

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ТРИГГЕРЫ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Триггеры: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 19 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании цифровых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012
© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ____ » _____ 2012 г.

ТРИГГЕРЫ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
« ____ » _____ 2012 г.

2012

Содержание

1 Введение.....	5
2 Лабораторная работа. Триггеры	5
2.1 Цель работы	5
2.2 Краткие сведения из теории.....	5
2.2.1 Триггер типа RS	6
2.2.2 JK-триггер	8
2.2.3 D-триггер.....	11
2.2.4 T-триггер (счетный триггер).....	12
2.3 Порядок проведения экспериментов.....	13
2.4 Контрольные вопросы	17
3 Содержание отчета.....	17
Список рекомендуемой литературы.....	18

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании цифровых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

При выполнении работы используются следующие приборы и элементы: цифровые источники, двухходовые элементы И, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ; RS –триггеры; JK-триггер; D-триггер

2 Лабораторная работа. Триггеры

2.1 Цель работы

1. Изучение структуры и алгоритмов работы асинхронных и синхронных триггеров.
2. Исследование функций переходов и возбуждения основных типов триггеров.
3. Изучение взаимозаменяемости триггеров различных типов.

2.2 Краткие сведения из теории

Триггер - простейшая цифровая схема последовательностного типа. У рассмотренных в предыдущих разделах комбинационных схем состояние выхода Y в любой момент времени определяется только текущим состоянием входа X :

$$Y = F(X) .$$

В отличие от них, состояние выхода последовательностной схемы (цифрового автомата) зависит еще и от внутреннего состояния схемы Q :

$$Y = F(X, Q) .$$

Другими словами, цифровой автомат является не только преобразователем, но и хранителем предшествующей и источником текущей информации (состояния). Это свойство обеспечивается наличием в схемах обратных связей.

Основой последовательностных схем являются триггеры. Триггер имеет два устойчивых состояния: $Q=1$ и $Q=0$, поэтому его иногда называют бистабильной схемой. В каком из этих состояний окажется триггер, зависит от сигналов на входах триггера и от его предыдущего состояния, т. е. он имеет память. Можно сказать, что триггер является элементарной ячейкой памяти.

Тип триггера определяется алгоритмом его работы. В зависимости от

алгоритма работы, триггер может иметь установочные, информационные и управляющие входы. Установочные входы устанавливают состояние триггера независимо от состояния других входов. Входы управления разрешают запись данных, подающихся на информационные входы. Наиболее распространенными являются триггеры RS, JK, D и T-типов.

2.2.1 Триггер типа RS

RS-триггер - простейший автомат с памятью, который может находиться в двух состояниях. Триггер имеет два установочных входа: установки S (set - установка) и сброса R (reset - сброс), на которые подаются входные сигналы от внешних источников. При подаче на вход установки активного логического уровня триггер устанавливается в 1 ($Q=1$, $\bar{Q}=0$), при подаче активного уровня на вход сброса триггер устанавливается в 0 ($Q=0$, $\bar{Q}=1$). Если подать на оба входа установки (возбуждения) пассивный уровень, то триггер будет сохранять предыдущее состояние выходов: $Q=0$ ($\bar{Q}=1$) либо $Q=1$ ($\bar{Q}=0$). Каждое состояние устойчиво и поддерживается за счет действия обратных связей.

Для триггеров этого типа является недопустимой одновременная подача активного уровня на оба входа установки, т. к. триггер по определению не может одновременно быть установлен в ноль и единицу. На практике подача активного уровня на установочные входы приводит к тому, что это состояние не может быть сохранено и невозможно определить, в каком состоянии будет находиться триггер при последующей подаче на установочные входы сигналов пассивного уровня.

На рис. 1 и 2 показаны два вида RS-триггеров, выполненных на элементах ИЛИ-НЕ и И-НЕ.

Внимание! Для этих схем одновременная подача активного уровня на оба входа установки в симуляторе QUCS может вызвать некорректную работу программы.

Для схемы на рис. 1 активным уровнем является уровень логической единицы, для схемы на рис. 2 - уровень логического нуля. Схема на рис. 2 получила название RS-триггера с инверсными входами – R'S'-триггер.

RS-триггер является основным узлом для строения последовательностных схем. Название схем такого типа «последовательностные» означает, что состояние выхода зависит от того, в какой последовательности на входы подаются входные наборы и каково было предшествующее внутреннее состояние. Так, если в RS-триггере (рис. 1.1) вначале установить комбинацию $R=0$, $S=1$ (сокращенная запись - 01), а потом перейти к $R=0$, $S=0$ (00), то состояние выхода $Q=1$. Если же вначале установить комбинацию 10, а потом перейти к 00, то состояние выхода будет другим - $Q=0$, несмотря на одинаковые комбинации сигналов на входах. Таким образом, при одном и том же входном наборе 00 выход триггера может находиться в разных состояниях.

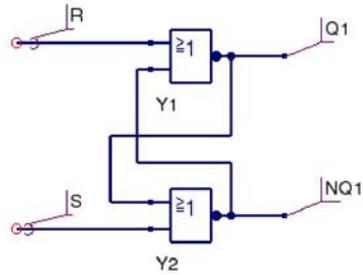


Рис. 1

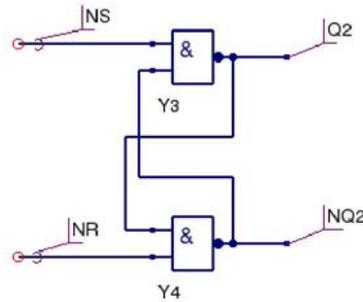


Рисунок 2

Условия переходов триггеров из одного состояния в другое (алгоритм работы) можно описать табличным, аналитическим или графическим способами. Табличное описание работы RS-триггера (рис. 1) представлено в таблице 1 (таблица переходов) и таблице 2 (таблица функций возбуждения).

Таблица 1

R	S	Q_{t+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	-

Таблица 2

Q_t	Q_{t+1}	R	s
0	0	X	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	X

В таблицах использованы следующие обозначения:

Q_t - предшествующее состояние выхода;

Q_{t+1} - новое состояние, устанавливающееся после перехода (возможно $Q_{t+1} = Q_t$);

x - безразличное значение сигнала: 0 или 1;

- - неопределенное состояние. Аналитическое описание

(характеристическое уравнение) можно получить из таблиц 1, 2 по правилам алгебры логики:

$$Q_{t+1} = \bar{R}S \vee \bar{R}Q_t = \bar{R}(S \vee Q_t)$$

Зависимость Q_{t+1} от Q_t характеризует свойство запоминания предшествующего состояния. Описание работы RS-триггера можно дополнить графом рис. 3 (графический способ).

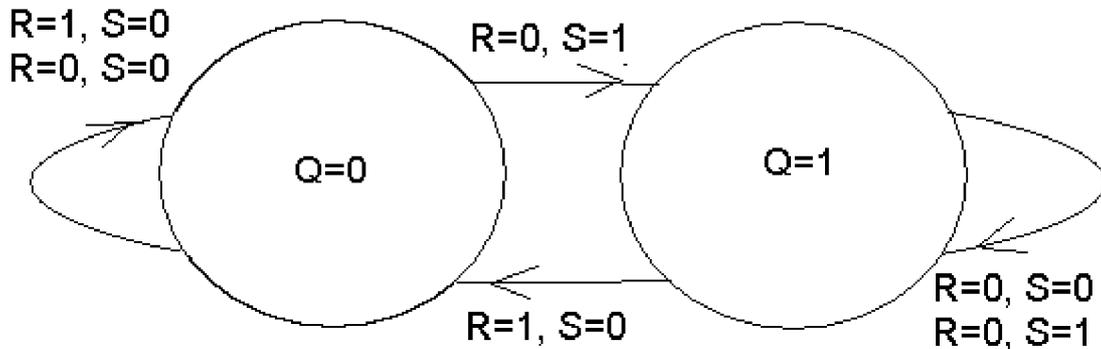


Рисунок 3.а

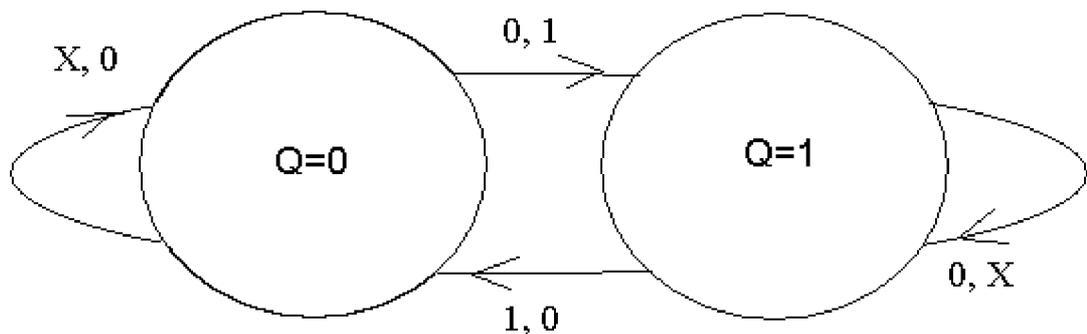


Рисунок 3б

График на рис. 3а показывает, что схема, которая находилась в состоянии $Q=0$, сохраняет это состояние как при воздействии входного набора $R=0, S=0$, так и при воздействии $R=1, S=0$. Если же на вход схемы, находящейся в состоянии $Q=0$, подействовать набором $R=0, S=1$, то она переходит в состояние $Q=1$ и сохраняет его при входных наборах $R=0, S=1$, либо $R=0, S=0$. На рис.3б тот же граф триггера нарисован более компактно. Входные сигналы, которые могут принимать любые значения (как 0, так и 1), обозначены как X, а позиция обозначения соответствует последовательности R, S.

2.2.2 JK-триггер

Триггер JK-типа имеет более сложную, по сравнению с RS-триггером, структуру и более широкие функциональные возможности. Помимо информационных входов J и K и прямого и инверсного выходов Q

и Q, JK-триггер имеет вход управления C (этот вход также называют тактирующим или счетным), а также асинхронные установочные R и S-входы. Установочные входы имеют приоритет над остальными. Активный уровень сигнала на входе S устанавливает триггер в состояние $Q=1$, а активный уровень сигнала на входе R - в состояние $Q=0$, независимо от сигналов на остальных входах.

Если на входы установки одновременно подать пассивный уровень сигнала, то состояние триггера будет изменяться по фронту импульса на счетном входе в зависимости от состояния входов J и K, как показано в таблицах переходов (табл. 3) и функций возбуждения (табл. 4).

Таблица 3

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	$\text{not}Q_t$

Таблица 4

Q_t	Q_{t+1}	K	J
0	0	x	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	X

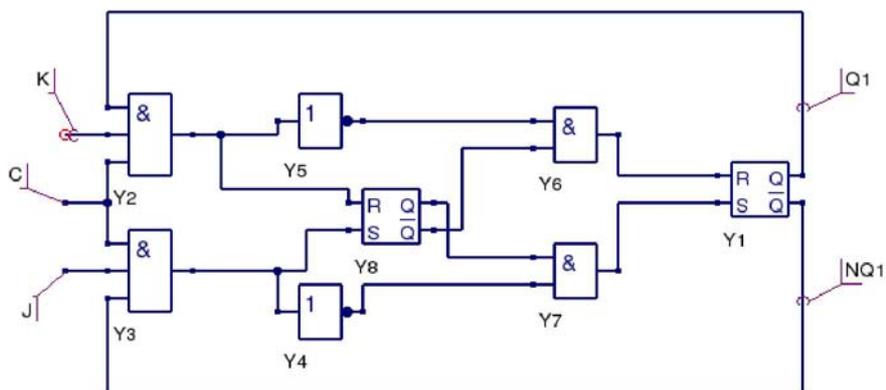


Рисунок 4.а

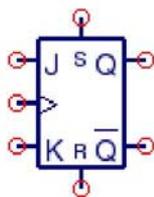


Рисунок 4б

Работа JK-триггера описывается характеристическим уравнением:

$$Q_{t+1} = J_t \bar{Q} \vee Q_t K_t Q_{t+1}$$

Один из вариантов функциональной схемы JK-триггера со входами установки логическим нулем и его условное графическое обозначение (УГО) приведены на рис. 4а,б. Временные диаграммы его работы при $R=S=1$ приведены на рис. 5.

Подобно RS-триггеру, изменение состояний JK-триггера можно изобразить графом переходов (рис. 6). Входные сигналы, которые могут принимать любые значения (как 0, так и 1), обозначены как X, а позиция обозначения соответствует последовательности J, K.

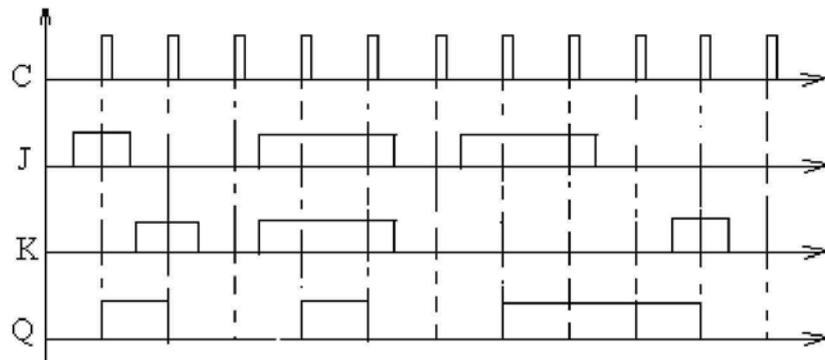


Рисунок 5

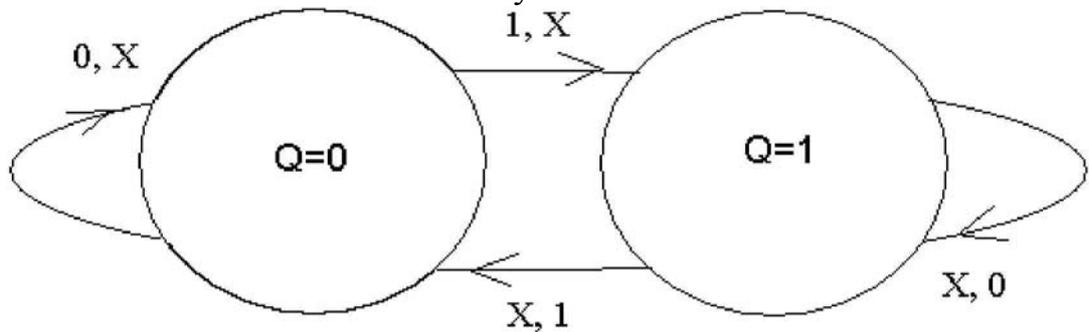


Рисунок 6

Этот рисунок не должен вводить в заблуждение: если $X=1$, то при $JK=11$ схема будет переходить из состояния $Q=0$ в состояние $Q=1$. Но из этого состояния схема должна возвратиться в $Q=0$ и т. д. Этот граф описывает работу автогенератора.

В данном случае все изменения выхода происходят только в момент отрицательного перепада тактового сигнала C . Действительно, если $J=K=1$, то с каждым новым тактовым импульсом выход будет изменять свое значение на противоположное и триггер будет выполнять функцию делителя частоты на 2, а не автогенератора.

2.2.3 D-триггер

D-триггер имеет один информационный вход D (data - данные). Информация со входа D заносится в триггер по положительному перепаду импульса на счетном входе С и сохраняется до следующего положительного перепада на счетном входе триггера. Помимо счетного С и информационного D входов, триггер может быть снабжен асинхронными установочными R и S входами. Установочные входы приоритетны. Они устанавливают триггер независимо от сигналов на входах С и D. Функционирование D-триггера описывается таблицей переходов (табл. 5), таблицей функций возбуждения (табл. 6) и диаграммами входных и выходных сигналов (рис. 7).

Таблица 5

D	Q_{t+1}
0	0
1	1

Таблица 6

Q_t	Q_{t+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

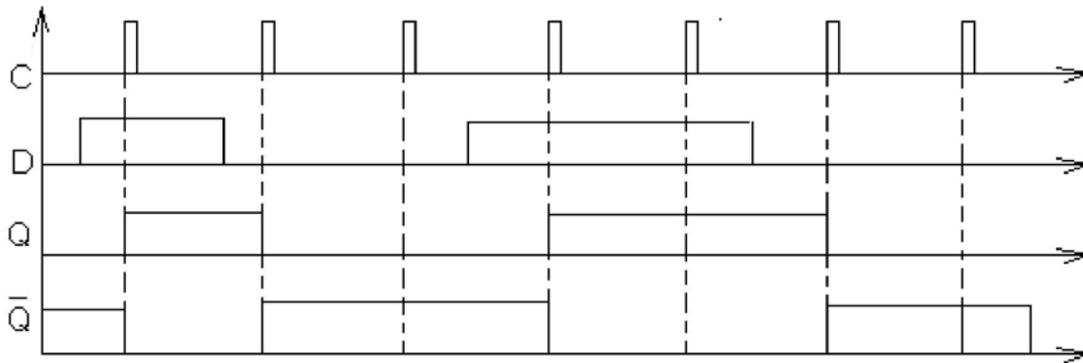


Рисунок 7

Характеристическое уравнение D-триггера:

$$Q_{t+1} = D_t$$

Уравнение показывает, что состояние триггера на (t+1)-такте равно входному сигналу в момент, предшествующий тактовому перепаду сигнала С. Условное обозначение D-триггера представлено на рис 8.

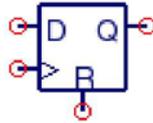


Рисунок 8

Функциональная схема D-триггера может быть получена из схемы JK-триггера путем подключения входа К ко входу J через инвертор:
 $D = J = \bar{K}$

2.2.4 Т-триггер (счетный триггер)

На основе JK-триггеров и D-триггеров можно построить схемы, осуществляющие так называемый счетный режим. Такие схемы называют Т-триггерами или счетными триггерами, связывая с этим способ их функционирования. На рис. 9 представлены схемы организации Т-триггера на основе JK и D-триггеров. Счетный режим иллюстрируется временными диаграммами рис. 10.

В JK-триггере со входами установки логическим нулем счетный режим реализуется путем подачи констант $J=K=1$ и $R=S=1$ и входного сигнала Т на вход С. В соответствии с таблицей функционирования (табл. 3 и 4) при каждом отрицательном перепаде входного сигнала Т состояние триггера изменяет свое значение на противоположное.

В D-триггере счетный режим реализуется при помощи обратной связи (на вход D подается сигнал с инверсного выхода). Таким образом, всегда существует неравенство сигнала на входе D и сигнала на выходе Q: если $Q=1$, $D=0$. Следовательно, при каждом положительном перепаде сигнала на счетном входе С, в соответствии с принципом действия D-триггера состояние выхода будет изменяться на противоположное.

Таким образом, на каждые два входных тактовых импульса Т-триггер формирует один период выходного сигнала Q. Следовательно, триггер осуществляет деление частоты f_T на его входе на 2:

$$f_Q = \frac{f_T}{2}$$

где f_Q - частота следования импульсов на выходе триггера.

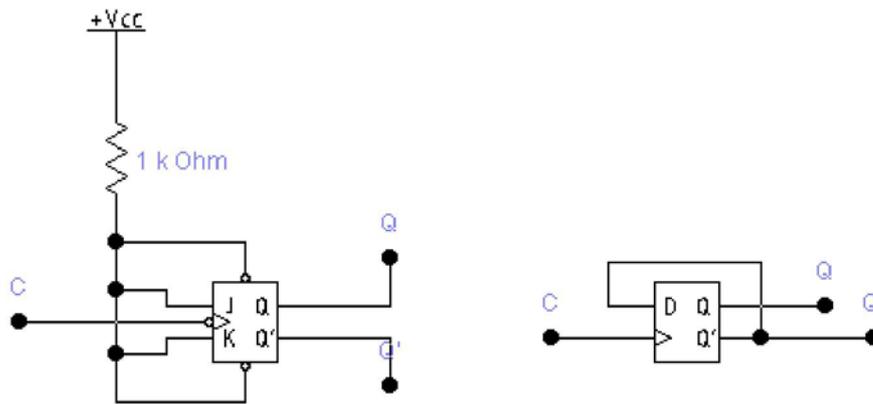


Рисунок 9

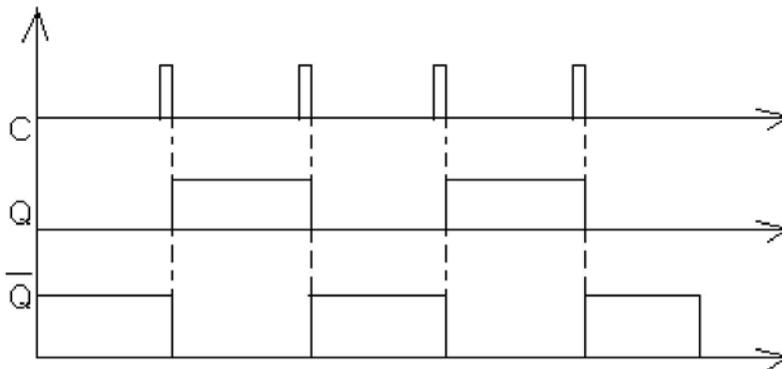


Рисунок 10

2.3 Порядок проведения экспериментов

Создайте новый проект с произвольным названием. В названии проекта *не* используйте пробелы и русские символы.

Задание 1. Исследование RS-триггера.

а). Создайте новую схему, как показано на рис. 11. Необходимые параметры указаны на рисунке.

Внимание! Подавать на входы R и S *одновременно* сигналы высокого уровня *не* следует (см. теоретическую часть).

Сохраните схему. *Не* используйте в названии русские символы и пробелы. Запустите симуляцию. Получите временную диаграмму. Приведите ее в отчете.

Убедитесь в том, что:

- выходные сигналы обоих триггеров идентичны;
 - при $S=0, R=1$ триггеры устанавливаются в состояние $Q=0$;
 - при переходе к $S=0, R=0$ триггеры сохраняет прежнее состояние выхода $Q=0$;
 - при $S=1, R=0$ триггер устанавливается в состояние $Q=1$;
 - при переходе к $S=0, R=0$ триггер сохраняет прежнее состояние выхода $Q=1$.
- б.) Для каждого перехода (изменения состояния или сохранения предыдущего) нарисуйте в разделе "Результаты экспериментов" граф перехода. По результатам эксперимента заполните таблицу функций возбуждения для схемы рис. 11, и приведите её в разделе

"Результаты экспериментов".

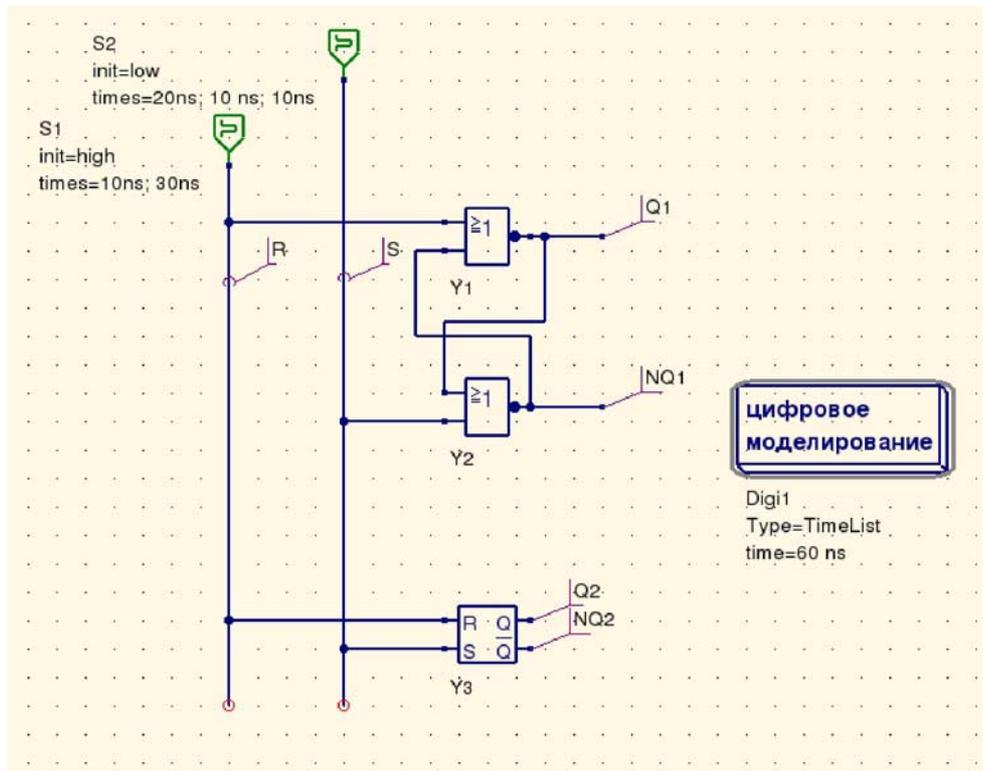


Рисунок 11

Задание 2. Исследование JK-триггера

а.) Создайте новую схему, как показано на рис. 12. Необходимые параметры указаны на рисунке.

Внимание! Подавать на входы R и S одновременно сигналы высокого уровня не следует (см. теоретическую часть).

Сохраните схему. Не используйте в названии русские символы и пробелы. Запустите симуляцию. Получите временную диаграмму. Приведите диаграмму в отчете. Если весь временной интервал не помещается в окно просмотра, используйте несколько скриншотов, с соответствующими участками диаграммы.

Убедитесь в том, что:

- при $R=0$, $S=1$ триггер устанавливается в 1 ($Q_2=1$, $NQ_2=0$) независимо от состояния остальных входов;

- при $R=1$, $S=0$ триггер устанавливается в 0 ($Q_2=0$, $NQ_2=1$) независимо от состояния остальных входов.

б.) По результатам симуляции при $S_1=R_1=0$ заполните таблицу функций возбуждения.

в.) Пользуясь временной диаграммой работы триггера составьте граф перехода и зарисуйте его в раздел "Результаты экспериментов".

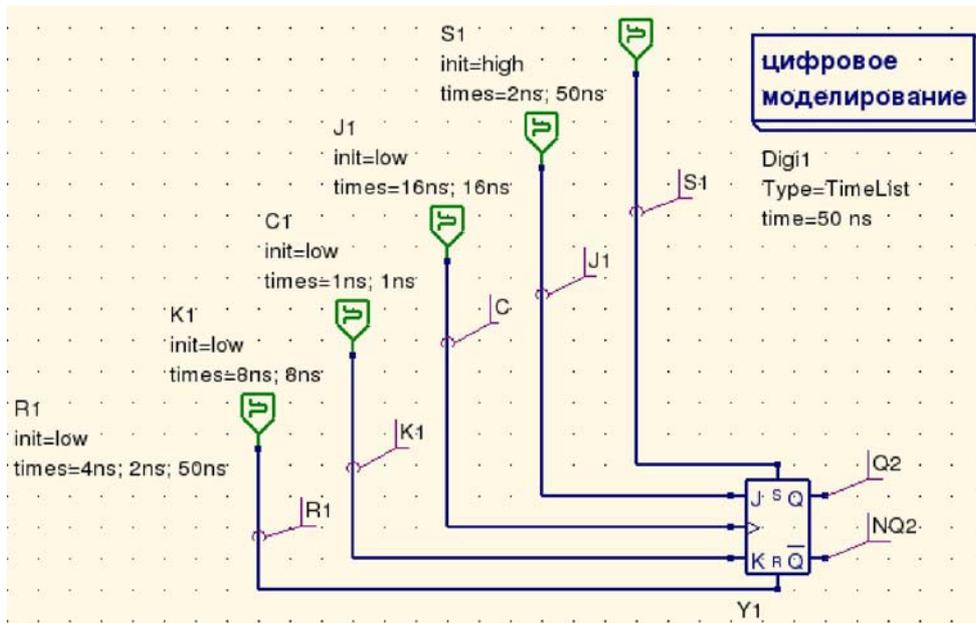


Рисунок 12

Задание 3. Исследование JK-триггера в счетном режиме (Т-триггер)

Соберите схему, изображенную на рис. 13. Включите симуляцию. Зарисуйте в разделе "Результаты экспериментов" диаграммы работы триггера в счетном режиме.

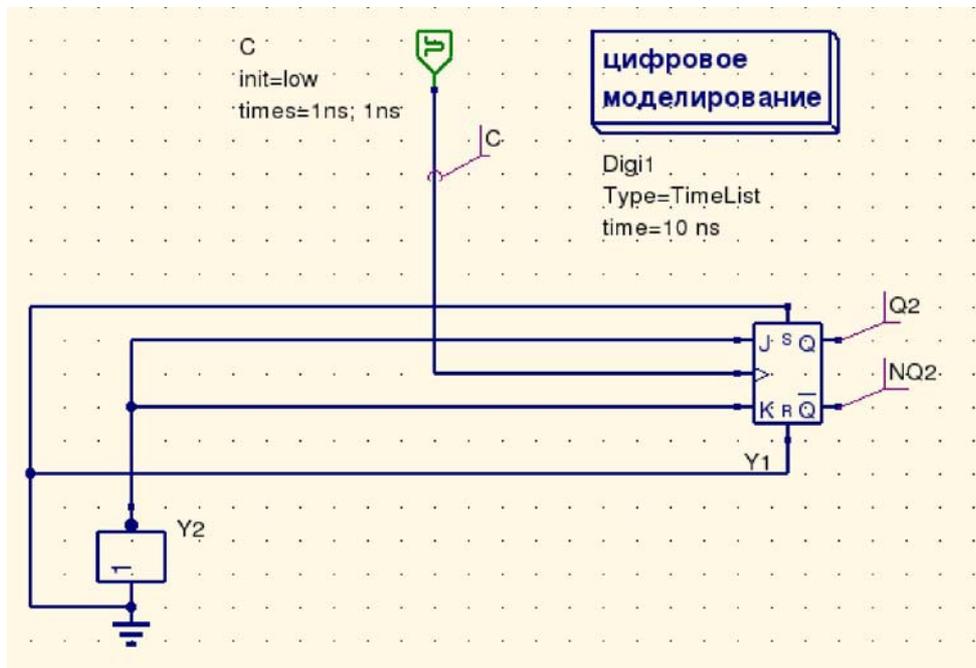


Рисунок 13

Задание 4. Исследование JK-триггера, построенного на базе логических элементов и RS- триггеров.

- Создайте схему, изображенную на рисунке 14.
- Включите симуляцию.
- Получите временные диаграммы сигналов и зарисуйте их в

разделе "Результаты экспериментов".

- Укажите режим работы триггера.
- Определите моменты изменения сигналов на выходах обоих триггеров по отношению к моментам изменения сигнала С. Отметьте различие во временах переключения RS-триггеров на диаграммах.

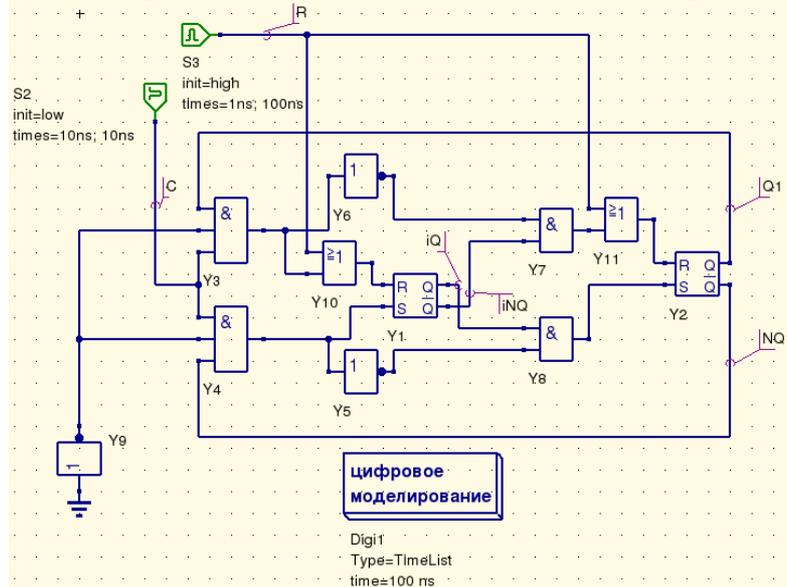


Рисунок 14

Задание 5. Исследование D-триггера.

- а). Создайте схему, изображенную на рис. 15. Включите симуляцию.
- б). Получите временную диаграмму. Зарисуйте ее в отчет. *Не используйте скриншот, если весь временной интервал не помещается в окно просмотра.*
- в). По данным временной диаграммы заполните таблицу функций возбуждения и поместите ее в отчет.

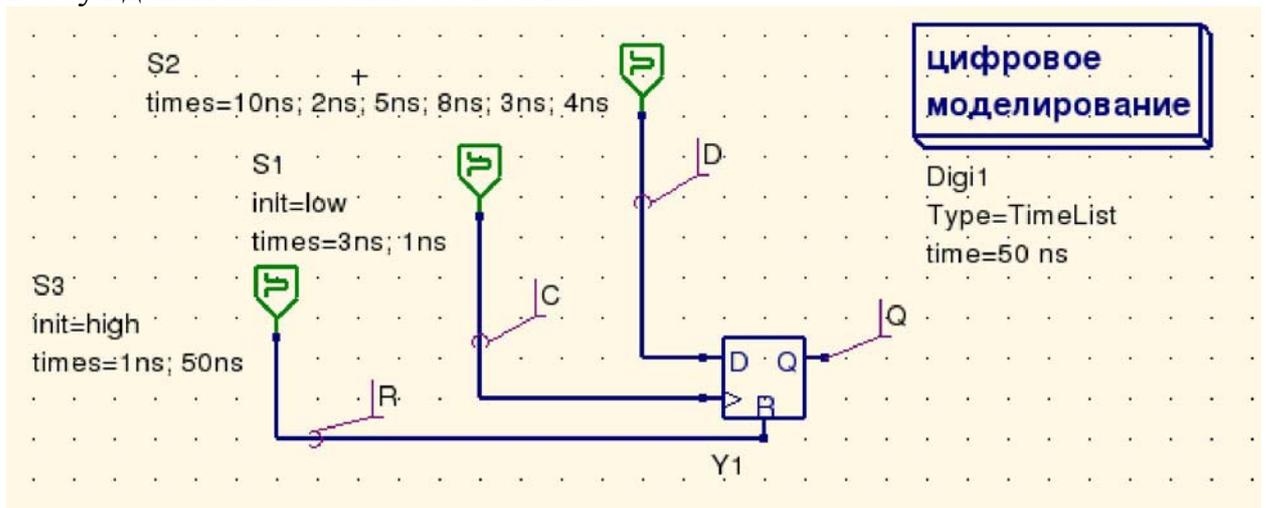


Рисунок 15

Задание 6. Исследование работы D-триггера в счетном режиме

- Соберите схему, изображенную на рис. 16. Запустите симуляцию.
- Получите временную диаграмму. Зарисуйте ее в отчет.

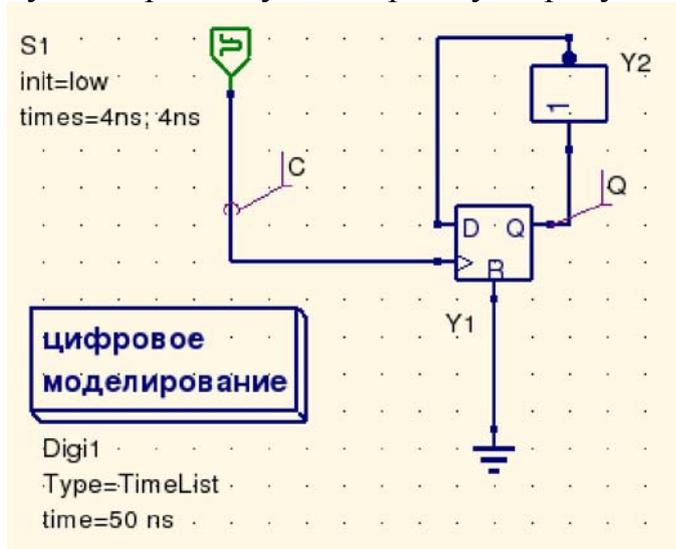


Рисунок 16

2.4 Контрольные вопросы

- Почему на R и S входы RS-триггера не следует одновременно подавать активный уровень сигнала?
- По какому фронту (переднему или заднему) импульса на счетном входе C изменяется состояние JK-триггера в схеме на рис. 12?
- Какую функцию выполняет сигнал от источника S3 на схеме рис. 14?
- Каков режим работы в схеме на рис. 14? Каков интервал времени между переключениями RS-триггеров на этой схеме?
- Как получить D-триггер из JK-триггера? Приведите схему.

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчет, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М. , Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань» , 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661
3. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0
4. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
5. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влах, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3
6. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>
7. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Триггеры

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40