели ЦУ.

К модели элемента ЦУ предъявляются следующие требования:

1. Обеспечение заданной адекватности моделирования.
2. Обеспечение максимального быстродействия обработки модели.
3. Обеспечение минимального объёма памяти для представления модели.

Элементы вычислительных устройств имеют большое разнообразие реализуемых функций, поэтому создать эффективную модель по единому образцу невозможно. Для представления информации о функции элемента используются различные модели.

Базовые модели элементов ЦУ:

1) *Граф*. Модель на основе графа представляет описание элемента, как автомата Мили или Мура. В системах моделирования задается в виде таблиц переходов и выходов.

Достоинства:

- Математическая модель;
- Удобна для описания автоматов.

Недостаток: описание сложных объектов человеком практически не воспринимается.

2) *Таблица*. Функция элемента задаётся в табличной форме. Таблица содержит 4 поля:

- значения входных сигналов;
- текущее значение внутренних сигналов (текущее состояние);
- последующее значение внутренних сигналов;
- значения выходных сигналов.

Ключ в таблице составной, содержит значения первого и второго поля.

Для комбинационных элементов таблица содержит только первое и четвёртое поля.

Достоинства:

- Простота модели;
- Универсальность.

Недостаток: очень громоздкая для сложных объектов.

3) *Система булевых функций*. Для описания функции элементов ЦУ используется система булевых функций. Функции соответствуют значениям выходных сигналов и последующим значениям внутренних сигналов. Аргументы функции соответствуют входным и внутренним сигналам.

При двухзначной модели сигналов каждому выходному сигналу соответствует одна функция и входному сигналу – одна булева переменная.

Если используется трёх и более значная модель сигналов, то соответственно на представление одного сигнала используются несколько функций и несколько переменных.

Достоинство: является математической моделью, недостаток – громоздкая модель.

4) *Модель на основе процедуры на универсальном языке программирования*. Модель представляет собой фрагмент программы на языке программирования. Обычно используется язык Си, реже Pascal. Модель элемента оформляется в виде функции или процедуры, параметрами которой являются значения входных, внут-

ренных и выходных сигналов. Достоинством такой модели является высокое быстродействие.

Недостатки:

- Необходимость написания отдельной процедуры для каждого элемента;
- В случае добавления нового элемента необходимо изменять программу моделирования;
- Требуется большой объём ОП.

5) *Модель на основе спецификаций.* Является дальнейшим развитием модели на основе процедуры на универсальном языке программирования. Представляет собой фрагмент программы на языке программирования, предназначенной для моделирования группы сходных элементов, и блока данных (спецификации), в котором указываются особенности моделирования конкретного элемента из группы. Модель разрабатывается на группу подобных элементов. Общая часть алгоритма моделирования реализуется непосредственно в процедуре. Отличительные особенности элементов реализуются в процедуре с использованием данных спецификации. Для каждого элемента составляется спецификация, а для группы элементов реализуется одна общая процедура. Спецификация представляет собой блок данных, включающий в себя массивы и записи.

Достоинства:

- Обладает достаточно высоким быстродействием;
- Требует небольших объёмов памяти;
- В случае добавления элемента из существующих групп необходимо задание новой спецификации.

Недостатки:

- Для каждой группы элементов существует своя спецификация и отдельные правила её формирования;
- В случае появления элементов, которые не относятся ни к одной группе необходимо разрабатывать новые спецификации и универсальные процедуры.

6) *Модель на основе специальных языков.* Функция элемента представляет собой фрагмент программы на специальном языке. В большинстве случаев задаётся алгоритм функционирования элемента, но так же может задаваться функция в виде алгоритма, выражения, табличной формы или задаваться структура элемента из типовых элементов языка. Для различных уровней описания устройства используются различные языки: GPSS, IPS, CDL, RTL, LOGIC, VHDL.

Удобство использования основывается на лёгкости процесса составления модели. Данная модель обладает небольшим быстродействием, так как системы на основе специальных языков строятся по интерпретативному типу.

В связи с тем, что в настоящее время элементы дискретных устройств представляют собой сложные элементы, процесс создания моделей и их отладки является очень трудоёмким. Модели на основе специальных языков значительно упрощают этот процесс и широко применяются, несмотря на их малое быстродействие.

2 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Цель: закрепить теоретические знания в области моделирования элементов ЦУ; приобрести практические навыки создания моделей ЦУ.

Постановка задачи: рассмотреть основные модели ЦУ; разработать модели элементов ЦУ для триггера.

2.1 Порядок проведения занятия

- 1) Рассмотреть основные модели элементов ЦУ.
- 2) Рассмотреть порядок функционирования RS – триггера.
- 3) Составить модель элемента на основе таблицы для RS – триггера.
- 4) Составить модель на основе булевых функций для RS – триггера.
- 5) Оценить разработанные модели с точки зрения эффективности процесса моделирования.
- 6) Выдать задания на самостоятельную работу.

2.2 Теоретические сведения

Триггеры предназначены для запоминания двоичной информации. Использование триггеров позволяет реализовывать устройства оперативной памяти (то есть памяти, информация в которой хранится только на время вычислений). Однако триггеры могут использоваться и для построения некоторых цифровых устройств с памятью, таких как счётчики, преобразователи последовательного кода в параллельный или цифровые линии задержки.

Основным типом триггера, на котором базируются все остальные триггеры является RS-триггер. Рассмотрим его описание.

RS-триггер – это устройство, которое имеет два логических входа: R - установка 0 (от слова reset), S - установка 1 (от слова set) и два выхода: Q - прямой, $\bar{Q}$ - обратный (инверсный). Так как триггер относится к классу последовательностных схем, значение выхода зависит еще и от некоторого внутреннего состояния элемента q.

Условное обозначение RS-триггера приведено на рисунке 1.

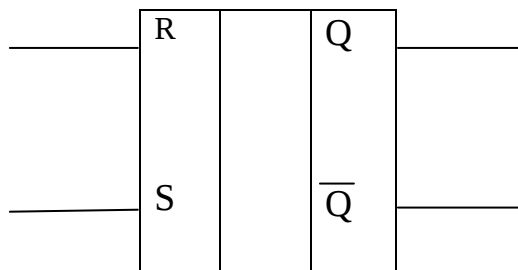


Рисунок 1 - Условное обозначение RS-триггера

Из таблицы состояний триггера (Рисунок 2) видно, что при подаче на вход R уровня логической «1» триггер принимает состояние логического «0», а при подаче управляющего сигнала «1» на вход S - состояние «1». Если до подачи управляющего сигнала, например, на вход R, триггер находился в состоянии логического «0», его состояние не изменится и после подачи сигнала «1» на вход R. Если на обоих входах триггера имеются уровни логического «0»- это состояние соответствует режиму хранения и триггер сохраняет предыдущее состояние. В таблице это состояние обозначено условно Q^0 . При подаче на входы R и S одновременно уровня «1» триггер будет находиться в неопределенном состоянии, поэтому такое сочетание сигналов R и S называется запрещенной комбинацией управляющих сигналов и в таблице состояний обозначается «X».

S	R	Q
0	0	Q^0
0	1	0
1	0	1
1	1	X

Рисунок 2 – Сокращённая таблица состояний RS-триггера

Рассмотрим модель, которая будет состояться для трёхзначной модели сигналов (0,1,X).

2.2.1 Представление модели в виде таблицы

Составим таблицу описывающую функцию RS-триггера. Таблица содержит 4 поля: значения входных сигналов (R, S); текущее значение внутренних сигналов (q); последующее значение внутренних сигналов (q^+) и значения выходных сигналов ($Q, \bar{Q}$).

Рассмотрим заполнение первой строки таблицы. При условии, что на вход поданы сигналы 00 ($R=0, S=0$) и триггер находится в состоянии логического «0» ($q=0$), его состояние не изменится. Таким образом, выходные сигналы Q и $\bar{Q}$ равны 0 и 1 соответственно, триггер остается в состоянии логического «0».

Рассмотрим заполнение второй строки таблицы. Если на вход поданы сигналы 00 ($R=0$, $S=0$) и триггер находится в состоянии логической «1» ($q=1$), то его состояние не изменится. Выходные сигналы Q и $\bar{Q}$ принимают значения 1 и 0 соответственно, последующее состояние триггера q^+ равно логической «1».

При подаче на вход триггера сигналов 00 ($R=0$, $S=0$) и текущем состоянии $q=X$ (неопределённое), состояние триггера не изменится.

Аналогично заполним остальные строки таблицы.

№	Входной набор (RS)		Текущее состояние q	Последующее состояние q^+	Выходной набор	
	R	S			Q	$\bar{Q}$
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	1	1	1	0
3	0	0	X	X	X	X
4	0	1	-	1	1	0
5	0	X	0	X	X	X
6	0	X	1	1	1	0
7	0	X	X	X	X	X
8	1	0	-	0	0	1
9	X	0	0	0	0	1
10	X	0	1	X	X	X
11	X	0	X	X	X	X
12	1	1	-	X	X	X
13	1	X	-	X	X	X
14	X	1	-	X	X	X
15	X	X	X	X	X	X

Рисунок 3 – Табличное представление модели RS-триггера

2.2.2 Представление модели в виде системы булевых функций

Введем кодировку сигнала. Для трёхзначной модели сигналов необходимо представить 3 значения сигнала, используя значение булевой переменной. Для каждого сигнала будет использоваться 2 булевых значения: 0 – 10; 1 – 01; X – 00; 11 – запрет.

Необходимо формировать значения трёх сигналов q^+ , Q и $\bar{Q}$. Каждое значение сигнала кодируется двумя булевыми функциями. Следовательно, необходимо 6 булевых функций.

Составим модель только для одного сигнала q^+ , т.е. 2 функции, в форме матрицы Карно.

Введём соответствие сигналов и функций:

$$q^+ - Q_0 Q_1 \quad R - R_0 R_1$$

$$q - \bar{Q}_0 \bar{Q}_1 \quad S - S_0 S_1$$

Перечислим все запрещённые сочетания переменных (Рисунок 4).

R_0	R_1	S_0	S_1	Q_0	Q_1
1	1	-	-	-	-
-	-	1	1	-	-
-	-	-	-	1	1

Рисунок 4 – Множество запрещенных состояний

На наборах указанных в множестве запрещённых состояний ставим «X» на картах Карно.

R	S	$\overline{Q}$	Q
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	-	1
0	X	1	1
1	0	-	0
X	0	0	0

Рисунок 5 – Функция RS триггера

Функция RS триггера представлена на рисунке 5. Для построения системы булевых функций лучше воспользоваться функцией представленной в табличной форме (Рисунок 3). Рассмотрим первую строку этой таблицы.

Сигнал $R=0$ и представляется функцией R_0R_1 . В соответствии с кодировкой сигналов, 0 кодируется сочетанием 10. Следовательно, $R_0=1$ и $R_1=0$.

$S=0$ и представляется функцией S_0S_1 . Соответственно, $S_0=1$ и $S_1=0$.

$q=0$ и представляется функцией $\overline{Q_0}\overline{Q_1}$. Соответственно, $\overline{Q_0}=1$ и $\overline{Q_1}=0$.

$q^+=0$ и представляется функцией Q_0Q_1 . Соответственно, $Q_0=1$ и $Q_1=0$.

Получили первую строку таблицы единичных наборов (Рисунок 6). Аналогично заполним последующие строки. В случае, если $Q_0=0$ и $Q_1=0$ строку в таблицу не вносим.

№	R_0	R_1	S_0	S_1	$\overline{Q_0}$	$\overline{Q_1}$	Q_0	Q_1
1	1	0	1	0	1	0	1	0
2	1	0	1	0	0	1	0	1
4	1	0	0	1	-	-	0	1
6	1	0	0	0	0	1	0	1
8	0	1	1	0	-	-	1	0
9	0	0	1	0	1	0	1	0

Рисунок 6 – Единичные наборы функций Q_0 и Q_1

В таблице (Рисунок 6) представлены единичные наборы функций Q_0 и Q_1 . Отметим их точками на матрице Карно.

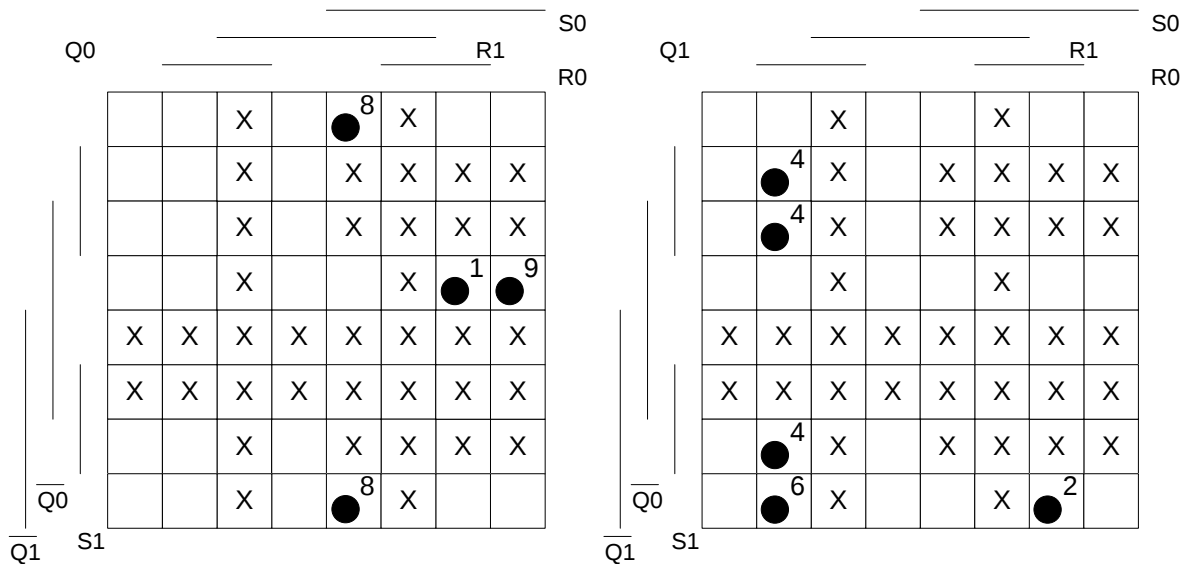


Рисунок 7 – Система функций

Функция Q_0 соответствует функции $\overline{Q_1}$. Аналогично, функция Q_1 соответствует функции $\overline{Q_0}$.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. СИНХРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Цель: закрепить теоретические знания в области моделирования ЦУ; приобрести практические навыки решения задач моделирования ЦУ методом синхронного моделирования.

Постановка задачи: рассмотреть процесс реализации синхронного с задержками моделирования ЦУ.

3.1 Порядок проведения занятия

- 1) Рассмотреть основные положения синхронного моделирования ЦУ.
- 2) Составить модель ЦУ.
- 3) Выполнить моделирование заданного ЦУ.
- 4) Построить временные диаграммы функционирования ЦУ и рассчитать время формирования сигналов.
- 5) Выдать задания на самостоятельную работу.

3.2 Теоретические сведения

Синхронное моделирование выполняется по тактам. Размер такта определяется как значение близкое к наибольшему общему делителю всех задержек всех элементов.

Для реализации синхронного моделирования создаётся рабочее поле (РП), которое содержит значение сигнала в цепях. Размерность поля будет $k \cdot (m+1)$, где k – число цепей, m – максимальная задержка элемента в тактах.

С учётом задержек существуют 2 способа выполнения моделирования:

1. Формирование одного последующего значения на множестве предыдущих.
2. Формирование множества последующих значений на одном предыдущем.

Принципиальных различий в этих подходах нет, поэтому рассмотрим первый способ реализации моделирования.

В случае последовательностных схем невозможно однозначно определить порядок моделирования элементов. Поэтому в каждом такте используются 2 группы значений сигналов: текущее значение, которое соответствует значениям сигналов на входах элементов в момент моделирования и последующие, которые соответствуют значениям на выходах в следующие моменты. В следующем такте первое последующее значение становится текущим. Для таких схем число столбцов РП должно быть на единицу больше максимальной задержки элемента.

В этом случае, колонки рабочего поля распределяются следующим образом. Первая колонка содержит значения сигналов в цепях в текущий момент (такт T) моделирования. Вторая – содержит значения, которые будут сформированы в следующем такте, т.е. с задержкой в 1 такт относительно текущего.

Каждая следующая колонка содержит значения сигналов в следующем такте. Последняя колонка с номером $m+1$ содержит значения, которые имеют максимально возможную задержку m формирования сигнала относительно текущего такта.

В случае моделирования комбинационных схем без задержек, рабочее поле может представлять собой только одну колонку – текущие значения, но моделировать элементы необходимо в порядке следования сигналов, чтобы значения выходных сигналов вычислялось только после получения значения входных.

Алгоритм синхронного моделирования

1. Загрузка модели ДУ в ОП.
2. Выделение памяти для рабочих массивов.
3. Текущим значениям сигналов (колонка 1 рабочего поля) в цепи задаётся значение X и счётчик совпадений P устанавливается в 0.
4. Производится проверка условия завершения моделирования. Если условие выполняется, то к п. 12.
5. Если необходимо, считывается очередной тестовый набор.
6. Выполняется моделирование элементов. Значения входных сигналов элементов выбираются из соответствующих цепям ячеек первой колонки РП. Вычисленные значения выходных сигналов записываются в соответствующие цепям ячейки от второй до $(m+1)$ -ой колонки РП, в зависимости от задержки сигнала от 1 до m .
7. Текущие значения сигналов цепей выводятся в файл временной диаграммы.
8. В пустые ячейки колонки 2 рабочего поля записываются значения сигналов из колонки 1.
9. Формируются значения счётчика совпадения сигналов. Если значение сигналов по цепям в колонках 1 и 2 РП совпадают, то счётчик увеличивается на 1, иначе устанавливается в 0.

№эл	Тип	Ф-ия
1	$2\&\neg$	$\wedge\neg$
2	2	$\vee$
3	2	$\vee$
4	$2\&\neg$	$\wedge\neg$

а) Таблица элементов

имя	тип	№цепи
a	I	1
b	I	2
c	I	3
e	I	4
f	0	8
g	0	6

б) Таблица внешних контактов

№цепи	контакты
1	a,1.2
2	b,3.2
3	c,2.1
4	e,2.2
5	1.3,3.1
6	2.3,4.2,g
7	3.3,1.1,4.1
8	4.3,f

в) Список цепей

Рисунок 9 – Модель устройства

Рассмотрим процесс моделирования в соответствии с алгоритмом.

1. Определим такт моделирования и задержки элемента в тактах. Размер такта определяем как наибольший общий делитель всех задержек ($3nс$ и $6nс$), и получаем $\tau=3nс$. Вычислим задержки элементов в тактах $\tau_1=2\tau$, $\tau_2=1\tau$, $\tau_3=1\tau$, $\tau_4=2\tau$.

2. Определяем размер рабочего поля: $[k, m+1]$, где k – число цепей сигналов в схеме, m – максимальная задержка элемента.

Так как $k=8$, $m=2$, то РП будет иметь размер 8×3 .

3. Записываем значения неопределенного сигнала X в первую колонку рабочего поля и значение пустого сигнала в остальные колонки (Рисунок 10а).

4. Устанавливаем счётчик совпадения сигналов $P=0$.

5. Производим чтение входного набора и производим запись значения в первый столбец рабочего поля (Рисунок 10б).

6. Выполняем моделирование всех элементов устройства. Входы элемента 1 включены в цепи 7 и 1, поэтому значения входных сигналов выбираем из первой колонки РП ячейки 7 и 1, это будет X и 0, которые отмечены на Рисунке 10в (вертикальная штриховка). Вычисляем значение выходного сигнала и получаем 1, которое записывается в третий столбец ($T+2$), так как задержка формирования сигнала составляет 2 такта, и ячейку 5 – выход элемента, включен в цепь №5. Подобным образом моделируем элементы 2, 3 и 4, получаем 1 в ячейке $[6,2]$, X в ячейках $[7,2]$ и $[8,3]$ (на Рисунке 10в ячейки отмечены горизонтальной штриховкой).

7. Производим перенос значений сигналов из первой колонки на значение “пустых” сигналов во второй колонке (Рисунок 10в наклонная штриховка).

8. Формируем счетчик совпадения сигналов. Так как значения сигналов в строке 6 не совпадают, то счётчику присваиваем значение 0.

9. Выполняем сдвиг рабочего поля (Рисунок 10г).

10. Проверяем условие завершения моделирования. Так как $P \neq m$, то продолжаем моделирование, переходим к п.4 алгоритма.

	1	2	3
	T	T+1	T+2
1	X		
2	X		
3	X		
4	X		
5	X		
6	X		
7	X		
8	X		

а)

	1	2	3
	T	T+1	T+2
1	0		
2	0		
3	1		
4	1		
5	X		
6	X		
7	X		
8	X		

б)

	1	2	3
	T	T+1	T+2
1			
2	0	0	
3	1	1	
4	1	1	
5	X	X	1
6	X	1	
7		X	X
8	X	X	X

в)

	1	2	3	4
	T	T+1	T+2	
1	0			
2	0			
3	1			
4	1			
5	X	1		
6	1			
7	X			
8	X	X		

г)

Рисунок 10 – Состояние рабочего поля

Представим последовательность состояний рабочего поля в виде таблицы, которую заполняем в процессе реализации моделирования (Рисунок 11).

Столбцы 1, 2, 3 отражают состояние РП на первом такте моделирования, столбцы 2, 3, 4 – на втором и т.д.

На 8 такте счетчик P становится равным двум (т.е. m), что указывает на переход модели в устойчивое состояние.

Так как в тесте имеется следующий входной набор, то он считывается в соответствующие колонки первого столбца. Новое состояние рабочего поля отражено столбцами 8', 9', 10'. Затем снова выполняется моделирование устройства.

		T	T+1	T+2										
	T	T+1	T+2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		8'	9'	10'
1	0	0	0	0	0	0	0	0				1		
2	0	0	0	0	0	0	1	1				1		
3	1	1	1	1	1	1	1	1				0		
4	1	1	1	1	1	1	1	1				1		
5	X	X	1	1	1	1	1	1	1			1	1	
6	X	1	1	1	1	1	1	1				1		
7	X	X	X	1	1	1	1	1				1		
8	X	X	X	X	X	1	1	1	1			1	1	
P	0	0	0	0	1	0	1	2						

Рисунок 11 – Последовательность состояний рабочего поля при выполнении моделирования

3.4. Задание на самостоятельную работу

Выполнить моделирование устройства, представленного на рисунке 8 на следующих входных тестах:

1) a b c e 2) a b c e
 1 1 0 1 1 1 1 0
 0 0 1 1 1 0 0 0

При моделировании учитывать задержки элементов:

- 1) $\tau_1=3\text{нс}$, $\tau_2=6\text{нс}$, $\tau_3=6\text{нс}$, $\tau_4=3\text{нс}$;
- 2) $\tau_1=6\text{нс}$, $\tau_2=2\text{нс}$, $\tau_3=2\text{нс}$, $\tau_4=6\text{нс}$.

4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. АСИНХРОННОЕ СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Цель: закрепить теоретические знания в области моделирования элементов ЦУ; приобрести практические навыки решения задач моделирования ЦУ методом событийного моделирования.

Постановка задачи: Выполнить асинхронное событийное моделирование на заданном тестовом наборе.

4.1 Порядок проведения занятия

- 1) Рассмотреть основные положения событийного моделирования ЦУ.
- 2) Составить модель ЦУ.
- 3) Выполнить моделирование заданного ЦУ.

- 4) Построить временные диаграммы функционирования ЦУ и рассчитать время формирования сигналов.
- 5) Выдать задания на самостоятельную работу.

4.2 Теоретические сведения

Асинхронное событийное моделирование основано на определении времени изменения сигнала и моделировании только тех элементов, которые могут изменить свое состояние.

В асинхронном моделировании размер шага моделирования не постоянный. Момент моделирования связан с моментом изменения значений сигналов в цепях устройства. Обычно асинхронное моделирование реализуется событийным – это связано с тем, что реализация асинхронного моделирования требует большинство рабочих структур, которые необходимы для событийного моделирования. Так как момент моделирования связан с событием изменения сигнала в цепи устройства, то такое моделирование часто называют событийным.

Состояние элемента (значения выходных и внутренних сигналов) не изменяется, если не изменяются значения входных сигналов, следовательно, элементы на входах которых не изменяется значение сигналов моделировать не нужно. В событийном моделировании используется обратное утверждение, необходимо моделировать только те элементы, которые могут изменить своё состояние, то есть элементы на входах которых произошло изменение сигнала.

Асинхронное моделирование всегда является моделированием с задержками. Временные характеристики задаются в единицах времени, для представления их используются целые числа, которые указывают время целым числом некоторых единиц.

Для реализации асинхронного событийного моделирования используются следующие рабочие структуры:

1. Время моделирования $T_{\text{мод}}$ – целое число, которое задаёт текущее время моделирования.

2. Массив значений сигналов (МЗС) – предназначен для хранения значений сигналов в цепях устройства, в текущий момент моделирования ($T_{\text{мод}}$). Представляет собой одномерный массив, размерности K , где K – это число цепей устройства.

3. Таблица событий (ТС) – предназначена для хранения информации о будущих событиях. Представляет собой таблицу со следующими полями: время события, номер элемента, номер контакта, тип события и значение выходного сигнала.

При самой простой реализации событийного моделирования используется только один тип события: формирование значения сигнала на выходах элемента, в таком случае поле – тип события не используется. Т.о. в этой структуре будут храниться будущие значения сигналов на выходах элемента.

4. Список активных элементов (САЭ) – содержит номера элементов, которые должны моделироваться на текущем шаге, т.е. элементы для которых произошло изменение входного сигнала.

Алгоритм асинхронного событийного моделирования.

1. Загружается модель устройства.
2. Создаются рабочие структуры.
3. Всем элементам МЗС присваивается неопределённое значение сигнала (X).
4. Устанавливается время начала моделирования ($T_{\text{мод}}=0$).
5. Проверяется условие завершения моделирования, если оно выполняется, то переход к п.12.
6. Считываются значения входных сигналов для очередного тестового набора и записываются в ТС.
7. Из таблицы событий выбирается событие с минимальным временем. Текущее время моделирования устанавливается равным минимальному. Новые значения сигналов в цепях изменяются в соответствии с выбранными событиями. Сигналы, для которых нет событий, не изменяют своё значение.
8. Определяется множество цепей, в которых произошло изменение сигнала. Элементы, входы которых связаны с выбранными цепями, записываются в список активных элементов.
9. Выполняется моделирование элементов с номерами указанными в САЭ. Значения входных сигналов выбираются из МЗС, а вычисленные значения выходных сигналов, с временем их формирования, записываются в ТС.
10. Значения сигналов в цепи записываются в файл временных диаграмм.
11. Переход к п.5.
12. Конец.

4.3 Пример реализации событийного моделирования

Рассмотрим процесс моделирования ЦУ на примере устройства, схема которого представлена на рисунке 12, заданных тестовых наборах и задержках элементов.

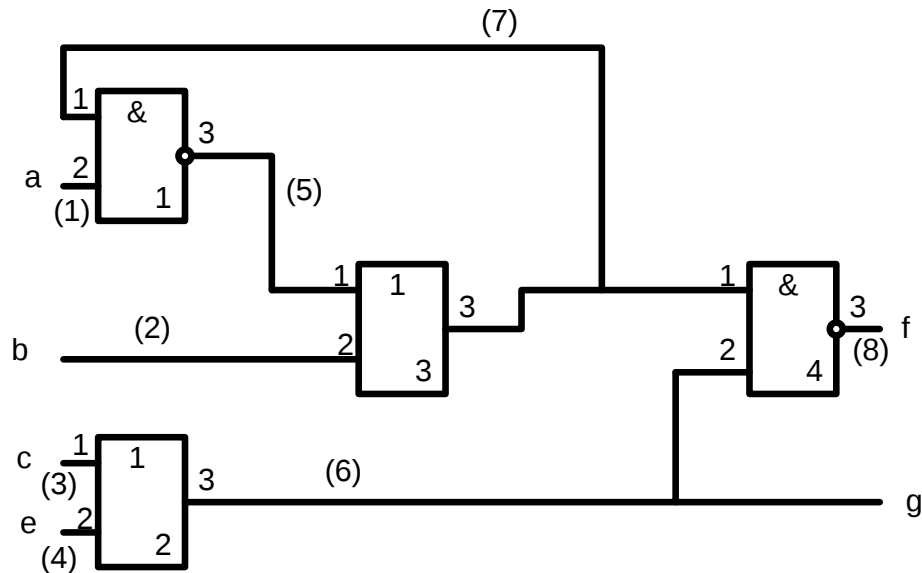


Рисунок 12 – Схема устройства

Тестовый набор:

a	b	c	e
0	1	1	0
1	0	1	0

При задержках элементов: $\tau_1=2\text{нс}$, $\tau_2=4\text{нс}$, $\tau_3=4\text{нс}$, $\tau_4=2\text{нс}$.

Рассмотрим процесс моделирования в соответствии с алгоритмом.

1. Установка времени моделирования в 0 ($T_{\text{мод}}:=0$), заполнение всех элементов массив значений сигналов (МЗС) кодом неопределенного значения (Рисунок 13а).

2. Чтение очередного входного набора. Производим добавление записей в ТС (Рисунок 13а).

3. Определение и установка текущего времени моделирования ($T_{\text{мод}}$), как минимального времени в таблице событий ($T_{\text{мод}}=0$).

4. Извлечение из таблицы событий записи с временем равным $T_{\text{мод}}(0)$.

5. Для каждой извлечённой записи определяется номер цепи и записывается новое значение сигнала в соответствующие элементы МЗС (Рисунок 13б).

6. Если новое значение элемента МЗС отличается от предыдущего, то определяется множество номеров элементов, которое указывает цепь, являющуюся входным сигналом и эти номера добавляются в САЭ (список активных элементов) (Рисунок 13б).

7. Если САЭ не пусто, то выполняется моделирование элементов. Значения входных сигналов выбираются из ячеек соответствующих номерам цепей, а значения выходных сигналов записываются в ТС.

МЗС		ТС			
1	X	время	№	№	Зн-ие
2	X		эл-та	конт	сигн.
3	X	0	0	1	0
4	X	0	0	2	1
5	X	0	0	3	1
6	X	0	0	4	0
7	X	САЭ			
8	X				

МЗС		ТС			
1	0	время	№	№	Зн-ие
2	1		эл-та	конт	сигн.
3	1				
4	X				
5	X				
6	X				
7	X	САЭ			
8	X				
		1	3	2	

а) Начало моделирования $T_{\text{мод}}=0$

б) Формирование МЗС и САЭ на первом шаге моделирования $T_{\text{мод}}=0$

ТС			
время	№ эл-та	№ конт	Зн-ие сигн
2	1	3	1
4	3	3	1
4	2	3	1
САЭ			

в) Состояние ТС и САЭ после первого шага моделирования $T_{\text{мод}}=0$.

Рисунок 13 – Состояние рабочих структур при моделировании

Выполним моделирование первого элемента. Входы элемента подключены к цепям 7 и 1, поэтому значения входных сигналов выбираем из 7 и 1 ячейки МЗС (это будет X и 0). Вычисляем значения выходного сигнала, элемент И-НЕ для 0 и X формирует значение 1. Определяем время формирования выходного сигнала, как $T_{\text{ф}}=T_{\text{мод}}+T_{\text{зад}}$. Задержка первого элемента составляет 6 нс и текущее время моделирования 0, поэтому $T_{\text{ф}}=0+6=6$. Формируем соответствующую запись, и записываем её в ТС. Подобным образом выполняем моделирование элементов 3 и 4. Состояние ТС после моделирования элементов представлено на рисунке 13в.

8. Признаком перехода модели в устойчивое состояние является пустая таблица событий. Следовательно, моделирование завершается, если ТС пустая и все тестовые наборы считаны. Поскольку ТС не пустая, то процесс моделирования продолжается.

Представим процесс моделирования ЦУ в виде последовательности состояний рабочих структур в соответствии с временем моделирования устройства (Рисунок 14).

М З С	1	X	0	0	0	0	1
	2	X	1	1	1	1	0
	3	X	1	1	1	1	1
	4	X	0	0	0	0	0
	5	X	X	1	1	1	1
	6	X	X	X	1	1	1
	7	X	X	X	1	1	1
	8	X	X	X	X	0	0
Т _{мод}		0 ^н	0	2	4	6	10
С А Э			1	3	1		1
			3		4		2
			2				

а) состояния МЗС и САЭ

Время	№ элемента	№ контакта	Значение сигнала	
0	0	1	0	Чтение входного набора при Т _{мод} =0
0	0	2	1	
0	0	3	1	
0	0	4	0	
2	1	3	1	Моделирование элементов при Т _{мод} =0
4	3	3	1	
4	2	3	1	
6	3	3	1	Т _{мод} =2
6	1	3	1	Т _{мод} =4
6	4	3	0	
10	1	1	1	Чтение входного набора при Т _{мод} =10
10	0	2	0	
10	0	3	1	
10	0	4	0	

б) состояния таблицы событий

Рисунок 14 – Последовательность состояний рабочих структур при моделировании

В момент моделирования $T_{\text{мод}}=6$ изменение сигнала произошло только в цепи 8, которая не имеет входов элементов, поэтому САЭ не содержит номеров элементов. После извлечения записей из ТС с временем 6, таблица оказалась пустой, что указывает на переход модели в устойчивое состояние. Так как имеется очередной тестовый набор, то производится его чтение и запись в ТС с ближайшим временем

(для примера) кратным 10, т.е. 10. После чего процесс моделирования продолжается. Процесс будет завершен когда в ТС не будет записей.

4.4 Задание на самостоятельную работу

Выполнить моделирование устройства, представленного на рисунке 12 на следующих входных тестах:

1) a b c e	2) a b c e
1 1 1 0	1 1 0 1
0 0 1 1	1 0 0 0

При моделировании учитывать задержки элементов:

- 1) $\tau_1=3\text{нс}$, $\tau_2=6\text{нс}$, $\tau_3=6\text{нс}$, $\tau_4=3\text{нс}$;
- 2) $\tau_1=6\text{нс}$, $\tau_2=2\text{нс}$, $\tau_3=2\text{нс}$, $\tau_4=6\text{нс}$.

5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1. РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: приобретение практических навыков разработки элементов САПР для моделирования цифровых устройств.

5.1 Требования к выполнению лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы необходимо выполнить требования, предъявляемые к процессору разработки САПР и его составных частей. К таким требованиям относятся:

- описание подхода решения;
- спецификации на структуры данных;
- спецификации процедур и функций.

Все указанные требования должны быть учтены при разработке программной части лабораторной работы. Разработка модуля ведется бригадой, состоящей из нескольких человек.

Требования к разработке программных модулей:

1. Данные, описывающие объект (модуль) должны быть представлены в виде класса, который должен обладать функциональной полнотой данных.
2. При разработке форматов представления данных необходимо обосновать примеры и типы переменных [4].
3. При определении форматов представления данных необходимо стремиться минимизации объема памяти, но с учетом быстродействия обработки данных. Существуют различные способы представления данных.

5.2 Задание на лабораторную работу

Необходимо разработать модуль подсистемы моделирования ЦУ. Исходными данными программы является описание схемы и значения входных сигналов. Результатом моделирования является последовательность сигналов в цепях устройства. Входные и выходные данные представляются в текстовых файлах. Подсистема состоит из трех модулей: ввода описания схемы, моделирования элементов ЦУ, моделирования ЦУ.

Работа выполняется студентами в составе бригады из трех человек, каждый из которых разрабатывает один модуль.

Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты заданий

№ варианта	Вид моделирования	Набор элементов	№ варианта	Вид моделирования	Набор элементов
1	Синхронное	3И-НЕ 4И-НЕ 2 $\oplus$, 5 $\oplus$	6	Событийное	3ИЛИ-НЕ 3-дешифр 4-дешифр
2	Событийное	3И-НЕ 4И-НЕ 2 $\oplus$, 5 $\oplus$	7	Синхронное	3И-НЕ 2x2 МП 1x4МП
3	Синхронное	2ИЛИ-НЕ 5ИЛИ-НЕ 3 $\oplus$, 4 $\oplus$	8	Событийное	3И-НЕ 2x2 МП 1x4 МП
4	Событийное	2ИЛИ-НЕ 5ИЛИ-НЕ 3 $\oplus$, 4 $\oplus$	9	Синхронное	3ИЛИ-НЕ 2x2 ДМП 1x4 ДМП
5	Синхронное	3ИЛИ-НЕ 3-дешифр 4-дешифр	10	Событийное	3ИЛИ-НЕ 2x2 ДМП 1x4 ДМП

5.3 Содержание отчета

1. Постановка задачи.
2. Краткое описание способа решения задачи.
3. Описание структур данных.
4. Спецификация на процедуры и функции.
5. Описание алгоритмов решения задачи.
6. Описание процедур и функций.
7. Текст программы.
8. Результаты тестирования.
9. Заключение (выводы).
10. Приложение.

Контрольные вопросы

1. В чем суть синхронного моделирования.
2. В чем суть асинхронного моделирования.
3. В чем суть событийного моделирования.
4. Какие рабочие структуры используются для реализации синхронного моделирования.
5. Какие рабочие структуры используются для реализации событийного моделирования.
6. Что является признаком устойчивого состояния модели в синхронном моделировании.
7. Что является признаком устойчивого состояния модели в асинхронном событийном моделировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов С.И. Автоматизация проектирования цифровых схем / С.И.Баранов, С.А.Майоров, Ю.П.Сахаров, В.А.Селютин. – Л.: Судостроение, 1979. – 264с.
2. Автоматизированное проектирование цифровых устройств /Под редакцией С.С.Бадулина. – М.: Радио и связь, 1981. – 238с.
3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов / И.П. Норенков – М.: Изд-во МГУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 336с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский – Киев: Техніка, 1997. – 462с.

