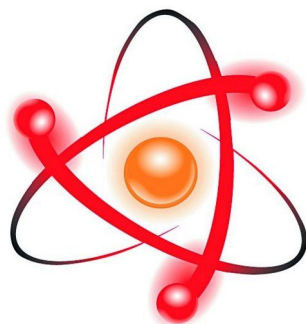


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ



РТЦУЛ-11

**ИЗУЧЕНИЕ ТРИГГЕРОВ.
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С
ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)**

Тула, 2011 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ИЗУЧЕНИЕ ТРИГГЕРОВ.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС (С ВЫВОДОМ ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЙ ПЭВМ)

Цель работы: изучение функционирования триггеров различных типов, принципов их синтеза и взаимопреобразования, рассмотрение применения RS -триггеров при построении D -, T -, JK -триггеров.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Цифровые устройства последовательностного типа.

Все цифровые устройства (ЦУ) принято разбивать на два класса: комбинационные ЦУ (КЦУ) и последовательностные ЦУ (ПЦУ).

Отличительные особенности этих классов ЦУ состоят в следующем. Для КЦУ значения выходных переменных в некоторый момент времени определяются только значениями входных переменных в тот же момент времени. Для ПЦУ значения выходных переменных определяются не только входными переменными в данный момент, но и их значениями в предшествующие моменты времени. Примером, поясняющим принцип работы ПЦУ, является телефон. Чтобы соединиться с определенным абонентом, следует набрать последовательность цифр, соответствующую его номеру. Произойдет ли подключение к нужному абоненту, когда набирается последняя цифра, зависит как от этой цифры, так и от ранее набранной комбинации цифр.

Изменения значений входных переменных ЦУ происходят дискретно во времени. При этом временные интервалы, в течение которых эти значения сохраняются неизменными, называют **тактами** работы ЦУ. Если пронумеровать такты в порядке их возрастания, то для некоторого k -го такта работы ПЦУ зависимость выходных переменных от входных в общем виде может быть задана соотношением:

$$Y^k = F(X^k; X^{k-1}; X^{k-2}; \dots; X^{k-r}), \quad (1)$$

где $Y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_m^k)$ - вектор выходных переменных, соответствующий k -ому такту работы;

m - число выходов ПЦУ;

$X^{k-j} = (x_1^{k-j}, x_2^{k-j}, \dots, x_n^{k-j})$ - вектор входных переменных соответственно k -го, $k-1$, ..., $k-r$ тактов работы, $j=0, 1, \dots, r$;

n - число входов ПЦУ;

$F = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ - оператор преобразования ПЦУ.

Для реализации зависимости (1) ПЦУ должно характеризоваться свойством запоминания входных переменных, т.е. устройство должно обладать памятью. Память ПЦУ может охватывать произвольное, но обязательно конечное число (r) тактов работы. Поэтому за ПЦУ закрепились также следующие наименования: ЦУ с памятью, многотактные ЦУ, конечные автоматы.

Свойство запоминания информации обеспечивается наличием у ПЦУ r различных устойчивых внутренних состояний Q_1, Q_2, \dots, Q_r , каждое из которых характеризуется определенной комбинацией сигналов во внутренних цепях ПЦУ. По аналогии со входными и выходными переменными внутренние переменные (состояния) кодируются двоичными L -разрядными числами. Значение L определяется из соотношения $L = \lceil \log_2 r \rceil + 1$, где $\lceil \dots \rceil$ обозначает целую часть $\log_2 r$.

Из вышеизложенного следует: ПЦУ – это цифровой преобразователь информации, способный принимать различные состояния, хранить (сохранять) их, переходить под воздействием входных сигналов из одного состояния в другое и формировать выходные сигналы. Следовательно, задание оператора, реализуемого ПЦУ предполагает: во-первых, установление связи выходных переменных со входными и внутренними переменными для одного и того же такта работы ПЦУ, т.е. связи вида:

$$Y^k = \Phi(X^k; Q^k) \quad (2)$$

во-вторых, установление связи внутренних переменных для $(k+1)$ -го такта со значениями входных и внутренних переменных k -го такта, т. е. связи вида:

$$Q^{k+1} = \Psi(X^k; Q^k) \quad (3)$$

Приведенные соотношения именуют функциями (уравнениями) выходов (2) и переходов (3). Табличные формы представления указанных функций чаще являются более наглядными и удобными для анализа работы ПЦУ. Соответствующие таблицы называются таблицей выходов и таблицей переходов.

Триггеры.

Триггеры являются простейшими ПЦУ. Отличительными особенностями триггеров являются:

1) число внутренних устойчивых состояний равно двум, чему соответствует одна переменная в прямой (Q) или инверсной форме (\bar{Q});

2) число выходов у триггера также равно двум, один из них называют прямым, другой – инверсным. Причем значения выходов равны соответствующим значениям внутренней переменной. Поэтому для триггеров принято прямой выход обозначать – Q , а инверсный – \bar{Q} . Состояние триггера

определяется по уровню напряжения на его прямом выходе. Если это напряжение уровня логической единицы, т.е. $Q=1$ (при этом $\bar{Q}=0$), то говорят, что триггер находится в единичном состоянии (в триггер записана “1”). Если же $Q=0$ ($\bar{Q}=1$) – триггер находится в нулевом состоянии (записан “0”).

Классификация триггеров может осуществляться по ряду признаков. Основным из них является признак логического функционирования, при использовании которого триггеры разделяют по виду характеристического уравнения (так применительно к триггерам называется уравнение переходов). Еще одним важным классификационным признаком является способ записи информации в триггеры.

Классификация триггеров по указанным признакам приведена на рис. 1.

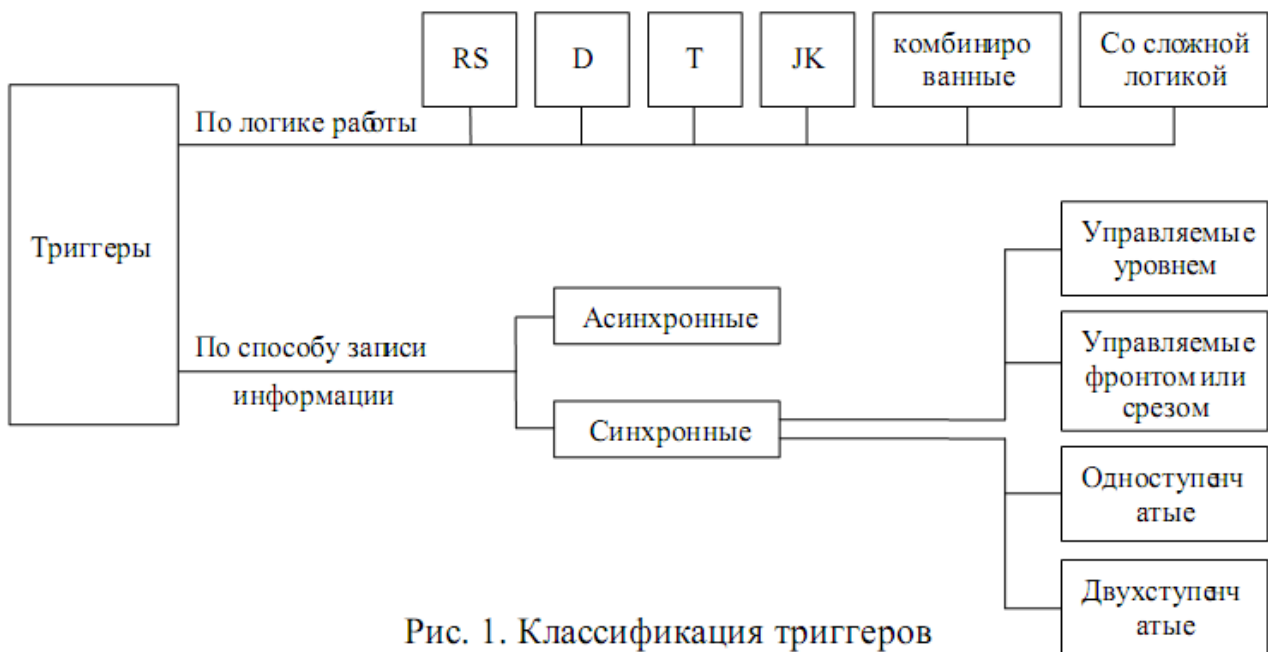


Рис. 1. Классификация триггеров

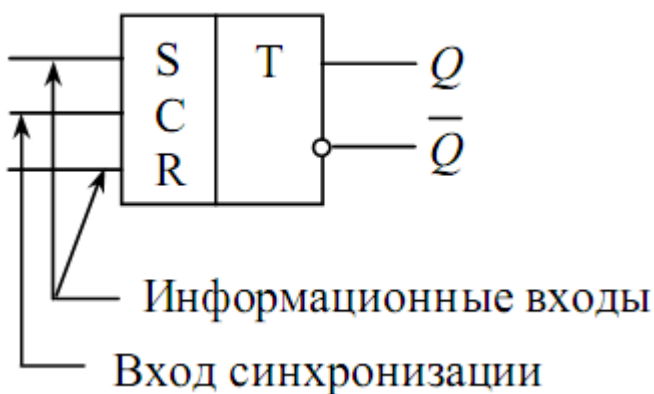


Рис. 1а. Условное графическое изображение синхронного RS-триггера.

По логическому функционированию различают триггеры типов RS, D, T, JK. Кроме того, используются комбинированные триггеры, в которых совмещаются одновременно несколько типов, и триггеры со сложной входной логикой (группами входов, связанных между собой логическими зависимостями).

По способу записи информации различают асинхронные (неактивируемые) и синхронные (тактируемые) триггеры. В асинхронных триггерах переход в новое состояние

вызывается изменениями только входных информационных сигналов. Синхронные триггеры кроме информационных входов имеют отдельный вход синхронизации, обычно обозначаемый буквой C (рис. 1а). Изменение состояния синхронного триггера может произойти при одновременном воздействии входных информационных сигналов и сигнала синхронизации.

В современной микросхемотехнике получили распространение статические триггеры с двумя устойчивыми состояниями. Они содержат запоминающий элемент (бистабильную ячейку) и схему управления.

Состояние триггера характеризуется уровнями потенциалов на выходах Q и \bar{Q} . В положительной логике высокий уровень потенциала принимают за "1" ($U_{\text{вых}} = U^1$), а низкий – за "0" ($U_{\text{вых}} = U^0$). Если у триггера имеется два выхода, то потенциал второго выхода противоположен потенциалу первого.

Наиболее часто триггеры строят, используя *логические элементы (ЛЭ)* ИЛИ-НЕ либо И-НЕ. Их графическое обозначение, таблицы состояний и уравнения функционирования приведены на рис. 1.1

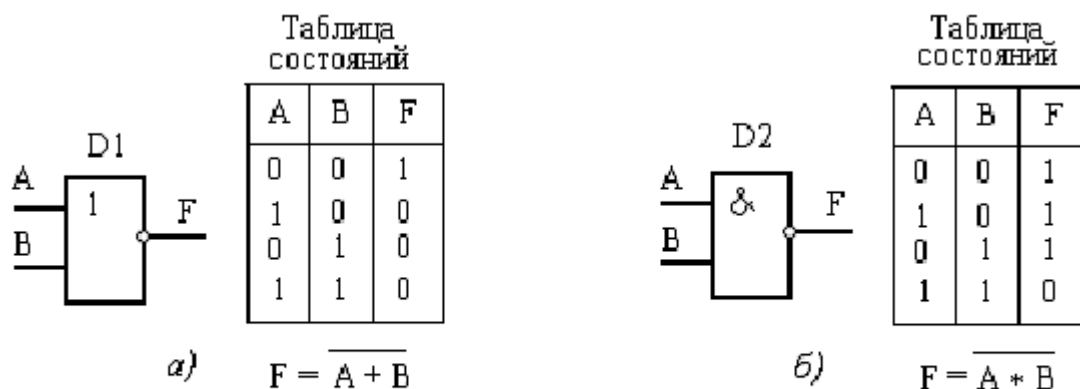


Рис. 1.1. Графическое обозначение, таблица состояний и уравнение функционирования для логических элементов ИЛИ-НЕ (а) и И-НЕ (б)

Бистабильная ячейка (БЯ) простейших триггеров потенциального типа содержит два инвертирующих элемента, охваченных перекрестными обратными связями (рис. 1.2, а). Поскольку выходное напряжение одного инвертора является входным напряжением для другого, то оценку возможных устойчивых состояний ячейки можно провести, воспользовавшись совместным построением их передаточных характеристик (рис. 1.2, б). Точки пересечения таких характеристик являются точками возможных состояний ячейки. Например, в точке 1 инвертор $D1$ не находится в активной области характеристик – "ключ заперт", и на его выходе наблюдается уровень $U_{\text{вых}} = U^1$. Инвертор $D2$ также не находится в активной области – "ключ открыт", и на его выходе поддерживается уровень $U_{\text{вых}} = U^0$. Это обуславливает **устойчивое** состояние бистабильной ячейки. Аналогично в точке 2 инвертор

$D1$ "открыт", а инвертор $D2$ "закрыт", что также ведет к устойчивому состоянию ячейки. В точке 3 реализуется *неустойчивое* состояние ячейки – инверторы находятся в активной области своих характеристик, и действует глубокая положительная обратная связь, стремящаяся перевести ячейку в одну из точек устойчивого состояния.

Бистабильную ячейку (*статический триггер*) удобно строить на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ и И-НЕ. При этом логические входы, оставшиеся свободными после формирования перекрестных связей (показаны пунктиром на рис.1.2, *a*) используются как информационные входы (R, S) для управления триггером.

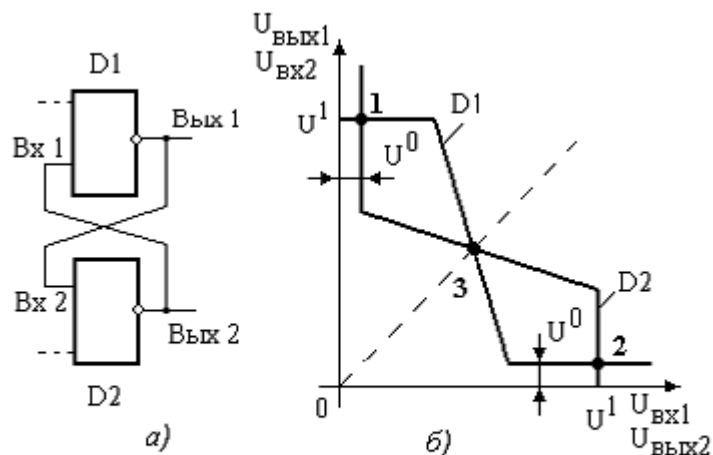


Рис.1.2. Бистабильная ячейка (а) и нахождение ее состояний (б)

Как упоминалось выше, триггеры классифицируются по связи между состояниями информационных входов и выходов до срабатывания (t_n) и после срабатывания (t_{n+1}). При этом различают *RS*-, *D*-, *T*-, *JK*- и т.д. Триггеры. А *по временной диаграмме работы* триггеры делятся на асинхронные и синхронные (тактируемые). В асинхронных триггерах запись информации осуществляется непосредственно в момент поступления информационного сигнала на вход. В синхронных триггерах запись информации осуществляется только при подаче разрешающего сигнала на тактовый вход, и только после этого состояние триггера устанавливается в соответствии с комбинацией логических сигналов на информационных входах. Синхронизация триггера может осуществляться как по уровню потенциала, так и по фронту (или срезу) синхроимпульса.

Асинхронные *RS*-триггеры

Рассмотрим *RS*-триггер *на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ* (рис.1.3). Здесь могут быть использованы ЛЭ РТЛ, МОП, КМОП, ЭСЛ. По сути, простейший *RS*-триггер есть бистабильная ячейка, управляемая по *R*- и *S*- входам. Вход *S* называют входом установки в 1, вход *R* – установки в 0 или «сброса».

Введение перекрестной обратной связи должно надежно обеспечивать два устойчивых состояния триггера:

$$\begin{aligned} Q=1, \quad \bar{Q}=0 \\ Q=0, \quad \bar{Q}=1 \end{aligned} .$$

Отыщем *правило эффективного управления RS-триггером*. Для этого необходимо рассмотреть работу каждого ЛЭ в БЯ в соответствии с его таблицей состояний (см. рис. 1.1, а). Предположим, что на выходе ЛЭ *D2* (выход *Q* на рис. 1.3, а) существует потенциал U^1 , а на выходе ЛЭ *D1* (выход \bar{Q}) – U^0 , при этом управляющие сигналы на входах *S* и *R* одновременно имеют низкий уровень (0). Необходимо иметь в виду, что выходные сигналы БЯ (*Q* и \bar{Q}) одновременно являются вторыми входными сигналами для его логических элементов.

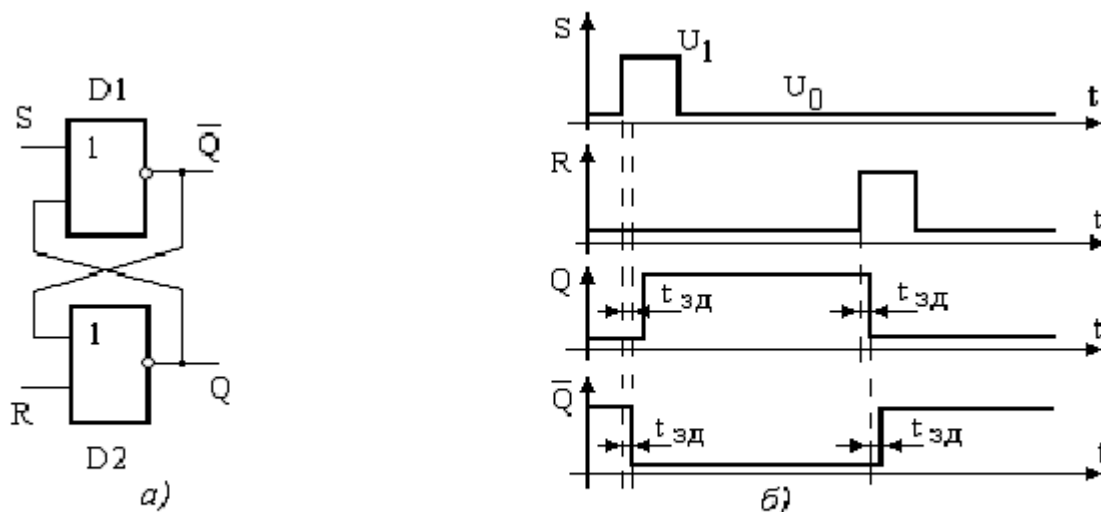


Рис. 1.3. *RS*-триггер на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ (а) и осциллограммы переключений при управлении триггером (б)

В соответствии с таблицей состояний для ЛЭ ИЛИ-НЕ (см. рис. 1.1, а) при комбинации входных сигналов 0 0 на входах ЛЭ *D2* *RS*-триггера (рис.1.3) на его выходе следует ожидать потенциал $Q = U^1$. Для ЛЭ *D1* при комбинации входных сигналов 1 0 – на его выходе следует ожидать $\bar{Q} = U^0$. Таким образом, видно, что на выходах *RS* - триггера поддерживаются потенциалы, заданные ранее. Такое состояние триггера является устойчивым. К аналогичному заключению приходим, если предположим, что первоначальные потенциалы на выходах *Q* и \bar{Q} данного *RS*-триггера соответственно равны U^0 и U^1 , а комбинация входных сигналов: $S = 0, R = 0$ – прежняя.

Таким образом, комбинация сигналов на входах $S = 0, R = 0$ поддерживает (сохраняет) предыдущее состояние триггера, выполненного на ЛЭ ИЛИ-НЕ. Из рассмотрения таблицы состояний ЛЭ ИЛИ-НЕ также следует, что если хотя бы на одном входе ЛЭ существует уровень логической единицы, то управление по другому входу ЛЭ не эффективно, т. е. не приводит к изменениям его состояния. Изменить состояние ЛЭ возможно лишь в случае перехода от комбинации сигналов 0 0 на его входах к комбинации 1 0 либо 0 1. Отсюда вытекает **правило эффективного управления БЯ**: для "опрокидывания" триггера на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ необходимо сигнал U^1 подавать на вход того ЛЭ, где до этого была комбинация входных сигналов 0 0. При этом на другом входе БЯ необходимо поддерживать уровень 0. Для наглядности восприятия на рис. 1.3, б приведены осциллограммы процессов при управлении данным триггером.

Для RS-триггера принято, что комбинация входных сигналов $S = 1, R = 0$ должна приводить к состоянию $Q = 1$. В соответствии с этим правилом обозначены входы и выходы триггера на рис. 1.3, и с учетом функционирования составлена полная таблица (табл. 1.1) состояний RS-триггера и его словарь переходов (табл. 1.2). Знаком X отмечено безразличное отношение триггера к сигналу на данном входе.

Таблица 1.1

Таблица состояний RS-триггера на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ

S	R	Q_n	Q_{n+1}	F_Q
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
1	0	1	1	1
1	0	0	1	Δ
0	1	1	0	∇
0	1	0	0	0
1	1	0	Запрещенная комбинация	
1	1	1		

Таблица 1.2

Словарь переходов RS-триггера на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ

S	R	F_Q
0	X	0
X	0	1
1	0	Δ
0	1	∇

Комбинация входных сигналов $S = 1, R = 1$ является запрещенной для RS-триггера на ЛЭ ИЛИ-НЕ, так как приводит к появлению на выходе триггера состояния, когда одновременно $Q = \bar{Q} = 0$. Это приводит к неопределенности в оценке состояния RS-триггера и сбою работы всего цифрового устройства.

Характеристическое уравнение функционирования данного триггера имеет вид

$$Q_{n+1} = S + \bar{R} Q_n.$$

Оно получено на основании использования карт Карно при анализе связи состояний выходов триггера с возможным набором управляющих сигналов S и

R . Знаками n и $n+1$ обозначено состояние выхода Q до и после прихода управляющих сигналов соответственно.

RS - триггеры выпускаются в составе некоторых серий интегральных микросхем (например микросхема К555ТР2 серии ТТЛ, которая содержит 4 RS триггера), либо могут быть реализованы на логических элементах.

На рисунке 1.3-1 приведена схема RS триггера с инверсными входами на двух логических элементах типа И-НЕ и обозначение RS триггера на принципиальных схемах.

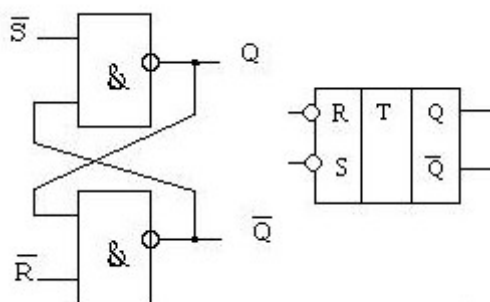


Рис. 1а. Условное графическое изображение RS триггера с инверсными входами

Рассмотрим **RS-триггеры на основе ЛЭ И-НЕ** (рис. 1.4, а). В этом случае используются ЛЭ на основе ТТЛ, МОП, КМОП.

Предположим, что введение перекрестной обратной связи обеспечивает надежно два устойчивых состояния триггера. Схемотехнически триггер выполнен так же, как и на основе ЛЭ ИЛИ-НЕ, однако из рассмотрения таблицы состояний (рис.1.2, б) для ЛЭ И-НЕ вытекает, что **эффективным управляющим сигналом, приводящим к "опрокидыванию" триггера, является уровень 0**, поданный на вход того ЛЭ, у которого на остальных входах присутствуют потенциалы U^1 .

Комбинация сигналов 1 1 на входах триггера сохраняет предыдущее состояние БЯ, а комбинация 0 0 – запрещена. Полная таблица состояний RS-триггера на основе ЛЭ И-НЕ дана в табл.1.3, словарь переходов – в табл.1.4.

Таблица 1.3

Таблица состояний RS-триггера на основе ЛЭ И-НЕ

S	R	Q_n	Q_{n+1}	F_Q
0	0	0	Запрещенная комбинация	
0	0	1		
1	0	1	1	1
1	0	0	1	Δ
0	1	1	0	∇
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Таблица 1.4

Словарь переходов RS-триггера на основе ЛЭ И-НЕ

S	R	F_Q
1	\times	1
\times	1	0
1	0	Δ
0	1	∇

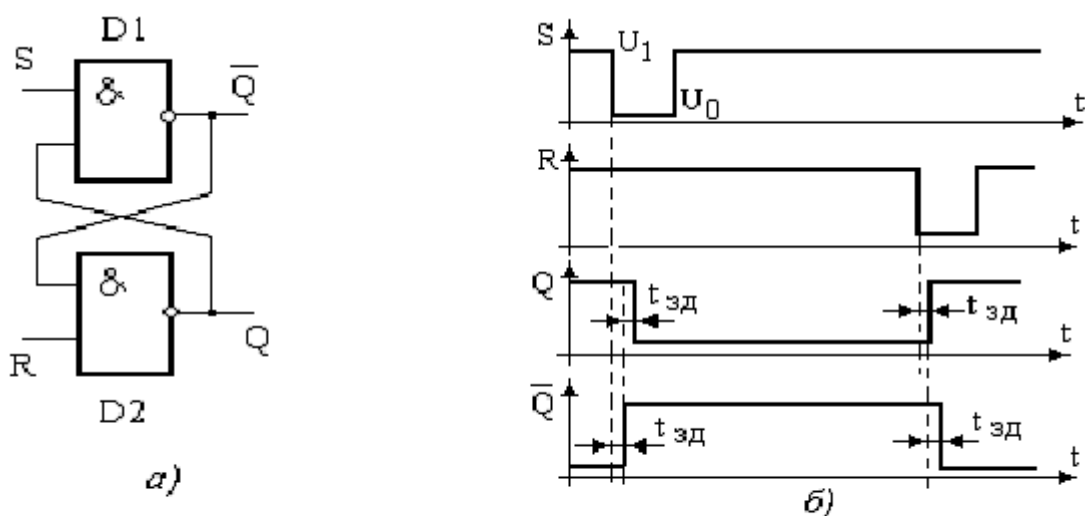


Рис.1.4. *RS*-триггер на основе ЛЭ И-НЕ (а) и осциллограммы, наблюдаемые при переключении триггера (б)

Характеристическое уравнение триггера может быть записано в виде:

$$Q_{n+1} = \bar{R} + SQ_n.$$

Осциллограммы работы данного триггера даны на рис. 1.4, б).

Тактируемые (синхронные) *RS*-триггеры (*RST*-триггеры)

Схема *RST*-триггера на ЛЭ И-НЕ представлена на рис. 1.5. ЛЭ *D1* и *D2* образуют асинхронный *RS*-триггер, ЛЭ *D3* и *D4* являются элементами управления, обеспечивая синхронизацию (тактирование) триггера. Присутствие синхронизирующих импульсов – высоких **потенциалов** на входе *C* ($C = 1$) разрешает "прохождение" управляющих сигналов *S* и *R* на входы асинхронного *RS*-триггера *D1* – *D2*.

Таблица 1.5

Таблица состояний *RST*-триггера на ЛЭ И-НЕ

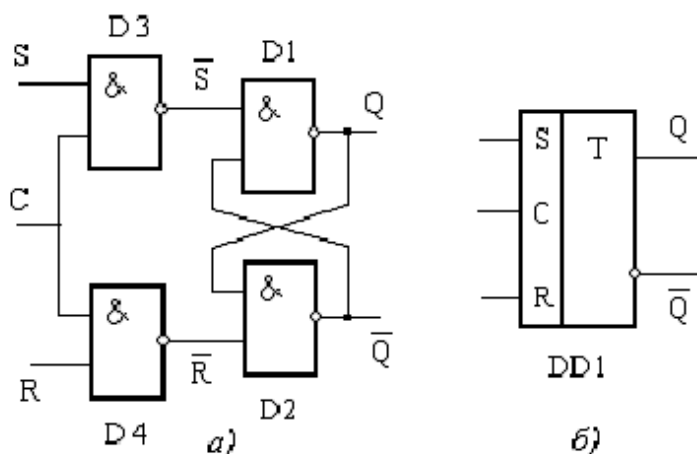


Рис.1.5. *RST*-триггер на ЛЭ И-НЕ (а) и его условное графическое обозначение (б)

C	S	R	Q_n	Q_{n+1}
0	Все сочетания			Q_n
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	1	Запрещенная комбинация	
1	1	1	Запрещенная комбинация	

При низком потенциале на входе C потенциалы на выходах $D3$ и $D4$ высокие и не зависят от входных сигналов R и S , что обеспечивает хранение предыдущей информации в БЯ $D1-D2$. При высоком потенциале на тактовом входе C информация со входов R и S "пройдет" на входы \bar{R} , \bar{S} БЯ $D1-D2$, которая примет состояние в соответствии с этими информационными сигналами. Характеристическое уравнение RST -триггера имеет вид

$$Q_{n+1} = CS + \overline{CR}Q_n.$$

В табл. 1.5 представлена полная таблица состояний данного триггера, а на рис. 1.5, б – его условное графическое обозначение.

D-триггер (триггер-задержка)

На рис. 1.6 представлена схема D -триггера на ЛЭ И-НЕ. ЛЭ $D1$ и $D2$ образуют асинхронный RS -триггер, ЛЭ $D3$ и $D4$ обеспечивают синхронизацию и одновременное управление БЯ по входам \bar{R} и \bar{S} от одного информационного входа D . При $C = 0$ триггер сохраняет свое предыдущее состояние независимо от потенциала на входе D . При $C = 1$ информационный сигнал "проходит" на входы \bar{S} и \bar{R} , и триггер примет состояние в соответствии с входным сигналом D . Характеристическое уравнение D -триггера:

$$Q_{n+1} = D_n,$$

или с учетом синхроимпульса:

$$Q_{n+1} = CD_n + \bar{C}Q_n.$$

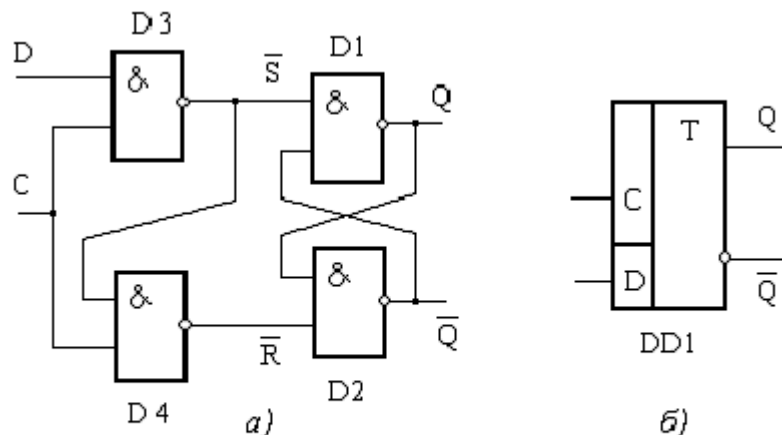


Рис.1.6 D-триггер на ЛЭ И-НЕ (а) и его условное графическое обозначение (б)

Данные триггеры удобно использовать как элементы памяти для хранения информации, поступившей, например, на вход ЭВМ.

Часто в D триггерах и некоторых других типов триггеров реализуют так называемое динамическое управление переключением, когда момент

переключения совпадает либо с прохождением фронта, либо спада импульса. Условные обозначения для вариантов управления переключением триггеров показаны на рисунке 1.6-1.

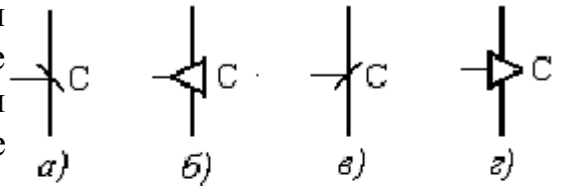


Рис 1.6-1 Обозначение способа синхронизации триггера: по спаду синхроимпульса (а, б); по нарастанию (в, г)

JK-триггер

Эти триггеры могут быть синхронными или асинхронными. Обозначение JK-триггера показано на рисунке 1.7. Информационные входы триггера J и K, Вход С – исполнительный. Запись информации осуществляется по спаду импульса на этом входе.

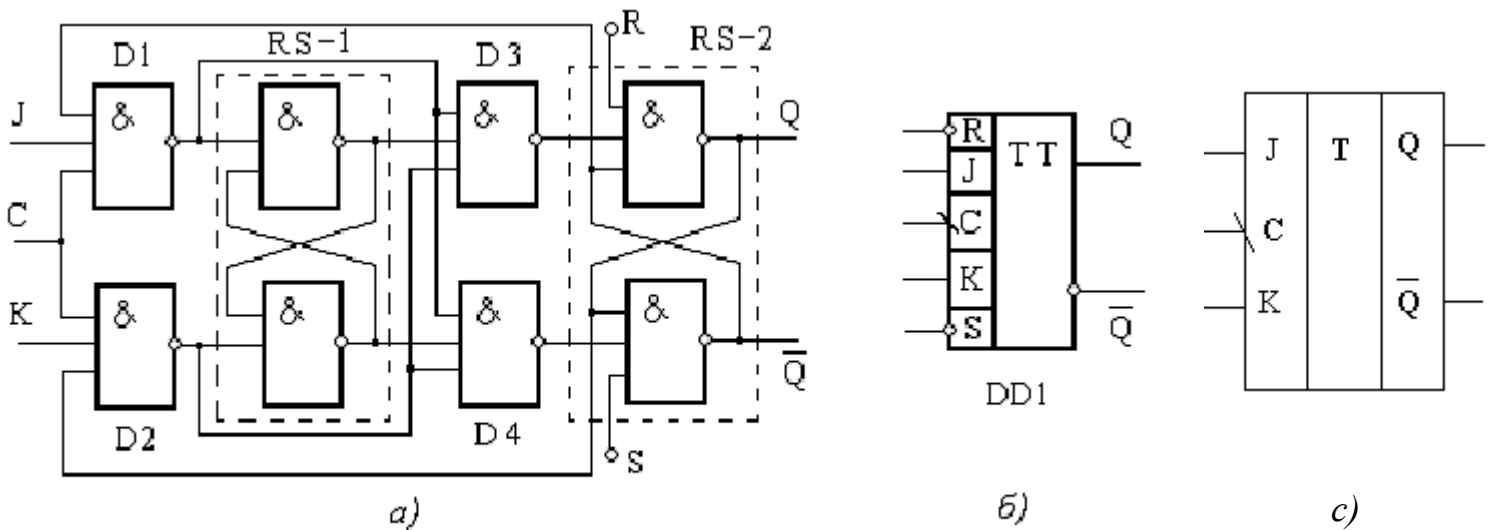


Рис. 1.7. JK-триггер (а) и его условное графическое обозначение (б) и в).

Память выполнена на основе БЯ RS-2. Функционирование схемы: в течение действия тактового импульса ($C = 1$) ЛЭ D1 и D2 обеспечивают запись информации со входов J и K в БЯ RS-1. В это время БЯ RS-2 сохраняет информацию о предыдущем состоянии. ЛЭ D3 и D4 предотвращают прохождение информации с выхода БЯ RS-1 на вход БЯ RS-2. По окончании тактового импульса запрещена запись информации в БЯ RS-1 и разрешена перезапись информации из БЯ RS-1 в БЯ RS-2. Таким образом, схема записывает информацию в течение тактового импульса. На выходе JK-триггера MS-типа результат появляется по окончании тактового импульса, и он соответствует информации, записанной в БЯ RS-1 именно в момент окончания тактового импульса. Графически эта особенность триггера отмечается знаком

а), либо знаком б) (рис.1.6-1 и 1.8) у входа синхронизации. Считается, что такой триггер синхронизируется по спаду (срезу) синхроимпульса. Если стоят знаки в) либо з), то триггер синхронизируется по нарастанию (фронту) синхроимпульса. Синхронизация по спаду либо фронту повышает помехоустойчивость цифровой схемы.

Как правило, в *JK*-триггерах введены входы *R* и *S* для предварительной установки значения сигнала на выходе БЯ *RS-2* (см. рис.1.7).

Таблица состояний *JK*-триггера близка к таблице *RST*-триггера. Однако наличие перекрестных обратных связей с выхода БЯ *RS-2* на вход БЯ *RS-1* обеспечивает информацию о предыдущем состоянии триггера. В результате – комбинация входных сигналов $J = 1, K = 1$ стала разрешенной. При данной комбинации входных сигналов и поступлении тактового импульса триггер изменяет свое состояние на противоположное. Характеристическое уравнение *JK*-триггера может быть записано в виде:

$$Q_{n+1} = \bar{K}Q_n + J\bar{Q}_n.$$

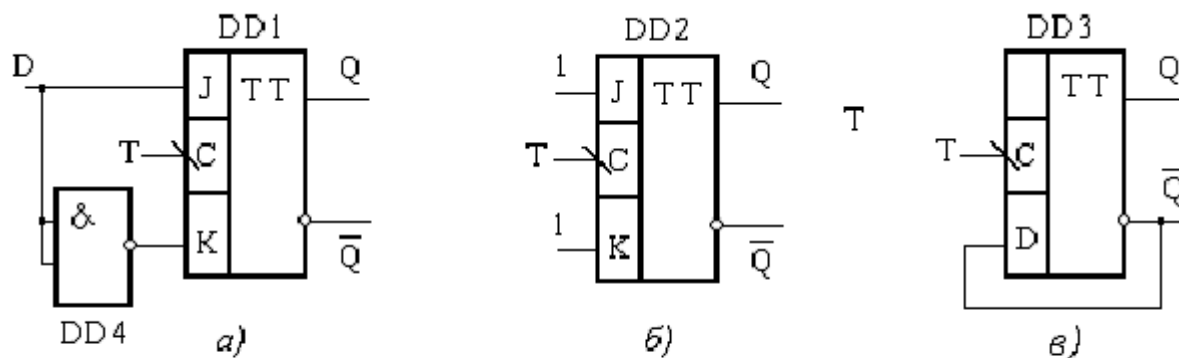


Рис.1.9. D-триггер на основе JK-триггера (а), T-триггеры на основе JK- (б) либо D-триггера (в)

D-триггер при поступлении синхроимпульса записывает информацию со входа *D* и хранит ее до прихода следующего синхроимпульса. Его характеристическое уравнение:

$$Q_{n+1} = CD + \bar{C}Q_n.$$

T-триггер "опрокидывается" на каждый поступающий импульс *C*. Характеристическое уравнение T-триггера

$$Q_{n+1} = Q_n\bar{C} + \bar{Q}_n C.$$

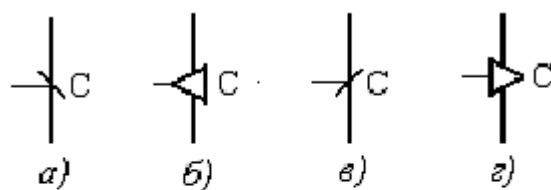


Рис. 1.8. Обозначение способа синхронизации триггера: по спаду синхроимпульса (а, б); по нарастанию (в, з)

JK-, *T*-, *D*-триггеры могут быть использованы для создания двоичных счетчиков. Схема такого счетчика на *JK*-триггерах К155 ТВ-1 и характерные осциллограммы представлены на рис. 1.10 *а*, *б*. В схеме рис. 1.10 *а*) выходы *J* и *K* *JK*-триггеров обычно должны быть подключены "+" источника питания через внешние подтягивающие резисторы ~ 5 кОм, чтобы исключить ошибки из-за возможной модуляции источника питания.

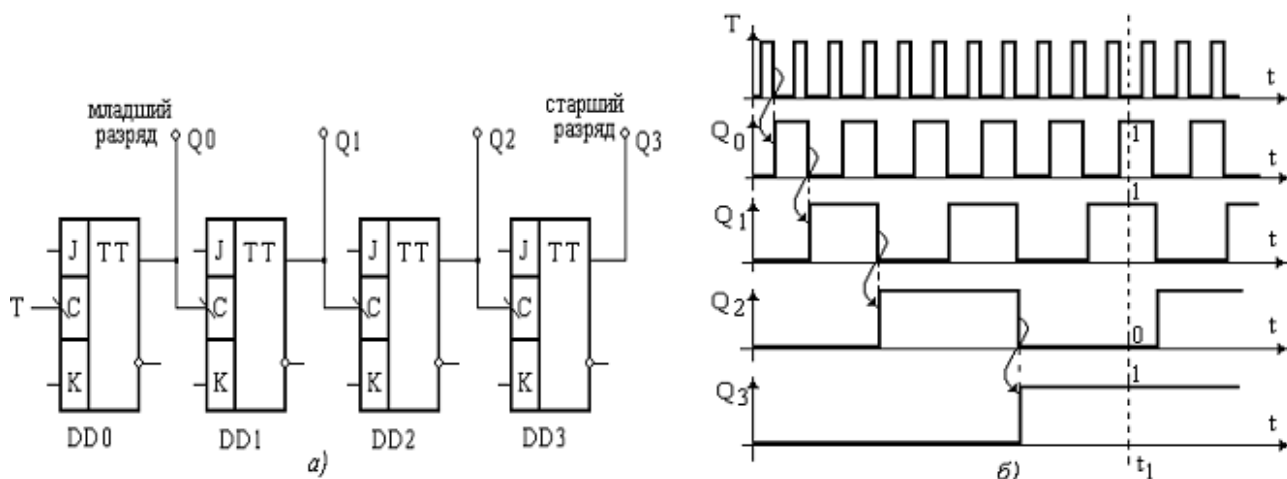


Рис.1.10. Асинхронный счетчик импульсов по основанию "2" (*а*) и осциллограммы напряжений на выходах счетчика (*б*)

Запись числа N производится по входу T в соответствии с соотношением

$$N = +b_3a^3 + b_2a^2 + b_1a^1 + b_0a^0,$$

где a – основание, по которому производится счет; b – коэффициенты при основаниях (код числа), они могут принимать значения $b = 0, 1, 2, \dots(a-1)$. Например, для счетчика по основанию "2" коэффициент b может принимать значения $b = 0; 1$. В таком случае, в момент времени t_1 (рис.1.10, *б*) записано число 11 (в десятичном коде), двоичный код этого числа равен 1011.

В современных сериях цифровых ИС триггеры представлены достаточно широко и разнообразно. Приведем описание работы наиболее популярных ИС триггеров 155 серии: К155ТМ2 и К155ТВ1.

ИС К155ТМ2 содержит два автономных синхронных *D*-триггера, имеющих общую цепь питания. Каждый из триггеров (рис. 2.1) имеет информационный вход D , вход синхронизации C , а также два инверсных асинхронных входа начальной установки S и R (т.е. активный уровень для них – низкий). Если на входы начальной установки одновременно подать сигналы низкого уровня, состояние триггера окажется неопределенным. Триггер устанавливается в состояние, определяемое сигналом на входе D , по положительному перепаду (фронту) синхрои импульса C . Переходы триггера представлены в табл. 1.6.

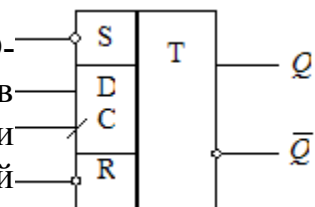


Рис. 2.1. ИС триггера К155ТМ2

Таблица 1.6

Режим работы	Входы				Выходы	
	S^k	R^k	C^k	D^k	Q^{k+1}	\bar{Q}^{k+1}
Асинхронная установка "1"	0	1	*	*	1	0
Асинхронная установка "0"	1	0	*	*	0	1
Неопределенность	0	0	*	*	1	1
Запись "1"	1	1	\uparrow	1	1	0
Запись "0"	1	1	\uparrow	0	0	1

Символ \uparrow означает фронт синхроимпульса

ИС K155ТВ1 (рис. 2.2) – универсальный JK-триггер со структурой M-S и, следовательно, тактируемый срезом синхроимпульса. Триггер имеет инверсные асинхронные входы начальной установки S и R . Каждый из информационных входов J и K снабжен трехходовым логическим элементом И (входная логика), поэтому у ИС три входа J ($J1$ - $J3$) и три входа K ($K1$ - $K3$).

Управление состоянием триггера происходит согласно табл. 7.

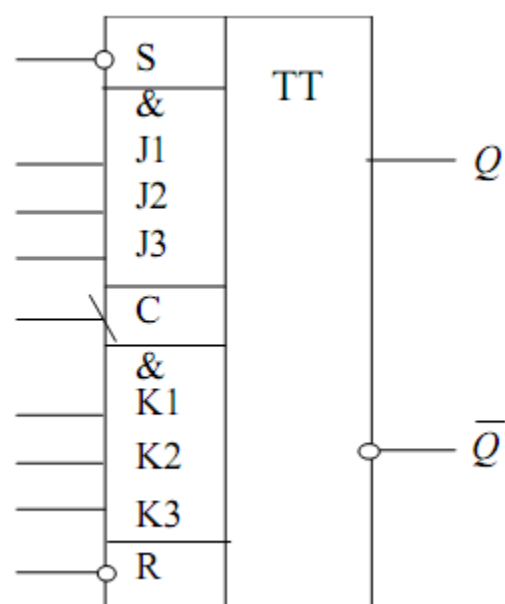


Рис. 2.2. ИС триггера K155ТВ1

Таблица 1.7

Режим работы	Входы					Выходы	
	S^k	R^k	C^k	J^k	K^k	Q^{k+1}	\bar{Q}^{k+1}
Асинхронная установка "1"	0	1	*	*	*	1	0
Асинхронная установка "0"	1	0	*	*	*	0	1
Неопределенность	0	0	*	*	*	-1	1
Переключение	1	1	∇	1	1	Q^k	Q^k
Запись "1"	1	1	∇	1	0	1	0
Запись "0"	1	1	∇	0	1	0	1
Хранение	1	1	∇	0	0	Q^k	\bar{Q}^k

Символ ∇ означает срез синхроимпульса.

Триггер Шмитта.

Триггер Шмитта (ТШ) – электронная схема (рис. 3.1, а), имеющая два устойчивых состояния и управляемая уровнем напряжения на единственном информационном входе. Передаточная характеристика ТШ представляет петлю гистерезиса (рис. 3.1, б) с двумя порогами (уровнями) входного напряжения, при которых происходит переключение триггера из одного состояния в другое. ТШ удобно собрать, используя два логических элемента (ЛЭ) – два инвертора.

Для понимания работы схемы важным является знание уровня напряжения на входе ЛЭ $D1$ ($U_{\text{вх}1} = U^*$), при котором одновременно оба ЛЭ оказываются в области активных характеристик. В этом случае делитель напряжения R_1, R_2 обеспечивает глубокую положительную обратную связь, приводящую к скачку токов (напряжений) в схеме. Если $U_{\text{вх}1} < U^*$ или $U_{\text{вх}1} > U^*$, то делитель R_1, R_2 не создает положительной обратной связи, а лишь обеспечивает устойчивое состояние $U_{\text{вых}2} = U^0$ или $U_{\text{вых}2} = U^1$.

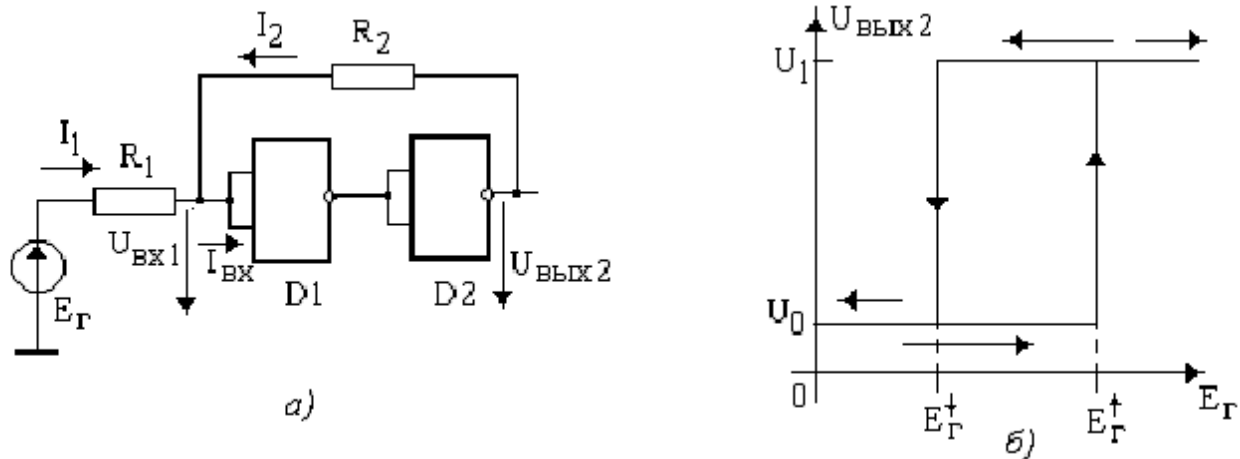


Рис. 3.1. Триггер Шмитта на ЛЭ (а) и его передаточная характеристика (б)

Рассмотрим подробнее: если уровень напряжения E_{Γ} имеет относительно низкую величину, то $U_{\text{вх}1} < U^*$, и выходное напряжение ТШ составляет $U_{\text{вых}2} = U^0$. Это состояние ТШ является устойчивым. При увеличении E_{Γ} возрастает напряжение $U_{\text{вх}1}$, и при достижении $E_{\Gamma} = E_{\Gamma}^{\uparrow}$ на входе ЛЭ $D1$ возникает напряжение $U_{\text{вх}1} = U^*$, что приводит к скачку напряжений в схеме. $U_{\text{вых}2}$ весьма быстро (скачком) изменяется от U^0 до U^1 . При этом $U_{\text{вх}1}$ благодаря делителю R_1, R_2 также скачком увеличивается до $U_{\text{вх}1} > U^*$, что и обеспечивает новое устойчивое состояние ТШ $U_{\text{вых}2} = U^1$.

Дальнейшее увеличение напряжения $E_{\Gamma} > E_{\Gamma}^{\uparrow}$ не приведет к изменению напряжения на выходе триггера. Снижение напряжения E_{Γ} приведет к "скачку" напряжения на выходе ТШ лишь при достижении величины $E_{\Gamma} \leq E_{\Gamma}^{\downarrow}$. При этом вновь на входе ЛЭ D1 будет выполняться условие $U_{\text{вх1}} = U^*$ и возникнет положительная обратная связь.

Длительность процесса опрокидывания триггера – "скачка" – определяется быстродействием ЛЭ и временем задержки сигнала при прохождении по петле обратной связи. В ряде случаев для ускорения процесса опрокидывания резистор R_2 шунтируют "ускоряющей" емкостью относительно небольшой величины. Обычно в ТШ на ЛЭ КМОП длительность скачка составляет 100 – 200 нс, а для ТШ на ЛЭ ТТЛ – 10 – 20 нс.

Как правило, величина резисторов R_1 и R_2 определяется нагрузочной способностью ЛЭ, а соотношение между резисторами выбирают исходя из обеспечения желательной величины $\Delta E_{\text{гис}}$.

Достаточность глубины положительной обратной связи для возникновения скачка определяется как

$$K_U \quad K_{\text{ос}} \geq 1,$$

где $K_U = K_{\text{илэ1}} \quad K_{\text{УЛэ2}}$, причем $K_{\text{УЛэ}}$ определяются из передаточных характеристик ЛЭ в активной области. Делитель в цепи обратной связи R_1, R_2 определяет $K_{\text{ос}} = R_1 / (R_1 + R_2)$, что справедливо для ЛЭ КМОП, когда входными токами ЛЭ можно пренебречь.

Работа ТШ на ЛЭ ТТЛ, по сути, не отличается от работы на ЛЭ КМОП. Однако необходимо учитывать особенности схем ТТЛ: существует значительный входной вытекающий ток ($I_{\text{вх}}^0$ до 1 мА) при $U_{\text{вх1}} = U^0$, который необходимо принимать во внимание при выборе резисторов и расчете порогов E_{Γ}^{\uparrow} и E_{Γ}^{\downarrow} . Значительная величина входного тока накладывает ограничение на максимальные величины резисторов R_1, R_2 так, чтобы $I_{\text{вх}}^0 (R_1 \parallel R_2) \ll 1,0$ В.

Триггер Шмидта часто используется для получения последовательности прямоугольных импульсов, частота повторения которых определяется частотой внешнего генератора синусоидальных колебаний (E_{Γ}). По сути, в данном случае он используется в качестве порогового или сравнивающего устройства.

На рис. 3.2 приведена электрическая схема для такого использования ТШ (а) и характерные осциллограммы (б).

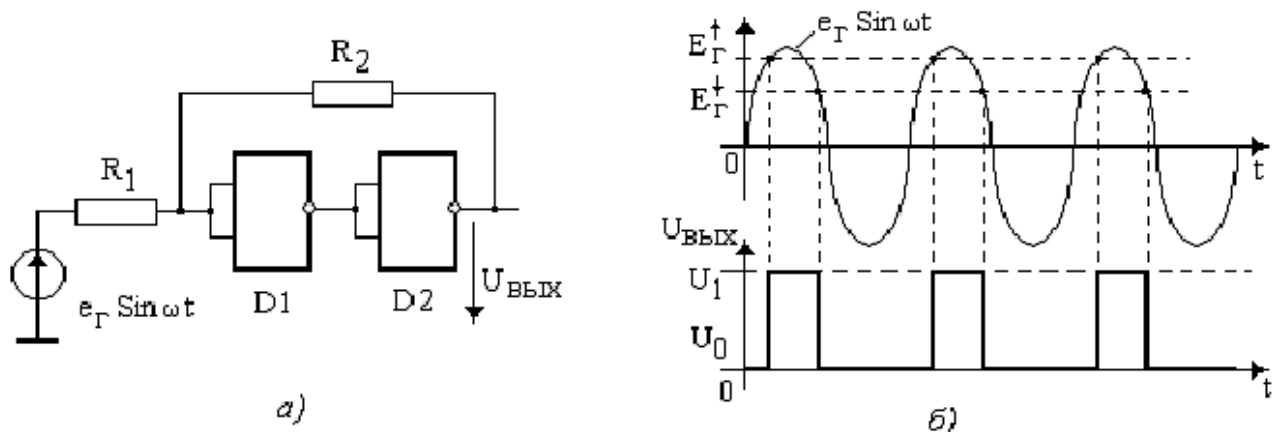


Рис.3.2.Использование схемы ТШ как генератора прямоугольных импульсов (а) и характерные осциллограммы (б)

Триггер Шмидта как и любая схема с глубокой положительной обратной связью обладает между определенными точками схемы участком вольт-амперной характеристики (ВАХ) с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Это удобно наблюдать на примере ТШ, выполненного на ЛЭ ТТЛ. Для этого собирается схема (рис. 3.3, а), где между точками "а" и "б" используется источник тока (I) вместо резистора R_2 . Величина тока контролируется и изменяется от нуля до некоторого значения. Одновременно контролируется напряжение $U_{аб}$.

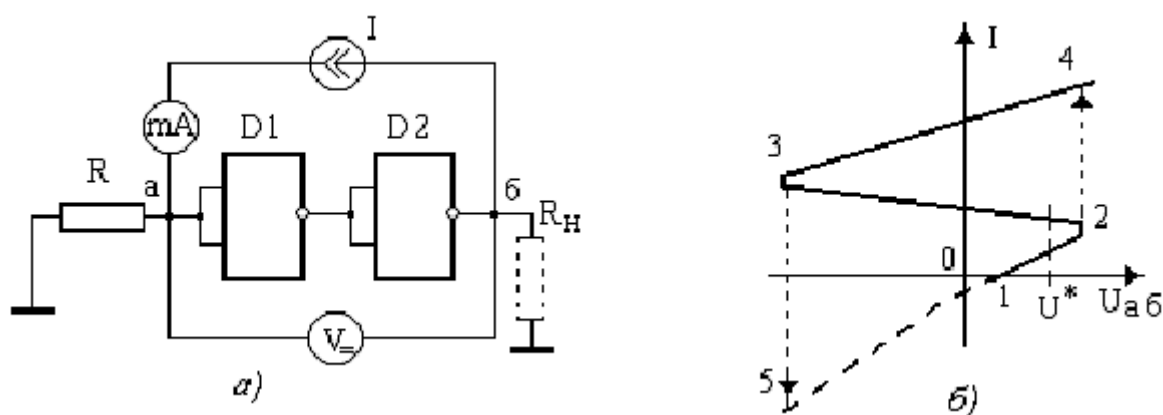


Рис. 3.3. Схема для измерения ВАХ между точками "а" и "б"(а) и ожидаемый вид ВАХ (б)

Ожидаемый вид ВАХ приведен на рис. 3.3, б. Здесь участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением (участок 2 – 3) соответствует наличию условий (токи, напряжения в схеме), при которых может существовать положительная обратная связь. Включение между точками "а" и "б" резистора R_2 приводит к обычной схеме ТШ (см. рис. 2.1), а включение

конденсатора C (рис. 3.4, *a*) приводит к схеме мультивибратора, поскольку емкость ведет себя как короткое замыкание для скачков токов в схеме (переходы 2 – 4 и 3 – 5 на рис. 3.3, *б*). Для предварительного вывода рабочей точки (ток I) на участок 2 – 3 требуется дополнительный стабильный источник ЭДС E_1 , что не совсем удобно. Чаще используется включение резистора R_1 между выходом и входом инвертора $D1$ (рис. 3.4, *б*), что при правильном выборе R_1 обеспечивает автоматический вывод рабочей точки на участок 2–3 в каждый полупериод колебаний. Эта схема полностью совпадает со стандартной схемой мультивибратора на двух ЛЭ-инверторах.

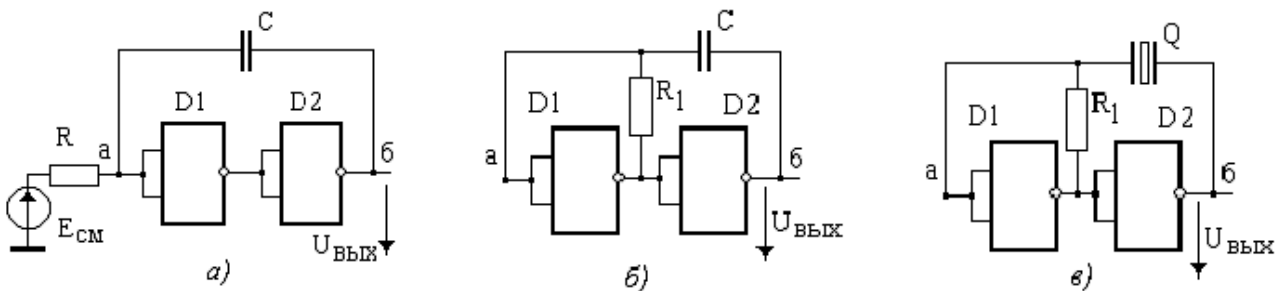


Рис. 3.4. Схемы мультивибраторов (*a*, *б*) и "кварцевого" генератора (*в*)

Если в такой схеме вместо емкости C между точками "а" и "б" включить кварцевый резонатор (рис. 3.4, *в*), то получится схема автогенератора колебаний, частота которого весьма стабильна и определяется частотой последовательного резонанса кварцевого резонатора. В данном случае "кварц" выступает как последовательный колебательный контур и имеет на частоте резонанса минимальное сопротивление.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Аппаратная часть. Приборы и оборудование.

Эксперимент выполняется на комбинированном лабораторном комплексе РТЦУЛ-11К, имеющим сопряжение с ПЭВМ. Все параметры эксперимента, установленные и измеренные значения параметров выводятся в соответствующие окна программы-оболочки для работы с установкой – LabVisual 2.5 и дублируются на ЖКД LCD дисплее учебной установки.

Эксперимент состоит из шести частей. При помощи кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ» «ВЫБОР», «ЗАПУСК», расположенных на передней панели лабораторного модуля имеется возможность выбрать необходимый опыт: 1) ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО RS-триггера 2) ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ СИНХРОННОГО RS-триггера 3) ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ JK-триггера 4) ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ D-триггера 5) ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ T-триггера 6) ТРИГГЕР ШМИТТА

Остановка эксперимента и выход в главное меню осуществляется с помощью кнопки «ESC» на передней панели лабораторного модуля либо кнопки «ГЛАВНОЕ МЕНЮ» в окне программы-оболочки LabVisual 2.5. Для надежного срабатывания кнопку необходимо удерживать нажатой в течение ~1 – 2 секунд.

Сигнальные светодиоды служат для индикации логического состояния входов и выходов каждой исследуемой микросхемы.

Учебная установка конструктивно состоит из БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ, имеющего выход к USB порту компьютера. Все элементы лабораторного модуля выполнены в виде единого блока и в процессе эксплуатации не требуют вмешательства пользователя.

Принципиальные электрические схемы экспериментов представлены на рис. 4.2 — 4.7.

Программная часть. Подготовка к работе.

Для сопряжения работы учебной установки с персональным компьютером используется специально разработанный протокол передачи данных LabVisual, разделяющий байты управления и байты данных. Для визуализации принятых данных служит программа-оболочка LabVisual для РТЦУЛ-11. Установка подключается к USB порту компьютера при помощи специального соединительного кабеля.

Программа LabVisual может успешно работать как на компьютерах под управлением ОС Windows так и на компьютерах под управлением ОС Linux при помощи эмулятора среды окружения VirtualBox. На прилагаемых дисках в соответствующих папках содержатся сборки программ для установки и работы в этих операционных системах.

Подробная инструкция по установке среды LabVisual 2.5 содержится в прилагаемом руководстве к программе.

В комплекте с лабораторной установкой поставляется ПЭВМ с предустановленным дистрибутивом среды LabVisual 2.5 и установленным и настроенным программным обеспечением (всё предустановленное программное обеспечение поставляется согласно лицензии GNU GPL v2 и является свободным и бесплатным, если не оговорено обратное; подробно см. п. 1.1 и пп. 4 — 5 Руководства к среде LabVisual 2.5).

После загрузки программной среды (~ 1 мин.) автоматически запуститься программа оболочка LabVisual для работы с экспериментальной установкой. Если программа не запустилась автоматически, на виртуальном рабочем столе следует дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на ярлык LabVisual. При этом должно открыться главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой (рис. 4.1). Программа LabVisual имеет интуитивно понятный, дружелюбный пользовательский интерфейс.

После включения лабораторной установки в сеть и до выполнения конфигурации USB-передатчика учебного прибора, устройство должно быть отключено от USB – порта ПК до соответствующего приглашения пользователя, высвечиваемого на LCD ЖКД дисплее:

Connecting

После появления данного сообщения на ЖКД LCD дисплее учебного прибора, можно подключить прибор к USB – порту ПК и однократно нажать кнопку «СТАРТ» в программе-оболочке LabVisual (кнопка используется для конфигурации устройства сразу после включения). При этом начнется процесс инициализации прибора. В противном случае, возможна некорректная работа USB протокола и работа устройства.



Рис. 4.1. Главное окно программы-оболочки LabVisual для работы с экспериментальной установкой РТЦУЛ-11К.

После соединения прибора с USB – портом ПК и выбора опыта, при запущенной среде LabVisual, необходимая подпрограмма для измерения должна запускаться автоматически. В зависимости от выбранного опыта внешний вид подпрограммы должен соответствовать рис. 4.2 – 4.7.

Для ознакомления с программой в отсутствии учебной установки, можно воспользоваться демонстрационным режимом. Для этого в главном окне программы, **при отключенном от USB-порта ПК приборе**, установите галочку «Демонстрационный режим» и нажмите на кнопку «Переключить». Появится меню, содержащие наименования экспериментов и позволяющее переключаться между ними для ознакомления с интерфейсом программы — оболочки.

Для выхода из демонстрационного режима, в главном окне программы снимите соответствующий флажок и нажмите кнопку «ПЕРЕКЛЮЧИТЬ».



Рис. 4.2. Эксперимент по изучению микросхемы асинхронного RS – триггера.

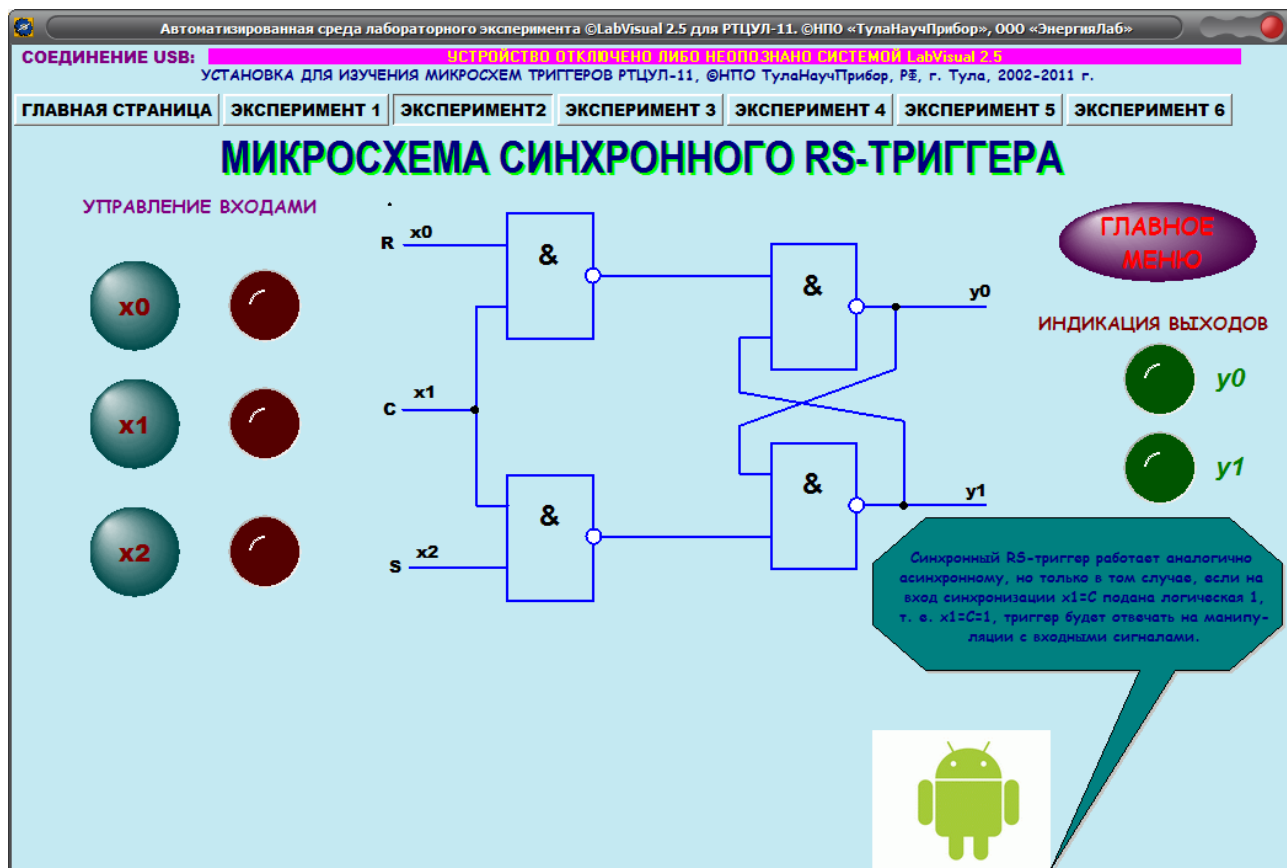


Рис. 4.3. Эксперимент по изучению микросхемы синхронного RS – триггера.

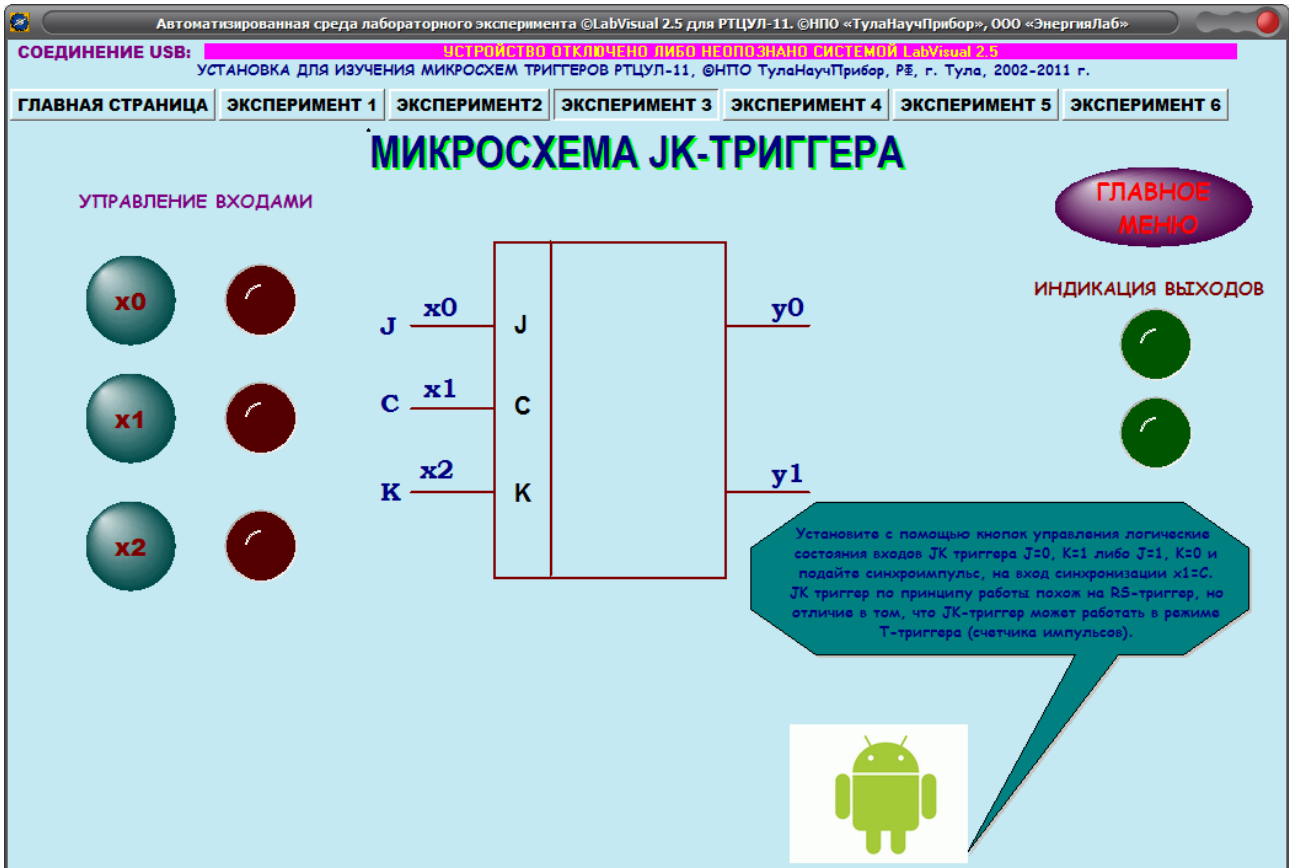


Рис. 4.4. Эксперимент по изучению микросхемы JK – триггера.

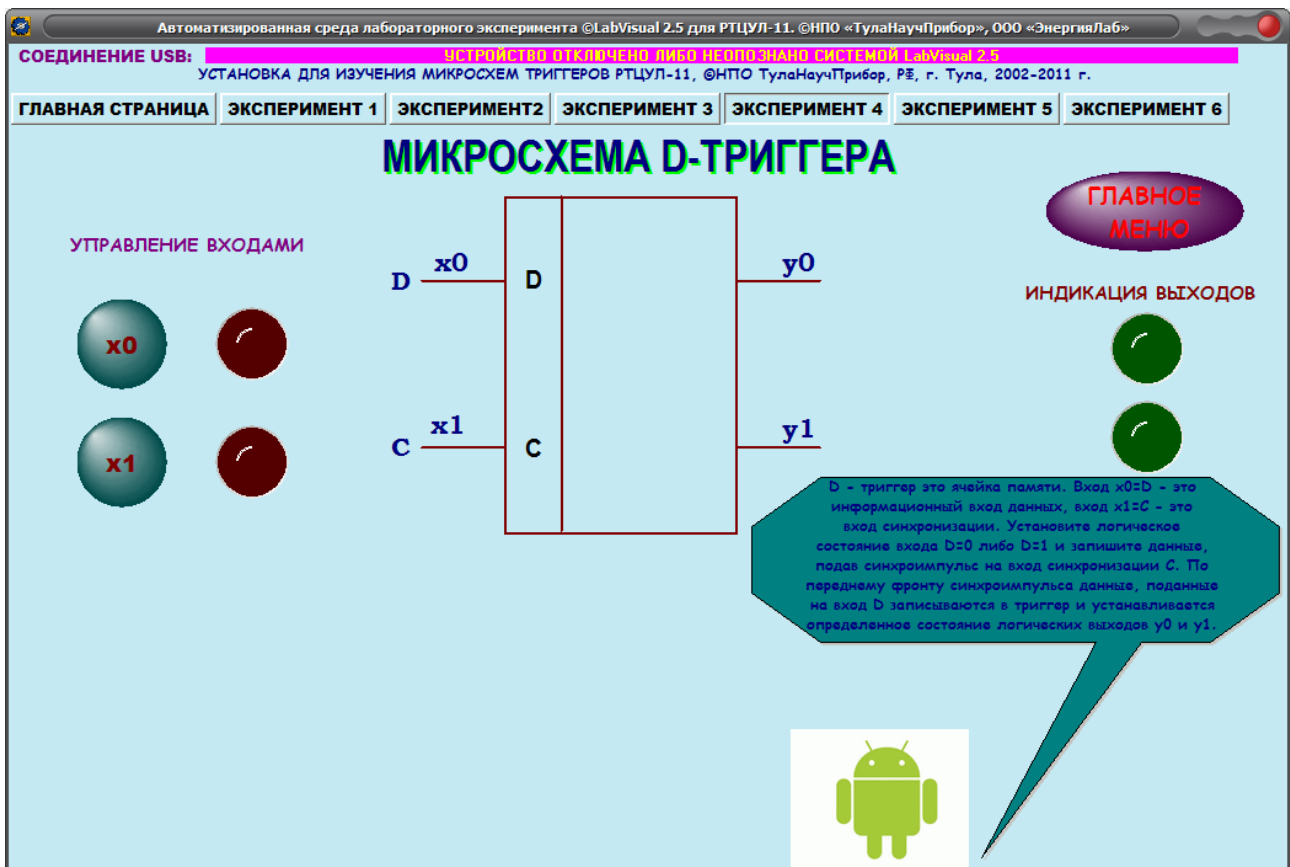


Рис. 4.5. Эксперимент по изучению микросхемы D – триггера.

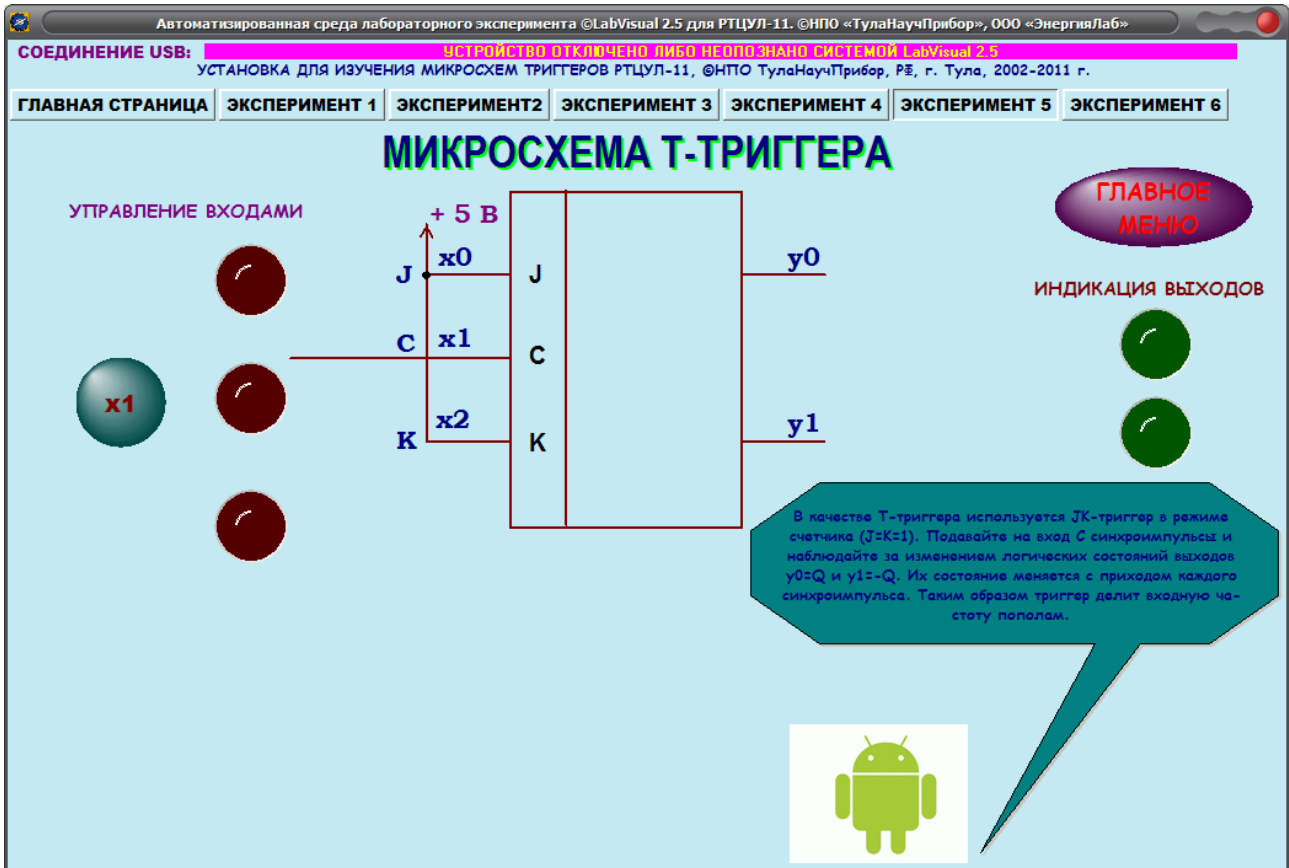


Рис. 4.6. Эксперимент по изучению микросхемы Т – триггера.



Рис. 4.7. Эксперимент по изучению микросхемы триггера Шмитта.

Демонстрационный режим доступен только в том случае, если прибор отключен от USB – порта ПК, в противном случае переключение режимов блокируется.

После запуска программы автоматически включается рабочий режим и ожидается подключение к USB-порту ПЭВМ.

В данной версии ПО, среда LabVisual позволяет управлять параметрами эксперимента и учебной установкой непосредственно из окна программы – оболочки рис. 4.2 — 4.7.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Все работы по подключению комплекса к компьютеру следует выполнять только при отключенных от сети приборах. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора. На данном шаге НЕ подключайте прибор к USB порту ПК.
2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.
3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.
4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно прилагаемому руководству к среде LabVisual.
5. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА.

6. Перед началом работы ознакомится с принципиальной схемой учебной установки, разобраться в назначении кнопок и измерительного прибора. Проверить целостность сетевого провода
7. Включить установку в сеть ~220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель «СЕТЬ» на панели учебного модуля в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».
8. Дождаться появления системного сообщения на ЖКД LCD дисплее прибора, о дальнейшем порядке действий:

Connecting

После появления данного сообщения на ЖКД LCD дисплее учебного прибора, можно подключить прибор к USB – порту ПК и однократно нажать кнопку «СТАРТ» в программе-оболочке LabVisual (кнопка используется для конфигурации устройства сразу после включения). При этом начнется процесс инициализации прибора. В противном случае, возможна некорректная работа USB протокола и работа устройства.

9. Дать установке прогреться в течение трех минут.
10. Приступить к эксперименту по изучению асинхронного RS – триггера. Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.2.
11. Установите с помощью кнопок управления логические состояния вхо-

дов RS-триггера $R=0, S=1$ либо $R=1, S=0$ и наблюдайте за логическим состоянием выходов $y_0=Q$ и $y_1=\bar{Q}$ (прямой и инверсный). Установив значение $R=0, S=0$, переведите триггер в режим хранения данных, при этом микросхема сохраняет ранее установленные логические состояния выходов, фактически являясь 1 бит ОЗУ.

12. Составить таблицу состояний данного триггера, при этом учесть запрещенные комбинации $R=1, S=1$.
13. По окончании эксперимента вернуться в главное меню, нажав кнопку «ESC» на передней панели лабораторного модуля либо кнопку «ГЛАВНОЕ МЕНЮ» в окне программы-оболочки LabVisual 2.5.
14. Приступить к эксперименту по изучению синхронного RS – триггера. Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.3.
15. Синхронный RS-триггер работает аналогично асинхронному, но только в том случае, если на вход синхронизации $x_1=C$ подана логическая 1, т. е. $x_1=C=1$, триггер будет отвечать на манипуляции с входными сигналами.
16. Составить таблицу состояний данного триггера, при этом учесть запрещенные комбинации $R=1, S=1$.
17. Вернуться в главное меню и приступить к эксперименту по изучению синхронного JK – триггера. Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.4.
18. Установите с помощью кнопок управления логические состояния входов JK триггера $J=0, K=1$ либо $J=1, K=0$ и подайте синхроимпульс, на вход синхронизации $x_1=C$. JK триггер по принципу работы похож на RS-триггер, но отличие в том, что JK-триггер может работать в режиме T-триггера (счетчика импульсов). Составьте таблицу состояний данного триггера.
19. Вернуться в главное меню и приступить к эксперименту по изучению синхронного D – триггера. Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.5.
20. D - триггер это ячейка памяти. Вход $x_0=D$ — это информационный

вход данных, вход $x_1=C$ — это вход синхронизации. Установите логическое состояние входа $D=0$ либо $D=1$ и запишите данные, подав синхроимпульс на вход синхронизации C . По переднему фронту синхроимпульса данные, поданные на вход D записываются в триггер и устанавливается определенное состояние логических выходов y_0 и y_1 . Составьте таблицу состояний данного триггера.

21. Вернуться в главное меню и приступить к эксперименту по изучению синхронного Т – триггера (счетчик). Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.6.
22. В качестве Т-триггера используется JK-триггер в режиме счетчика ($J=K=1$). Подавайте на вход C синхроимпульсы и наблюдайте за изменением логических состояний выходов $y_0=Q$ и $y_1=-Q$. Их состояние меняется с приходом каждого синхроимпульса. Таким образом триггер делит входную частоту пополам.
23. Вернуться в главное меню и приступить к эксперименту по изучению синхронного Триггера Шмитта. Для этого нажать на кнопку управления «РЕЖИМ РАБОТЫ. ВЫБОР» либо на соответствующую кнопку в главном окне программы LabVisual на экране ПК, выбрать необходимый эксперимент и нажать кнопку «РЕЖИМ РАБОТЫ. ЗАПУСК». При этом должна автоматически запуститься соответствующая подпрограмма для данного эксперимента рис. 4.7.
24. Триггер Шмитта имеет "полуаналоговый" гистерезисный вход. Подавайте с источника питания, используя ручку $U_{вх}$, напряжение в пределах $0 \dots 5$ В. Медленно и очень плавно вращая ручку $U_{вх}$ сначала по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки, наблюдайте кривую гистерезисного типа. Наблюдая за изменением логического состояния выхода y_0 ($y_0=0$ либо $y_0=1$) в зависимости от напряжения на входе, построить график зависимости логического состояния y_0 от входного напряжения $U_{вх}$ (передаточная характеристика) Начальное положение ручки $U_{вх}$ - повернута до упора против часовой стрелки. График должен иметь вид, аналогичный рис. 3.1 б).
25. По окончании работы следует закрыть программу-оболочку LabVisual и все открытые подпрограммы, закрыть виртуальную среду VirtualBox (при работе в среде Linux).
26. Выключить компьютер, нажав на кнопку, находящуюся в крайнем нижнем левом углу экрана. Из доступных действий выбрать «ВЫХОД»--> «ВЫКЛЮЧИТЬ КОМПЬЮТЕР».
27. Отключить установку от сети, поставив переключатели «СЕТЬ» на панели установки в положение «выкл» и вынуть сетевые вилки из розеток.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Ефимов И. Е., Козырь И. Я.** Основы микроэлектроники — М-Связь, 1975. — 272 с.
2. **Справочник** по интегральным микросхемам/ Под ред. Б В Та-рабрина. 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергия, 1980. — 816 с
3. **Банк М. У.** Аналоговые интегральные схемы в радиоаппаратуре. — М.: Радио и связь, 1981. — 136 с.
4. **Полевые** транзисторы и интегральные микросхемы. Технический каталог. — М.: ЦНИИ «Электроника», 1975. — 112 с.
5. **Батушев В. А.** Электронные приборы. 2-е изд. перераб и доп — М.: Высшая школа, 1980. — 383 с.
6. **Бедрековский М. А., Волга В. В., Кручинкин Н. С.** Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. — 94 с.
7. **Бедрековский М. А., Кручинкин Н. С., Подолян В. А.** Микропроцессоры. — М.: Радио и связь, 1981. — 72 с.
8. **Микропроцессорные БИС и микро-ЭВМ/** Под ред. А. А. Васен-кова. — М.: Сов. радио, 1980. — 280 с.
9. **Микро-ЭВМ «Электроника С-5» и их применение/** Под ред. В. М. Пролейко. — М.: Сов. радио, 1980. — 160 с.
10. **Микросхемы** и их применение. — М.: Энергия, 1978. — 248 с.
11. **Огнев И. В., Шамаев Ю. М.** Проектирование запоминающих устройств. — М.: Высшая школа, 1979. — 320 с.
12. **Прангишвили И. В.** Микропроцессоры и микро-ЭВМ. — М.: Энергия, 1979. — 232 с.
13. **Степаненко И. П.** Основы микроэлектроники. — М.: Сов. радио, 1980. — 424 с.
14. **Проектирование** мнкроэлектронных цифровых устройств/ Под ред. С. А. Майорова. — М.: Сов. радио, 1977. — 272 с.
15. **Кузнецов В.** и др. Развитие микро-ЭВМ семейства «Электроника С-5» и систем на их основе. — Электронная промышленность, 1979, № И, 12, с. 9 — 12.

ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»