В. В. Тарапата,
Московский педагогический государственный университет

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ОСНОВАМ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В УГЛУБЛЕННОМ КУРСЕ ИНФОРМАТИКИ ДЕСЯТОГО КЛАССА*

Аннотация

В статье представлены две лабораторные работы для учащихся десятого класса, изучающих информатику на углубленном уровне, — по созданию модели синхронного RS-триггера и по созданию модели двухразрядного последовательного сумматора. Необходимость таких работ обусловлена чисто теоретическим характером изучения тем «Логические элементы компьютера» и «Микроэлектронные устройства», отсутствием наглядных пособий.

Ключевые слова: информатика, основы микроэлектроники, логические элементы компьютера, триггер, сумматор, прототипирование, наглядное пособие.

DOI: 10.32517/2221-1993-2018-17-10-43-53

Контактная информация

Тарапата Виктор Викторович, ст. преподаватель кафедры теории и методики обучения математике и информатике Института математики и информатики Московского педагогического государственного университета; учитель информатики школы № 305, г. Москва; *адрес:* 119991, г. Москва, ул. Малая Пироговская, д. 1, стр. 1; *телефон:* (495) 438-79-77; *e-mail:* vvteach@mail.ru

V. V. Tarapata,
Moscow Pedagogical State University

LABORATORY WORKS ON THE BASICS OF MICROELECTRONICS IN ADVANCED INFORMATICS COURSE IN THE 10TH GRADE

Abstract

The article presents two laboratory works for students of the10th grade who study informatics at an advanced level — on creating a model of a synchronous RS trigger and on creating a model of a two-digit sequential adder. The need for such work is due to the purely theoretical nature of the study of the topics "Logical elements of a computer" and "Microelectronic devices", the absence of visual aids.

Keywords: informatics, basics of microelectronics, computer logic elements, trigger, adder, prototyping, visual aids.

Представленные в статье лабораторные работы являются частью цикла работ по микроэлектронике, разработанных для непрерывного курса информатики. Первая работа данного цикла «Асинхронный RS-триггер» опубликована в журнале «Информатика в школе» № 8-2017 [1].

Лабораторная работа «Синхронный RS-триггер»

Основной целью лабораторной работы «Синхронный RS-триггер» является сборка синхронного RS-триггера, построенного на универсальных логических элементах И—НЕ, для изучения его работы.

Рассмотренный в предыдущей лабораторной работе асинхронный RS-триггер не идеален, так как постоянно находится в активном состоянии (пока есть электричество), а значит, подвержен влиянию помех.

Для решения этой проблемы был разработан синхронный RS-триггер, который имеет дополнительные логические ключи в своей схеме и дополнительный третий вход *C* для сигнала синхронизации. С его помощью можно «включать» и «выключать» RS-триггер. Такой механизм позволяет исключить влияние неустановившихся сигналов, которые были искажены какими-то переходными процессами, например, результатами обработки сигналов, поступающих на вход триггера, которые были получены другой логической схемой.

Напомним, **триггер** — это электронная схема, имеющая два устойчивых состояния, одно из которых принимается за логический ноль «0», а другое — за логическую единицу «1». Под действием управляющих сигналов на входе триггер скачкообразно переходит из одного состояния в другое («опрокидывается»). Таким образом, один триггер способен хранить 1 бит информации.

Триггер служит основой создания регистров, счетчиков и различных запоминающих устройств в вычислительных устройствах.

В данной лабораторной работе исследуется принцип работы **синхронного RS-триггера** — компонента, который может находиться в одном из двух устойчивых состояний и управляется тремя входными сигналами:

C (от *англ.* Clock — такт) — вход синхронизации (тактовки) триггера, который «разрешает» его работу;

R (от *англ.* Reset — сброс) — переключение триггера в состояние «0»;

S (от *англ.* Set — установка) — переключение триггера в состояние «1».

Составим таблицу истинности, описывающую **логику работы синхронного RS-триггера**:

C	S	R		Q_{n-1}	$\rightarrow$	Q_n	Режим
Триггер не синхронизирован							
0	0	0		0	≡	0	Хранение информации
0	0	0		1		1	
0	1	0		0		0	
0	1	0		1		1	
0	0	1		0		0	
0	0	1		1		1	
0	1	1		0		0	
0	1	1		1		1	

* Материалы к статье можно скачать на сайте ИНФО: http://infojournal.ru/journals/school/school_10-2018/

C	S	R		Q_{n-1}	→	Q_n	Режим
Триггер синхронизирован							
1	0	0		0		0	Хранение информации
1	0	0		1		1	
1	1	0		0		1	Запись «1»
1	1	0		1		1	
1	0	1		0		0	Запись «0»
1	0	1		1		0	
1	1	1		0		X	Запрещенное состояние (неопределенность)
1	1	1		1		X	

Здесь:

C — вход синхронизации;

R, S — входные сигналы;

Q_{n-1} — предыдущее состояние триггера (до подачи сигналов);

Q_n — последующее состояние триггера (после подачи сигналов).

Синхронный RS-триггер возможно создать на базе элементов И—НЕ. Изобразим **принципиальную электрическую схему** (рис. 1).

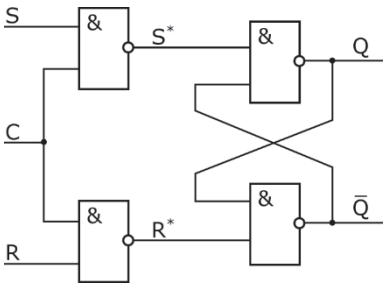


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема синхронного RS-триггера

Построенное устройство называется «синхронный RS-триггер» и имеет следующее **условное графическое обозначение** (рис. 2).

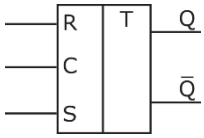


Рис. 2. Условное графическое обозначение синхронного RS-триггера

Отметим, что триггер, построенный на элементах И—НЕ, работает на уровне высоких сигналов, т. е. его активный уровень — это логическая единица «1». В лабораторной работе «Асинхронный RS-триггер» мы то же самое говорили о модели, построенной на элементах ИЛИ—НЕ. Почему же здесь этот принцип сохранился? Дело в двухуровневой обработке сигналов: схема содержит две пары однотипных обработчиков, поэтому и активный уровень сохраняется на уровне «1».

Также возможна реализация триггера на элементах ИЛИ—НЕ, но активный уровень такого триггера будет совпадать с логическим нулем «0», т. е. он работает на уровне низких сигналов.

Наша **задача:** создать электрическое устройство, иллюстрирующее принцип работы синхронного RS-триггера.

Рассмотрим **логику его работы:**

1. Сигнал синхронизации C будет подаваться отдельной кнопкой, причем если кнопка нажата, то подан сигнал «1», если нет — сигнал «0».
2. Подача входных сигналов S и R будет осуществляться нажатием соответствующей кнопки.
3. Выходные сигналы будут проиллюстрированы с помощью двух светодиодов: зеленого — для активного выхода Q и красного — для инверсного выхода.

На основании данной логики изобразим **принципиальную схему устройства** (рис. 3).

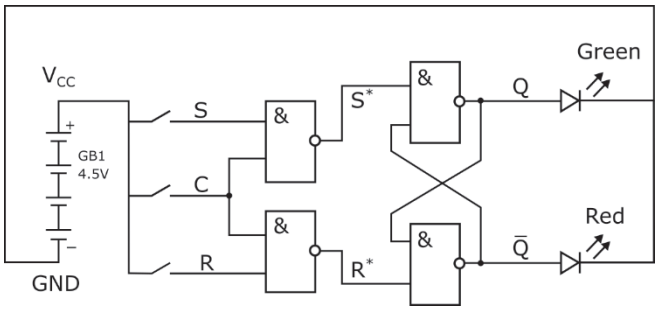


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема модели синхронного RS-триггера

Оборудование для лабораторной работы:

- макетная плата Breadboard 830 — 1 шт.;
- батарейный отсек 3×AA — 1 шт.;
- элемент питания AA — 3 шт.;
- микросхема стандартной логики: SN74HC00N (4×2 И—НЕ) — 2 шт.;
- кнопка с фиксацией — 3 шт.;
- светодиоды — 2 шт.;
- комплект проводов-перемычек «штекер—штекер» — 1 уп.

Ход лабораторной работы

1. Перед началом работы убедитесь, что переключатель на батарейном отсеке стоит в положении OFF. Вставьте три элемента питания AA в батарейный отсек.

2. Сначала обеспечьте макетную плату питанием и «землей» (рис. 4).

- Подключите красный провод батарейного отсека к шине, обозначенной красной линией.
- Для того чтобы питание было доступно с двух сторон макетной платы, соедините верхнюю шину питания с нижней красным проводом.
- Аналогично подключите черный провод («землю») на шины, обозначенные синей линией.

Внимание! В случае, если макетная плата имеет «разрывы» в других местах, точно так же перекиньте питание и «землю» с помощью проводов.

3. Смонтируйте на макетной плате три кнопки, как показано на рисунке 5.

Кнопка, расположенная слева, будет отвечать за подачу сигнала синхронизации; две кнопки, расположенные справа, — за подачу сигналов S и R, согласно схеме.

Таким образом, каждый из контактов кнопок будет независим. Сверху и снизу обязательно должны остаться свободные пины*.

* Пин (от *англ.* pin — штырек) — отверстие на макетной плате.

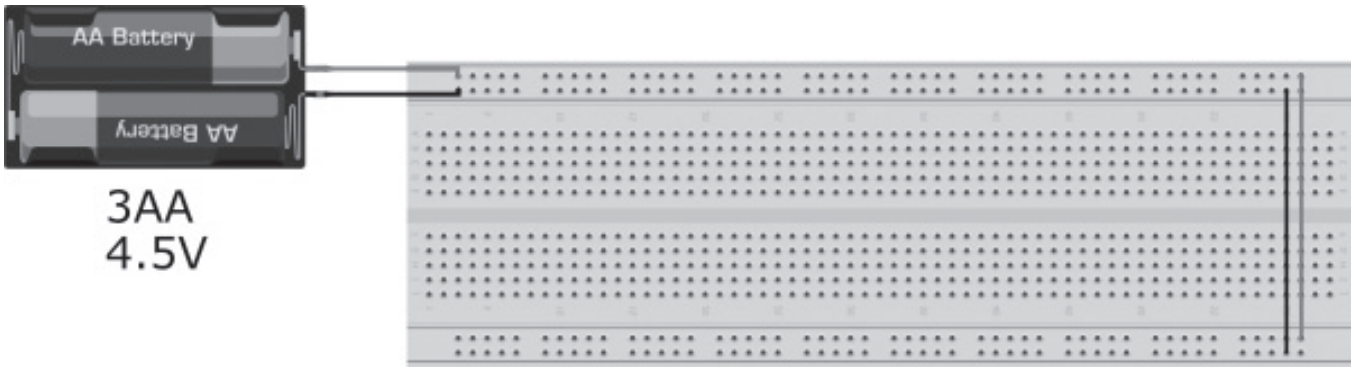


Рис. 4

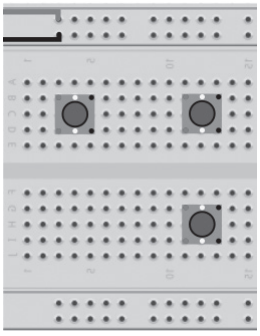


Рис. 5

4. К каждой кнопке подведите питание и заземлите кнопки (рис. 6).

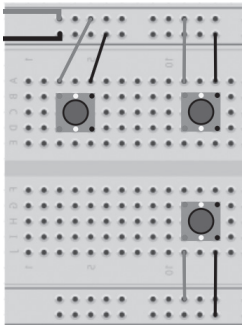


Рис. 6

5. В правой части платы установите два светодиода — зеленый и красный — и заземлите их (рис. 7).

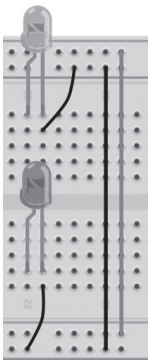


Рис. 7

Зеленый светодиод говорит нам о состоянии триггера: если он горит, то триггер хранит «1», если нет — триггер хранит «0». Соответственно, красный светодиод всегда хранит противоположное значение.

6. Смонтируйте две микросхемы SN74HC00N (И—НЕ), как показано на рисунке 8.

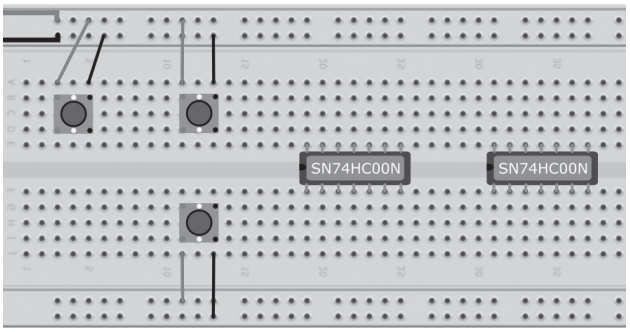


Рис. 8

Можно было бы обойтись и одной микросхемой, так как внутри она содержит четыре элемента И—НЕ, но это не будет удобно при сборке и вызовет путаницу в проводах.

7. Согласно DataSheet подключите питание (пин № 14) и «землю» (пин № 7) (рис. 9).

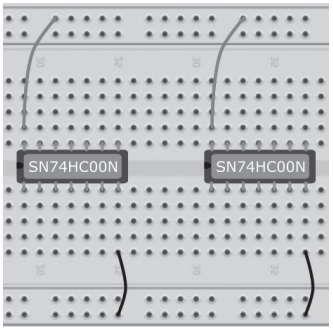


Рис. 9

8. Тот вход микросхемы, который напрямую подключается к *R*, будем называть *обработчиком сигнала R*. Вход, который напрямую подключается к S, будем называть *обработчиком сигнала S*.

9. Пора приступить к подключению всех компонентов согласно принципиальной схеме. Старайтесь использовать одноцветные провода-перемычки для одних и тех же каналов.

Для начала подключим сигнал синхронизации.

Выход *C* подключите к входу 1 «И–НЕ» (рис. 10).

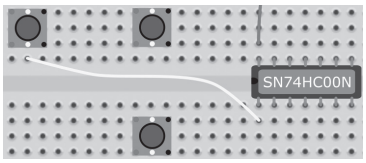


Рис. 10

10. Сразу подключим второй канал сигнала синхронизации. Второй выход *C* подключите к входу 4 «И—НЕ» (рис. 11).

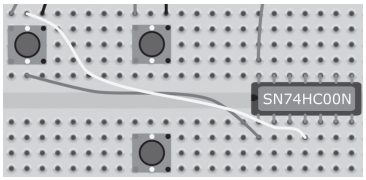


Рис. 11

11. Теперь подключим сигналы *S* и *R* к соответствующим обработчикам.

Выход *S* соединяем с входом 2 «И—НЕ». Результат обработки сигналов *S* и *C* появится на выходе 3 «И—НЕ», этот сигнал будем называть *S** (рис. 12).

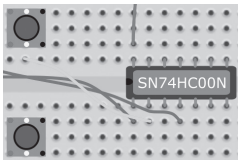


Рис. 12

12. Выход *R* соединяем с входом 5 «И—НЕ». Результат обработки сигналов *R* и *C* появится на выходе 6 «И—НЕ», этот сигнал будем называть *R** (рис. 13).

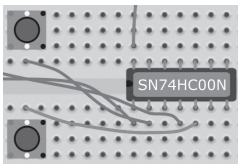


Рис. 13

13. Теперь сигнал *S** из выхода 3 «И—НЕ» подсоединим к входу 1 «И—НЕ» второй микросхемы (рис. 14).

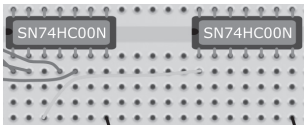


Рис. 14

14. Сигнал *R** из выхода 6 «И—НЕ» подсоединим к входу 4 «И—НЕ» второй микросхемы (рис. 15).

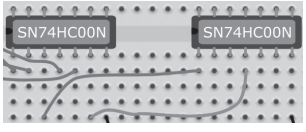


Рис. 15

15. Результат обработки сигнала *S** должен попасть на зеленый светодиод. Соединим выход 3 «И—НЕ» с зеленым светодиодом (рис. 16).

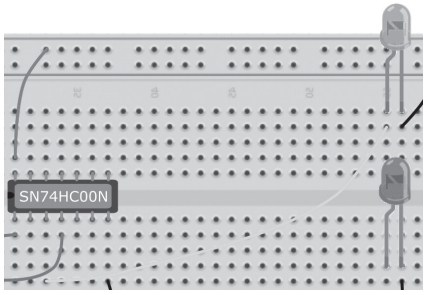


Рис. 16

16. Этот же сигнал должен попасть на обработку вместе с *R**. Для этого соединим выход 3 «И—НЕ» с входом 5 «И—НЕ» (рис. 17).

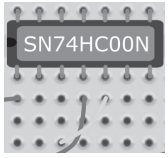


Рис. 17

17. Теперь займемся результатом обработки *R**. Его нужно послать на красный светодиод. Для этого соединим выход 6 «И—НЕ» с красным светодиодом (рис. 18).

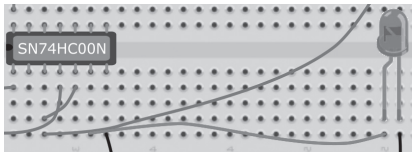


Рис. 18

18. Этот же сигнал отправляем на обработку вместе с *S**. Соединим выход 6 «И—НЕ» с входом 2 «И—НЕ» (рис. 19).

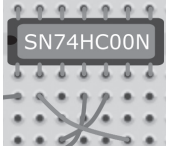


Рис. 19

Проверьте еще раз все подключения и расположение элементов согласно общей схеме.

Внимание! Из-за несовершенства передачи сигнала синхронизации (в реальности он передается скачкообразно) может возникать неопределенное состояние триггера, при котором оба светодиода тускло светятся. Для получения правильного результата просто повторите подачу сигналов.

Задание.

Проведите эксперименты, проверив все состояния триггера, и заполните таблицу истинности.

Исходное состояние		C	S	R	Новое состояние		Режим
Q (Green)	$\bar{Q}$ (Red)				Q (Green)	$\bar{Q}$ (Red)	
1	0	0	0	0			
0	1	0	0	0			
1	0	0	0	1			
0	1	0	0	1			
1	0	0	1	0			
0	1	0	1	0			
1	0	0	1	1			
0	1	0	1	1			
1	0	1	0	0			
0	1	1	0	0			
1	0	1	0	1			
0	1	1	0	1			
1	0	1	1	0			
0	1	1	1	0			
1	0	1	1	1			
0	1	1	1	1			

Лабораторная работа «Двухразрядный последовательный сумматор»

Основной целью работы является сборка модели двухразрядного последовательного сумматора, построенного на базовых (И, ИЛИ) и универсальных (Исключающее ИЛИ) логических элементах для изучения его работы.

Сумматор — это электронная схема, позволяющая суммировать поступающие двоичные сигналы. Различают *полусумматор* и *полный сумматор*.

Полусумматор имеет два входа, наличие сигнала на каждом из которых принимается за логическую единицу «1», а отсутствие сигнала — за логический ноль «0». Тогда мы имеем возможность нахождения следующих сумм:

$$\begin{array}{r} 0 \\ +\,0 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0 \\ +\,1 \\ \hline 1 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \\ +\,0 \\ \hline 1 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \\ +\,1 \\ \hline 10 \end{array}$$

Отсюда видно, что в случае суммы 1+1 возникает перенос в старший разряд. Таким образом, на выходе полусумматор имеет также два сигнала: сумму $\sum$ и перенос P.

Составим таблицу истинности, характеризующую работу такого устройства:

Входы		Выходы	
x	y	$\sum$	P
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Здесь:

x, y — двоичные разряды двух чисел;

$\sum$ — сумма;

P — перенос в старший разряд.

На основе таблицы истинности составим выражения для $\sum$ и P:

$$\sum = \bar{x}y + x\bar{y} = x \oplus y;$$

$$P = xy.$$

Далее изобразим **принципиальную электрическую схему** (рис. 20).

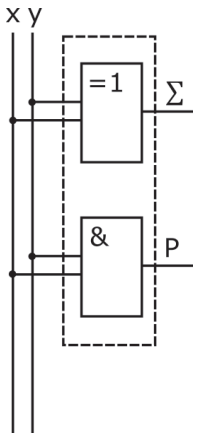


Рис. 20

Приставка «полу-» появляется из-за того, что не обрабатывается перенос P. Полусумматор способен его лишь получить на своем выходе. Обработать этот перенос возможно с помощью второго полусумматора.

Составим таблицу истинности с учетом переноса из предыдущего разряда:

Входы			Выходы	
P_0	x	y	$\sum$	P_1
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Здесь:

P_0 — перенос из предыдущего разряда;

x, y — двоичные разряды двух чисел;

$\sum$ — сумма;

P_1 — перенос в старший разряд.

На основе таблицы истинности составим выражения для $\sum$ и P_1 и упростим их. В результате получим следующие соотношения:

$$\sum = P_0 \oplus (x \oplus y);$$

$$P_1 = xy + P_0(x \oplus y).$$

Далее изобразим **принципиальную электрическую схему** (рис. 21).

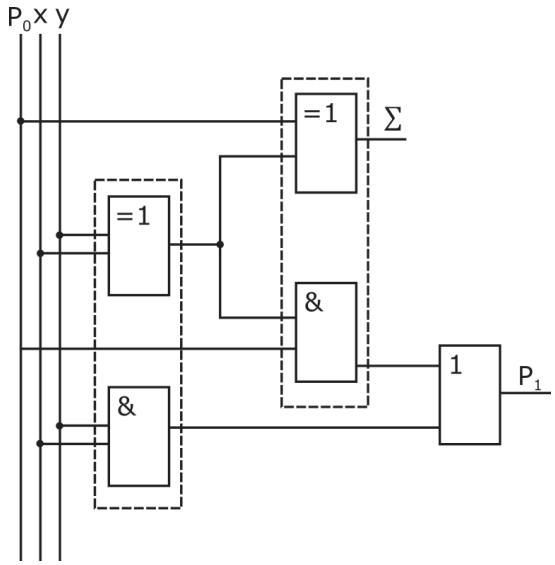


Рис. 21

Кстати! Дизъюнктор, который дополняет схему из двух полусумматоров, служит вспомогательным элементом, так как перенос в старший разряд P_1 может появиться на выходе конъюнктора в первом полусумматоре ИЛИ во втором.

Построенное устройство называется **полным одноразрядным сумматором** (рис. 22).

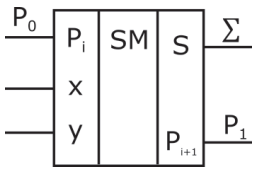


Рис. 22

Очевидно, что для многоразрядных чисел нужно использовать несколько сумматоров, в которых последовательно соединены выходы P_{i+1} и P_i.

Такое устройство называют **многоразрядным последовательным сумматором**.

Задача лабораторной работы заключается в создании **двухразрядного сумматора**.

Рассмотрим **логику его работы.**

Для конкретики возьмем максимально возможную сумму:

$$\begin{array}{r} 11 \\ +\,11 \\ \hline 110 \end{array}$$

1. Для младших разрядов не требуется обработка переноса из предыдущего разряда (его просто нет), поэтому, чтобы просуммировать их, будет достаточно *полусумматора*.
2. Для старших разрядов требуется обработка переноса из младшего, значит, для их обработки понадобится *полный сумматор*.
3. Возникающий третий разряд — это выход переноса полного сумматора.
4. Ввод данных будет осуществляться нажатием кнопки — одна кнопка на один разряд.
5. Вывод данных будет обеспечен тремя светодиодами.

На основании данной логики изобразим **принципиальную схему устройства** (рис. 23).

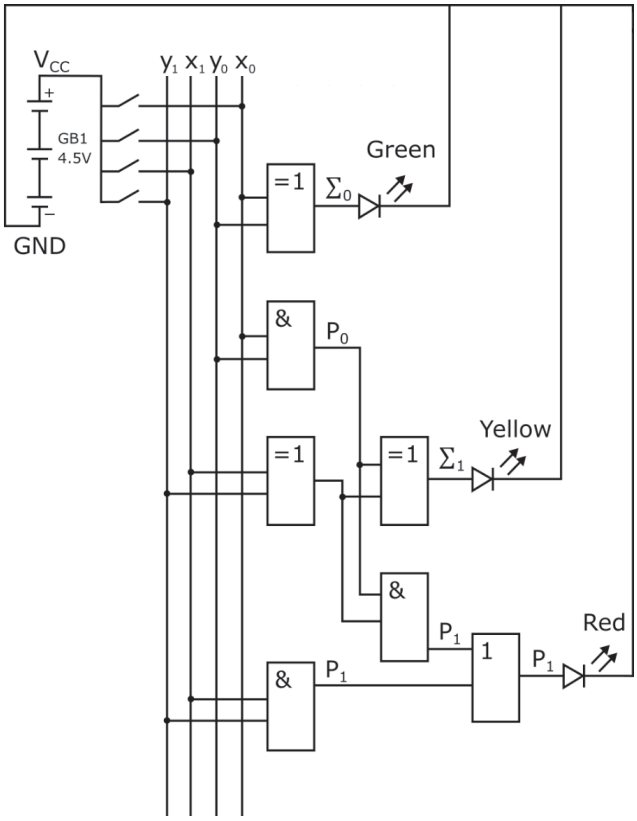


Рис. 23

На рисунке 23:

x_0, y_0 — младшие разряды двух чисел;

x_1, y_1 — старшие разряды двух чисел;

$\sum_0$ — младший разряд суммы;

$\sum_1$ — средний разряд суммы;

P_1 — перенос в старший разряд (старший разряд суммы).

Оборудование для лабораторной работы:

- макетная плата Breadboard 830 — 1 шт.;
- батарейный отсек 3×AA — 1 шт.;
- элемент питания AA — 3 шт.;
- микросхемы стандартной логики:
  - SN74HC86N (4×2 Искл.ИЛИ) — 1 шт.;
  - SN74HC32N (4×2 ИЛИ) — 1 шт.;
  - CD4081BE (4×2 И) — 1 шт.;
- кнопка с фиксацией — 4 шт.;
- светодиоды — 3 шт.;
- комплект проводов-перемычек «штекер—штекер» — 1 уп.

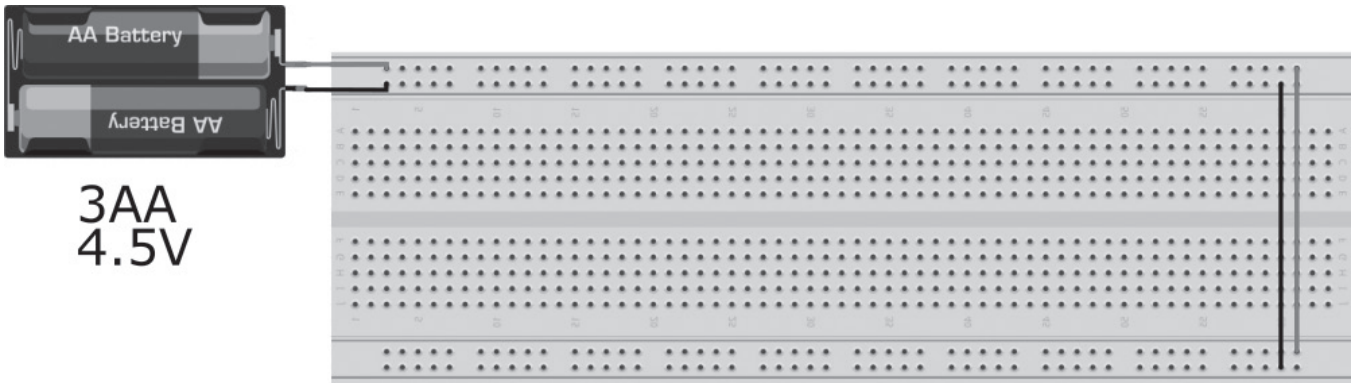


Рис. 24

Ход лабораторной работы

1. Перед началом работы убедитесь, что переключатель на батарейном отсеке стоит в положении OFF. Вставьте три элемента питания AA в батарейный отсек.

2. Сначала обеспечьте макетную плату питанием и «землей» (рис. 24):

- Подключите красный провод батарейного отсека к шине, обозначенной красной линией.
- Для того чтобы питание было доступно с двух сторон макетной платы, соедините верхнюю шину питания с нижней красным проводом.
- Аналогично подключите черный провод («землю») на шины, обозначенные синей линией.

Внимание! В случае, если макетная плата имеет «разрывы» в других местах, точно так же перекиньте питание и «землю» с помощью проводов.

3. Смонтируйте на макетной плате четыре кнопки, как показано на рисунке 25.

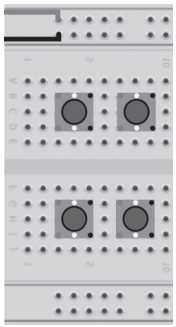


Рис. 25

Таким образом, каждый из контактов кнопок будет независим. Сверху и снизу обязательно должны остаться свободные пины.

4. К каждой кнопке подведите питание и заземлите кнопки (рис. 26).

5. На правой стороне макетной платы установите три светодиода: красный, желтый, зеленый. Заземлите их (рис. 27).

6. Смонтируйте микросхему SN74HC86N (Искл. ИЛИ), как показано на рисунке 28.

7. Аналогично смонтируйте микросхемы CD4081BE (И) и SN74HC32N (ИЛИ) (рис. 29).

8. Согласно DataSheet подключите питание (пин № 7) и «землю» (пин № 14) (рис. 30).

9. Пусть расположенные слева кнопки будут отвечать за два числа: верхние — за число $x = x_1x_0$, нижние — за число $y = y_0y_1$.

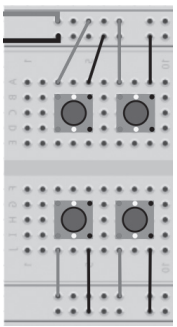


Рис. 26

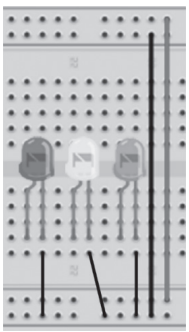


Рис. 27

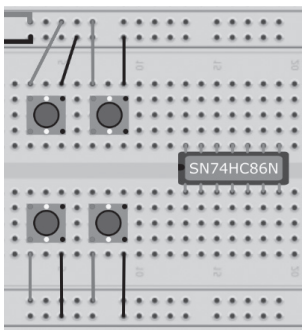


Рис. 28

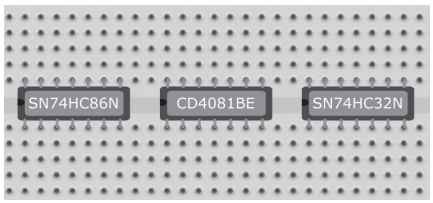


Рис. 29

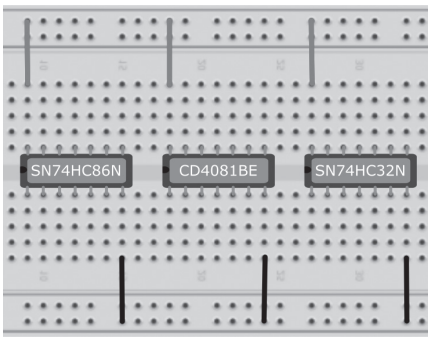


Рис. 30

Тогда получается следующая схема:

x_1	x_0
y_1	y_0

Далее будем использовать эти обозначения.

10. Пора приступить к подключению всех компонентов согласно принципиальной схеме. Старайтесь использовать одноцветные провода-перемычки для одних и тех же каналов.

Выходы x_0, y_0 подключите к входам 1, 2 «Искл. ИЛИ» (рис. 31).

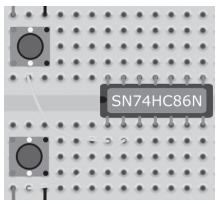


Рис. 31

Сигнал из выхода 3 «Искл. ИЛИ» будет в дальнейшем подаваться на зеленый светодиод, но светодиоды лучше подключить в самом конце.

11. Выходы x_0, y_0 подключите к входам 1, 2 «И»; выходы x_1, y_1 — к входам 4, 5 «Искл. ИЛИ» (рис. 32).

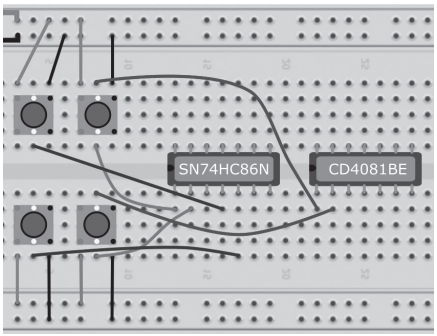


Рис. 32

12. Выходы 3 «И», 6 «Искл. ИЛИ» соедините с входами 9, 10 «Искл. ИЛИ» соответственно (рис. 33).

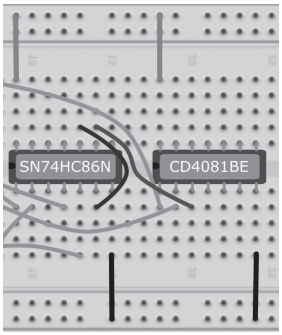


Рис. 33

Сигнал из выхода 8 «Искл. ИЛИ» в дальнейшем будет подаваться на желтый светодиод.

13. Выходы 3 «И», 6 «Искл. ИЛИ» соедините с входами 5, 6 «И» (рис. 34).

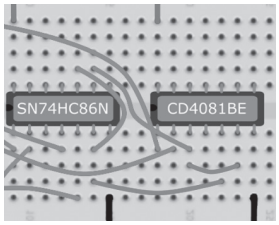


Рис. 34

14. Выходы x_1, y_1 соедините с входами 8, 9 «И» (рис. 35).

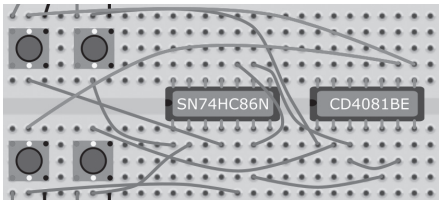


Рис. 35

15. Выходы 4, 10 «И» соедините с входами 1, 2 «ИЛИ» (рис. 36).

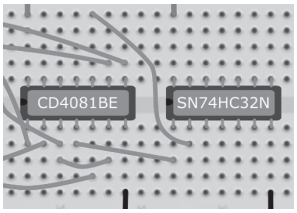


Рис. 36

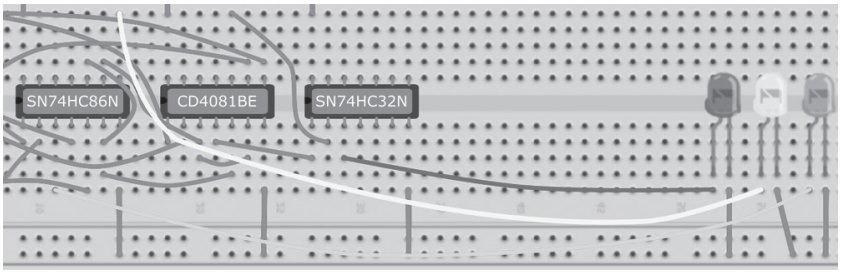


Рис. 37

16. Пришло время самого главного — подключения светодиодов (рис. 37):

- выход 3 «Искл. ИЛИ» соедините с зеленым светодиодом;
- выход 8 «Искл. ИЛИ» соедините с желтым светодиодом;
- выход 3 «ИЛИ» соедините с красным светодиодом.

Проверьте еще раз все подключения и расположение элементов согласно общей схеме.

Задания.

1. Проведите эксперименты, проверив все возможные двухразрядные суммы, и заполните таблицу истинности.

x_1	x_0	y_1	y_0	P_1 (Red)	Σ_1 (Yellow)	Σ_0 (Green)

2. На основе построенной таблицы истинности выведите логические уравнения для сумм и переноса.

$\Sigma_0 =$

$\Sigma_1 =$

$P_1 =$

Приложения

Приложение 1

Схема соединения шин макетной платы

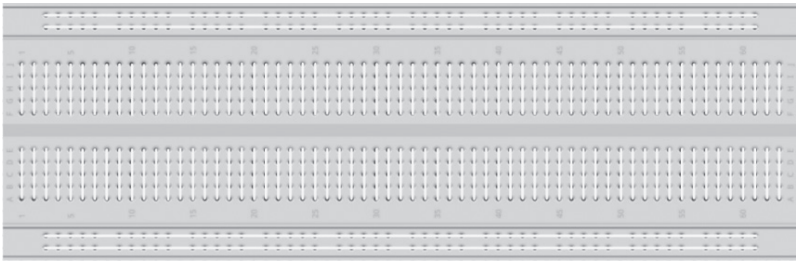


Рис. 38

Приложение 2

Общий вид синхроннного RS-триггера

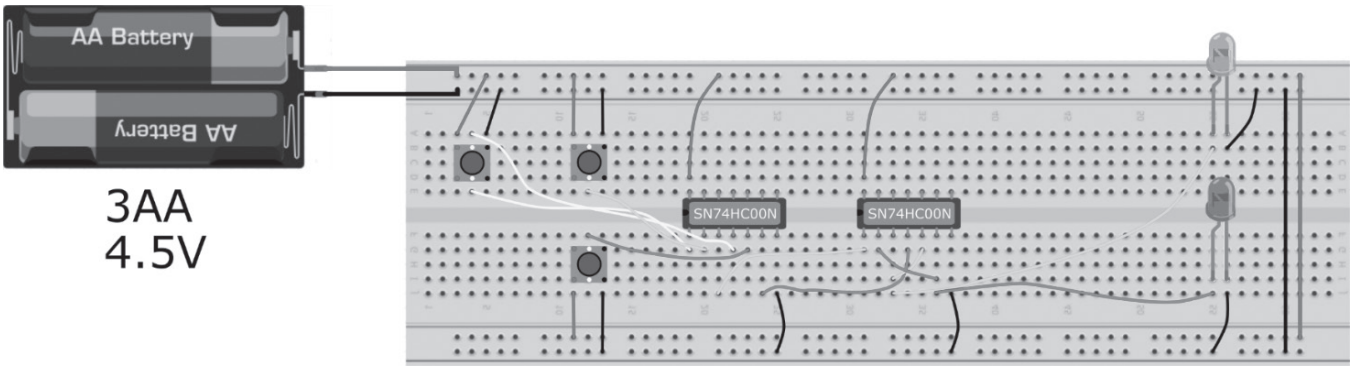


Рис. 39

Приложение 3

Общий вид двухразрядного последовательного сумматора

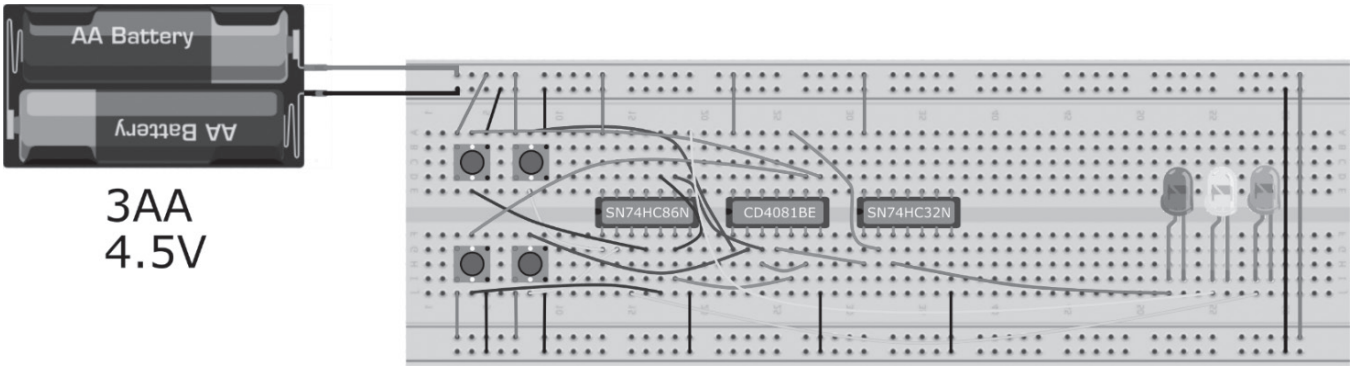


Рис. 40

Приложение 4

DataSheet Texas Instruments SN74HC00N «И—НЕ» [2, 3]

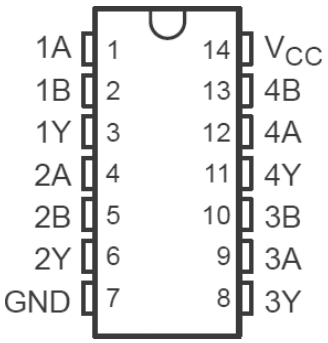


Рис. 41

Приложение 5

DataSheet Texas Instruments CD4081BE «И»

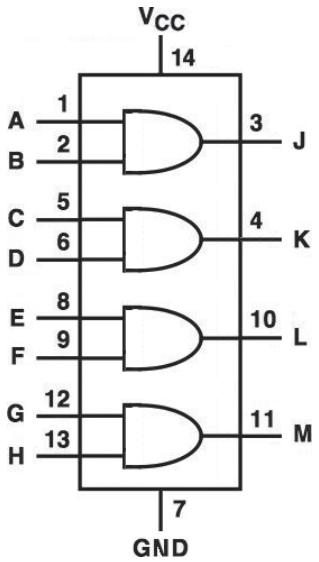


Рис. 42

Приложение 6

DataSheet Texas Instruments SN74HC32N «ИЛИ»

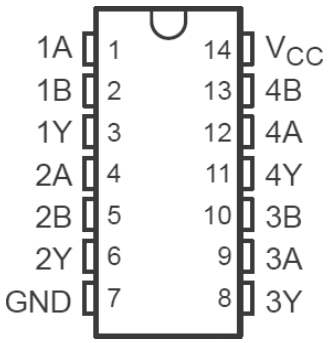


Рис. 43

Приложение 7

DataSheet Texas Instruments SN74HC86N «Искл. ИЛИ»

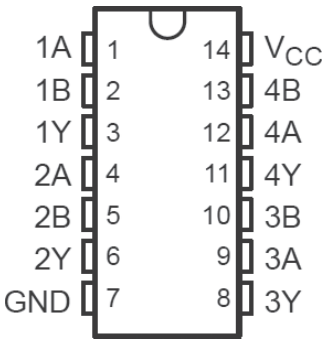


Рис. 44

Приложение 8

Контакты элемента «Кнопка с фиксацией»

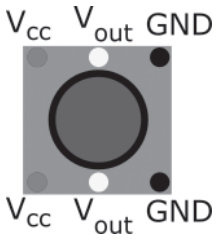


Рис. 45

Приложение 9

Контакты элемента «Светодиод»

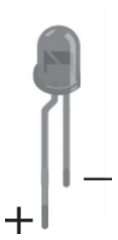


Рис. 46

Список использованных источников

1. *Тарапата В. В.* Лабораторная работа по основам микроэлектроники «Асинхронный RS-триггер» в углубленном курсе информатики десятого класса // Информатика в школе. 2017. № 8. С. 36–40.

2. «Чип и Дип». https://www.chipdip.ru/

3. Texas Instruments. http://www.ti.com/

НОВОСТИ

Учить по-новому: в столице стартует олимпиада по информатике для учителей

В столице стартовала олимпиада для преподавателей информатики «Новый учитель новой информатики. Перезагрузка». Ее главная цель — научить педагогов преподавать информатику по-новому и давать ученикам знания и навыки, которые пригодятся им в современном мире. Участники олимпиады сформируют сообщества учителей, которые будут создавать современные образовательные практики.

Олимпиада «Новый учитель новой информатики. Перезагрузка» будет проходить в Москве с 17 декабря 2018 года по 31 мая 2019 года.

На первом этапе участники должны заполнить онлайн-заявку и опубликовать в социальных сетях видеоролик на тему «IT-skills» с хештегом #itteachers2019. Также нужно будет поучаствовать в дистанционном туре по трем направлениям — программированию, информационной безопасности и технологиям связи.

Учителя, которые успешно прошли первый этап, переходят на второй уровень. Тут нужно показать свои умения и навыки в работе с большими данными, робототехнике и составлении сценариев уроков по информатике для проекта «Московская электронная школа».

Третий этап — финальный. Учителя проведут мастер-классы по одному из трех направлений развития информационных технологий: «Информатика для жизни», «Информатика для работы», «Информатика для IT-отрасли». Педагоги также запишут свои интервью на Московском образовательном телеканале на тему «Прорывные технологии в IT-отрасли».

Победители и лауреаты олимпиады получат дипломы и специальные призы. У них появится возможность поучаствовать в конкурсе «Учитель года Москвы».

Подробная информация об олимпиаде — на сайте конкурса: http://itteachers.ru/

(По материалам, предоставленным пресс-службой Департамента образования города Москвы)