

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
“Электроника” для студентов
по направлению “Приборостроение”
дневной и заочной форм обучения

Севастополь
2013

УДК 629. 114.6

Исследование триггеров. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Электроника” / Сост.: Л.Е.Карташов – Севастополь: издательство СевНТУ, 2013. – 20 с.

Руководство предназначается для оказания помощи студентам при выполнении лабораторных работ по дисциплине “Электроника” при синтезе синхронных и асинхронных триггеров и исследовании их работы. В нем определены цели лабораторной работы, изложены необходимые теоретические положения, необходимые для выполнения работы, изложен порядок выполнения экспериментов, требования к объёму и содержанию отчётной документации.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения, по направлению 6.051003 “Приборостроение”.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры АПС, протокол № 9 от 07.03.2013 г.

Методические указания рассмотрены и утверждены на научно-методическом совете СевНТУ, протокол №__ от 20__ г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензенты:

В.И.Головин, к.т.н., доцент кафедры АТПП

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 7. Исследование триггеров	3
1. Цель работы	3
2. Теоретический раздел	3
2.1. Триггер с установочными входами (<i>RS</i> -триггер)	5
2.2. Триггер задержки (<i>D</i> -триггер)	12
2.3. Триггер со счетным входом (<i>T</i> -триггер)	13
2.4. <i>JK</i> -триггер	15
3. Описание лабораторной установки	17
4. Порядок выполнения теоретических расчетов	17
5. Порядок выполнения экспериментальных исследований	17
6. Содержание отчета	18
7. Контрольные вопросы	18
Библиографический список	18

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИГГЕРОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение принципа действия и основных свойств асинхронных и синхронных *RS*-триггеров, собранных на логических элементах, *RS*-триггеров в виде интегральных микросхем, исследование временных характеристик *RS*-триггеров, изучение принципа действия и основных свойств *D*-триггера и счетного *T*-триггера, экспериментальное получение их таблиц переходов, изучение принципа действия и основных свойств *JK*-триггера, экспериментальное получение его таблиц истинности.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Триггер – простейшая цифровая схема последовательностного типа. В отличие от комбинационных схем, состояние выхода которых в любой момент времени определяется только текущим состоянием входа, состояние выхода триггера, как последовательностной схемы, зависит еще и от его внутреннего состояния.

Другими словами, триггер является не только преобразователем, но и хранителем предшествующей и источником текущей информации (состояния). Это свойство обеспечивается наличием у него обратных связей.

Триггер имеет два устойчивых состояния, 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.

Триггеры являются элементарными конечными (цифровыми) автоматами, обладающими памятью и в более сложных дискретных устройствах служащими для хранения одного разряда двоичных чисел (одного бита информации). Триггер, как конечный автомат, характеризуется следующими свойствами:

- 1) возможное число внутренних состояний – два (единица или ноль), что соответствует одной внутренней переменной (z), обозначаемой обычно буквой Q ;

- 2) число выходных переменных Y – одно; значение переменной Y совпадает со значением Q , т.е. $Y^{t+1} = Q^{t+1}$, поэтому триггер является автоматом Мура;
- 3) число входных переменных (x) зависит от типа триггера.

Наряду с выходом Q , называемым прямым, триггер имеет другой (инверсный) выход $\bar{Q}$. Состояние триггера определяется значением прямого выхода Q . Говорят, что триггер находится в единичном состоянии, если $Q = 1$, и в нулевом, если $Q = 0$. Изменение состояния триггеров под действием входных сигналов происходит скачкообразно.

Разработано большое количество типов триггеров, которые по функциональному признаку можно разделить на четыре основных типа:

- 1) триггеры с двумя установочными входами – *RS*-триггеры (*Reset* – сбрасывать, *Set* – устанавливать);
- 2) триггеры задержки с одним входом – *D*-триггеры (*Delay* – задержка);
- 3) триггеры с одним счетным входом – *T*-триггеры;
- 4) универсальные триггеры, имеющие несколько входов.

Для всех триггеров характерны такие схемотехнические параметры как:

n -коэффициент разветвления, определяющий нагрузочную способность и означающий количество параллельно соединенных следующих за триггером элементов, на которые можно подать выходной сигнал триггера;

m -коэффициент объединения по входу, означающий максимальное число входных сигналов, которые можно подать к триггеру;

t_u – наименьшая длительность входного сигнала (импульса), при котором еще происходит надежное переключение триггера;

t_{30} – время задержки между моментами подачи входного и появления выходного сигналов;

t_p – разрешающее время – наименьший интервал между моментами подачи двух входных сигналов с длительностью t_u , вызывающих переключение триггера (определяет быстродействие конечного автомата, построенного на триггерах).

Как и любые конечные автоматы, триггеры могут быть асинхронными и синхронными (тактируемыми).

В асинхронных триггерах изменение состояния происходит непосредственно с приходом входного сигнала, а в синхронных – лишь при подаче синхронизирующего (тактового) сигнала в соответствии со значениями сигналов на входах.

Согласно отечественного стандарта триггеры обозначают в виде прямоугольника с буквой T внутри, с правой стороны которого показывают прямой Q и (с кружком) инверсный $\bar{Q}$ выходы. Обозначения входов пишут на дополнительном поле в левой части прямоугольника. При этом различают триггеры со статическими и динамическими входами.

Входы, управляемые потенциалами (уровнями напряжения), называют статическими (включая и сигнал синхронизации), а управляемые перепадами потенциалов (фронтами импульсов напряжения) – динамическими.

Динамические входы обозначают треугольником, который направляют вершиной внутрь триггера, если он срабатывает при перепаде потенциала от 0 к 1, и в обратную сторону, если триггер реагирует на перепад от 1 к 0.

Согласно государственным стандартам допускается две формы условных обозначений. На рис. 1, а – в приведены примеры условных обозначений по форме № 2.

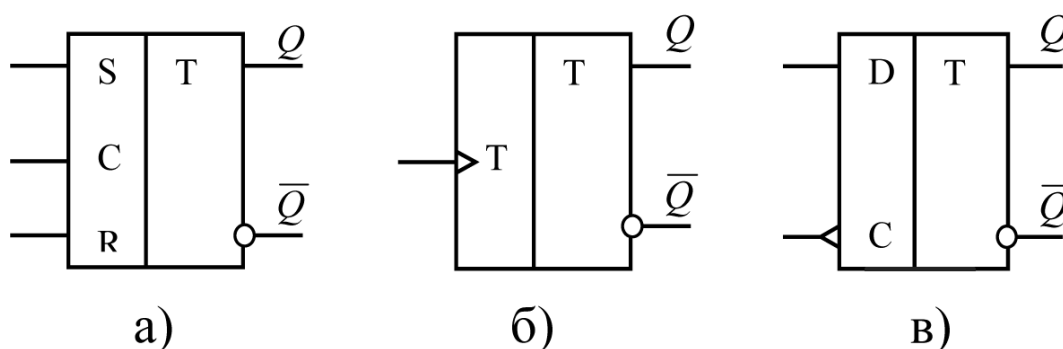


Рисунок 1 – Условные обозначения триггера:

- а. RS-триггер со статическими входами, синхронизируемый потенциалом 1 входа C ;
- б. асинхронный T -триггер с динамическим входом, срабатывающий от перепада потенциалов от 0 к 1;
- в. триггер задержки со статическим входом D , синхронизируемый фронтом сигнала C при изменении от 1 к 0

На рис. 2, а – в – приведены примеры условных обозначений по форме № 1, которая является предпочтительной в конструкторской документации, как более удобная для вычерчивания схем (особенно с использованием графопостроителей, управляемых от ЭВМ, при автоматизированном проектировании).

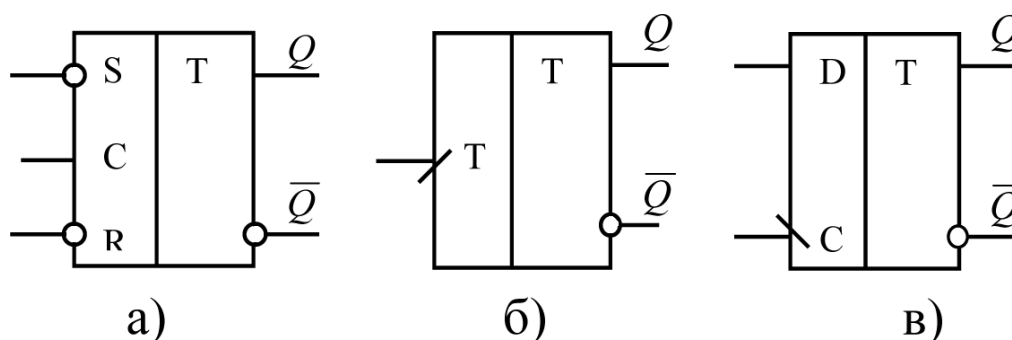


Рисунок 2 – Условные обозначения триггера:

- а. RS-триггер с инверсными входами со статическими входами, синхронизируемый потенциалом 1 входа C ;
- б. асинхронный T -триггер с динамическим входом, срабатывающий от перепада потенциалов от 0 к 1;
- в. триггер задержки со статическим входом D , синхронизируемый фронтом сигнала C при изменении от 1 к 0

2.1. Триггер с установочными входами (RS-триггер)

Наиболее простым устройством является асинхронный RS-триггер. Работа этого типа триггеров, как автомата с памятью, характеризуется таблицей состояний (табл. 1), включающей таблицу переходов и таблицу выходов. Однако учитывая, что для триггеров выходная переменная Y^{t+1} значения внутреннего состояния триггера равна Q^{t+1} (как это видно из двух последних столбцов табл.1), обычно графу Y^{t+1} опускают и ограничиваются рассмотрением таблицы переходов.

Из таблицы переходов видно, что подача на вход сигнала $S^t = 1$ переводит триггер в состояние $Q^{t+1} = 1$, в каком состоянии (0 или 1) он не находился в такте t (см. наборы 1 и 5 табл. 1), а подача сигнала $R^t = 1$ переводит триггер в состояние $Q^{t+1} = 0$ вне зависимости от состояния Q^t в предыдущем такте (см. наборы 2 и 6).

Таблица 1 – Таблица переходов асинхронного RS-триггера

Номера наборов такта t	Такт, t			Q^{t+1}	Y^{t+1}
	R^t	S^t	Q^t		
0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1
2	1	0	0	0	0
3	1	1	0	—	—
4	0	0	1	1	1
5	0	1	1	1	1
6	1	0	1	0	0
7	1	1	1	—	—

Естественно, что одновременная подача сигналов на взведение и сброс триггера неприемлема, поэтому комбинация входных сигналов $S^t = R^t = 1$ является запрещенной (наборы 3 и 7), и в столбце Q^{t+1} против этих наборов стоят прочерки. Таким образом, булева функция переходов RS-триггера является не полностью определенной.

Доопределив таблицу состояний единицами на запрещенных наборах и применив правила минимизации, получим минимальную дизъюнктивную нормальную форму функции переходов для RS-триггера

$$Q^{t+1} = S^t \vee \bar{R}^t Q^t. \quad (1)$$

В дальнейшем для упрощения записи индекс t опускают, сохраняя лишь там, где важно отметить различие тактов t и $t+1$.

Из функции переходов видно, что RS-триггер сохраняет состояние (1 или 0) независимо от многократного изменения и повторения входного сигнала, соответствующего исходному состоянию. Например, при $Q^t = 0$ подача сигналов $R = 1$ и $R = 0$ (при условии $S = 0$) не изменит нулевого состояния триггера, т.е. Q^{t+1} останется равным нулю (что следует также из сравнения наборов 0 и 2 таблицы переходов). Аналогично триггер сохраняет единичное состояние (при условии $R = 0$) каким бы ни был сигнал S (нулем или единицей) при многократном повторении (что следует также из сравнения наборов 4 и 5). Это свойство называется блокировкой RS-триггера и используется при синтезе на этих триггерах более сложных устройств.

Функция переходов (1) позволяет определить состояние триггера в такт $(t+1)$ по его состоянию в такт t и сигналам, поступающим в такт t на его входы. Однако при синтезе устройств на триггерах возникает обратная задача: определить, при какой комбинации входных сигналов триггер перейдет из одного (заданного) состояния Q^t в другое (требуемое) Q^{t+1} . Эту задачу удобнее решать с помощью таблицы, называемой матрицей переходов, которую строят из следующих соображений.

Рассмотрим функцию переходов для всех возможных переходов триггера

$$Q^t \rightarrow Q^{t+1}: 0 \rightarrow 0; 1 \rightarrow 1.$$

Подставив эти пары значений в (1), получим равенства:

$$0 = S \vee \bar{R} \cdot 0; 0 = S \vee \bar{R} \cdot 1; 1 = S \vee \bar{R} \cdot 1$$

Из первого равенства следует, что переход $0 \rightarrow 0$ возможен при $S = 0$ и любом R , так как, будучи умноженным на нуль, второе слагаемое всегда обратится в нуль.

Второе равенство выполняется при $S = 1$ и также любым R . Учитывая, однако, что комбинация $R = S = 1$ запрещенная, оставим сочетание $S = 1$ и $R = 0$.

Третье равенство выполняется только при $S = 0$ и $R = 1$.

Четвертое равенство выполняется как при сочетании сигналов и любым R , так и при $R = 0$ и любым S . Рассмотрим первое сочетание. Так как набор $S = R = 1$ запрещенный, достаточно рассмотреть лишь сочетание $S = 1$ и $R = 0$, но если $R = 0$, а триггер находится в единичном состоянии, то из свойств блокировки следует: будет ли повторен сигнал $S = 1$ или он отсутствует ($S = 0$) – все равно единичное состояние триггера не изменится.

Таким образом, рассмотрение первого из двух возможных сочетаний выполнения четвертого равенства привело ко второму, т.е. для сохранения единичного состояния триггера достаточно условие $R = 0$ при любом значении S .

Результаты анализа позволяют составить матрицу переходов RS -триггера (табл. 2), показывающую сочетания входных сигналов, которые обеспечивают требуемое состояние триггера при переходе из такта t в такт $(t+1)$.

Таблица 2 – Матрица переходов RS -триггера

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	R^t	S^t
$0 \rightarrow 0$	x	0
$0 \rightarrow 1$	0	1
$1 \rightarrow 1$	1	1
$1 \rightarrow 0$	0	*

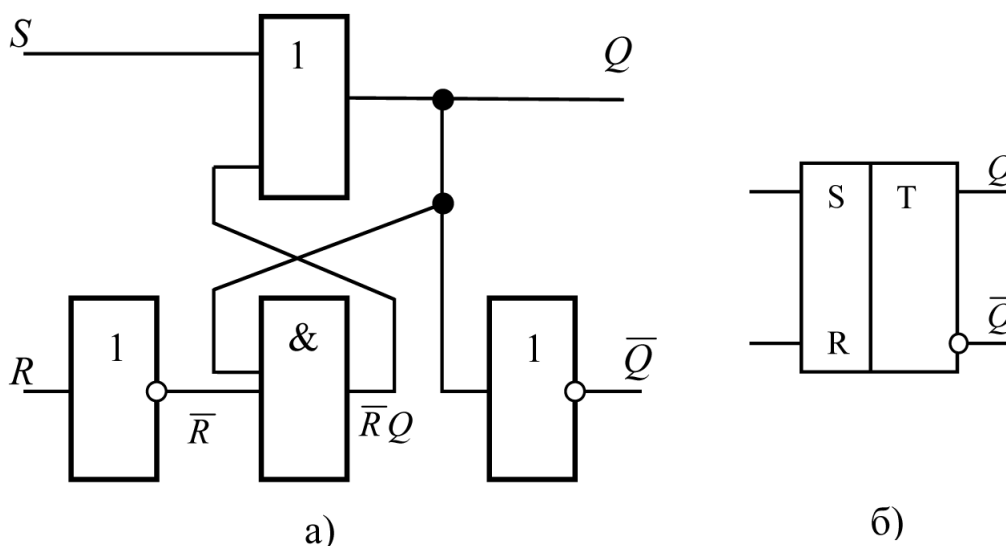


Рисунок 3 – RS -триггер с прямыми входами на элементах основного базиса (а) и его условное изображение (б)

Функция переходов (1) позволяет осуществить структурный синтез RS -триггера. На рис. 3 приведена реализация функции переходов на элементах основного базиса.

Можно убедиться, что эта схема, построенная лишь на комбинационных элементах (т.е. элементах, не обладающих памятью), выполняет функции элементарного конечного автомата – триггера (т.е. элемента с памятью). Пусть на вход S поступил единичный сигнал. Пройдя через дизъюнктор, этот сигнал вызовет сигнал $Q = 1$, который поступает на один из входов конъюнктора. Так как на входе левого инвертора сигнал $R = 0$, на его выходе постоянно действует сигнал $\bar{R} = 1$. Этот сигнал вместе с поступившим сигналом $Q = 1$ создает единичный сигнал на выходе конъюнктора $\bar{R} \cdot Q = 1$, который, поступая на нижний вход дизъюнктора, обеспечивает выдачу сигнала $Q = 1$ даже после прекращения сигнала $S = 1$. Триггер запомнит единичное состояние и будет его сохранять до тех пор, пока на вход R не будет подан сигнал $R = 1$. При этом появится сигнал $\bar{R} = 0$, который заставит конъюнктор выдать сигнал $R \cdot Q = 0$, несмотря на то, что на его верхний вход продолжает поступать сигнал $Q = 1$. Так как $S = 0$, то сигнал $R \cdot Q = 0$ приведет к появлению на дизъюнкторе сигнала $Q = 0$, соответствующего нулевому состоянию триггера. Это состояние сохраняется и после прекращения сигнала $R = 1$, т.е. до тех пор, пока новый сигнал $S = 1$ не переведет триггер в новое единичное состояние. Для получения инверсного выхода триггера служит правый инвертор, на вход которого поступает сигнал Q .

Покажем, как синтезировать RS -триггер на элементе многофункционального базиса “И–НЕ” (штрих Шеффера). Для этого преобразуем функцию переходов (1), взяв от нее двойное отрицание и применив теорему де Моргана:

$$Q^t = \overline{\overline{Q^{t+1}}} = \overline{\overline{S \vee \bar{R}Q}} = \overline{\bar{S} \bar{\bar{R}Q}} = \bar{S} | (\bar{R} | Q). \quad (2)$$

По полученной в базисе функции Шеффера структурной формуле (2) можно синтезировать схему RS -триггера на элементах Шеффера (рис. 4, а), особенностью которой являются инверсные входы $\bar{S}$ и $\bar{R}$.

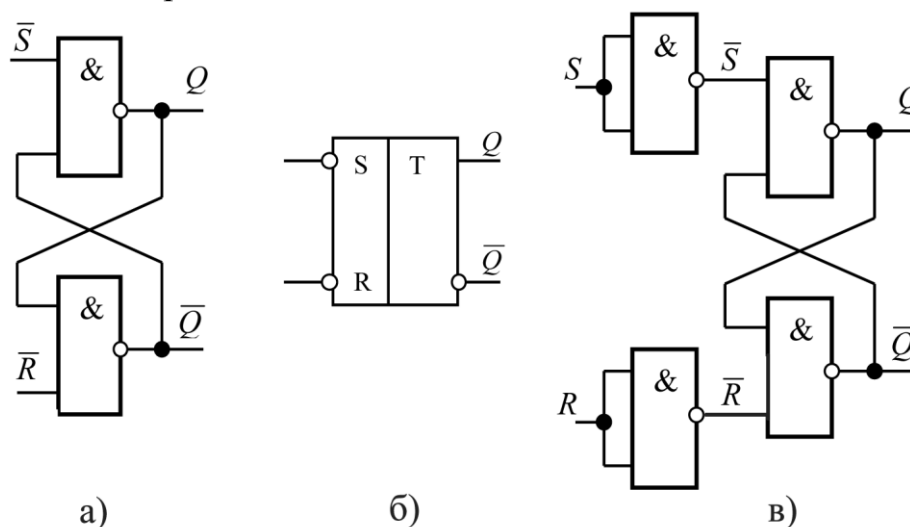


Рисунок 4 – RS -триггер на элементах “И–НЕ” с инверсными входами (а), его условное обозначение (б) и модификация с прямыми входами (в)

Это означает, что для первого триггера, например, в единичное состояние нужно на вход S подать не единичный, а нулевой сигнал. Условное изображение RS -триггера с инверсными входами показано на рис. 4, б.

Если на элементах “И–НЕ” хотят синтезировать RS -триггер с прямыми входами, то достаточно входной сигнал подавать предварительно на дополнительный элемент “И–НЕ” с запараллеленными входами, как показано на рис. 4, в.

Подобным же образом функцию переходов (1) можно преобразовать в базисе функции Пирса

$$\overline{Q^{t+1}} = \overline{S \vee \overline{RQ}} = \overline{S \vee \overline{\overline{RQ}}} = \overline{S \vee \overline{R \vee \overline{Q}}} = S \downarrow (R \downarrow \overline{Q}). \quad (3)$$

Реализуя структурную формулу (3), получим схему RS -триггера с прямыми входами на элементах “ИЛИ–НЕ” (рис. 5, а), в которой входы R и S поменялись местами, но играют ту же роль, что и в схеме RS -триггера с условным обозначением, приведенным на рис. 3, б.

Оценим быстродействие RS -триггера на примере рис. 5. Пусть начальное состояние триггера $Q = 0$ (а значит, $\overline{Q} = 1$). В момент $t = 0$ подается сигнал $S = 1$. Если средняя длительность задержки переключения элемента “ИЛИ–НЕ” из одного состояния в другое t_{cp} , то через это время в момент t_1 нижний элемент перейдет из 1 в 0 и $\overline{Q}$ станет равным нулю. Сигнал $\overline{Q} = 0$ поступит на вход верхнего элемента и через время t_{cp} в момент t_2 , изменит его состояние и выдаст сигнал $Q = 1$. Таким образом, время задержки триггера при его установке в единичное состояние $t_{3\partial} = 2 t_{cp}$. Причем, для надежного функционирования триггера длительность импульса на его входе t_u должна быть не меньше суммарной задержки переключения обоих элементов “ИЛИ–НЕ”, составляющих триггер, до полного прекращения переходных процессов в них, т.е. $t_u \geq 2 t_{cp}$.

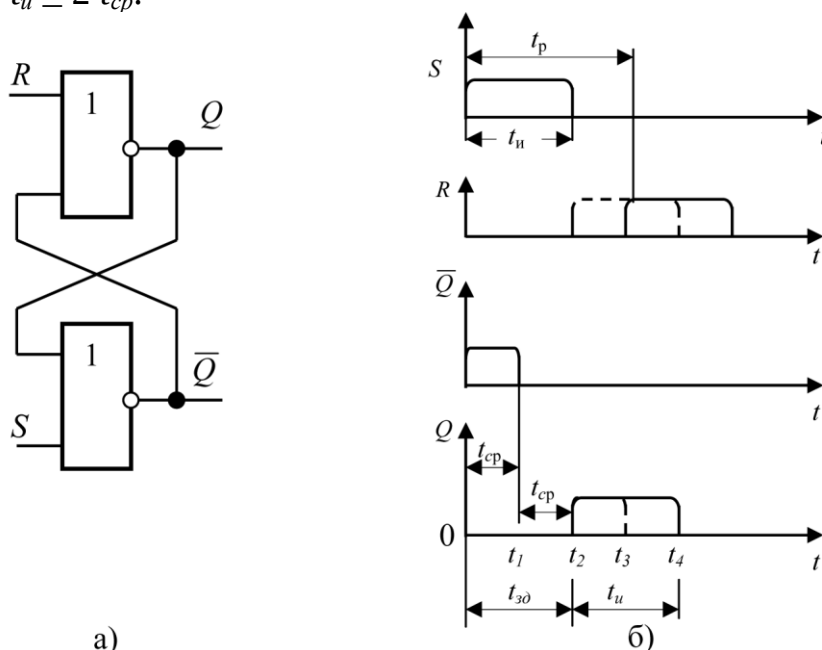


Рисунок 5 – Асинхронный RS -триггер на элементах “ИЛИ–НЕ” и временная диаграмма его работы

При необходимости сброса триггера в нулевое состояние сигнал $R = 1$, казалось бы, можно подать в момент t_2 окончания сигнала $S = 1$, как показано пунктиром на рис. 5, б. Однако в этом случае верхний элемент “ИЛИ–НЕ” через время t_{cp} переключится и создаст в момент t_3 на выходе сигнал $Q = 0$. Следовательно, длительность выходного сигнала триггера $Q = 1$ будет ограничена отрезком времени t_2 – t_3 (т.е. равна t_{cp}) и может оказаться недостаточной для надежной передачи информации

в следующий триггер, являющийся нагрузкой для рассматриваемого. Поэтому разрешающее время должно быть увеличено до значения $t_p = 3 t_{cp}$, при котором, как показано сплошными линиями на рис. 5, б, длительность выходного сигнала $Q = 1$ триггера обеспечивается равной t_u . Приведенная оценка быстродействия относится ко всем схемам триггеров, составленных из комбинационных элементов.

Синхронный RS-триггер используется гораздо чаще. Как указывалось ранее, из-за задержки переключения логических элементов в схемах, составленных из таких элементов, возможны режимы “состязаний” (“гонок”), в результате которых выходной сигнал на некоторое (обычно короткое) время принимает ложное значения. Примером подобного явления может служить процесс переключения триггера, приведенный на рис. 5, б.

В самом деле, в течение времени $t_1 - t_2$ сигналы как на прямом, так и инверсном выходах триггера одновременно равны нулю. Предположим, что выходы рассматриваемого триггера подключены ко входам R и S следующего за ним триггера с инверсными входами. Очевидно, что в этом случае в течение времени $t_1 - t_2$ на такой триггер поступает запрещенный набор входных сигналов, который (если он затянется во времени) может нарушить функционирование устройства.

Устранить ошибки, которые могут возникнуть за счет “состязаний” в логических цепях, позволяет способ временного стробирования. Вырабатываемый устройством сигнал в этом случае передается на последующие устройства не непрерывно, а только в такой отрезок времени, когда искажение правильных значений выходного сигнала за счет “состязаний” заведомо исключено. В рассмотренном примере таким интервалом будет отрезок времени $t_2 - t_4$.

Временное стробирование обеспечивается синхронизирующими (тактовыми) импульсами, поэтому синхронный RS-триггер кроме информационных входов R и S имеет вход C , на который подается синхронизирующий сигнал.

Таблица переходов такого триггера (табл. 2.3) дополнена графой C , из которой видно, что он функционирует как RS-триггер только при условии $C = 1$. В противном случае, т.е. при отсутствии синхронизирующих импульсов, состояние его сохраняется неизменным $Q^{t+1} = Q^t$, какие бы сигналы ни подавались на информационные входы, причем возможна подача сочетания $R = S = 1$ (или $R = S = 0$ для триггера с инверсными входами).

Таблица 3 – Таблица переходов синхронного RS-триггера

Такт t				Q^{t+1}
C^t	R^t	S^t	Q^t	
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	1	1

Такт t				Q^{t+1}
C^t	R^t	S^t	Q^t	
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	—
1	0	0	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	0
1	1	1	1	—

Синхронизация осуществляется включением на каждом входе асинхронного RS-триггера дополнительного элемента “И”. Одни из входов этих элементов объе-

динены и на них подается сигнал C , другие являются информационными, но поданные на них сигналы поступают к триггеру лишь при наличии единицы на входе C .

Доопределив функцию переходов единицами на запрещенных наборах и проводя ее минимизацию, получим структурную формулу синхронного триггера:

$$Q^{t+1} = SC \vee Q\bar{R} \vee Q\bar{C} = SC \vee Q(\bar{R} \vee \bar{C}), \quad (4)$$

которую можно реализовать на элементах основного базиса.

Для синтеза схемы триггера на элементах “И–НЕ” применим к (4) двойное отрицание и дважды теорему де Моргана:

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{Q^{t+1}}} = \overline{(SC)(Q(\bar{R} \vee \bar{C}))} = \overline{(SC)(Q(\overline{\overline{R} \vee \bar{C}}))}. \quad (5)$$

В соответствии со структурной формулой (5) схема синхронного RS -триггера имеет вид (рис. 6), где на выходах элементов обозначены операторы формулы (5), которые они реализуют. Условное обозначение такого триггера совпадает с рис. 1, а.

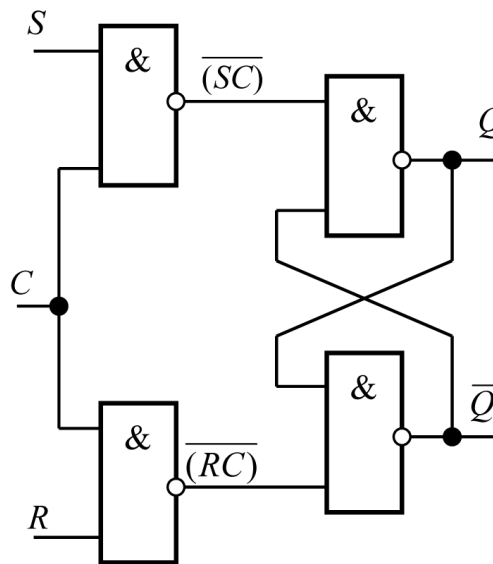


Рисунок 6 – Синхронный RS -триггер на элементах базиса “И–НЕ”

При использовании элементов “ИЛИ–НЕ” формулу (4) можно преобразовать к виду

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{SC} \vee \overline{Q(\bar{R} \vee \bar{C})}} = \overline{\overline{S} \vee \overline{C} \vee \overline{Q} \vee \overline{(\bar{R} \vee \bar{C})}}$$

или при инвертировании обеих частей

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{\overline{S} \vee \overline{C} \vee \overline{Q} \vee \overline{(\bar{R} \vee \bar{C})}}} = (\overline{S} \downarrow \overline{C}) \downarrow (\overline{Q} \downarrow (\overline{R} \downarrow \overline{C})). \quad (6)$$

По полученной в базисе функции Пирса структурной формуле (6) синтезирована схема синхронного RS -триггера (рис. 7), особенностью которой являются инверсные входы S , R и C .

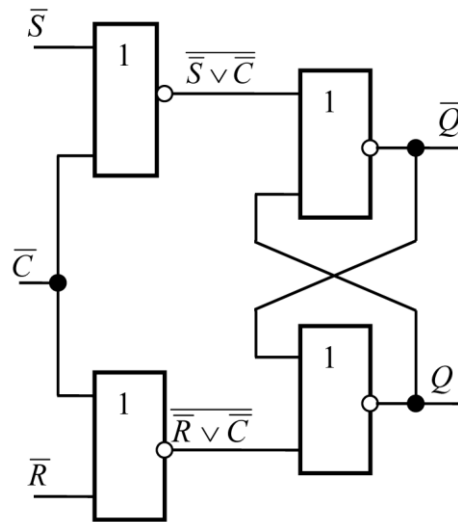


Рисунок 7 – Синхронный RS-триггер на элементах базиса “ИЛИ–НЕ”

2.2. Триггер задержки (D-триггер)

D-триггер – это триггер с единственным входным сигналом, обозначаемым буквой D . Значение сигнала на выходе Q такого триггера в такт $(t+1)$ равно значению сигнала на входе D в предыдущем такте t . Таким образом, входной сигнал передается на выход с задержкой на один такт, т.е.

$$Q^{t+1} = D^t. \quad (7)$$

В соответствии с функцией переходов (7) очевидна матрица переходов D-триггера (табл. 4).

Таблица 4 – Матрица переходов асинхронного D-триггера

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	D^t
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	0
$1 \rightarrow 1$	1

Однако асинхронный D-триггер не применяется, так как его выход просто повторяет входной сигнал после окончания режима состязаний.

Синхронный же D-триггер функционирует в соответствии с таблицей 5, из которой видно, что при отсутствии синхроимпульсов ($C = 0$) состояние триггера остается неизменным. При условии же $C = 1$ триггер передает на выход сигнал, поступивший на его вход в предыдущем такте.

Таблица 5 – Матрица переходов синхронного D-триггера

Такт t			Q^{t+1}
C^t	D^t	Q^t	
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

Минимальная дизъюнктивная нормальная форма функции переходов

$$Q^{t+1} = \overline{C}Q \vee CD. \quad (8)$$

Добавив к (8) еще одну импликанту, получим выражение функции переходов, которое можно преобразовать так:

$$Q^{t+1} = \overline{C}Q \vee CD \vee DQ = CD \vee Q(\overline{\overline{C}} \vee \overline{D}) = CD \vee Q(\overline{CD}) = CD \vee (\overline{CD})Q. \quad (9)$$

Вид (9) функции переходов D -триггера по своей структуре совпадает с выражением (1) функции переходов RS -триггера, если принять

$$S = CD, R = \overline{CD}. \quad (10)$$

Следовательно, D -триггер можно представить как RS -триггер, на информационные входы которого подаются сигналы, соответствующие выражениям (10). Реализация структурной формулы (9) приведена на рис. 8, где пунктиром обведена схема RS -триггера с инверсными входами, а расположенные слева от него элементы формируют его входные сигналы. Действительно, на выходе верхнего элемента имеем

$$CD = \overline{S},$$

а на выходе нижнего

$$\overline{CD} = \overline{C(\overline{C} \vee \overline{D})} = \overline{CC} \vee \overline{CD} = \overline{CD} = \overline{R}.$$

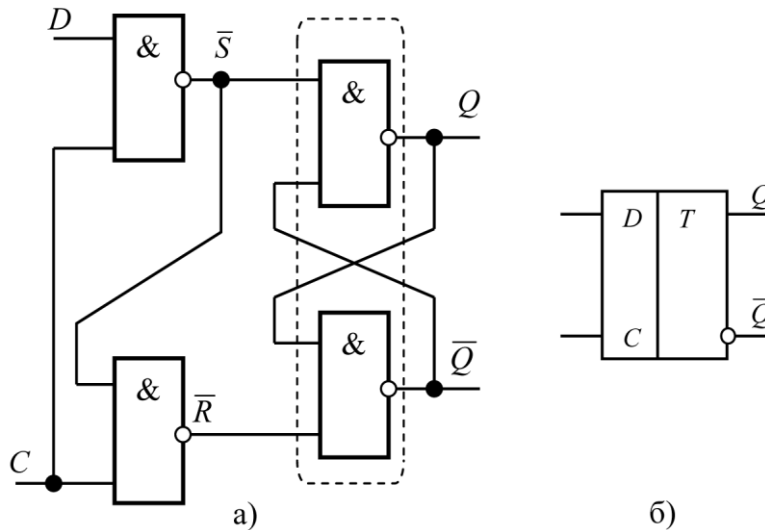


Рисунок 8 – Синхронный D -триггер (а) и его условное обозначение (б)

2.3. Триггер со счетным входом (T -триггер)

Булева функция, отражающая работу T -триггера, содержательно может быть представлена так: триггер инвертирует свое предыдущее состояние при подаче на его вход T единичного сигнала, т.е. $Q^{t+1} = Q^t$ при $T = 1$.

На основании содержательного представления можно составить таблицу переходов (табл. 6), используя которую, по единицам составлена совершенная дизъюнктивная нормальная форма функции переходов T -триггера, являющаяся минимальной формой этой функции:

$$Q^{t+1} = Q\overline{T} \vee \overline{Q}T. \quad (11)$$

На логических элементах основного базиса T -триггер можно синтезировать подобно тому, как это показано на рис. 2.3, или в базисе “И–НЕ” (см. рис. 4). Однако целесообразнее использовать имеющийся в составе серий интегральных микросхем D -триггер с помощью пересоединений выводов микросхемы.

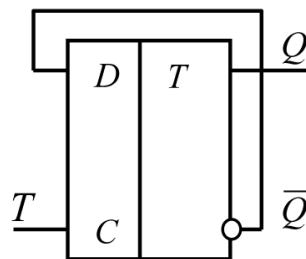
Таблица 6 – Таблица переходов T -триггера

Такт t		Q^{t+1}
T^t	Q^t	
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Так, если в синхронном D -триггере вход соединить с инверсным выходом Q , то он превращается в T -триггер. Действительно, заменив в (8) D на Q , получим

$$Q^{t+1} = \overline{C}Q \vee C\overline{Q}. \quad (12)$$

что совпадает с (11), если принять $T = C$, т.е. счетные сигналы подавать вместо синхроимпульсов на вход C , как показано на рис. 9.

Рисунок 9 – Использование D -триггера в качестве T -триггера

Особенностью T -триггера является в 2 раза меньшая частота выходных сигналов, по сравнению с частотой сигналов на входе T . Это позволяет использовать его в качестве делителя частоты последовательности сигналов на два, а также при создании на T -триггерах двоичных счетчиков.

При синтезе на T -триггерах более сложных конечных автоматов используют матрицу переходов (табл. 7), которую легко заполнить путем следующих логических рассуждений: чтобы инвертировать триггер (вторая и третья строка таблицы), надо подать на вход единицу, а чтобы сохранить состояние триггера (первая и четвертая строки), надо подавать ноль.

Таблица 7 – Матрица переходов T -триггера

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	T^t
$0 \rightarrow 0$	0
$0 \rightarrow 1$	1
$1 \rightarrow 0$	1
$1 \rightarrow 1$	0

Существует ряд разновидностей T -триггера с дополнительными входами: TD -триггер (счетный триггер с задержкой); T -триггер (счетный триггер с тактирующим входом); RST -триггер (счетный триггер с установочными входами в то или иное начальное, исходное состояние) и т.п.

Так на рис. 10, а приведено условное изображение T -триггера, тактируемого с помощью синхроимпульсов C . При изменении синхроимпульсов C от 0 до 1 (динамический вход C), со статическими входами R , S и T , причем входы S и R являются асинхронными и инверсными. Последнее означает, что триггер устанавливается в

состоянии $Q = 0$ в момент подачи сигнала $R = 0$ или в состояние $Q = 1$ в момент подачи сигнала $S = 0$ вне зависимости от того, подан или еще отсутствует синхрoимпульс C .

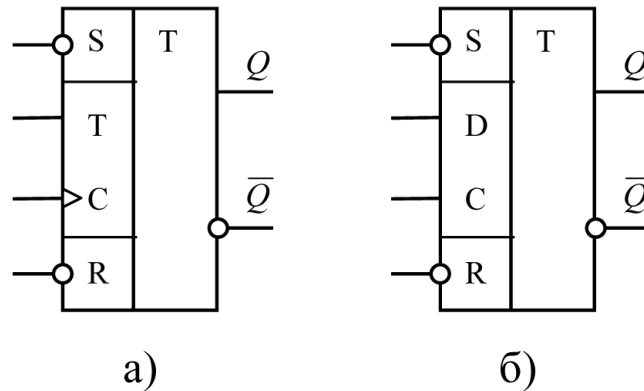


Рисунок 10 – T-триггер с дополнительными входами (а) и универсальный D-триггер (б)

Аналогичными свойствами обладает и универсальный D-триггер, условное обозначение которого приведено на рис. 10, б. Он также функционирует в синхронном режиме по входу D (но в отличие от триггера рис. 10, а синхронизация производится подачей потенциала на вход C) и в асинхронном по входам R и S .

2.4. JK-триггер

JK-триггер с двумя входами, функционирует в соответствии с таблицей переходов (табл. 8), из которой видно, что при комбинации сигналов $J = 1$ и $K = 1$ (третий и седьмой наборы) триггер инвертирует свое предыдущее состояние, т.е. при конъюнкции $JK = 1$ $Q^{t+1} = \bar{Q}^t$. В остальных случаях, JK-триггер ведет себя как RS-триггер (сравните с табл. 2.1). При этом вход J эквивалентен входу S , а вход K – входу R .

Таблица 8 – Таблица переходов JK-триггера

Номера наборов	Такт, t			Q^{t+1}
	K^t	J^t	Q^t	
0	0	0	0	0
1	0	1	0	1
2	1	0	0	0
3	1	1	0	1
4	0	0	1	1
5	0	1	1	0
6	1	0	1	0
7	1	1	1	0

Минимальная форма функции переходов JK-триггера:

$$Q^{t+1} = J\bar{Q} \vee \bar{K}Q. \quad (13)$$

В интегральной схемотехнике распространены синхронные JK-триггеры с динамическим входом синхрoимпульсов C (рис. 11, а). Эти триггеры путем несложной коммутации (пересоединения) внешних выводов можно превратить в схемы, выполняющие функции RS-, D- и T-триггера.

Так, если в (13) принять $J=D$ и $K=D$, то получим

$$Q^{t+1} = D\bar{Q} \vee DQ = D(Q \vee \bar{Q}) = D. \quad (14)$$

т.е. функцию переходов D -триггера. Сравнивая (13) и (14), видим, что для получения D -триггера надо соединить вход J со входом K через инвертор, причем J -вход будет выполнять функцию D -входа (рис. 11, б).

Для получения T -триггера (рис. 11, в) достаточно соединить входы J и K , подавая на них T -сигналы. В этом случае $J = K = T$ и (11) превращается в функцию перехода T -триггера.

Если на вход J подавать сигналы S , а на вход K – сигналы R , то JK -триггер будет выполнять функции RS -триггера (рис. 11, г).

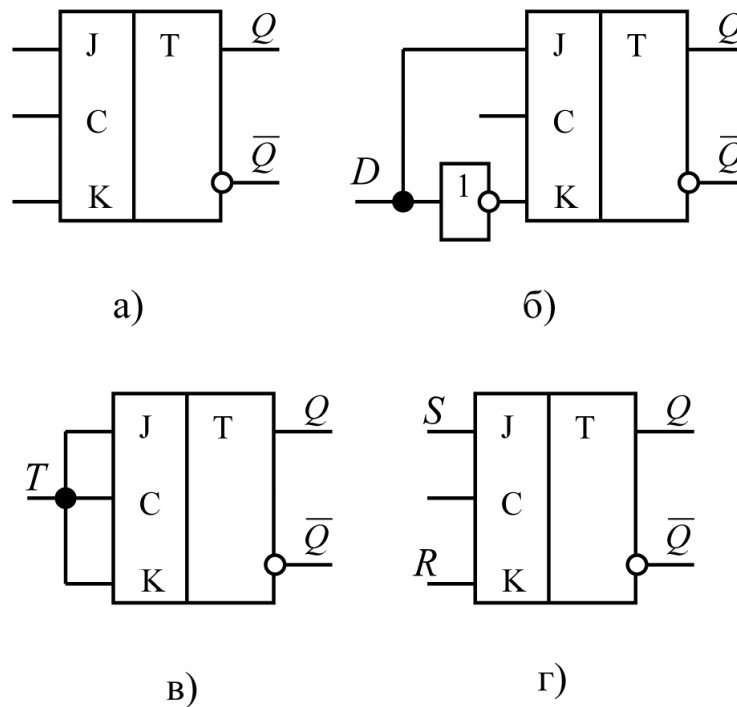


Рисунок 2.11 – Условное обозначение JK -триггера (а) и его использование в качестве D -триггера (б), T -триггера (в) и RS -триггера (г)

Для составления матрицы переходов подставим в (13) все возможные сочетания состояний триггера и проанализируем условия, при которых выполняются эти сочетания:

$$\left. \begin{aligned} 0 \rightarrow 0 \quad 0 &= J \cdot 1 \vee \bar{K} \cdot 0, \\ 0 \rightarrow 1 \quad 1 &= J \cdot 1 \vee \bar{K} \cdot 0, \end{aligned} \right\} \text{при любом } K \text{ и } \begin{cases} J = 0 \\ J = 1 \end{cases}$$

$$\left. \begin{aligned} 1 \rightarrow 0 \quad 0 &= J \cdot 0 \vee \bar{K} \cdot 1, \\ 1 \rightarrow 1 \quad 1 &= J \cdot 0 \vee \bar{K} \cdot 1, \end{aligned} \right\} \text{при любом } J \text{ и } \begin{cases} K = 1 \\ K = 0 \end{cases}$$

В соответствии с результатами анализа заполнена матрица переходов (табл. 9), которую используют при синтезе цифровых устройств на JK -триггерах.

Таблица 9 – Матрица переходов JK -триггера

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	J^t	K^t
$0 \rightarrow 0$	0	x
$0 \rightarrow 1$	1	x
$1 \rightarrow 0$	x	1
$1 \rightarrow 1$	x	0

Рассмотренные синхронные триггеры являются одноступенчатыми (обозначены буквой *T*). Устойчивая работа таких триггеров в схемах с передачей информации между триггерами возможна только при условии, что перевод триггера в новое состояние (занесение в него новой информации) осуществляется после завершения передачи информации о прежнем его состоянии в следующий за ним триггер. Выполнение этого условия обеспечивается в двухступенчатых триггерах, состоящих из двух одноступенчатых триггеров. Вначале информация записывается в первый (управляющий) триггер, а затем переписывается во второй (управляемый). Такой принцип построения триггеров иногда называют *MS*-принципом.

Все рассмотренные типы триггеров могут быть построены по *MS*-принципу (на схемах их обозначают двумя буквами *TT*).

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В состав лабораторной установки входят: лабораторная макетная плата, блок питания, контактные перемычки и двухлучевой осциллограф.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Выучить принцип работы, структурные схемы включения и возможности применения триггеров различных типов. Разработать принципиальную схему синхронного *RS*-триггера с прямыми входами, реализованного на типовых логических элементах и интегральной микросхеме асинхронного *RS*-триггера (за основу взять рис. 6). Подготовить таблицы переходов.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На коммутационном поле лабораторной макетной платы из логических элементов собрать с помощью контактных перемычек схему для исследования асинхронного *RS*-триггера с прямыми входами (рис. 4, а). Напряжение на входы схемы подавать при помощи переключателей *X1* и *X2*. Построить таблицу переходов для исследуемой схемы. Состояние входов и выходов схемы определяются при помощи индикаторов логических уровней, в качестве которых применены светодиоды.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы из логических элементов собрать с помощью контактных перемычек схему для исследования асинхронного *RS*-триггера с инверсными входами (рис. 5). Напряжение на входы схемы подавать при помощи переключателей *X1* и *X2*. Построить таблицу переходов для исследуемой схемы.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы собрать с помощью контактных перемычек схему для исследования асинхронного *RS*-триггера с инверсными входами, выполненного в виде отдельной микросхемы (рис. 4, б). Напряжение на входы схемы подавать при помощи переключателей *X1* и *X2*. Построить таблицу переходов для исследуемой схемы.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы собрать с помощью контактных перемычек схему синхронного *RS*-триггера. Напряжение на входы схемы подавать при помощи переключателей *X1* и *X2*, синхроимпульсы подавать с одновибратора, запуск которого осуществляется при помощи кнопки “Impulse”. Дли-

тельность импульса одновибратора составляет 20 мс. Построить таблицу переходов для исследуемой схемы.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы собрать с помощью контактных перемычек схему для исследования синхронного D -триггера, выполненного в виде отдельной микросхемы (рис. 1, в). Напряжение на вход D схемы подавать при помощи переключателя $X1$, синхроимпульсы подавать с одновибратора, запуск которого осуществляется при помощи кнопки “Impulse”. Построить таблицу переходов для исследуемой схемы. Подать на входы осциллографа сигнал с входа D и сигнал с выхода Q . Длительным нажатием кнопки “Impulse” переключить схему в режим генерации прямоугольных импульсов. Получить осциллограммы при частоте сигнала, подаваемого на вход D , в два раза выше и в два раза ниже частоты сигнала синхроимпульсов.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы собрать с помощью контактных перемычек схему для исследования T -триггера, собранного на основе D -триггера (рис. 9). Напряжение на вход T схемы подавать при помощи переключателя $X1$. Подать на входы осциллографа сигнал с входа T и сигнал с выхода Q . Длительным нажатием кнопки “Impulse” переключить схему в режим генерации прямоугольных импульсов. Получить осциллограмму сигналов.

На коммутационном поле лабораторной макетной платы собрать с помощью контактных перемычек схемы для исследования JK -триггера, используемого в качестве D -триггера, T -триггера и RS -триггера (рис. 9, б – г). Построить таблицу переходов для исследуемых схем.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Принципиальные схемы исследуемых триггеров.
3. Таблицы переходов для исследуемых схем.
4. Осциллограммы работы D -триггера и T -триггера.
5. Выводы по работе.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные разновидности триггеров.
2. Приведите классификацию входов триггеров и их назначение.
3. Объясните, как строится временная диаграмма работы триггера?
4. Где применяются различные разновидности триггеров?
5. Чем различаются асинхронные и синхронные триггеры?
6. Как построить T -триггер на основе RS -, D - и JK -триггеров?
7. Чем определяется внутренняя задержка T -триггера?
8. Докажите универсальность JK -триггера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хоровиц П. Искусство схемотехники : пер. с англ. – 6-е изд., перераб. / П. Хоровиц, У. Хилл. – М. : Мир, 2001. – 704 с.
2. Бродин В.Б. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики / В.Б. Бродин, А.В. Калинин. – М. : ЭКОМ, 2002. – 400 с.

3. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника : учебное пособие / Е.П. Угрюмов. – Спб. : ВHV-Санкт-Петербург, 2004. – 782 с.
4. Мышляева И.М. Цифровая схемотехника: учебник / И.М. Мышляева. – М.: Академия, 2005. – 400 с.
5. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника. Полный курс: учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров. – М.: Горячая линия Телеком, Радио и связь, 2005. – 768 с.

Заказ № _____ от « _____ » _____ 2012 . Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ