

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

*А. В. Медведев, Л. Б. Люкумович, И. Л. Косухин*

# ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ

Исследование с использованием платформы  
NI ELVIS II

Учебное пособие

Санкт-Петербург  
2020

*Медведев А. В., Лиокумович Л. Б., Косухин И. Л. Элементы цифровой схемотехники. Исследование с использованием платформы NI ELVIS II / А. В. Медведев, Л. Б. Лиокумович, И. Л. Косухин. – СПб., 2020. – 22 с.*

Пособие соответствует образовательному стандарту высшего образования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по направлениям подготовки бакалавров и магистров «Радиотехника» (11.03.01 и 11.04.01), «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (11.03.02 и 11.04.02), «Электроника и нанoeлектроника» (11.03.04 и 11.04.04).

Рассматривается работа простейших логических элементов 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ и исключающее ИЛИ, RS-триггеров, собранных на их основе, а также интегральных триггеров, счетчиков, дешифраторов и других логических схем. С использованием виртуальных измерительных приборов, входящих в стандартный комплект измерительной платформы NI ELVIS II, на примере микросхем ТТЛ серии изучаются методы измерения входных и выходных напряжений, соответствующих уровням логического нуля и единицы, таблиц истинности и временных диаграмм, описывающих работу схем.

Материал учебного пособия также может быть полезен бакалаврам и магистрам направлений подготовки 16.03.01 «Техническая физика» по курсам, связанным с изучением современных методов автоматизации физического эксперимента, совершенствованием экспериментальных методов исследования физических процессов и явлений.

## Введение

Целью данной лабораторной работы является исследование простейших логических схем, реализованных с использованием микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ).

Для успешного выполнения работы обязательна предварительная подготовка, в ходе которой необходимо ознакомиться с особенностями строения и применения логических микросхем ТТЛ, изучить принципы работы, таблицы истинности и таблицы переходов базовых логических элементов, триггеров, счетчиков, дешифраторов и других цифровых схем малой степени интеграции.

В процессе выполнения работы в лаборатории студенты учатся собирать простейшие цифровые электронные устройства и измерять их характеристики применяя измерительный комплекс на основе платформы ELVIS II компании National Instruments.

После завершения измерений студенты оформляют отчет о проделанной работе, в котором приводятся используемые справочные данные, режимы измерений и полученные результаты, а также их анализ.

Пункты программы работы (абзацы, начинающие новый пункт отмечены буквами «а)», «б)», «в)» ...) необходимо выполнять последовательно, четко соблюдая указанные требования. Перед выполнением очередного пункта программы работы, следует внимательно прочитать этот пункт до конца. В ходе измерений получаемые результаты заносятся в протокол, а также сохраняются в виде файлов с изображением показаний панелей виртуальных приборов и файлов с измеренными числовыми данными. Часть пунктов программы работы целесообразно выполнять в ходе подготовки отчета, поэтому при выполнении измерений в лаборатории их рекомендуется пропустить (такие пункты отмечены пояснением "ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА").

Программа работы составлена с учетом того, что студенты предварительно должны быть ознакомлены с общими принципами функционирования платформы ELVIS II, структурой панелей макетной платы и основами использования линейки стандартных виртуальных приборов National Instruments для измерений с платформой ELVIS II.

При выполнении работы в лаборатории нужно строго соблюдать правила техники безопасности.

Запрещается запускать на компьютере какие-либо программы и открывать какие-либо папки, кроме указанных в описании лабораторной работы (или с разрешения преподавателя).

При сомнении в корректности работы аппаратуры, правильности получаемых результатов, при появлении окон с сообщениями и предупреждениями о проблемах работы компьютера и ПО, предупреждений антивирусных программ и т.п. ситуаций следует незамедлительно обратиться к преподавателю. При этом, при появлении окон виртуальных приборов

платформы ELVIS с сообщениями и предупреждениями, следует внимательно прочитать сообщения, проверить, включено ли питание макетной платы ELVIS II, перезапустить программы виртуальных приборов, исключив при этом одновременный запуск несовместимых между собой приборов. В случае появления повторных сообщений об ошибках необходимо выключить питание макетной платы и обратиться за помощью к преподавателю.

**Обязательным условием допуска студентов к выполнению работы** является предварительная подготовка, которая выполняется самостоятельно до начала занятий. Каждый студент должен быть готов представить результаты подготовки в форме конспекта (требования к содержанию конспекта более подробно описаны в разделе 1) и сделать краткое сообщение по изученному материалу.

# Раздел 1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА

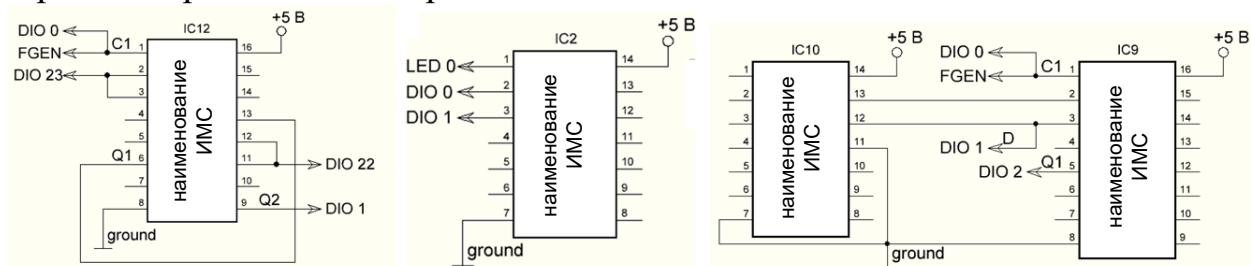
## 1.1. Общие замечания по подготовке к работе

Для подготовки к работе необходимо пользоваться справочной литературой и учебными пособиями, рекомендованными студентам при изучении курсов по цифровой электронике. В случае использования в качестве источника справочной информации материалов, представленных в сети Интернет, рекомендуется их тщательно проверять и сравнивать значения, полученные из различных источников.

Следует иметь в виду, что в литературе часто приводятся принципиальные схемы, на которых для упрощения не показаны цепи питания и общие шины. При этом подразумевается обязательное подключение выводов питания и общих выводов всех микросхем к соответствующим выводам макетной платы.

В ходе предварительной подготовки необходимо выполнить следующее.

1. Изучить особенности базовых логических элементов ТТЛ логики, их передаточные характеристики, значения входных и выходных напряжений, соответствующие уровням логического нуля и единицы, особенности подачи входных сигналов и подключения выходов различного типа.
2. Изучить материалы по принципам работы виртуальных измерительных приборов, используемых для управления аппаратными средствами NI ELVIS II в настоящей работе, уметь выбрать необходимые режимы и задавать параметры измерений.
3. Найти в справочной литературе конкретные логические микросхемы, которые будут исследоваться в ходе работы (перечень указан ниже), выписать их ключевые параметры и цоколевку.
4. Записать в конспект стандартные таблицы истинности базовых логических элементов, таблицы/графы переходов для последовательностных элементов, зарисовать временные зависимости сигналов, иллюстрирующие работу используемых в работе логических микросхем и рассматриваемых в работе устройств.
5. Нарисовать полные принципиальные схемы, для *каждого* пункта программы работы, в котором предусмотрено установка на монтажной плате той или иной микросхемы (микросхем) с коммутацией выводов и подачей сигналов для изучения работы электронного устройства. На схемах указать обозначения и номера выводов микросхем, подключение всех выводов, в том числе указав подключение цепей питания. Ниже приведены возможные варианты представления принципиальных схем:



Кроме того, желательно для каждой из схем представить также логическую диаграмму, на которой показаны задействованные логические элементы, и соединения между ними и подключения к внешним устройствам на макетной плате, а на выводах логических элементов должны быть указаны номера выводов микросхемы (в случае, если задействована не одна микросхема – на логической диаграмме нужно сгруппировать элементы так, чтобы можно было выделить группы элементов, относящиеся к той или иной микросхеме).

Для каждой составленной схемы (с логической диаграммой) должно быть пояснено использование входов/выходов DIO, приведенные на схеме (какие входы/выходы DIO выбираются как выходы цифрового источника – ВП digital writer или как входы индикатора – ВП digital reader). Функциональные входы и выходы собираемых и исследуемых электронных устройств следует обозначить соответствующими символами (S, R, Q<sub>i</sub>, C, D и т.д.). Студент должен уметь четко объяснить, как составлена такая схема, почему выводы соединены указанным образом, как и посредством какого ВП подаются сигналы на входы микросхемы, каким образом и посредством каких ВП и элементов будут контролироваться логические уровни сигнала на выходе микросхем.

### ***1.2. Используемые при измерениях виртуальные приборы***

В настоящей работе используются следующие виртуальные приборы, запускаемые из программы *NI ELVISmx Instrument Launcher*:

- Генератор стандартных сигналов (Function Generator), [1, стр. 17-21];
- Осциллограф (Oscilloscope) [1, стр. 80-86];
- Мультиметр (Digital Multimeter) [1, стр. 7-16];
- Регулируемый источник питания (Variable power supply), [1, стр. 25-26];
- Цифровой ввод / Цифровой вывод (Digital Reader / Digital Writer) [1, стр. 69-73].
- Прибор для наблюдения цифровых сигналов (Digital Waveform Viewer), см. Приложение 1.

### ***1.3. Используемые микросхемы и их подключение***

В работе используются следующие микросхемы ТТЛ серии К155 или ТТЛШ серии К531 (м. б. аналоги из серий КМ155, К1555, К1531 и др.):

- К155ЛА3 – четыре элемента 2И-НЕ;
- К155ЛЕ1 – четыре элемента 2ИЛИ-НЕ;
- К155ЛП5 – четыре двухвходовых элемента исключающее ИЛИ;
- К155ТВ1 – JK-триггер с логическими элементами 3И на входах J и K;
- К155ТВ15 или К531ТВ9 – сдвоенный JK-триггер;
- К155ИЕ6 – двоично-десятичный четырехразрядный счетчик;
- К155ИД10 – дешифратор на 10 выходов с открытым коллектором;
- К155СП1 – схема сравнения двух четырехразрядных двоичных чисел.

Все микросхемы припаяны на печатные платы, каждая из которых имеет два ряда жестких выводов с шагом 2.5 мм для установки на макетную плату NI ELVIS II.

Прежде чем проводить измерения необходимо идентифицировать микросхемы, входящие в состав лабораторного комплекта, и определить расположение и назначение выводов. Все используемые в данной работе микросхемы конструктивно выполнены в корпусах DIP 14 (рис. 1, а) или DIP 16 (рис. 1, б), имеющие, соответственно, по 14 или по 16 выводов. На корпусах микросхем имеется «ключ» в виде выемки, расположенный около первого вывода (как на рис. 1, а) микросхемы или со стороны первого и последнего выводов (как на рис. 1, б). Выводы необходимо отсчитывать против часовой стрелки, начиная от первого, смотря на микросхему сверху. Номера крайних выводов также подписаны на печатной плате.

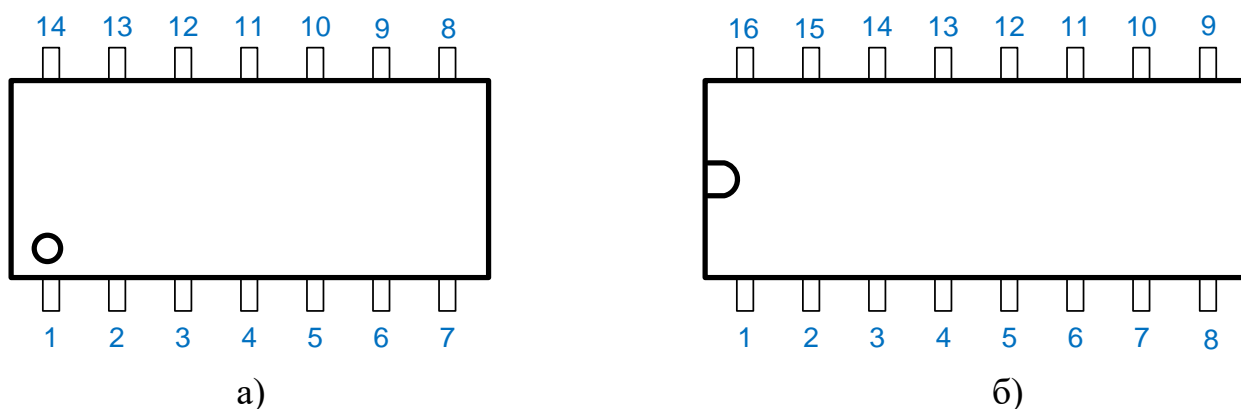


Рис. 1. Расположение выводов интегральных микросхем в корпусе DIP.

При установке микросхем на макетной плате их следует располагать по возможности ближе к правому краю платы. Это позволит уменьшить длину проводников, соединяющих выводы микросхем, с используемыми входами/выходами DIO 0 – DIO 23 и LED 0 – LED 7 платы расширения платформы ELVIS.

Для подключения к цепям питания и общему проводу можно использовать контакты +5V и GROUND, расположенные в правом нижнем углу макетной платы. При сборке сложных схем, содержащих несколько микросхем, удобно подключить питание к вертикально соединенным отверстиям макетной платы, отмеченным красной полоской и знаком «+», общий провод подключить к аналогичной полоске, отмеченной синей линией и знаком «-», а уже к ним при помощи проводников подключать соответствующие выводы микросхем, резисторов и других элементов схемы.

Для подачи **уровня логического нуля** можно подключить вход микросхемы ТТЛ к общему проводу или **использовать прибор цифрового вывода Digital Writer**.

Для подачи **уровня логической единицы** можно подключить вход микросхемы ТТЛ к цепи питания +5 В через резистор сопротивлением

1 – 2 кОм (до 10 – 20 входов к одному резистору) или **использовать прибор цифрового вывода Digital Writer**.

Для регистрации логического уровня на выводе микросхемы следует **использовать прибор Digital Reader** или подключить анализируемый сигнал к одному из входов светодиодов LED 0 – LED 7. Катоды светодиодов подключены к общему проводу платы, а аноды – к выводам через добавочные резисторы 220 Ом, что позволяет непосредственно подавать сигналы с выходов микросхем ТТЛ на входы LED 0 – LED 7 и свечение светодиода сигнализирует о наличии уровня логической единицы. Можно одновременно использовать оба варианта индикации выходного сигнала.

Перед установкой микросхем на макетную плату, сборкой любой схемы и внесением в неё изменений необходимо выключать питание макетной платы выключателем, расположенным в правом верхнем углу рабочей станции NI ELVIS II. Включать питание можно только после подключения всех используемых входов микросхем, полной сборки схемы и ее проверки.

**Особое внимание** при сборке схем следует обращать на **правильность подачи напряжения питания** на выводы микросхемы.

У используемых в работе микросхем в корпусе DIP 14:

- к общему проводу подключается вывод 7,
- к шине питания +5 В подключается вывод 14.

У микросхем в корпусе DIP 16:

- к общему проводу подключается вывод 8,
- к шине питания +5 В подключается вывод 16.

### **Рекомендация.**

Перед началом сборки схем на универсальной макетной плате платформы ELVIS II, рекомендуется выполнить следующее:

- подключить к общему проводу вертикальную линейку контактов макетной платы (отмеченную синим цветом), находящуюся слева от предполагаемой области установки микросхем;
- подключить к шине питания вертикальную линейку контактов макетной платы (отмеченную красным цветом), находящуюся справа от предполагаемой области установки микросхем;

При установке колодки с микросхемами на монтажную плату:

- устанавливать микросхему, так, чтобы ключ был направлен вверх;
- после установки колодки с микросхемой следует сразу подключить микросхему к общему проводу и питанию +5 В, задействовав указанные выше вертикальные контактные линейки универсальной макетной платы платформы ELVIS II, и внимательно проверить правильность данного подключения. После этого можно приступать к подключению других выводов микросхемы в соответствии с заранее подготовленной схемой.



## Раздел 2. ПРОГРАММА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 2.1. Изучение работы логических элементов

Для изучения работы простейших логических элементов (вентилей) И-НЕ, ИЛИ-НЕ и исключающее ИЛИ используются микросхемы К155ЛА3, К155ЛЕ1 и К155ЛП5 (КМ155ЛП5), содержащие по четыре базовых логических элемента. Схемы соответствия выводов вентиляей и выводов микросхем приведены на рисунке 2.

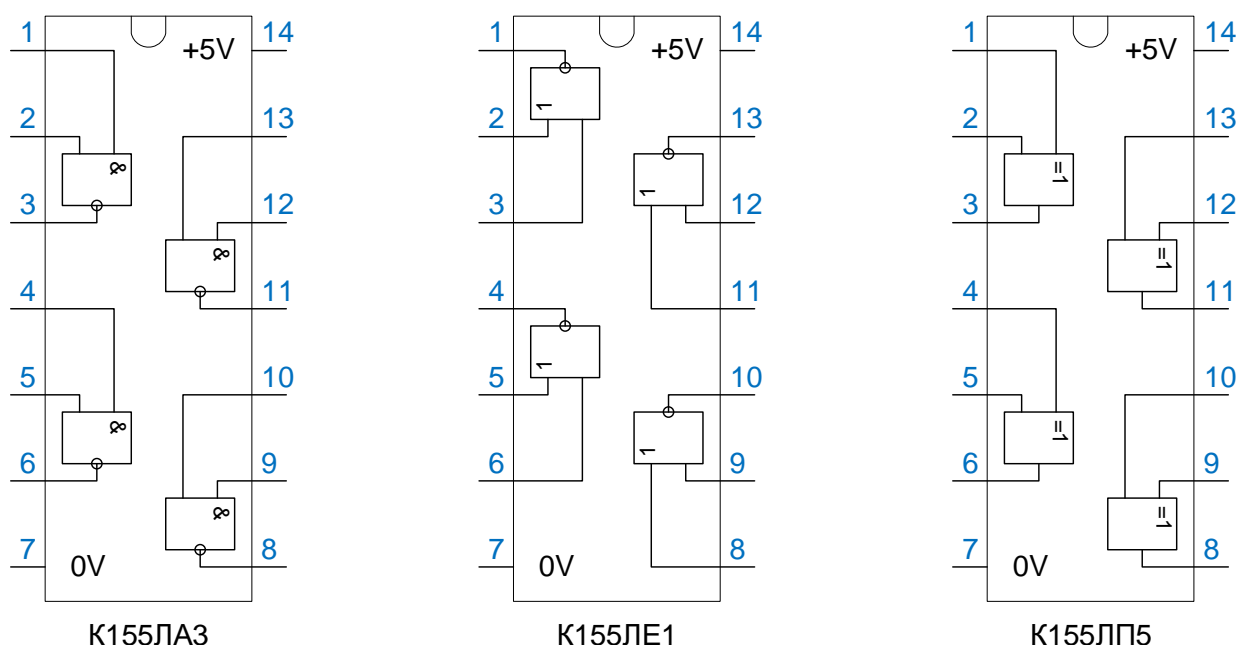


Рис. 2. Микросхемы К155(КМ155) ЛА3, ЛЕ1, ЛП5.

#### а) Сборка схемы для изучения работы элемента И-НЕ

Установите на макетной плате микросхему с элементами И-НЕ, подключите выводы питания.

Подсоедините входы элемента И-НЕ (любого) к выходам прибора Digital Writer.

Подсоедините выход выбранного элемента И-НЕ к входу прибора Digital Reader или к одному из входов светодиодов LED 0 – LED 7 (можно одновременно использовать оба варианта индикации).

Для оперативной сборки схемы следует руководствоваться принципиальной схемой, начерченной в ходе предварительной подготовки (см. раздел 1).

#### б) Определения правил работы вентиля И-НЕ

Подавая все возможные комбинации логических нулей и единиц на входы выбранного вентиля И-НЕ зафиксируйте соответствующие логические значения на выходе вентиля. Так же зафиксируйте значение выходного сигнала в случаях, когда один или оба входа логического элемента не подключены ни к какому источнику сигнала.

Результаты указанных измерений запишите в протокол, заполнив соответствующий столбец Таблицы 1.

#### в) Изучение работы вентиляей ИЛИ-НЕ

Повторите действия, указанные в п. а) и б) для вентиля ИЛИ-НЕ, выбрав соответствующую микросхему.

г) Изучение работы вентиляй исключающее ИЛИ

Повторите действия, указанные в п. а) и б) для вентиля исключающее ИЛИ, выбрав соответствующую микросхему.

д) ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА. Проанализируйте полученные результаты.

Полученные в ходе измерений данные сравните с таблицей истинности логического элемента И-НЕ, ИЛИ-НЕ, исключающее ИЛИ.

Исходя из полученных результатов измерений, определите, как данные микросхемы интерпретируют информационный уровень входного сигнала в том случае, когда вход ни к чему не подключен.

Таблица 1

Уровни, подаваемые на входы		Уровни, наблюдаемые на выходе		
$x_2$	$x_1$	Вентиль МС K155ЛА3	Вентиль МС K155ЛЕ1	Вентиль МС K155ЛП5
0	0			
0	1			
1	0			
1	1			
0	не подключен			
1	не подключен			
не подключен	0			
не подключен	1			
не подключен	не подключен			

**2.2. Определение напряжений, соответствующих уровню нуля и единицы на входах и выходах логических элементов**

а) Сборка схемы с элементом 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ или исключающее ИЛИ.

Установите микросхему на макетной плате и подключите выводы питания.

Подсоедините один вход выбранного элемента к выходу ВП Digital Writer и подайте на него уровень логического нуля или единицы в зависимости от типа выбранного элемента. Уровень на этом входе должен быть таким, чтобы элемент переключался при изменении уровня на другом входе.

Подсоедините второй вход этого элемента к положительному выходу ВП VPS (Variable Power Supplies) и к входу “V” ВП DMM (Digital Multimeter). Второй вход “COM” DMM подключите к общей шине GROUND. Включите DMM в режим измерения постоянного напряжения “V=”. Для подключения к входам ВП DMM используйте проводники с разъемами BANANA, соединив ими входы DMM и разъемы BANANA макетной платы.

Подсоедините выход выбранного логического элемента к входу прибора Digital Reader.

**Перед включением** схемы установите на выходе регулируемого источника питания напряжение 0 В. Напряжение изменяйте в пределах от 0 до +5 В. Подача на вход логического элемента напряжения выше +5 В может привести к выходу его из строя!

б) Определение порогов срабатывания логического вентиля

Меняя напряжение на выходе ВП VPS и наблюдая за уровнем выходного сигнала выбранного логического элемента (по индикации ВП Digital Reader), определите напряжения на входе элемента  $U_{\text{вх}}^{(01)}$  и  $U_{\text{вх}}^{(10)}$ , при котором выходное значение переходит вверх (меняется с 0 на 1) и вниз (меняется с 1 на 0). Результаты запишите в протокол, заполнив соответствующие ячейки таблицы 2.

**в) Определение выходных напряжений логического элемента без нагрузки**

Подключите вход “V” ВП DMM к выходу исследуемого логического элемента, отключив этот выход от всех других устройств. К входам элемента подключите выводы ВП Digital Writer. Измерьте значения выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  и  $U_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$  при выходных уровнях 1 и 0, соответственно, подавая на вход логического элемента сигналы логического нуля или единицы. Результаты запишите в протокол, заполнив соответствующие ячейки таблицы 2.

**г) Определение выходных напряжений логического элемента с нагрузкой**

Подключите к выходу исследуемого логического элемента вход ВП Digital Reader. Меняя значения сигналов на входах логического элемента, зафиксируйте, значения выходного напряжения  $U'_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$  и  $U'_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  при выходном уровне 0 и 1.

Подключите к выходу логического элемента один из светодиодов LED 0 – LED 7. Меняя значения сигналов на входах логического элемента, зафиксируйте, значения выходного напряжения  $U''_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$  и  $U''_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  при выходном уровне 0 и 1.

Результаты запишите в протокол, заполнив соответствующие ячейки таблицы 2.

Таблица 2

	МС К155ЛА3	МС К155ЛЕ1	МС К155ЛП5
Переключение из 0 в 1	$U_{\text{ВХ}}^{(01)}$	$U_{\text{ВХ}}^{(01)}$	$U_{\text{ВХ}}^{(01)}$
Переключение из 1 в 0	$U_{\text{ВХ}}^{(10)}$	$U_{\text{ВХ}}^{(10)}$	$U_{\text{ВХ}}^{(10)}$
На выходе уровень 1, без нагрузки	$U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$
На выходе уровень 0, без нагрузки	$U_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$
На выходе уровень 1, вход Digital Reader	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$
На выходе уровень 0, вход Digital Reader	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U'_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$
На выходе уровень 1, LED	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$
На выходе уровень 0, LED	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$	$U''_{\text{ВЫХ}}^{(0)}$

**е) ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА.** Проанализируйте полученные результаты и ответьте на вопросы.

Обладает ли передаточная функция вентиля гистерезисом?

Как соотносятся порог (пороги) срабатывания с уровнями нуля и единицы?

Являются ли измеренные значения  $U_{\text{ВХ}}$  и  $U_{\text{ВЫХ}}$  примерно одинаковыми для разных микросхем и важен ли этот факт?

Отличаются ли напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$ ,  $U'_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  и  $U''_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  и почему?

Какой минимальный уровень  $U_{\text{ВЫХ}}^{(1)}$  можно считать допустимым и почему?

Чему равны паспортные напряжения логического нуля и единицы для микросхем серии К155?

Чему равна нагрузочная способность исследованных в работе логических микросхем?

### 2.3. Изучение работы простейших схем RS-триггера

В данной части изучаются простейшие варианты схемы RS-триггера, представленные на рисунке 3. Схема на рисунке 3 слева соответствует обычному варианту RS-триггера (с прямыми входами), которая собирается с использованием вентилях микросхемы K155ЛЕ1. Схема на рисунке 3 справа соответствует варианту RS-триггера с инверсными входами и собирается на вентилях микросхемы K155ЛА3.

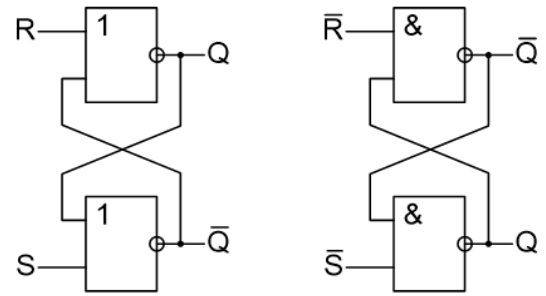


Рис. 3. Схемы RS-триггеров на элементах 2ИЛИ-НЕ и 2И-НЕ.

#### а) Сборка схемы RS-триггера.

Используя логические элементы ИЛИ-НЕ, входящие в состав микросхем K155ЛЕ1 соберите RS-триггер (схема на рис. 3 слева). Подсоедините входы триггера к прибору Digital Writer. Подсоедините выходы триггера ко входам прибора Digital Reader или к одному из входов светодиодов LED 0 – LED 7 (можно одновременно использовать оба варианта индикации). Для оперативной сборки схемы следует руководствоваться принципиальной схемой, начерченной согласно рис. 3 и цоколевке микросхемы K155ЛА3 в ходе предварительной подготовки (см. раздел 1).

#### б) Изучение правил работы схемы в штатном режиме.

Переключая комбинации сигналов на входах триггера изучите закономерности в переключении состояний триггера.

Следует убедиться в соблюдении режима "хранения" состояния триггера при входных сигналах с уровнем нуля и зафиксировать изменение выходных сигналов триггера в следующих случаях:

- при подаче единицы только на вход R, затем только на вход S для нулевого исходного состояния триггера (рисунки 4, а и 4, б соответственно),
- аналогично для единичного исходного состояния триггера (рисунки 4, в и 4, г соответственно).

В результате таких измерений следует заполнить ячейки Таблицы 3, указав в ячейках значения  $Q^+$  на которое меняется исходное значение Q после подачи соответствующей комбинации входных сигналов. Следует обратить внимание, действительно ли на выходах наблюдаются инверсные комбинации значений сигналов.

#### в) Изучение реакции схемы на запрещенную комбинацию входных сигналов.

Зафиксируйте выходные сигналы схемы при подаче на входы запрещенной для RS-триггера комбинации  $R=S=1$ , а также определите какое состояние триггера устанавливается при выходе схемы из запрещенной комбинации в режим  $R=S=0$  для разной очередности переключения входов (рисунки 4, д и 4, е).

#### г) Изучение схемы RS-триггера с инверсными входами.

Повторите все измерения, приведенные в п. а) – в) для схемы триггера с инверсными входами (схема на рис. 3, справа).

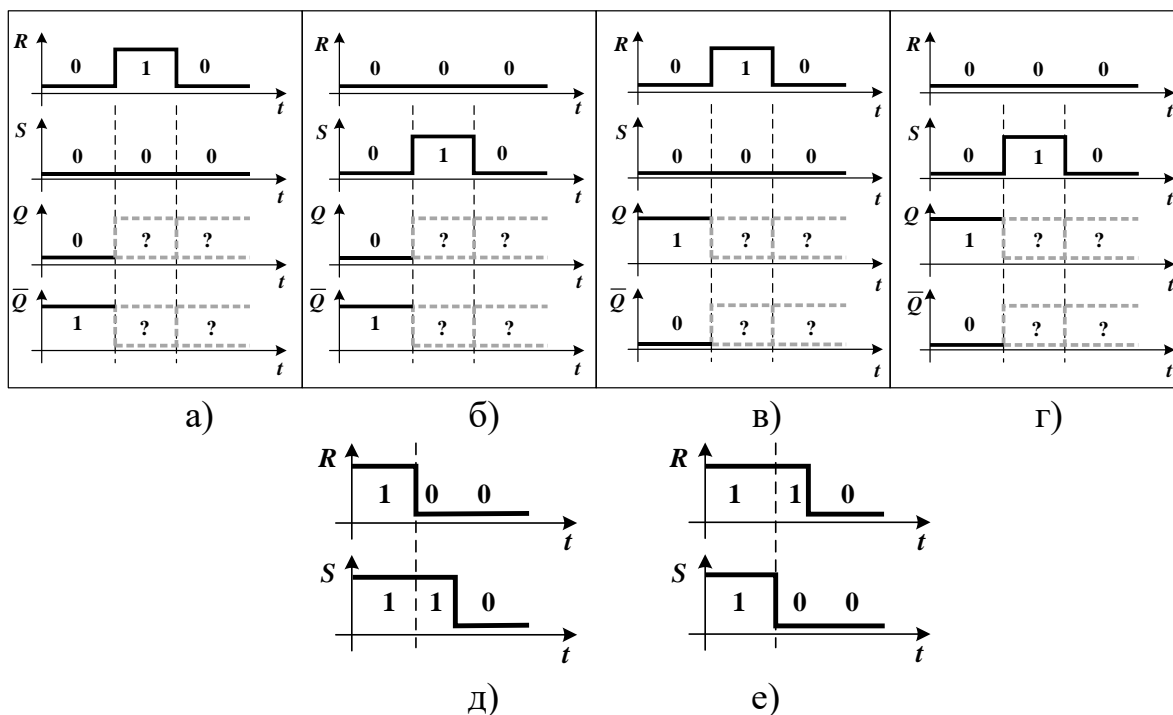


Рисунок 4. Изменения сигналов в схемах RS триггера, которые следует рассмотреть при анализе работы схем.

а), б) – рассмотрение управляющих комбинаций  $RS = 10$ , и  $RS = 01$  при  $Q = 0$ ;

в), г) – рассмотрение комбинаций  $RS = 10$ , и  $RS = 01$  при  $Q = 1$ ;

д), е) – изменения входных сигналов при рассмотрении запрещенной комбинации  $RS = 11$ .

#### д) ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА. Анализ результатов.

Для каждой из изученных схем по заполненной в результате измерений Таблице 3, составьте граф переходов каждой схемы и сравните их со стандартной таблицей и графом переходов RS-триггера.

Охарактеризуйте реакцию схемы на запрещенную комбинацию.

Таблица 3.

		Управляющая комбинация RS			
		00	01	10	11
Q	0	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	запрещенная комбинация
	1	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	

## 2.4. Изучение работы схем на основе JK-триггеров

Для изучения работы схем на основе JK-триггеров в комплект элементов могут входить одиночные или сдвоенные триггеры, описанные ниже.

Микросхема K155ТВ1 представляет собой JK-триггер с инверсными входами сброса R и установки S и логическими элементами 3И на входах J и K (рис. 5). Логические элементы 3И предназначены для построения счетчиков с коэффициентами деления, не кратными степени 2. В данной лабораторной работе такие схемы не исследуются, поэтому на не используемые входы элементов 3И должен быть подан уровень логической единицы или их можно объединять вместе с другими входами того же элемента 3И.

Микросхема K531TB9 содержит два JK-триггера с инверсными асинхронными входами сброса R и установки S, входами J и K, а также тактовым входом C (рис. 6).

Микросхема K155TB15 также содержит два JK-триггера с инверсными входами сброса R и установки S, но с инверсными входами K (рис. 7).

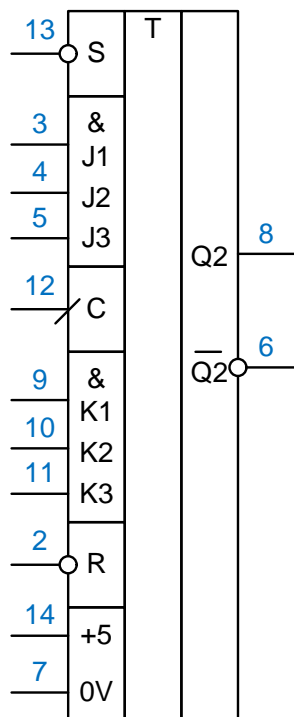


Рис. 5.  
Микросхема  
K155TB1

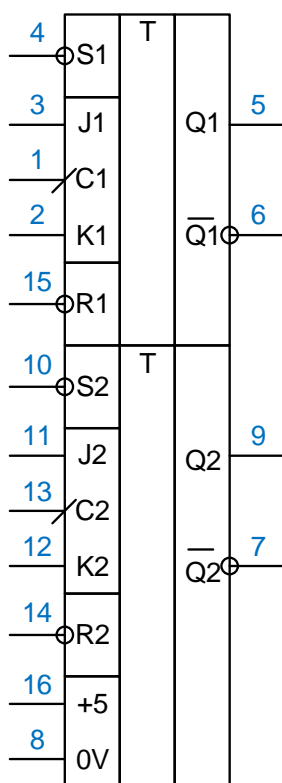


Рис. 6.  
Микросхема  
K531TB9

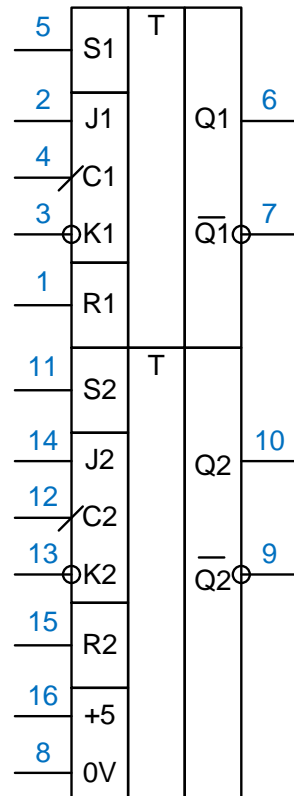


Рис. 7.  
Микросхема  
K155TB15

Микросхемы позволяют исследовать схемы триггеров разного типа. Для реализации RS-триггера или JK-триггера следует использовать один из триггеров микросхемы без дополнительных логических элементов. Для сборки триггеров D и T типа для соединения входов JK-триггера при необходимости используйте логические элементы микросхем K155ЛА3, ЛЕ1, ЛП5.

**а) Изучение работы микросхемы в режиме RS-триггера.**

Соберите схему для изучения данного режима работы (необходимо использовать принципиальную схему, нарисованную в ходе предварительной подготовки к работе). Рассмотрите те же переключения, что и в предыдущем пункте, и зафиксируйте результаты в соответствующей таблице.

**б) Изучение работы микросхемы в режиме JK-триггера.**

Соберите схему для изучения работы JK триггера (необходимо использовать принципиальную схему, нарисованную в ходе предварительной подготовки к работе). Установите желаемую комбинацию значений на входах триггера и посмотрите, как изменяются выходные сигналы триггера после переключения сигнала тактового входа в значение 1 и обратно. На рисунке 8 показаны временные диаграммы изменения сигналов

на выходах триггера для 4 вариантов исходных комбинаций на входах J и K и выходе Q из восьми возможных. Таким образом изучите реакцию триггера на все комбинации входных сигналов при каждом из двух исходных состояний триггера (всего 8 вариантов) и заполните таблицу 4. Обратите внимание, при каком переходе на тактовом входе C (из нуля в единицу или из единицы в ноль) происходит переключение триггера.

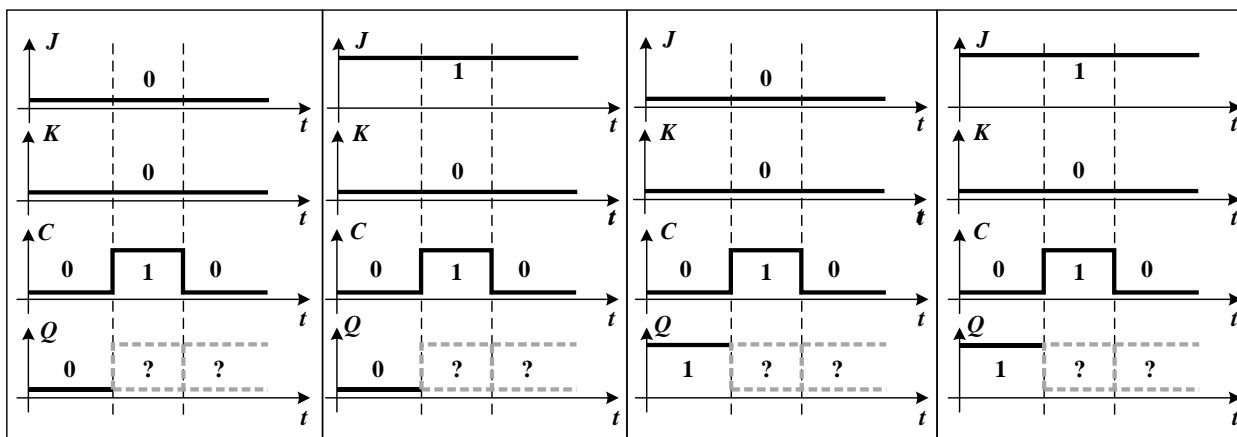


Рисунок 8. Изменения сигналов в схеме тактируемого JK-триггера.

**в) Изучение работы микросхемы в режиме Т-триггера.**

Соберите схему для изучения работы микросхемы в режиме Т-триггера сделав соответствующие коммутации на входах микросхемы (необходимо использовать принципиальную схему, нарисованную в ходе предварительной подготовки к работе).

Установите желаемое значение на входе триггера и посмотрите, как изменяются выходные сигналы триггера после переключения сигнала тактового входа в значение 1 и обратно (рисунок 9). Таким образом изучите реакцию триггера на все возможные варианты входного сигнала при каждом из двух исходных состояний триггера (всего 4 варианта) и заполните таблицу 5. Обратите внимание, при каком переходе на тактовом входе C (из нуля в единицу или из единицы в ноль) происходит переключение триггера

**г) Изучение работы микросхемы в режиме D-триггера.**

Соберите схему для изучения работы микросхемы в режиме D-триггера используя логические элементы микросхем K155ЛА3 или ЛЕ1 (необходимо использовать принципиальную схему, нарисованную в ходе предварительной подготовки к работе).

Установите желаемое значение на входе триггера и посмотрите, как изменяются выходные сигналы триггера после переключения сигнала тактового входа в значение 1 и обратно (рис. 9). Таким образом изучите реакцию триггера на все возможные варианты входного сигнала при каждом из двух исходных состояний триггера (всего 4 варианта) и заполните таблицу 5. Обратите внимание, при каком переходе на тактовом входе C (из нуля в единицу или из единицы в ноль) происходит переключение триггера.

Таблица 4.

		Входы JK			
		00	01	10	11
Q	0	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$
	1	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$	$Q^+$

Таблица 5.

		Вход Т или D	
		0	1
Q	0	$Q^+$	$Q^+$
	1	$Q^+$	$Q^+$

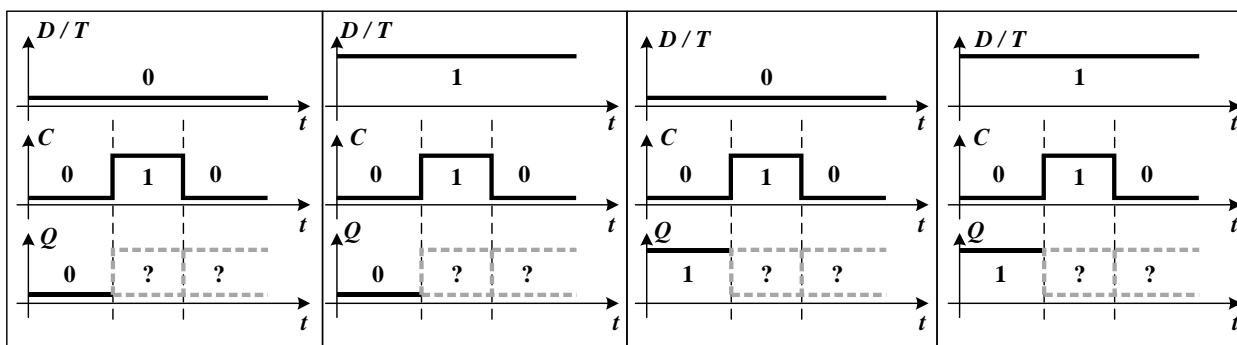


Рисунок 9. Изменения сигналов в схемах тактируемых триггеров D и T типа, которые следует рассмотреть при анализе работы схем.

**д) ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА.** Анализ результатов.

По полученным результатам составьте таблицы переходов и графы переходов для схем триггеров сравните со стандартными. Какие значения (комбинации значений) входных сигналов соответствуют режиму "хранения состояния". Отметьте, при каком переходе на тактовом входе C (из нуля в единицу или из единицы в ноль) происходит переключение триггера.

**е) Изучение простейших схем деления частоты на 2.**

На основе JK-триггера соберите делитель частоты на 2.

Для проверки режима деления частоты на 2 зафиксируйте временные диаграммы входных и выходных сигналов делителя.

Для получения временных диаграмм в качестве источника импульсов можно использовать виртуальный прибор Digital Writer в режиме переключения выходных сигналов (в выпадающем меню режимов Pattern выбрать Alternating) или виртуальный прибор Function Generator в режиме прямоугольных импульсов (необходимо установить размах импульсов "Vpp" 4 В и смещение "DC Offset" равное 2 В). При этом посредством осциллографа (виртуальный прибор Oscilloscope) следует зарегистрировать осциллограммы с входными импульсами некоторой частоты  $f_0$  и выходными импульсами с частотой  $f_0/2$ , выбрав временной масштаб таким образом, чтобы наглядно продемонстрировать деление частоты и видеть моменты переключения выходного сигнала.

Сохраните файл с изображением осциллограммы.

**ж) Изучение простейших схем деления частоты на 4.**

На основе двух JK-триггеров соберите делитель частоты на 4.

Для проверки режима деления частоты на 4 зафиксируйте временные диаграммы входных и выходных сигналов делителя, так же, как это делалось в предыдущем пункте. Сохраните файл с изображением осциллограммы.

## 2.5. Изучение работы реверсивного счетчика

В данной части исследуется работа двоично-десятичного реверсивного счетчика K155ИЕ6, имеющий два отдельных входа подачи импульсов для счета в сторону увеличения и уменьшения, вход сброса R, входы предварительной установки D1 – D4 (рис. 10).

Необходимо исследовать работу реверсивного счетчика в следующих режимах: предварительная установка; счет в сторону увеличения; счет в сторону уменьшения.



**а) Изучение режима установки счетчика**

Установите микросхему на монтажной плате и произведите подключения, необходимые для изучения ее работы.

Задайте желаемую комбинацию на входах D1 – D4.

Подав соответствующий сигнал на вход разрешения установки С зафиксируйте, какие уровни формируются на выходах счетчика.

Обратите внимание, при каком переходе на тактовом входе С (из нуля в единицу или из единицы в ноль) происходит переключение триггера

**б) Изучение режима работы с увеличением результата счета.**

Зарегистрируйте временные диаграммы работы счетчика.

Поскольку ВП «oscilloscope» позволяет отображать только два канала, в этом случае для регистрации сигналов следует использовать виртуальный прибор для наблюдения цифровых сигналов «Digital Waveform Viewer», который позволяет регистрировать до 8 сигналов. Этот прибор кратко описан в Приложении 1 к данному описанию.

Сохраните файл с изображением осциллограммы ВП «Digital Waveform Viewer», демонстрирующей режим счета.

**в) Изучение режима работы с уменьшением результата счета.**

Зарегистрируйте временные диаграммы работы счетчика в режиме уменьшения результата счета с использованием ВП «Digital Waveform Viewer».

Сохраните файл с изображением осциллограммы, демонстрирующей режим счета.

**г) Изучение схемы счетчика с измененным модулем счета.**

Для формирования счетчика с измененным модулем счета (выберите модуль счета самостоятельно) следует использовать базовые логические элементы, входящие в состав микросхем К155ЛА3, ЛЕ1, ЛП5.

Соберите схему счетчика с измененным модулем счета. Для оперативной сборки схемы следует руководствоваться принципиальной схемой, начерченной в ходе предварительной подготовки (см. раздел 1).

Зарегистрируйте временные диаграммы работы счетчика в режиме увеличения результата счета с использованием виртуального прибора Digital Waveform Viewer.

Сохраните файл с изображением осциллограммы, демонстрирующей режим счета.

**д) ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА. Анализ полученных результатов.**

По полученным временным диаграммам поясните выполнение требуемого режима счета (определите последовательность изменения двоичных чисел, соответствующих логическим уровням выходных сигналов счетчика).

Обратите внимание, при каких переходах сигнала – из нуля в единицу (фронт) или из единицы в ноль (спад) происходит переключение счетчика, начальная установка и сброс показаний. Какие при этом должны быть уровни сигналов на других управляющих входах.

Поясните, для чего предназначены выходы  $\geq 9$  и  $\leq 0$  (выводы 12 и 13) и как их необходимо использовать?

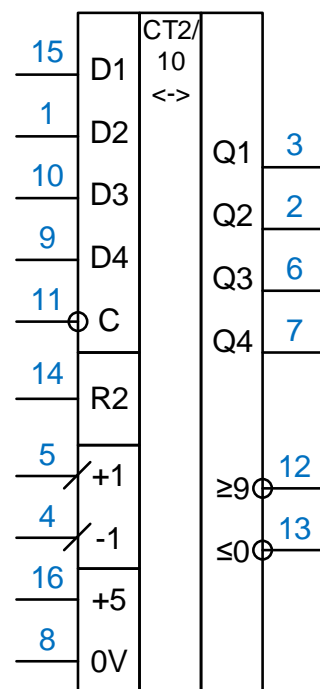


Рис. 10.  
Микросхема  
К155IE6

## 2.6. Изучение работы дешифратора

В данном пункте исследуется работа дешифратора K155ИД10 (рис. 11).

Так как дешифратор имеет выходы с открытым коллектором, для обеспечения высокого уровня напряжения на выходах необходимо подключать между ними и источником питания +5 В нагрузочные резисторы сопротивлением 820 Ом – 3,3 кОм. Иначе на выходах всегда будут низкие уровни напряжения.

Составьте таблицу истинности для дешифратора. В качестве входных можно использовать как сигналы, подаваемые с виртуального прибора цифрового вывода Digital Writer, так и с выходов счетчика, установленного в заданное число.

ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА. Сопоставьте полученную таблицу истинности со стандартной таблицей истинности дешифратора.

Подключите дешифратор к выходам счетчика и исследуйте его работу при подаче на вход счетчика последовательности импульсов. В режиме счета импульсов зарегистрируйте временные диаграммы работы счетчика и нескольких выходов дешифратора.

Измените модуль счета двоично-десятичного счетчика при помощи дешифратора.

## 2.7. Изучение схемы сравнения двух двоичных чисел

В данном пункте исследуется действие схемы сравнения двух четырехразрядных двоичных чисел K155СП1 (рис. 12).

Подключите входы схемы сравнения к выходам виртуального прибора цифрового вывода Digital Writer, выходы к светодиодам LED 0 – LED 2 или к входам прибора цифрового ввода Digital Reader.

а) Поясните, для чего предназначены входы  $A > B$ ,  $A < B$ ,  $A = B$  (выводы 2, 3, 4) и как их необходимо использовать?

б) Составьте таблицу истинности для нескольких комбинаций входных чисел  $A > B$ ,  $A < B$ ,  $A = B$  и различных значений на входах  $A > B$ ,  $A < B$ ,  $A = B$  (выводы 2, 3, 4). Обратите внимание, какие уровни присутствуют на выходах схемы сравнения при одновременной подаче на выводы 2, 3, 4 всех нулей или всех единиц.

в) Убедитесь в правильности работы схемы сравнения, подавая различные двоичные числа на входы  $A_0 - A_3$  и  $B_0 - B_3$ .

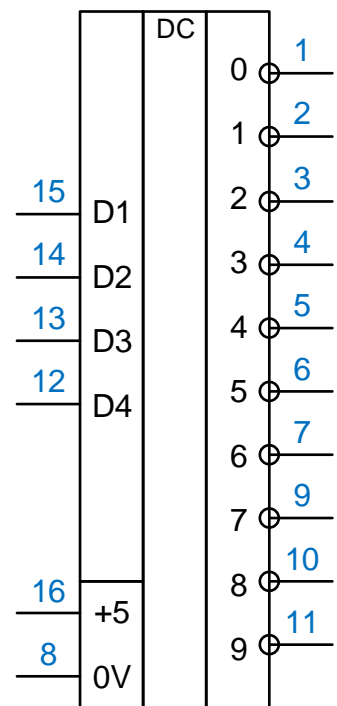


Рис. 11.

Микросхема  
K155ИД10

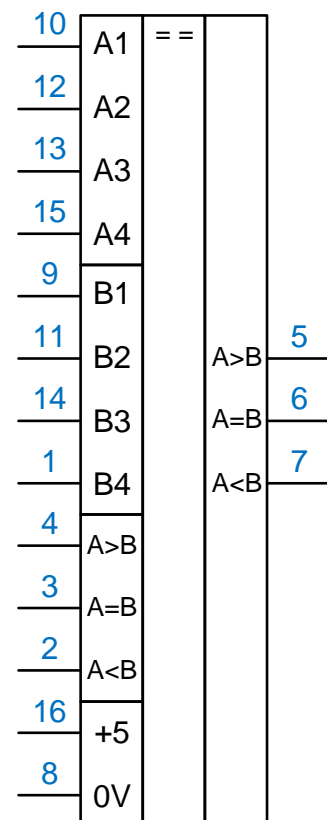


Рис.12.

Микросхема  
K155СП1

### Раздел 3. УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ ОТЧЕТА

---

1) Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен по типовой форме, иметь титульный лист с указанием наименования университета и Высшей школы, названия работы, ФИО и № группы выполнявших работу студентов, ФИО преподавателя, год.

Отчет должен содержать:

- краткое введение с указанием тематики работы, целей и объектов экспериментального изучения;
- использованные схемы соединения элементов и подключения приборов, режимы работы;
- результаты измерений, а также расчетов и оценок, если таковые делались;
- анализ полученных результатов;
- выводы.

Требования по обработке результатов измерений предполагают, что студенты имеют возможность использовать для подготовки отчета компьютер, и владеют начальными навыками работы с ним. Окончательно оформить отчет так же целесообразно посредством компьютера, но сдавать его необходимо распечатанным на бумажном носителе. В случае возникновения трудностей с отображением необходимых знаков, формул, схем и т.п. допускается вписывать требуемые части вручную и рисовать необходимые схемы вручную. Не допускается сдавать отчет с некорректным отображением материала (формул, графиков и т.п.), ссылаясь на неумение или ограниченные возможности используемых программ. Предпочтительным является подготовка требуемого материала распространенными программными средствами, например, MS Word и MS Excel.

В качестве исходных данных, на основе которых можно выбрать необходимые для обработки и анализа результатов соотношения, параметры и т. п., можно использовать материалы методических указаний к работе, а также материалы соответствующих лекционных курсов и литературы по теме работы, при этом в отчете следует указывать источник информации.

2) Основную содержательную часть отчета следует излагать в том же порядке, как они приведены в программе работы. При этом желательно сохранить основную нумерацию разделов работы, при необходимости добавляя подразделы.

При изложении результатов по каждому разделу программы работы следует:

- Кратко и ясно изложить, что фактически было сделано в ходе работы, привести необходимые схемы измерений. При этом не надо копировать пункты заданий из программы работы, описывать, как проводились соединения в схеме, как устанавливались режимы и опции в интерфейсах виртуальных приборов и т.п. Надо кратко своими словами пояснить какие сигналы и посредством каких приборов подавались на исследуемую схему, какие сигналы или зависимости и посредством каких приборов наблюдались и измерялись. В качестве дополнительного пояснения по сборке тех или иных

схем можно приводить фотографии собранных схем, сделанные при выполнении работы.

– В краткой, но наглядной и понятной форме описать результаты экспериментов, указав непосредственно измеренные и вычисленные значения. Привести графики требуемых зависимостей, и сохраненных изображений приборов, отображающих необходимые зависимости или иллюстрирующие выполнение заданий работы. При оформлении графиков и сохраненных изображений лицевых панелей приборов следует учитывать, будет ли отчет распечатываться в цветном или в черно-белом формате.

– Провести краткий анализ полученных результатов измерений каждого пункта программы выполнения работы, сделав выводы о характере наблюдаемых зависимостей, сравнив значение полученных при измерениях, пересчитанных или теоретически известных величин друг с другом.

При построении графиков зависимостей следует четко соблюдать все стандартные требования. Должны быть понятны величины, значения которых отложены по осям графика, единицы измерения, соблюдены рекомендации по масштабам (линейный, логарифмический, полулогарифмический) и разумно выбраны приведенные на графике диапазоны изменений отображаемых величин.

При сравнении значений величин должна быть обязательно указана величина относительного расхождения в процентах, должна быть охарактеризована степень отличия (например, значения «хорошо сходятся», «примерно соответствуют», «сходятся по порядку величины», «значительно отличаются» и т. п., в зависимости от ситуации), при существенных расхождениях должны быть сделаны выводы о возможных причинах такого различия.

3) В конце отчета следует привести общие выводы, в которых необходимо:

– указать полноту выполнения частей и разделов программы работы. Если работа выполнена не в полном объеме, указать причины;

– на основании анализа результатов измерений, приведенного в основной содержательной части отчета, кратко охарактеризовать успешность выполнения работы или различных ее частей;

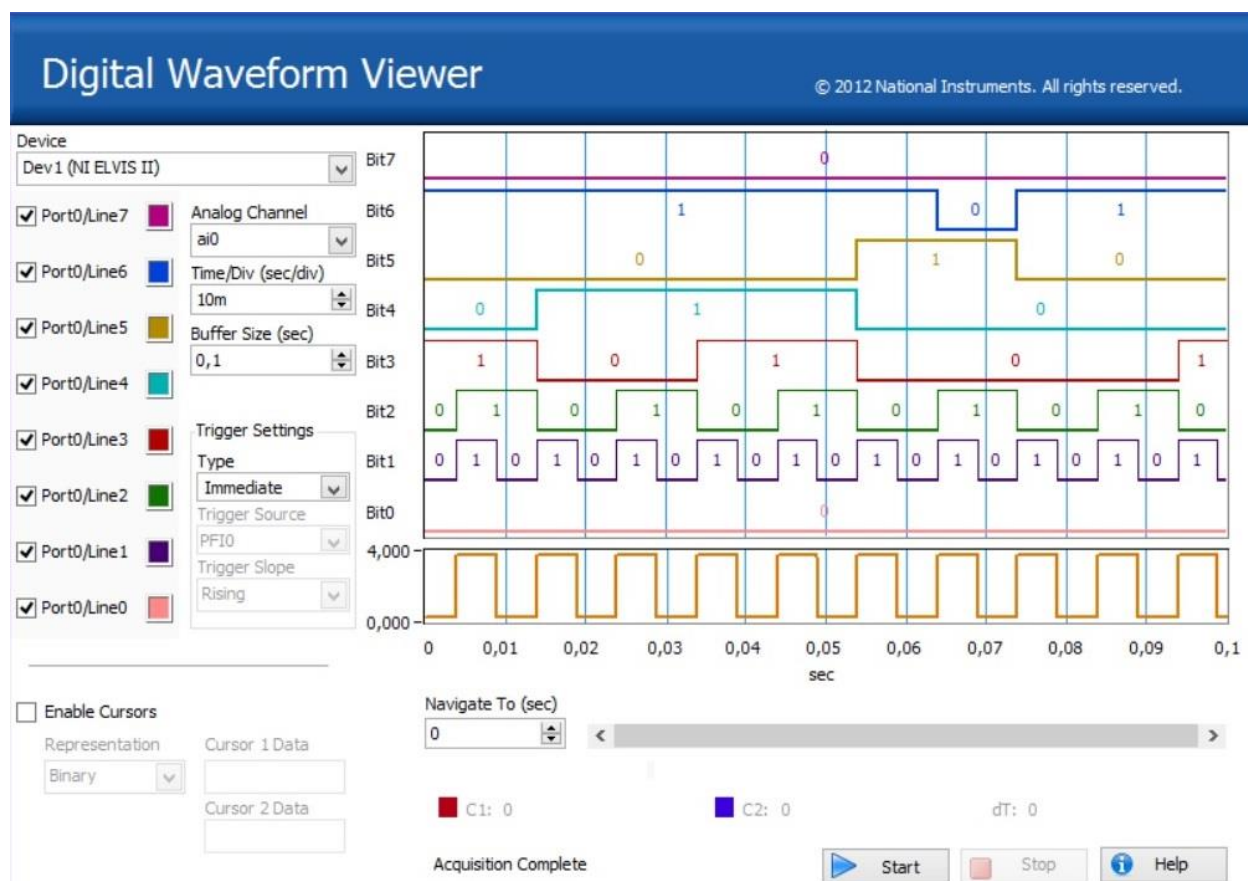
– при необходимости отметить какие-либо особенности, впечатления, пожелания, связанные с выполнением тех или иных частей или разделов лабораторной работы.

## Литература

1. NI ELVIS II Учебный курс. National Instruments Россия, СНГ и Балтия, 2009.
2. У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. 12-е издание. Том I Москва, ДМК Пресс. 2008.
3. У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. 12-е издание. Том II. Москва, ДМК Пресс. 2007.
4. В. С. Гутников, В. В. Лопатин, А. И. Недашковский. Электронные устройства информационно-измерительной техники. Ленинград, Ленинградский ордена Ленина политехнический институт им. М. И. Калинина. 1984.
5. Бойт К. Цифровая схемотехника. – М.: Техносфера, 2007. – 472 с.
6. Букреев И. Н., Горячев В. И., Мансуров Б. М. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. – М.: Техносфера, 2009. – 712 стр.
7. Лехин С. Н. Схемотехника ЭВМ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 672 с., ил.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Входящий в состав приборов NI ELVIS II осциллограф (Oscilloscope) позволяет одновременно наблюдать зависимость от времени не более двух сигналов. При необходимости получения временных диаграмм большего количества сигналов следует использовать виртуальный прибор для наблюдения цифровых сигналов Digital Waveform Viewer, лицевая панель которого приведена на рисунке имеет вид:



Прибор Digital Waveform Viewer позволяет одновременно наблюдать и регистрировать зависимости от времени до восьми цифровых сигналов, подаваемых на DIO 0 – DIO 7, а также аналогового сигнала, подаваемого на один из входов ai0 – ai15, расположенных в левой верхней части макетной платы NI ELVIS II. Для синхронизации временной диаграммы может использоваться цифровой сигнал, подаваемый на один из входов PFI0 – PFI14. Входы PFI0 – PFI14 расположены в левой верхней и правой нижней частях макетной платы.

При каждом нажатии на кнопку Start прибор однократно записывает осциллограмму заданной длительности Buffer Size. Максимальная длительность 5 секунд. При выборе режима синхронизации Immediate (Trigger Settings / Type) запись начинается сразу после нажатия кнопки Start. В режиме Edge запись начинается по приходу сигнала синхронизации (фронта Rising или спада Falling) на выбранный вход Trigger Source PFI0 – PFI14.