

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Московский технический университет связи и информатики"



Методические указания
к практическим занятиям

ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТРИГГЕРЫ

Направление подготовки:

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Ростов-на-Дону
2019

УДК 681.3.06 (076)

ББК 32.07

Чикалов А.Н. Логические элементы и триггеры. Методические указания к практическим занятиям. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2019.- 36 с.

В пособии изложены методические рекомендации, содержательные материалы и контрольные задания для проведения практических занятий по освоению логических элементов и триггеров и их использованию в различных системах. Пособие содержит необходимые справочные материалы.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профилей Многоканальные телекоммуникационные системы, Сети связи и системы коммутации, Защищенные системы и сети связи, Системы радиосвязи и радиодоступа, Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, Программное обеспечение и интеллектуальные системы.

Пособие предназначено для использования при изучении дисциплин Вычислительная техника, Схемотехника телекоммуникационных устройств, а также может быть использовано преподавателями и студентами при изучении родственных дисциплин и в процессе самостоятельной работы.

Учебное пособие обсуждено и одобрено на заседании кафедры ИВТ
Протокол №1 от 26.08.2019

Рецензент Зав. кафедрой ИВТ д.т.н. профессор Соколов С.В.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Анализ основных типов логических элементов	4
1.1. Освоение моделирующей системы ВАРИАНТ	5
1.2. Исследование ЛЭ основных серий	15
1.3. Исследование генератора на логических элементах	16
2. Анализ основных типов триггеров	18
2.1. Исследование RS-триггера из логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ	20
2.2. Исследование DC-триггера на основе RS-триггера	33
2.3. Исследование DC-триггера с синхронизацией по фронту сигнала	34
2.4. Исследование динамики ИМС триггера	34
2.5. Исследование возможности реализации Т-триггера на основе ИМС К155ТМ2	35

1. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Цель

1. Углубить и закрепить теоретические знания по принципам построения и алгоритмам функционирования логических элементов (ЛЭ);
2. Приобрести практические навыки экспериментального исследования цифровых схем с помощью систем моделирования;
3. Совершенствовать навыки анализа, обобщения и систематизации полученных результатов, составления и оформления отчетных материалов, точного и лаконичного представления докладов по вопросам технического характера.

Учебные вопросы

- 1.1. Освоение моделирующей системы ВАРИАНТ;
- 1.2. Исследование ЛЭ основных серий;

Литература для подготовки к занятию

1. Угрюмов Е.П. Цифровая Схемотехника: Учебное пособие для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 816с.
2. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства.- СПб.: БХВ-Петербург, 2004.-512с.
3. Потемкин И.С. Функциональные узлы цифровой автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-320с.
4. Нефедов А. В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 1-12.— М.: ИП РадиоСофт, 2000.
5. [www://vpri.ru/index/mikroskhemy/](http://vpri.ru/index/mikroskhemy/)

Содержание отчета

1. Название работы.
2. По каждому из заданий должны быть представлены название задания и те конкретные данные, которые указаны в задании.
3. Краткие ответы на те контрольные вопросы для самопроверки, которые ещё не нашли своего отражения в отчете, но вызывают затруднения для понимания.

Актуальность занятия

Системы моделирования являются мощным инструментом исследования, проектирования и отладки цифровых устройств. Предлагаемая система ВАРИАНТ отличается предельной доступностью интерфейса и приближенностью к реальным конструкторским документам по форме представления проекта – в виде схемы электрической функциональной. Это позволяет сосредоточиться на изучении логики работы схемы и не отвлекаться на технику общения с программой. На начальной стадии освоения цифровой схемотехники это представляется крайне важным.

Наглядность системы и ее достаточная логическая мощность позволяют без больших материальных затрат оценивать работоспособность цифровых систем реального уровня сложности, отлаживать их, выявлять узкие места в различных режимах эксплуатации, вполне приемлемо документировать полученный результат. Все это делает систему ВАРИАНТ эффективным учебным средством проектирования цифровых систем.

Логические элементы являются базовыми составляющими для последующих занятий и образуют содержательный материал для получения навыков работы с системой моделирования.

Вопросы для подготовки к занятию

1. Сформулируйте этапы синтеза комбинационных схем.
2. Нарисуйте таблицы истинности элементов И, ИЛИ, НЕ.
3. Как воспринимается свободно висящий вход в серии ИМС ТТЛ?
4. В чем заключается свойство самодвойственности функций логики?

Задание 1.1. Освоение моделирующей системы ВАРИАНТ

Практическая работа в этом задании заключается в выполнении описанных операций и наблюдении их результатов с целью освоения типовых приемов работы с системой моделирования. Отчетом об этом задании будут являться устойчивые навыки выполнения типовых приемов работы с программой моделирования.

Особенности системы

Система моделирования цифровых устройств ВАРИАНТ позволяет разрабатывать схемы на базе элементов из состава библиотеки. Формирование схемы осуществляется простым перемещением по экрану графических обозначений различных элементов с помощью клавиш управления курсором. В режиме моделирования обеспечивается отображение состояния узлов схемы с помощью элементов световой индикации, которые могут быть установлены в любом месте схемы в необходимом количестве. Кроме того, предусмотрена фиксация последовательности изменения сигналов в контрольных точках с помощью временных диаграмм, как в цифровом анализаторе. Входные воздействия задаются с клавиатуры компьютера элементами ввода или имеющимися генераторами. Цифровые узлы моделируются с учетом задержек, соотношения между величинами которых отражают соотношения их реальных физических значений в реальных образцах.

Программа написана Смирновым В.Н. на языке СИ для IBM совместимых компьютеров.

Режимы работы

Управление режимами работы системы осуществляется с помощью двух меню. На экране всегда присутствует контекстное нижнее меню (рис.1.1) и верхнее меню, которое можно вызвать клавишей F1 (рис.1.2). Нижнее меню может изменяться при изменении режима работы, но всегда оно показывает совокупность всех инструментов, которые доступны в текущем режиме. В верхнем меню режим выбирается стрелками и нажимается ***Enter***.

F1-Меню F2-Модель F3-Запись F4-Чтение F5-Выбор F6-Линии F7-Текст F8/F9- ПЗУ1/2

Рис.1.1. Нижнее меню системы моделирования в режиме набора схемы

ВЫБОР НАБОР МОДЕЛЬ ЧТЕНИЕ ЗАПИСЬ ПЕЧАТЬ ЛИНИИ ГРАФИК СТЕРЕТЬ ВЫХОД

Рис.1.2. Верхнее меню системы моделирования

Режимы могут быть вызваны нажатием соответствующих управляющих клавиш или через меню. Система позволяет реализовать следующие режимы работы:

Управляющие клавиши	Выполняемые операции (режимы)	Режимы из верхнего меню
	РЕЖИМЫ:	
F1	Вызов меню	
ESC	Убрать меню	
F2	Переход в режим моделирования	МОДЕЛЬ
F3	Сохранение набранной схемы на диске	ЗАПИСЬ
F4	Ввод ранее сохраненной схемы с диска	ЧТЕНИЕ
F5	Вызов библиотеки элементов	ВЫБОР
F6	Ввод соединительных линий	ЛИНИИ
F7	Ввод текста	
F8	Изменение информации в ПЗУ1	
F9	Изменение информации в ПЗУ2	
PrtScr	Распечатка схемы на принтере	ПЕЧАТЬ
Shift + F10	Отображение детальных диаграмм	ГРАФИК
Ctrl + F10	Отображение сжатых диаграмм	
Ctrl + Bs	Стирание экрана	СТЕРЕТЬ
CapsLock	Ввод букв как элементов схемы	

<i>Shift левый</i>	Переход в латинский алфавит	
<i>Shift правый</i>	Переход в русский алфавит	
	Набор и редактирование схемы	<i>НАБОР</i>
	Выход из системы моделирования	<i>ВЫХОД</i>

Набор и редактирование схемы

Набиваемая схема размещается на наборном поле, превышающем размер его видимой части. Отображаемый на экране участок составляет 1/4 часть от всего наборного поля, имеющего размеры 160 шагов по горизонтали и 64 шага по вертикали. Размер видимой его части - 80 шагов по горизонтали и 42 шага по вертикали. Первоначально при запуске программы отображаемая часть наборного поля находится в левом верхнем углу наборного поля, как показано на рис.1.3.

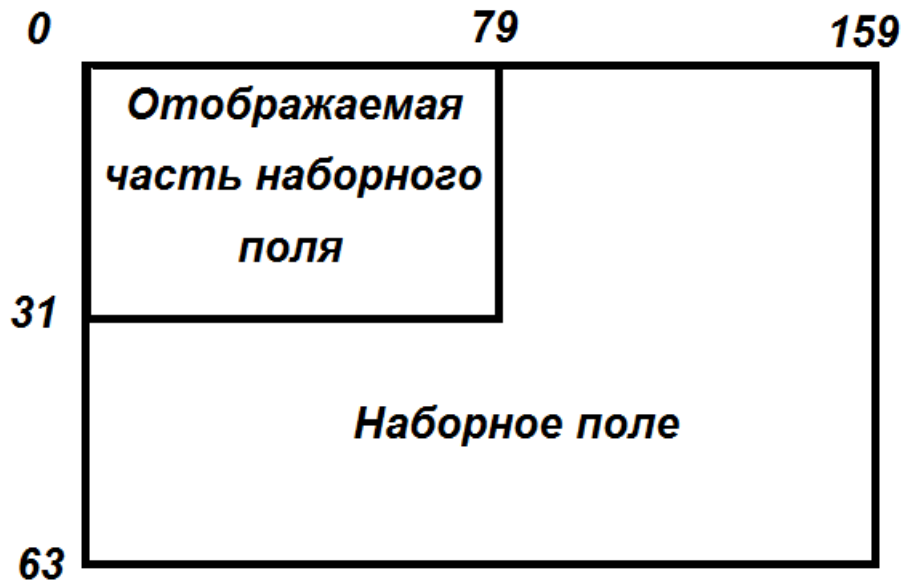


Рис.1.3. Исходное положение отображаемой части наборного поля при запуске программы

Набор схем осуществляется простым перемещением стрелками по экрану графических обозначений различных элементов, выбираемых из библиотеки, с последующей их установкой в необходимых местах.

Выбор элемента в режиме набора и редактирования (признаком является наличие цветного курсора на экране) может осуществляться из библиотеки (клавиша ***F5*** или меню ***Выбор***) или по горячим клавишам с клавиатуры.

Активный (носимый) элемент отображается на экране в инверсном виде (черный по белому). С помощью клавиш управления курсором необходимо подвести активный (носимый) элемент к месту установки и нажать клавишу ***Enter***. При этом изображение носимого элемента

превратится в белый прямоугольник. Перемещая активный элемент по экрану, можно установить необходимое количество элементов.

Для отображения состояния цифровых схем в необходимых местах устанавливаются элементы индикации, а для ввода информации - элементы ввода входных воздействий.

Если установка элемента будет производиться поверх собранного участка схемы, то элементы, на которые происходит наложение активного (носимого) элемента, хотя бы и частично, будут полностью удалены с экрана. Отдельный элемент можно удалить, подведя курсор к левому верхнему углу элемента и нажав клавишу **Del**.

Просматривать весь экран и работать с элементами можно с помощью клавиш, указанных в таблице:

Управляющие клавиши	Выполняемые операции (режимы)	Режимы из верхнего меню
	ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЭКРАНА:	
Home	Сдвиг окна отображения влево на 80 шагов	
End	Сдвиг окна отображения вправо на 80 шагов	
PgUp	Сдвиг окна отображения вверх на 32 шага	
PgDn	Сдвиг окна отображения вниз на 32 шага	
Shift и влево	Сдвиг окна влево на 20 шагов	
Shift и вправо	Сдвиг окна вправо на 20 шагов	
Shift и вверх	Сдвиг окна вверх на 8 шагов	
Shift и вниз	Сдвиг окна вниз на 8 шагов	
	ОПЕРАЦИИ С ЭЛЕМЕНТОМ:	
Ins	Захват элемента с экрана	
Del	Удаление элемента с экрана	
Enter	Установка на экране (захват из библиотеки) элемента	
Стрелки	Перемещение выбранного элемента по экрану	

Состав библиотеки представлен на рис.1.4. Элемент выбирается курсором с помощью стрелок и клавишей Enter осуществляется его захват из библиотеки. Выбрать элемент можно непосредственно на существующем экране с изображением набираемой схемы. Для захвата элемента с экрана необходимо левый верхний угол активного элемента или курсора расположить на изображении захватываемого элемента и нажать клавишу **Ins**. При этом произойдет смена активного элемента.

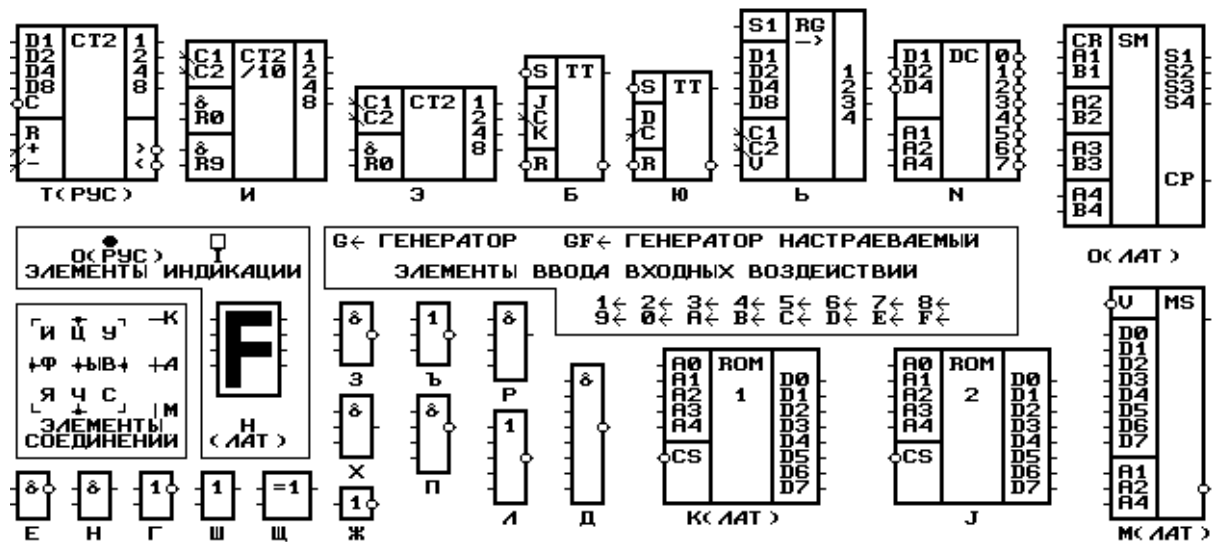


Рис.1.4. Библиотека элементов системы ВАРИАНТ

Рисование соединительных линий

Линии связи можно конструировать из элементов соединений библиотеки (см. рис.1.4), но наиболее просто это осуществляется в режиме ввода соединительных линий (клавиша **F6** или пункт **ЛИНИИ** верхнего меню). При этом в нижней строке слева, будут появляться сообщения о действующем подрежиме рисования линии, очередном подрежиме после следующего нажатия клавиши **F6** и клавише выхода из режима рисования линий. Клавиша **F6** последовательно может выбрать все три допустимых подрежима, представленных на рис.1.5.

Перемещение курсора	F6-Рисование	Esc-Выход
а)		
Рисование линий	Enter-Соединение	F6-Стирание
б)		
Стирание линий	F6-Перемещение курсора	Esc-Выход
в)		

Рис.1.5. Подменю режима **Линии**: а) перемещение курсора, б) рисования линии и соединений, в) стирания линии

Для рисования линий необходимо в подрежиме **Перемещение курсора** поместить курсор к начальной точке предполагаемого соединения и снова нажать клавишу **F6**. В строке подсказки появится надпись: **Рисование линий** (см. рис.9.5,б). С помощью клавиш управления курсором рисуются

необходимые линии. Для соединения их в точках пересечений с уже имеющимися используется клавиша **Enter**. Подсоединение произойдет автоматически, если рисуемая линия будет направлена на точку, в которой изображено разветвление или поворот проводника.

Выход из режима ввода соединительных линий осуществляется после нажатия клавиши **Esc**.

Ввод текста

Для ввода букв требуется нажать клавишу **CapsLock**. После этого вместо элементов на экран будут вызываться буквы, соответствующие клавишам клавиатуры. С ними возможно выполнять все те же манипуляции, что и с элементами схем из библиотеки. Большие текстовые надписи вводятся в режиме Набор текста (клавиша **F7**).

Текстовые надписи не влияют на моделирование цифровых элементов, но повышают информативность экрана и могут существенно приблизить схему к форме конструкторского документа.

Моделирование работы схемы

После синтеза схемы в режиме набора переход в режим моделирования осуществляется нажатием на клавишу **F2** или выбором в верхнем меню пункта **МОДЕЛЬ**. При этом состояние выходов схем контролируется по индикаторам. Если их недостаточно или обнаружена ошибка в наборе схемы, необходимо вернуться в режим набора и откорректировать схему. Выход в режим набора осуществляется нажатием на любую управляющую клавишу или клавишу управления курсором.

Входные сигналы на схему вводятся с помощью элементов ввода входных воздействий. Каждое нажатие на клавишу клавиатуры с номером элемента ввода входных воздействий приводит к смене состояния на выходе элемента (если была логическая единица - станет ноль, если был логический ноль - станет единица).

Запись и чтение схемы с диска

Для сохранения набранной схемы на диске необходимо нажать клавишу **F3** или выбрать в верхнем меню пункт **ЗАПИСЬ**. В появившемся окне следует набрать имя файла с обязательным расширением **.SX**. Длина имени - не более восьми символов. После набора необходимо нажать клавишу **Enter**.

Если перед этим схема была загружена с диска, то при записи в окне появится имя ранее загруженного файла. Запись с этим же именем приведет к уничтожению старой схемы.

Вызов режима чтения осуществляется с помощью клавиши **F4** или из верхнего меню выбором пункта **ЧТЕНИЕ**. После этого на экране появляется окно с надписью и именем файла ***.SX**. Нажатие клавиши **Enter** в этом случае вызовет список всех файлов каталога **VARIANT** с расширением **.SX**. Перемещая курсор стрелками, необходимо выбрать требуемый файл и нажать клавишу **Enter**.

Если файл сохранялся в другом каталоге, то необходимо прописать полный путь к требуемому файлу. Редактирование вводимой строки осуществляется обычным образом.

Вывод диаграмм

Режим вывода диаграмм предназначен для пошагового прослеживания состояний узлов и анализа поведения цифровых элементов. Это требуется в процессе отладки неработающих узлов и схем, если визуальный контроль правильности их функционирования не приводит к положительному результату.

Для реализации этого режима предусмотрен так называемый буфер, который вызывается нажатием клавиши "P" (рис.1.6). Его работа подобна работе логического анализатора: в памяти буфера накапливается последовательность чередований единиц и нулей с последующим по запросу выводом в виде временных диаграмм в контролируемых точках. Ёмкость буфера по каждому входу составляет 2000 бит. Информация со входов записывается автоматически через интервалы времени, равные задержке самого быстрого элемента схемы. После заполнения буфера вся дальнейшая информация, поступающая на его входы, будет накладываться на ранее записанную. Поэтому последние 2000 бит будут всегда доступны для просмотра.

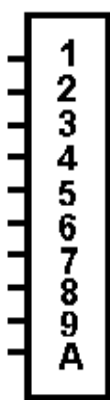


Рис.1.6. Буфер анализатора

Буфер устанавливается на наборном поле, и его входы подключаются к выходам исследуемых элементов. Буфер может устанавливаться в нескольких местах схемы, где это удобно, но каждый из его десяти входов может быть подключен только к одной контролируемой точке. При этом все воспринимаемые сигналы отображаются в единой временной сетке независимо от числа используемых буферов. После перехода в режим **Моделирования** и подачи необходимых входных воздействий на схему информация автоматически записывается в буфер.

Для отображения на экране детальной диаграммы (с отображением всех переходных процессов, номеров входов и количества записанных тактов) необходимо в верхнем меню выбрать пункт **ГРАФИК**.

Для удобства рассмотрения диаграмм на них накладывается указатель такта в виде вертикальной светлой полосы (рис.1.7) Его можно перемещать по диаграмме с помощью клавиш управления курсором. Положение курсора будет отображаться в верхней строке экрана.

Отображаемая диаграмма в некоторых местах может переходить в пунктирную линию, которая означает, что в этом месте диаграмма остается неизменной более чем в пяти тактах. Для уточнения сведений о сжатии диаграммы в месте нахождения указателя такта необходимо нажать клавишу *Enter*.

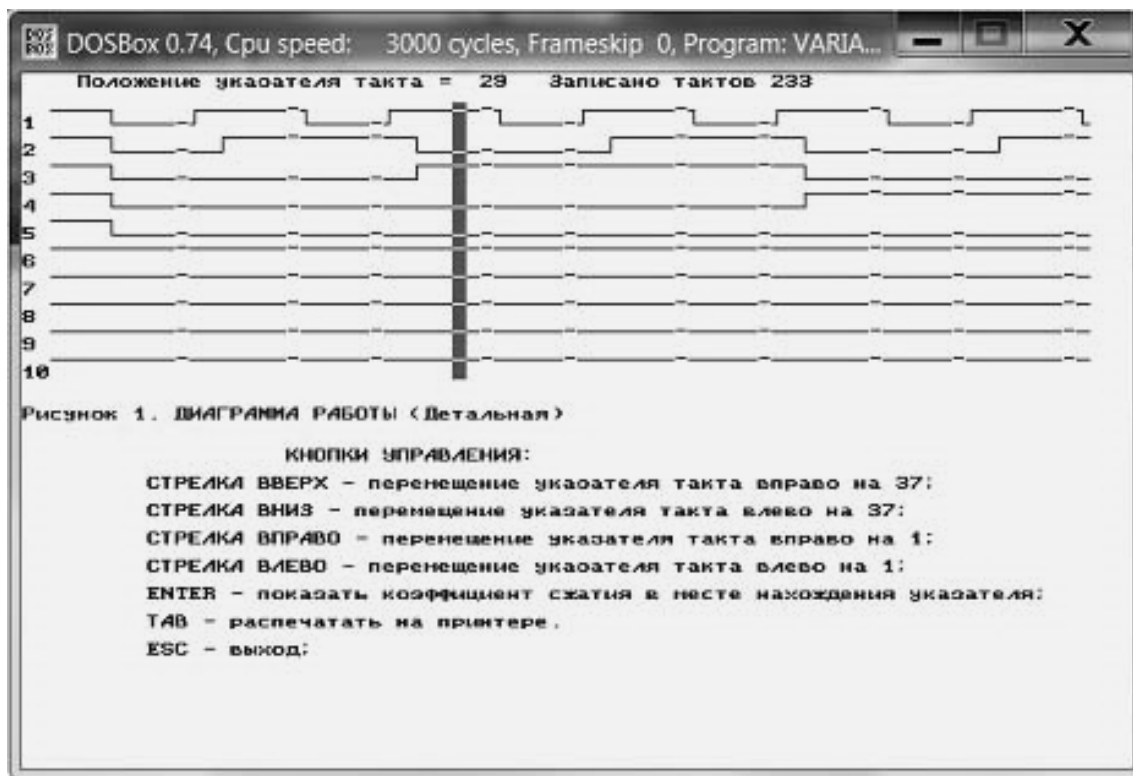


Рис.1.7. Экран с отображением диаграммы

Для получения сжатых диаграмм (без отображения переходных процессов в схеме) необходимо одновременно нажать **Ctrl+F10**. Особенности отображения сжатых диаграмм не отличаются от аналогичных особенностей диаграмм детальных. Однако они более компактны, лучше обозримы, но и более огрубленные, фиксируют только конечный результат. Ими удобно пользоваться при оценке работоспособности устройства в целом.

Особенности работы моделей цифровых элементов

Незадействованные (висящие в воздухе, не подключенные) входы элементов воспринимаются как входы, с поданными на них уровнями

логической единицы. Такое поведение элементов полностью соответствует логике работы микросхем ТТЛ-серий.

Логические элементы и узлы из состава библиотеки моделируются с учетом задержек, соотношения между величинами которых приблизительно отражают соотношения их реальных величин. За единицу задержки принята задержка логического элемента И-НЕ. Одинаковые элементы имеют одинаковые задержки и не имеют разброса их величин.

При замыкании выходов схем уровень сигнала на всех таких выходах будет равен логическому нулю, если хотя бы на одном из них есть логический ноль.

Типы логических элементов системы ВАРИАНТ представлены в задании 1.2 этого раздела. Описание работы сумматоров, дешифраторов, мультиплексоров, триггеров, регистров, счетчиков, схем ПЗУ представлено в одноименных разделах пособия.

Элементы ввода входных воздействий

Элементом ввода входных воздействий (ключам) с номерами 0 - 9 , а также буквам А, В, С, D, Е, F соответствуют клавиши на клавиатуре ЭВМ. Уровень сигнала на выходе ключей можно менять нажатием соответствующих клавиш. Каждое нажатие на клавишу с символом ключа приводит к смене уровня сигнала на его выходе на противоположный.

Независимо от количества установленных ключей с одинаковым цифровым индексом их переключение в режиме моделирования будет осуществляться одновременно. Это свойство может быть использовано с целью сокращения длины связей и экономии тем самым активной площади экрана. Пример такой эквивалентной замены показан на рис.1.8.

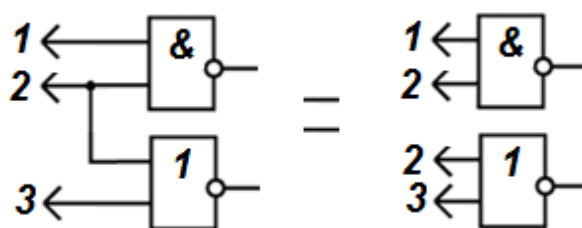


Рис.1.8. Пример замены линий связи параллельно работающими ключами

Генератор **G** - это генератор с нерегулируемой частотой. Она является максимально возможной в режиме моделирования и зависит от быстродействия компьютера и количества моделей, установленных в схеме на экране.

У генератора GF частота регулируется с помощью коэффициента деления по формуле:

$$F = \frac{G}{K},$$

где G - частота нерегулируемого генератора G в условных единицах;
 K - коэффициент деления, значение которого отображается в режиме моделирования в правом нижнем углу.

Коэффициент может изменяться в режиме моделирования клавишами:

"+" - увеличивает K на 1;

"-" - уменьшает K на 1;

"." - увеличивает K на 100;

"," - уменьшает K на 100.

Элементы индикации

В системе моделирования реализовано три вида индикаторов (рис.1.9).

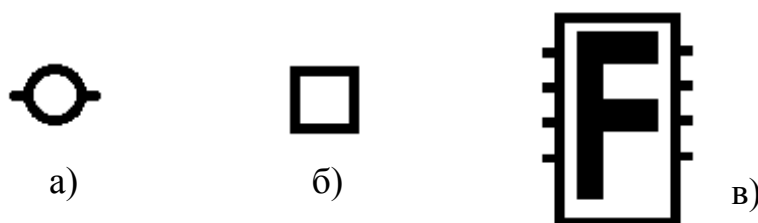


Рис.1.9. Индикаторы в системе моделирования:
 а) горизонтальный; б) четырехугольный; в) семисегментный

Горизонтальный индикатор (рис.1.9,а). Этот индикатор может передавать сигнал без задержки на распространение сигнала и только в горизонтальном направлении. Логической единице соответствует красный цвет. Допускается подводить линию связи к индикатору сверху или снизу, при этом дальнейшей его передачи на другие элементы не происходит.

Четырехугольный индикатор (рис.1.9,б). Индикатор позволяет передавать уровни сигналов в четырех направлениях. На параллельных рядом расположенных связях их ставить нельзя: они замкнут линии. Из таких индикаторов можно набирать индикаторы больших размеров нужной конфигурации.

Семисегментный индикатор (рис.1.9,в). В такой элемент встроен дешифратор для семисегментного индикатора. Поэтому индикатор отображает входной двоичный код в шестнадцатеричную цифру в диапазоне 0 - F. Верхний вывод индикатора соответствует младшему разряду входного кода, нижний - старшему. Индикатор передает состояние линий связи от входов к выходам без изменений, но с задержкой, равной одной задержке элемента И-НЕ.

Задание 1.2. Исследование ЛЭ основных серий

Задание выполняется последовательно для логических элементов И, ИЛИ, НЕ, mod2 (или по указанию преподавателя) в объеме, необходимом для составления отчета. Перечень моделей логических элементов в системе ВАРИАНТ представлен в таблице. Модели логических элементов работают в точном соответствии с диаграммами соответствующих элементов микросхем ТТЛ-серий.

Вызывающая клавиша	Моделируемая ИМС	Обозначение функции	Серии, имеющие функциональные аналоги
Г	155ЛЕ1	2ИЛИ-НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Д	155ЛА2	8И-НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533
Е	155ЛА3	2И-НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Ж	155ЛН1	НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
З	155ЛА4	3И-НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Л	155ЛЕ7	5ИЛИ-НЕ	531
Н	155ЛИ1	2И	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
П	555ЛА1	4И-НЕ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Р	155ЛИ6	4И	533, 555, 1533, 1554
Х	155ЛИ3	3И	531, 555, 1533
Ш	155ЛЛ1	2ИЛИ	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Щ	155ЛП5	mod2	133, 530, 531, 533, 555, 1533, 1554
Ь	155ЛЕ4	3ИЛИ-НЕ	533, 555, 1533, 1554

В отчете представить для каждого элемента:

- УГО логического элемента;
- таблицу истинности элемента, его название;
- аналитическое выражение для функции логического элемента;
- вывод о возможности использования элемента в качестве компаратора.

Задание 1.3. Исследование генератора на логических элементах

Для этого необходимо набрать схему генератора, выполнить исследования в предложенном объеме и сделать выводы по поставленным вопросам.

Последовательность выполнения задания:

1) Набрать схему генератора, представленную на рис.1.10;

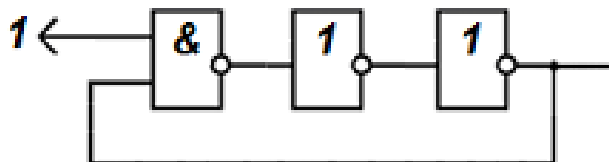


Рис.1.10. Схема генератора на логических элементах

2) Расставить в необходимых местах индикаторы для наблюдения изменений сигналов. Подключить цифровой буфер (вызывается латинской клавишей "P") для сохранения значений выходов всех элементов и последующего наблюдения диаграммы. Запустить схему;

3) Наблюдая генерацию визуально и на временных диаграммах в режиме **ГРАФИК**, вычертить идеализированные временные диаграммы его работы с учетом временной задержки элементов. Показать сигналы на выходе первого, второго и третьего элементов;

4) Анализируя характер изменения частоты генератора и условия существования генерации, увеличить число логических элементов в генераторе сначала на один, потом на два. Последующие схемы набирать на этом же экране. При необходимости выполнить увеличение и на большее количество элементов;

5) Дополнить (на схеме) диаграммы для трех логических элементов еще двумя временными осями для схемы из пяти элементов;

6) Сделать вывод о характере изменения частоты генератора при изменении количества логических элементов;

7) Сформулировать условие возникновения генерации;

8) Сделать вывод о частоте изменения сигналов на выходе каждого логического элемента генератора и взаимном расположении фронтов этих сигналов.

В отчете представить:

- функциональную схему генератора;
- временные диаграммы для трех логических элементов с учетом временных задержек элементов;
- вывод о характере изменения частоты при увеличении числа элементов;
- условия возникновения генерации.

Задания для самопроверки

1. Что обозначает надпись на корпусе ИМС К155ЛР1, К155ЛА3, К555ЛЕ1, К176ТМ2, К155ЛН3, К155ЛД1?
2. Для элемента И,ИЛИ,НЕ,И-ИЛИ-НЕ нарисовать условное графическое обозначение, таблицу истинности.
5. Заполнить таблицу истинности для 2-входового элемента И-НЕ при замыкании на корпус одного из входов.
6. Заполнить таблицу истинности для 2-входового элемента И-НЕ при обрыве одного из входов.
7. В каких пределах может изменяться значение напряжения на входах ТТЛ схем без искажения логики работы логического элемента?
8. Сформулируйте методику поиска неисправностей в логических схемах.
9. Назовите типы специальных логических элементов. Сформулируйте их назначение. В чем заключаются особенности каждого из них?
10. Сформулируйте назначение системы моделирования электронных схем в процессе проектирования.
11. Каковы типовые режимы системы моделирования?
12. Какие существуют способы запуска имеющихся в пакете режимов?
13. Какие существуют приемы набора схем?
14. Сформулируйте назначение диаграмм при моделировании электронных схем.
15. Каков типовой набор основных цифровых узлов в системах моделирования?
16. Охарактеризуйте особенности функционального поведения моделируемых цифровых узлов в системе ВАРИАНТ.
17. Каковы этапы решения задачи в системе моделирования?
18. Моделью какого прибора является Буфер в системе ВАРИАНТ?
19. Моделью каких устройств является семисегментный индикатор в системе ВАРИАНТ?
20. Какой логический элемент может работать в качестве компаратора?

2. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ТРИГГЕРОВ

Цель

1. Выработать практические умения синтеза и применения триггеров основных типов.
2. Совершенствовать практические умения и навыки работы с цифровой техникой, ЭВМ и системами моделирования.
3. Совершенствовать навыки анализа, обобщения и систематизации полученных результатов, составления и оформления отчетных материалов, точного и лаконичного представления докладов по вопросам технического характера.

Учебные вопросы

- 2.1. Исследование RS-триггера из логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ;
- 2.2. Исследование DC-триггера на основе RS-триггера;
- 2.3. Исследование DC-триггера с синхронизацией по фронту сигнала;
- 2.4. Исследование динамики ИМС триггера;
- 2.5. Исследование возможности реализации Т-триггера на основе ИМС K155TM2.

Литература для подготовки к занятию

1. Угрюмов Е.П. Цифровая Схемотехника: Учебное пособие для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 816с.
2. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства.- СПб.: БХВ-Петербург, 2004.-512с.
3. Потемкин И.С. Функциональные узлы цифровой автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-320с.
4. Нефедов А. В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 1-12.— М.: ИП РадиоСофт, 2000.
5. [www://vpri.ru/index/mikroskhemy/](http://vpri.ru/index/mikroskhemy/)

Содержание отчета

1. Название работы.
2. По каждому из заданий должны быть представлены название задания и те конкретные данные, которые указаны в задании.
3. Краткие ответы на те контрольные вопросы для самопроверки, которые ещё не нашли своего отражения в отчете, но вызывают затруднения для понимания.

Актуальность занятия

Триггер является основой для хранения данных и создания устройств с памятью различного назначения. Наряду с логическими элементами он образует базу для синтеза всех цифровых устройств с памятью.

Вопросы для подготовки к занятию

5. Сформулируйте этапы синтеза комбинационных схем.
6. Нарисуйте таблицы истинности элементов И, ИЛИ, НЕ.
7. Как воспринимается висящий вход в серии ИМС ТТЛ?
8. В чем заключается свойство самодвойственности?
9. Сформулируйте основные этапы минимизации с помощью матриц Карно.
10. Назовите известные типы триггеров.
11. Сформулируйте назначение триггера.

Краткие сведения из теории

Триггером называется цифровая схема, которая может находиться в одном из двух устойчивых состояний: единичном и нулевом. Установленное в триггере состояние сохраняется и после снятия активных сигналов. По этой причине состояние и носит название устойчивого. Поэтому основное назначение триггера – хранить один бит информации в цифровых схемах. Свойство хранить (или запоминать) информацию обеспечивается введением в схему внутренней положительной обратной связи.

Активным сигналом называют тот, который способен по данному входу переключать триггер. Все другие сигналы называют пассивными для данного входа: они не вызывают переключений.

Триггер, как правило, имеет два выхода: прямой и инверсный. Состояние триггера определяется по прямому выходу. Инверсный выход триггера используется для получения обратного кода без использования дополнительных логических элементов.

Асинхронный RS-триггер

RS–триггер является простейшим. Чаще его называют именно так, опуская для простоты термин "асинхронный". Его функциональная схема и условное графическое обозначение (УГО) показаны на рис.2.1, а,б.

Входы R и S триггера часто называются установочными, потому что без всяких условий устанавливают триггер в заведомо известное состояние. Если активный сигнал (а для этого триггера это логическая 1, что показано на УГО простым примыканием линии входа к контуру триггера) подается на вход S, то триггер устанавливается в единичное состояние. **За единичное состояние** триггера принято такое его состояние, при котором на выходе Q (прямой выход) присутствует единица (высокий уровень сигнала). На выходе \bar{Q} (инверсный выход), соответственно, - нуль. Этот вход называется **входом установки** (от Set). Подача активного сигнала на вход R переводит триггер в нулевое состояние, при котором $Q=0$, $\bar{Q}=1$. Вход R называется **входом сброса** или гашения (от Reset).

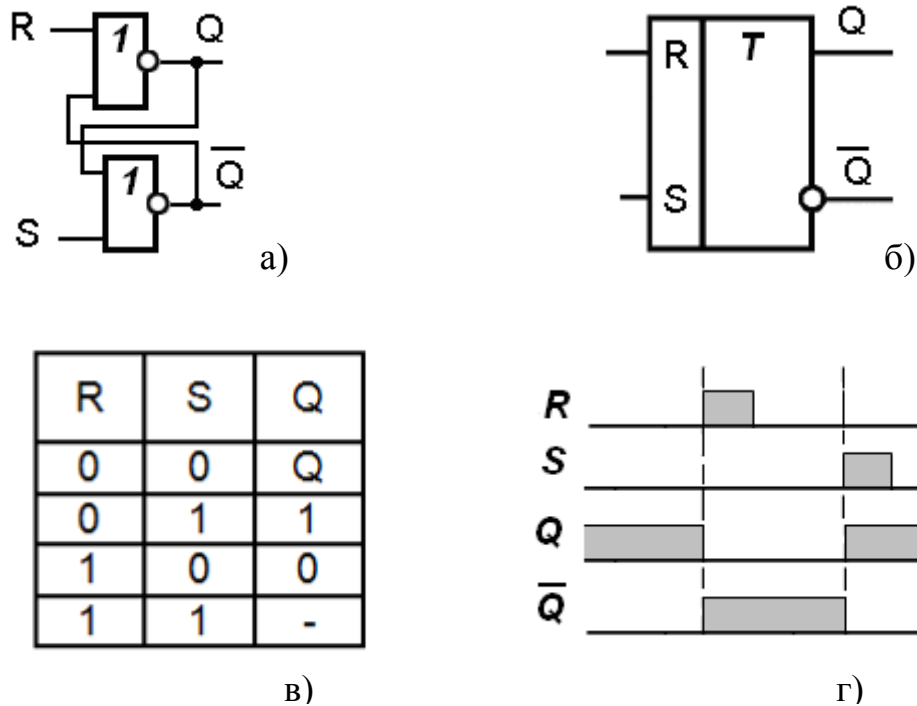


Рис.2.1. Схема (а), УГО (б), таблица переходов (в) и диаграмма работы (г) асинхронного RS-триггера

Действительно, пока на обоих входах триггера присутствуют нули (входы неактивны), он находится в одном из устойчивых состояний. Пусть, например, он находится в единичном состоянии. При этом нуль с выхода \bar{Q} поступает на вход первого элемента ИЛИ-НЕ и поддерживает выход Q в состоянии 1 (см. рис.2.1,а). С выхода же $Q=1$ сигнал поступает на вход второго логического элемента и удерживает на выходе \bar{Q} сигнал нулевого уровня.

Аналогичные рассуждения можно провести и при другом значении сигналов на выходе, т.е. нулевом состоянии триггера. Но в обоих случаях появившиеся сигналы на выходе триггера будут, действуя на входы логических элементов, сами себя поддерживать. Режим RS триггера при обоих неактивных входных сигналах называется **режимом хранения**.

Если триггер находится в единичном состоянии и на вход R подается активный сигнал, а на вход S пассивный, то на выходе первого логического элемента появляется сигнал логического нуля и он же подается на вход второго элемента ИЛИ-НЕ. Это приводит к смене сигнала на выходе \bar{Q} с нуля на единицу. После всех переключений состояние триггера становится нулевым ($Q=0$, $\bar{Q}=1$). При подаче активного сигнала на вход S и пассивного на вход R триггер переключается в единичное состояние. В этом нетрудно убедиться, проследив по схеме все изменения выходных сигналов. Таким образом, комбинация двух сигналов на входах RS-триггера, один из которых

активен, а другой пассивен, обеспечивают переключение триггера в соответствующее состояние.

Подача активных сигналов одновременно на оба входа приводит в этом триггере к появлению нулей на обоих выходах. Такое состояние триггера является неустойчивым и поддерживается только активными сигналами на обоих входах. Если теперь одновременно снять активные единицы со входов R и S, то оба элемента ИЛИ-НЕ начнут переключаться в единичное состояние, стремясь одновременно переключить противоположный элемент в единицу. Результирующее состояние будет зависеть от коэффициентов усиления, скоростей переходных процессов и других параметров логических элементов, и предсказать его невозможно. Оно становится неопределенным, а триггер, следовательно, неуправляемым. Поэтому такую входную комбинацию называют запрещенной, и подавать ее допускается только при строго детерминированном последующем поочередном снятии сигналов на входах. Следует также отметить, что комбинация из двух одинаковых сигналов на выходах триггера выходит за рамки принятых комбинаций для обозначения состояний триггера, который хранит данные двоичной системы счисления.

Более компактно работу триггера можно записать в виде таблицы переходов, как показано на рис.2.1,в, или в форме временной диаграммы. На рис.2.1,г представлена идеализированная временная диаграмма для исходного единичного состояния и до следующей подачи сигнала R, затем сигнал R снимается и далее подается сигнал S с последующим снятием. Работа триггера для этого случая была описана ранее. Реальная диаграмма должна учитывать форму и время задержки распространения сигналов триггера.

При замене в функциональной схеме триггера элементов ИЛИ-НЕ на элементы И-НЕ получим триггер, двойственный по отношению к рассмотренному. В нем активными сигналами будут низкие потенциалы, т.е. логические нули. Функциональная схема, условное графическое обозначение, таблица переходов и временная диаграмма триггера с инверсными входами представлена на рис.2.2. О том, что активными сигналами являются нули, говорят значки инверсии (кружки) на входах триггера. Иногда еще и в левом дополнительном поле над обозначением входов проставляют значки инверсии.

Работа такого триггера аналогична работе триггера с единичными активными сигналами. Отличие заключается только в том, что активным сигналом является ноль, а при запрещенной комбинации сигналов (оба нуля на входах) триггер имеет на обоих выходах единичные сигналы.

RS-триггер используется для создания сигнала с положительным и отрицательным фронтами, отдельно управляемыми посредством стробов, разнесённых во времени. Также RS-триггеры часто используются для исключения так называемого явлениядребезга контактов.

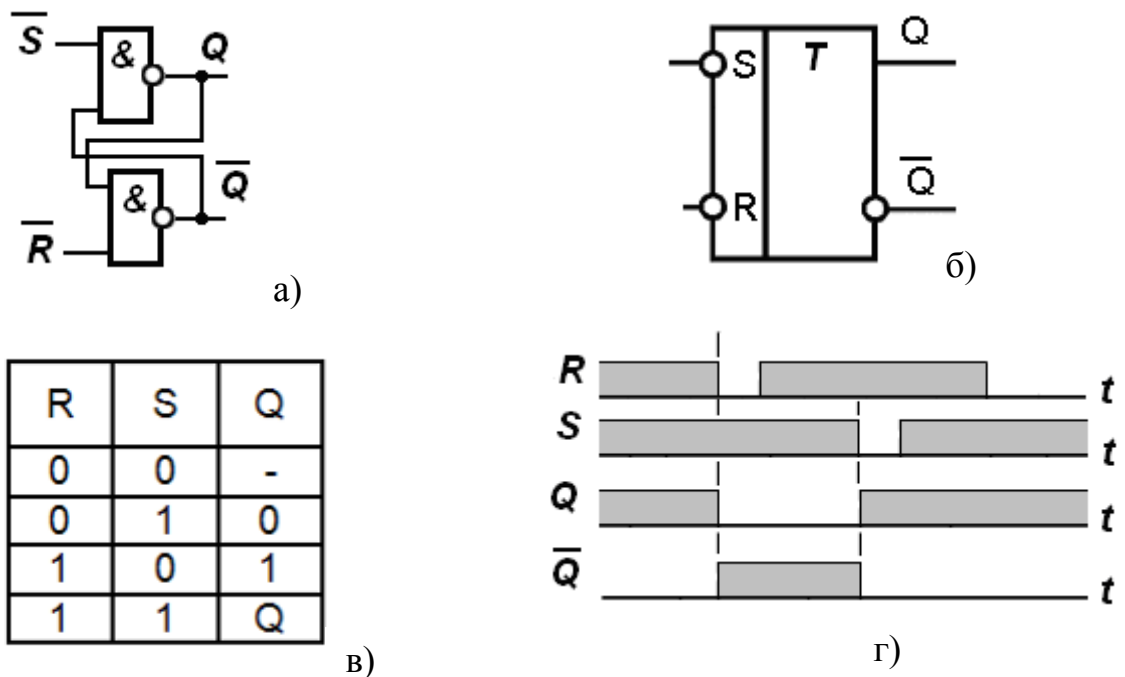


Рис.2.2. Схема (а), УГО (б), таблица переходов (в) и диаграмма работы (г) асинхронного RS-триггера с инверсными входами

Синхронный RS-триггер со статическим управлением

Практическая потребность защитить триггеры от нежелательного влияния переходных процессов привела к задаче обеспечения работы триггеров лишь при наличии сигнала разрешения (синхросигнала, строба, сигнала тактирования). Этого добились, поставив перед установочными входами управляемые сигналом разрешения ключи на основе логических элементов И. Триггеры поэтому получили название - синхронные, т.е. переключающиеся в состояние, предписываемое управляющими входами, лишь при наличии сигнала синхронизации на входе С (от англ. Clock – часы, время). Синхросигнал не определяет состояние триггера, он только определяет интервал времени или момент времени, когда будет переключение в соответствии с "информационными" сигналами. При его отсутствии независимо от активности других управляющих сигналов триггер находится в режиме хранения.

Функциональная схема и обозначение синхронного RS-триггера показаны на рис.2.3,а,б. В основу рассматриваемого триггера положен RS-триггер с инверсными активными сигналами (на основе логических элементов 3 и 4), для которого входные сигналы передаются через ключи (элементы 1 и 2).

Логика работы рассматриваемого триггера поясняется таблицей переходов на рис.2.3,в. При $C=0$ на выходах логических элементов 1 и 2 присутствуют постоянные единичные сигналы и триггер на любые значения

на входах R и S (это показано в таблице звездочками) не реагирует (ключи закрыты и на их выходах пассивные сигналы для триггера). При $C=1$ ключи 1 и 2 открыты, пропускают входные сигналы и эта часть таблицы соответствует работе RS - триггера с прямыми входами (см. рис.2.1,в).

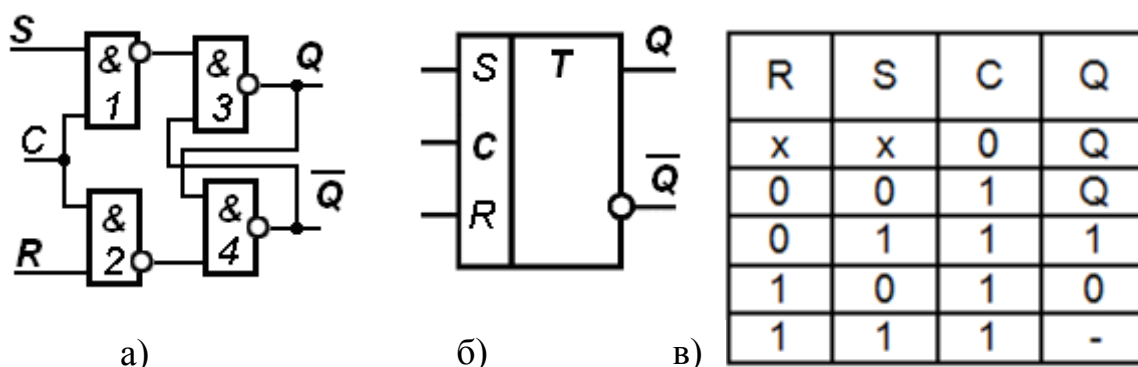


Рис.2.3. Схема (а), УГО (б) и таблица переходов (в) RS-триггера со статическим входом синхронизации

Необходимо подчеркнуть, что действие сигнала C носит в данном случае статический характер: пока на нем присутствует активный уровень сигнала логической 1, триггер реагирует на все изменения сигналов на входах R и S и изменяет в соответствии с ними свое состояние.

D-триггер с статическим управлением

Для хранения данных непосредственно RS -триггеры не используются. Они требуют предварительного сброса и последующей записи по входу S. Гораздо удобнее было бы иметь всего один вход D (от слова Date – данные или Delay - задержка) для записи данных. Этой цели служат так называемые D-триггеры.

Для его построения достаточно с помощью инвертора однофазный вход данных D (иногда еще называют информационный) преобразовать в парафазный и подать на синхронизируемые RS-входы триггера. Функциональная схема и условное графическое обозначение такого триггера показаны на рис.2.4,а,б.

При подаче неактивного сигнала $C=0$ ключи на элементах 2 и 3 закрыты, и независимо от сигналов на входе D состояние триггера на элементах 4 и 5 не изменяется: входы его пассивны. Присутствие же активного сигнала $C=1$ открывает ключи 2 и 3 и подача 1 на вход D переключает триггер в состояние единицы, а подача 0 - в нулевое состояние. Таким образом, триггер своим состоянием повторяет сигнал на входе данных D. Управление по синхровходу C носит здесь также статический характер, так как структура RS- триггера осталась прежней.

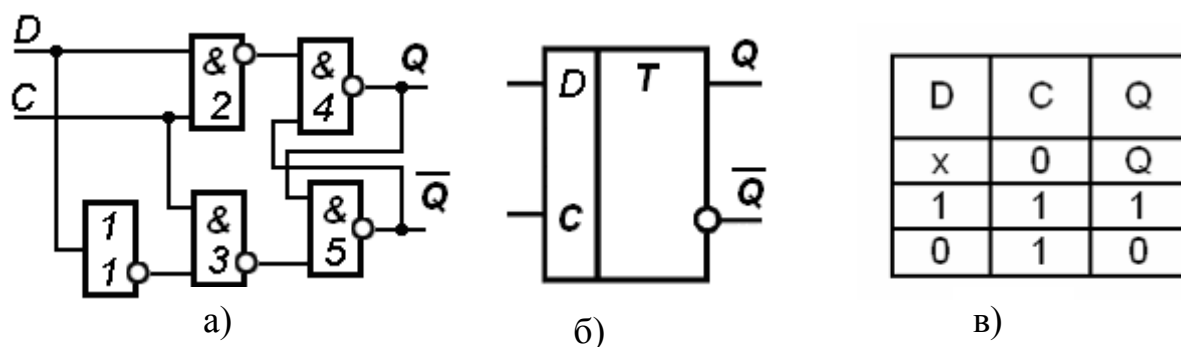


Рис.2.4. Схема (а), УГО (б) и таблица переходов (в)
D-триггера со статическим управлением

Следует подчеркнуть, что при постоянном активном сигнале на входе С свойство запоминать информацию никак проявляться не будет. Триггер в этом случае играет роль буферного усилителя мощности в тракте передачи данных. Он вносит лишь задержку на время переключения. Поэтому иногда можно встретить определение D-триггера как элемента задержки. Но это не отражает его основную сущность как элемента хранения данных.

Формализованное описание работы триггера представлено в таблице переходов на рис.2.4,в.

Примерами рассмотренных триггеров могут служить ИМС K155TM5, K155TM7. Они содержат по две пары D-триггеров с объединенными синхровходами для каждой пары.

Синхронный RS-триггер с динамическим управлением

На практике широкое применение находят триггеры, построенные по двухступенчатой схеме. Она синтезируется из двух последовательно соединенных триггеров с общей цепью синхронизации. Вариант схемы для RS -триггеров показан на рис.2.5,а.

В исходном положении на синхровход С двухступенчатого триггера подается 0 и ключи 1 и 2 левого триггера 3 закрыты, что обеспечивает ему режим хранения (на входах S3 и R3 высокий потенциал). Триггер 3 находится, например, в нулевом состоянии, т.е. $Q3 = 0$, $\overline{Q3} = 1$. Так как $C = 0$, то с помощью инвертора 4 обеспечивается высокий потенциал на шине \overline{C} и ключи 5 и 6 правого триггера 7 открыты. Поэтому сигналы с выходов $Q3$ и $\overline{Q3}$ через инвертирующие ключи 5 и 6 подаются на входы R7 и S7 правого триггера: $S7 = \overline{Q3} = 1$ и $R7 = \overline{Q3} = 0$. Правый триггер переключается в нулевое состояние: $Q7 = 0$, $\overline{Q7} = 1$. Таким образом, при $C = 0$ левый и правый триггеры находятся в одинаковом состоянии и не изменяют их при смене сигналов на входах R и S. Это есть режим хранения двухступенчатого триггера.

Описанная комбинация сигналов показана на временной диаграмме рис.2.5,в, участком $t_0 - t_1$.

При подаче сигнала высокого уровня на вход С ключи на элементах 1 и 2 открываются и разрешают работу левого триггера 3 по установочным входам S3 и R3. При $C=1$ и $R=0$, $S=1$ левый триггер в соответствии с таблицей переходов (см. рис.2.1,в) переключится в состояние единицы, т.е. выполнится $Q_3=1$, $\overline{Q}_3=0$. В это же время пока $C=1$ правый триггер 7 будет сохранять свое прежнее нулевое состояние, потому что $\overline{C}=0$ и ключи правого триггера 5 и 6 закрыты и на их выходах сохраняются высокие потенциалы, которые для правого триггера 7 пассивны и обеспечивают режим хранения. Эти изменения сигналов показаны на интервале $t_1 - t_2$ рис.2.5,в. При $C=1$ и новом изменении сигналов на входах R и S левый триггер будет сразу же изменять свое состояние в соответствии с их значениями, но правый будет сохранять свое прежнее состояние неизменным.

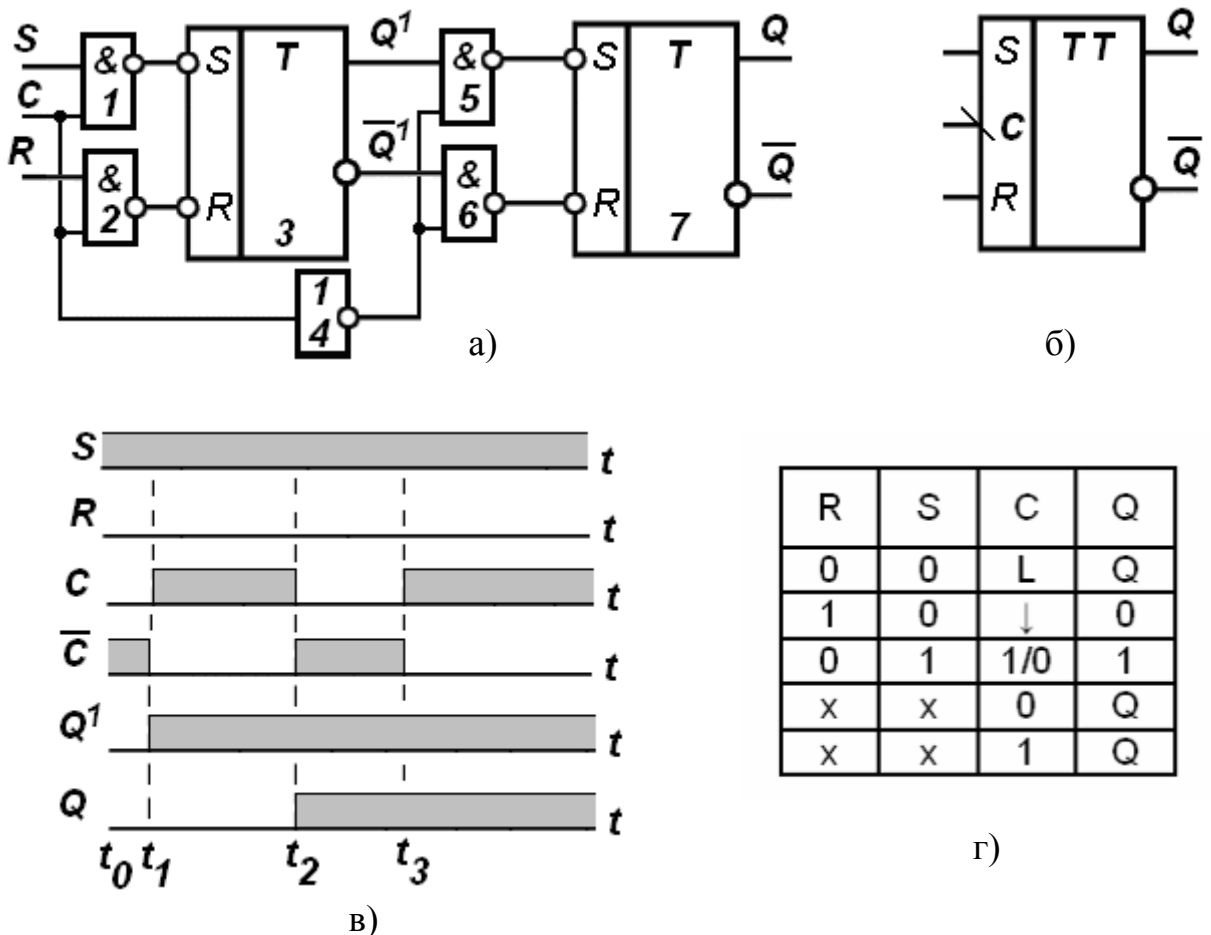


Рис.2.5. Схема (а), УГО (б), временные диаграммы работы (в) и таблица переходов (г) RS-триггера с динамическим управлением

Если произвести изменение сигнала на входе С с единицы на нуль, то левый триггер перейдет в режим хранения и перестанет реагировать на входы

R и S. Он будет хранить то состояние, которое было задано входами R и S до закрытия ключей 1 и 2, т.е. до момента изменения сигнала на входе C. Ключи 5 и 6 сигналом инвертора 4 откроются и выходы Q3 и $\overline{Q3}$ будут поданы на установочные входы правого триггера 7. Он переключится в то же состояние, которое имеет сейчас левый триггер 3. На интервале t_2 - t_3 временной диаграммы рис.2.5,в, показаны все изменения сигналов при переключении входа C с единицы на ноль. В таком состоянии двухступенчатый триггер будет находиться все время, пока на входе C будет присутствовать ноль.

Наконец, если теперь подать на вход C единицу, то ключи 5 и 6 вновь закроются, правый триггер 7 перейдет в режим хранения, а ключи 1 и 2 откроются, и левый триггер вновь будет принимать значение, определяемое всякий раз новой комбинацией сигналов на входах R и S. Такая работа триггера уже была рассмотрена ранее.

Обобщая поведение двухступенчатого триггера со входами R, S и C, а выходами Q7 и $\overline{Q7}$, можно сделать вывод, что переход его в состояние, определяемое комбинацией сигналов на установочных входах R и S происходит только в момент переключения сигнала на входе C из единицы в ноль (по спаду или срезу сигнала, по заданному фронту сигнала, по отрицательному перепаду). На временной диаграмме рис.2.5,в это соответствует моменту времени t_2 . Все остальное время триггер находится в режиме хранения. Управление, осуществляемое по перепаду сигнала, называют **динамическим**.

Условное графическое обозначение такого триггера приведено на рис.2.5,б. Две буквы "Т" в обозначении функции указывают на наличие двух ступеней в триггере, хотя часто вторую букву в документах не добавляют. Вход C, реагирующий не на уровень потенциала, а на его отрицательный перепад, выделен специальным значком. Угол наклона черточки на входе C как бы графически показывает, что сигнал должен измениться с высокого на низкий уровень. Другие допустимые обозначения динамических входов показаны на рис.2.6 [24] для переднего фронта (а) и заднего фронта (б) соответственно. Легко видеть, что для того чтобы на основе прежней структуры получить триггер, управляемый передним фронтом синхросигнала, достаточно на входе C включить дополнительно инвертор.

Таблица переходов для RS-триггера с динамическим управлением представлена на рис.2.5,г. Новым символом в таблице является символ фронта синхроимпульса. Наиболее часто используемые обозначения того, что переключающим сигналом является не уровень, а перепад уровня с единицы в ноль, приведены в разных строчках этой таблицы.

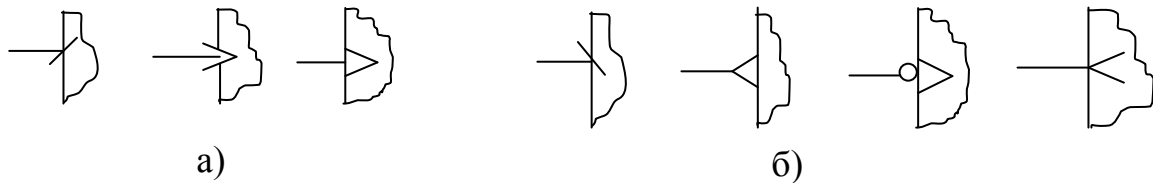


Рис.2.6. Обозначения динамических входов: прямых или с передним фронтом (а) и обратных и с задним фронтом (б)

Синхронный D-триггер с динамическим управлением

D-триггер с динамическим управлением строится по двухступенчатой схеме из D-триггеров с общей цепью синхронизации как и у RS- триггера с динамическим управлением. На рис.2.7 приведены его функциональная схема, условное графическое обозначение и таблица переходов.

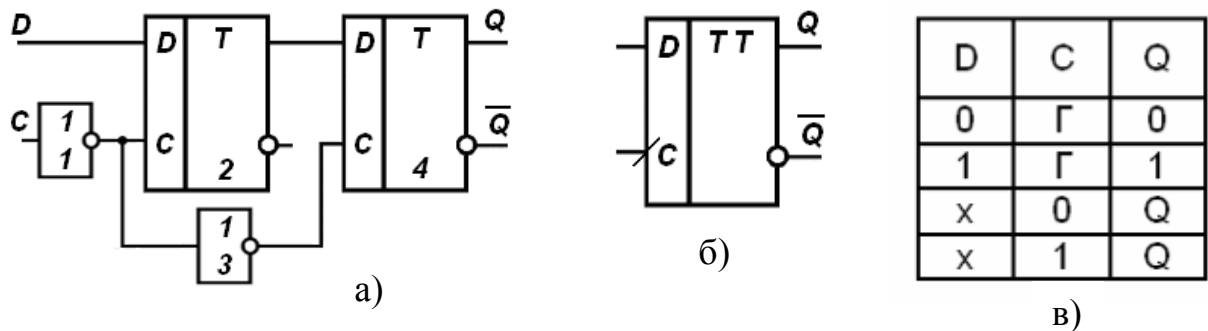


Рис.2.7. Схема (а), УГО (б) и таблица переходов (в) синхронного D-триггера с динамическим управлением

Работа триггера может быть рассмотрена аналогично предыдущему триггеру, но необходимо учесть, что на входе стоит инвертор 1 и прием информации по входу D будет происходить по переднему фронту сигнала C. Это свойство отображено на условном обозначении (см. рис.2.7,б) и в таблице переходов (см. рис.2.7,в) соответствующими значками.

Триггеры с таким поведением широко представлены в интегральных сериях. Примерами могут служить K155TM2, K155TM8, K155TM9.

Каждая микросхема имеет дополнительные возможности и особенности в цепях управления, что расширяет функциональные возможности схемы.

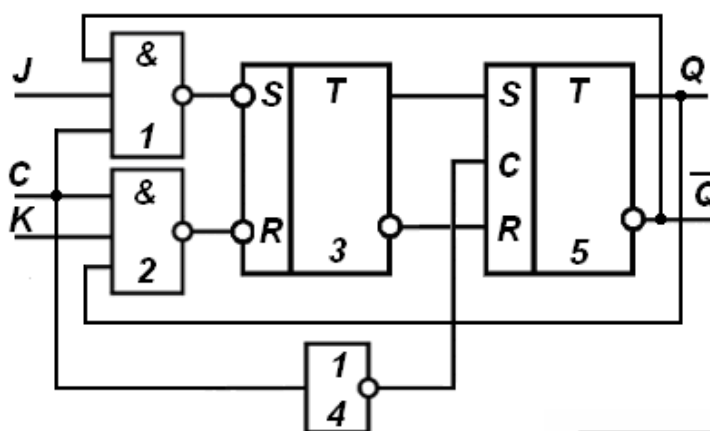
JK – триггер

Функциональная схема JK-триггера представлена на рис.2.8,а. От схемы RS-триггера она отличается инвертирующими обратными связями с выходов на входные ключи. При этом обозначение входов S и R заменяется на J (от англ. Jump — прыжок) и K (от англ. Kill — убить, разрушить) соответственно.

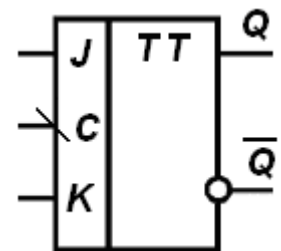
При $J=K=0$ синхросигнал C не может открыть входные ключи 1 и 2, и триггер находится в режиме хранения. Если триггер находится в нулевом состоянии ($Q=0$, $\overline{Q}=1$) и $J=1$, $K=0$, то синхросигналом C открывается только ключ 1 и триггер 3 переключится в единицу. Если же триггер был уже в единице, то в единице останется. При снятии синхросигнала информация с левого триггера 3 переписывается на правый 5 и одновременно закроется ключ 1. Таким образом, вход J выполняет, как и вход S в синхронном триггере функцию установки в единицу с управлением по заднему фронту.

Нетрудно убедиться, что K -вход аналогично R -входу переводит триггер в нулевое состояние. Следовательно, при разноименных уровнях на входах J и K JK-триггер ведет себя аналогично RS-триггеру с динамическим управлением.

При подаче $J=K=1$ (а такая комбинация для RS-триггеров с прямыми входами запрещена) при любом состоянии триггера сигналы обратной связи открывают для синхровхода именно тот входной ключ, пройдя через который, синхросигнал переведет триггер в противоположное состояние. Таким образом, по каждому заднему фронту C -сигнала JK-триггер меняет свое состояние на противоположное. Такой режим называется счетным. Имея несколько вариантов работы, JK-триггер получил название – "универсальный триггер".



а)



б)

в)

J	K	C	Q	Режим
0	0	x	Q	Хранение
0	1	L	0	Сброс
1	0	L	1	Установка
1	1	L	\overline{Q}	Счетный

Рис.2.8. Схема (а), УГО (б) и таблица переходов (в) JK -триггера

Условное графическое обозначение JK- триггера приведено на рис.2.8,б. На рис.2.8,в показана его таблица переходов. Символ \overline{Q} в счетном режиме обозначает изменение состояния триггера на противоположное по

отношению к состоянию Q , занесенному в верхнюю строку таблицы и характеризующему состояние триггера до подачи управляющей комбинации.

Необходимо подчеркнуть, что охват триггера обратной связью возможен лишь при управлении фронтом сигнала. Если обратную связь задать для RS-триггера со статистическим управлением, то при $C=1$ выход триггера через время задержки переключения изменится на противоположный и т. д. Схема превращается в генератор меандра с частотой, определяемой временными параметрами триггера.

Примером JK-триггера могут служить K155TB1, K155TB6, K155TB9, K155TB10.

Т-триггер

Т-триггером называется триггер, используемый в счетном режиме. Его состояние изменяется на противоположное с приходом активного сигнала на вход Т. Вход Т соответственно называется счетным входом (от англ. Toggle - переключатель). Такой триггер можно получить из JK-триггера, если на J и K-входы подать постоянные высокие уровни. Условное графическое обозначение, таблица переходов и временная диаграмма Т-триггера показана на рис.2.9.

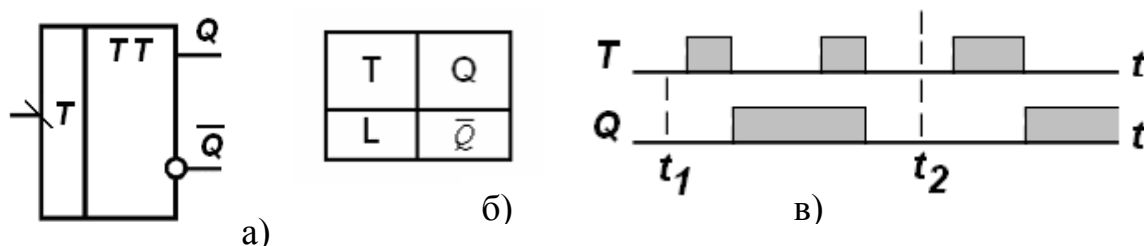


Рис.2.9. УГО (а), таблица переходов (б) и временные диаграммы (в) Т-триггера

Из диаграммы легко увидеть, что в рамках периода (от момента t_1 при $T=0$, $Q=0$ до следующего момента t_2 $T=0$, $Q=0$) на каждые два входных сигнала (задних фронта) на выходе триггера получается один сигнал (задний фронт). Это называется пересчетом входных сигналов на два или делением частоты на два. Иногда на счетный триггер удобно посмотреть как на сумматор по модулю 2 входного сигнала Т и своего собственного состояния, в котором он находится к моменту прихода активного фронта сигнала на Т-вход. Результат сложения будет представлен новым состоянием триггера.

Т-триггеры используются для построения счетчиков.

Взаимное преобразование триггеров

На практике очень часто в плане решения задачи перевода элементов в требуемый базис приходится преобразовывать схемы одних триггеров в

другие. Так, на рис.2.10 показана возможность получения Т-триггера из RS-, D- и JK- соответственно.

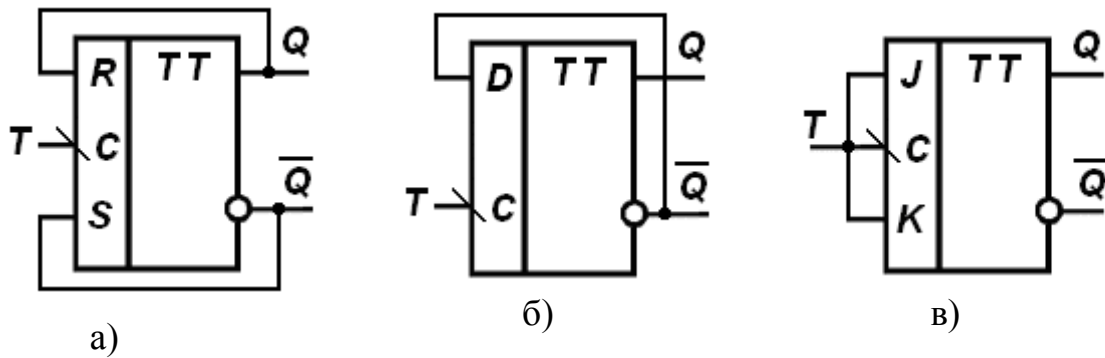


Рис.2.10. Схемы получения Т-триггера из RS-триггера (а), D-триггера (б), JK-триггера (в)

Рис.2.11 иллюстрирует возможность получения D-триггера из JK- и синхронного RS-триггера. Причем в отличие от остальных схем D-триггер на рис.2.11,б будет работоспособен и при статическом управлении.

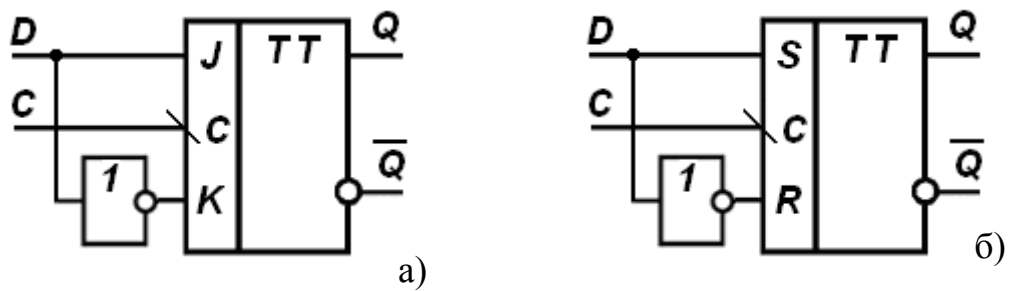


Рис.2.11. Схемы получения D-триггера из JK-триггера (а) и синхронного RS-триггера (б)

Наконец, на рис.2.12 показана возможность получения JK-триггера из RS-триггера с динамическим управлением.

Приведенные примеры не являются замкнутым множеством и, естественно, возможны и некоторые другие преобразования.

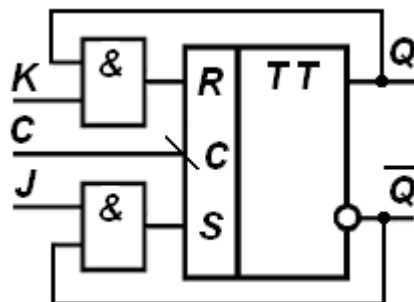


Рис.2.12. Схемы получения JK-триггера

Для расширения функциональных возможностей триггеров в них вводят дополнительные входы. Чаще им придают функции разрешения и (или) установки. У D-триггера на рис.2.13,а параллельно С-входу на входные ключи подается ещё один разрешающий сигнал Е. Дополнительные связи показаны на рисунке пунктиром. При этом, естественно, прием информации становится возможным при подаче синхросигнала С, но при наличии активного уровня на входе разрешения Е. В такой схеме со статическим управлением входы Е и С логически эквивалентны и можно говорить о разрешении при наличии конъюнкции сигналов на С и Е-входах.

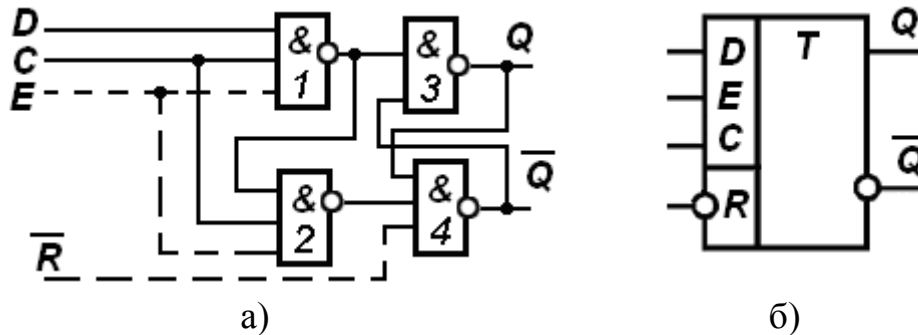


Рис.2.13. Схема (а) и УГО (б) D-триггера со входом разрешения

На этой же схеме пунктиром показан дополнительный вход сброса в ноль - \bar{R} . Но сброс осуществляется только при отсутствии режима записи единицы. В противном случае на триггер будет подана запрещенная комбинация и дальнейшее его состояние может оказаться неопределенным. Условное графическое обозначение триггера с такими входами приведено на рис.2.13,б.

Естественно, что появление каких-либо ограничений на комбинации входных сигналов усложняет проектирование систем. Поэтому обычно обеспечивается **приоритет** одних входов над другими. Иллюстрацией таких свойств может служить рис.2.14, где показан D-триггер с управлением по переднему фронту С-входа. Элементы (6) и (7) образуют левый триггер, (10) и (11)- правый. Пунктиром показаны связи от дополнительных входов сброса \bar{R} и установки \bar{S} . Если, например, подано $\bar{S}=0$, $\bar{R}=1$, то ключ 4 закрыт, а левый 6-7 и правый 10-11 триггеры переключаются в единичное состояние. Теперь, если даже на входе D будет присутствовать 0 и произойдет переключение сигнала на С-входе с нуля на единицу, левый триггер 6-7 не запишет ноль с информационного входа, так как ключ 4 записи нуля будет закрыт нулевым сигналом со входа \bar{S} . Таким образом, установочные входы \bar{R} , \bar{S} преобладают над входами D и C (имеют приоритет) и при создании на них управляющей комбинации, триггер переключится в соответствии с ней независимо от сигналов D и C. Поэтому такие входы \bar{R} и \bar{S} называют

асинхронными. По окончании асинхронного сигнала установленное им состояние сохраняется вплоть до очередного активного фронта С-сигнала.

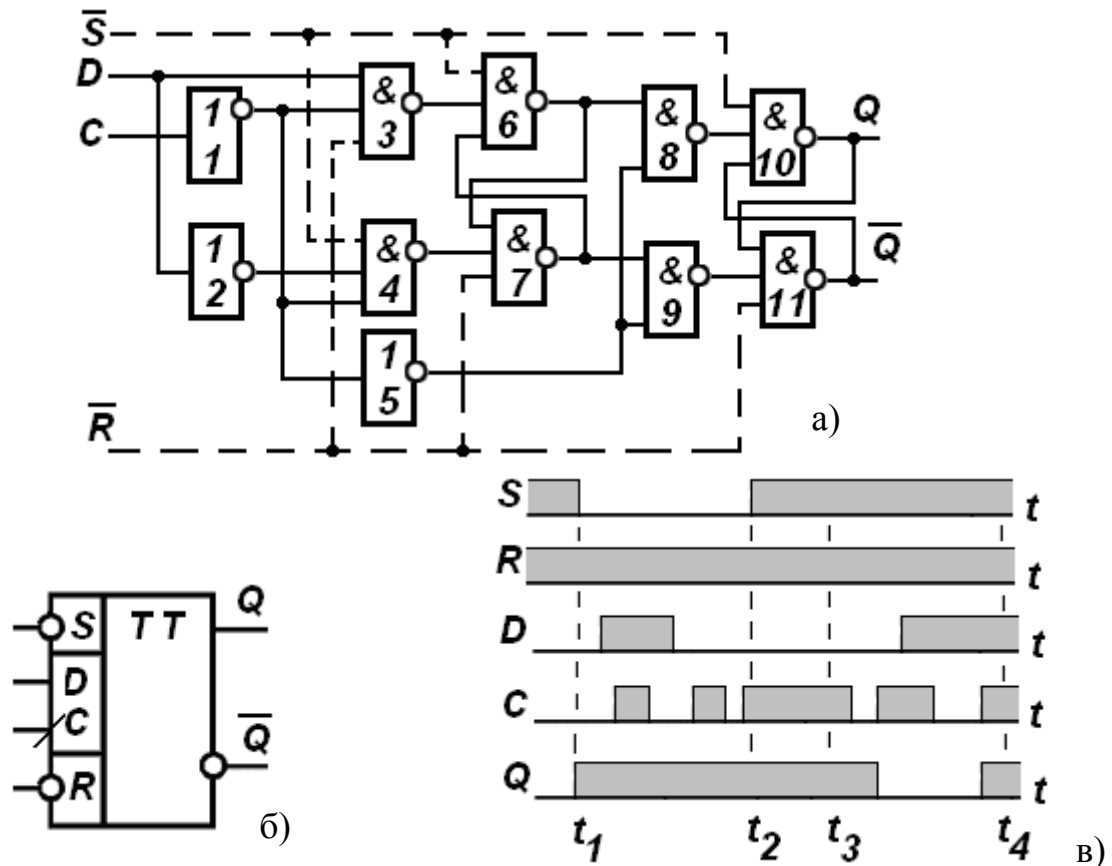


Рис.2.14. Схема (а), УГО (б) и диаграммы работы (в) триггера с приоритетными RS- входами

Такую логику работы (но не структуру) имеет триггер K155TM2. Поэтому условное графическое обозначение рассматриваемого триггера и K155TM2 совпадают. Оно представлено на рис.2.14,б. На диаграмме работы такого триггера (см. рис.2.14,в) интервал $t_1 - t_2$ характерен наличием на \bar{R} и \bar{S} -входах сигнала установки в единицу и независимо от комбинации сигналов на D- и C-входах триггер удерживается в состоянии единицы. На интервале $t_2 - t_3$ \bar{R} , \bar{S} -входы неактивны, неактивны и D-, C-входы. Триггер находится в режиме хранения. Появление активных фронтов на C-входе наблюдается на интервале $t_3 - t_4$ при сохранении пассивных сигналов на установочных входах. Поэтому здесь триггер переключается сначала в нуль, потом в единицу.

Большинство выпускаемых ИМС триггеров имеют дополнительные входы. Чаще приоритет имеют входы установки. При возникновении сомнений необходимо обязательно разрешить их, обратившись к справочникам или воспользовавшись экспериментом.

Триггеры в интегральных сериях

Интегральные серии имеют в своем составе большое количество триггеров различных типов. Например, тип триггера, представленный на рис.2.14,б можно найти в различных вариантах в сериях 133, 155, 531, 555, 1533, 1554.

На рис.2.15 представлен триггер, модель которого соответствует логике работы микросхемы 555ТВ9 и аналогичных микросхем из серий 155, 531, 1533, 1554. Входы J и K синхронизированы входом C и соответствуют поведению триггера, показанного на рис.2.8,б. Однако в реальной схеме добавлены инверсные установочные входы RS, которые имеют приоритет над другими входами. Это типовая схема универсального триггера.

Некоторой модификацией универсального триггера является схема 155ТВ1 (рис.2.16). Отличие заключается в том, что входов J и K в этом триггере несколько. В своей группе три входа работают по схеме "И" и способны обеспечить реализацию входной логики без дополнительных микросхем. Это существенно расширяет функциональные возможности микросхемы, и триггер поэтому называют универсальным многоцелевым триггером. В остальном логика его работы соответствует логике универсального триггера (рис.2.15).

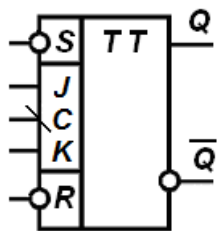


Рис.2.15. Триггер 555ТВ9

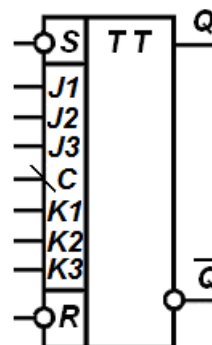


Рис.2.16. Триггер 155ТВ1

Задание 2.1. Исследование RS-триггера из логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ

Для выполнения задания необходимо последовательно синтезировать и исследовать схему RS-триггера из логических элементов "И" и "ИЛИ", выявив назначение входов этих схем, тип активного сигнала.

Следует учесть, что тип активного сигнала можно определить при установке одинаковых выходных сигналов на выходах триггера с установочными входами. Эта ситуация соответствует запрещенной входной комбинации, и сигналы на входах, естественно, являются в данный момент активными.

В отчете представить для каждого из двух триггеров:

- функциональную схему и УГО триггера с обозначением назначения входов и выходов;
- тип активного сигнала;
- таблицу переходов триггера;
- вывод о работоспособности триггера.

Задание 2.2. Исследование DC-триггера на основе RS-триггера

Для выполнения задания необходимо синтезировать и исследовать схему D-триггера на основе RS-триггера, выявить назначение входов и выходов, тип активного сигнала.

Синтез схемы управления входами RS-триггера выполнить по общим правилам синтеза комбинационных схем.

В отчете представить:

- таблицу истинности для схемы управления входами;
- функциональную схему и УГО триггера с обозначением назначения входов и выходов;
- тип активного сигнала;
- таблицу переходов триггера;
- вывод о работоспособности триггера.

Задание 2.3. Исследование DC-триггера с синхронизацией по фронту сигнала

Для выполнения задания необходимо синтезировать и исследовать схему D-триггера с синхронизацией по фронту сигнала, выявить назначение входов и выходов, тип активных сигналов.

В отчете представить:

- функциональную схему и УГО триггера с обозначением назначения входов и выходов;
- тип активного сигнала;
- таблицу переходов триггера;
- вывод о работоспособности триггера.

Задание 2.4. Исследование динамики ИМС триггера

Необходимо выбрать триггер ИМС K155TM2 (или по указанию преподавателя - 555TB9 или другой) из библиотеки моделирующей программы, набрать схему, обеспечивающую управление всеми входами

триггера и наблюдение за сигналами на его входах и выходах. Исследовать поведение триггера и сделать выводы по сформулированным ниже вопросам, оформляя последовательно отчет о выполнении задания.

Последовательность выполнения задания:

1. На новом экране набрать схему, обеспечивающую управление всеми входами триггера и наблюдение за сигналами на его входах и выходах. УГО триггера занести в отчет;
2. Задавая различные комбинации входных сигналов, выявить назначение входов триггера. Назначение входов сформулировать в отчете;
3. Составить в отчете таблицу режимов триггера. Пример такой таблицы приведен на рис.2.8,в;
4. Сделать вывод о типе триггера, назначении входов и правильности его функционирования;
5. Сделать вывод о фронте сигнала, по которому срабатывает триггер;
6. Сделать вывод о приоритете входов по отношению друг к другу.

Задание 2.5. Исследование возможности реализации Т-триггера на основе ИМС К155ТМ2

Последовательность выполнения задания:

1. Продумать возможность организации Т-входа у триггера 155ТМ2 со входом D. Полученную схему занести в отчет;
2. Задавая различные комбинации входных сигналов, выявить назначение входов триггера. Назначение входов сформулировать в отчете. УГО нового триггера занести в отчет;
3. Составить в отчете таблицу режимов триггера. Пример такой таблицы приведен на рис.2.8,в;
4. Сделать вывод о типе триггера, назначении входов и правильности его функционирования;
5. Сделать вывод о фронте сигнала, по которому срабатывает триггер;
6. Сделать вывод о приоритете входов по отношению друг к другу.

Задания для самопроверки

1. Для триггера RS, D, Т, JK нарисовать условное графическое обозначение, таблицу переходов.
2. В чем отличие динамического и статического входов триггера?
3. В каких пределах может изменяться значение напряжения на входах ТТЛ схем без искажения логики работы логического элемента?
4. Сформулируйте методику поиска неисправностей в триггерах.
5. Какой триггер удобно использовать для сохранения данных?
6. Какой триггер используют для устранениядребезга контактов?

7. Почему в интегральных сериях отсутствуют триггеры с Т-входом?
8. Перечислите способы взаимного преобразования триггеров.
9. Для каких целей используют Т-триггер?
10. Для каких целей используют приоритет входов?