

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Ю.Е. Гагарин  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3: ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
СЧЕТЧИКОВ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4: ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ  
УНИВЕРСАЛЬНОГО СДВИГОВОГО РЕГИСТРА  
Методические указания по выполнению лабораторных работ  
по курсу «Архитектура ЭВМ»

УДК 621.38

ББК 32.85

Г12

**Г12** Гагарин Ю.Е. Исследование работы триггеров, Преобразователи кодов. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Архитектура ЭВМ». — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. — 33 с.

Методические указания к выполнению лабораторных работ в рамках самостоятельной работы студентов по курсу «Архитектура ЭВМ» содержат основные теоретические сведения и задания для лабораторных работ.

Предназначены для студентов 2-го курса бакалавриата КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по направлению подготовки 09.03.04 «Программная инженерия».

УДК 621.38

ББК 32.85



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	4
ВВЕДЕНИЕ .....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3: ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЧЕТЧИКОВ .....	6
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	7
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	16
ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ .....	20
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ .....	21
ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3 .....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4: ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО СДВИГОВОГО РЕГИСТРА .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4 .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие методические указания составлены в соответствии с программой проведения лабораторных работ по курсу «Архитектура ЭВМ» на кафедре «Программное обеспечение ЭВМ, информационные технологии и прикладная математика» факультета фундаментальных наук Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Методические указания, ориентированные на студентов 2-го курса направления подготовки 09.03.04 «Программная инженерия» и содержит цели и задачи лабораторных работ, основные теоретические сведения, дается описание порядка выполнения, приведены варианты задания для лабораторных работ и контрольные вопросы.

Выполнение лабораторных работ позволит студентам закрепить знания, умения и навыки, полученные при освоении дисциплины «Архитектура ЭВМ».

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3: ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЧЕТЧИКОВ**

### **Цель задания**

Получение практических навыков построения и исследования работы асинхронных и синхронных, циклических и самоостанавливающихся счетчиков с заданным направлением и модулем счета.

### **Постановка задачи**

Для соответствующего варианта:

- 1) Построить схему асинхронного или синхронного (указано в варианте задания) счетчика циклического типа, с прямым направлением счета и заданным модулем счета (модуль счета указан в варианте задания). При построении счетчика использовать JK – триггеры.
- 2) Построить схему асинхронного или синхронного (указано в варианте задания) счетчика циклического типа, с обратным направлением счета, который изменяется в определенных пределах (указанно в варианте задания). При построении счетчика использовать JK – триггеры.
- 3) Преобразовать схему счетчика циклического типа (задание 1) в самоостанавливающийся счетчик.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1. Общие сведения о счетчиках

Счётчики относятся к функциональным узлам последовательностного типа, логическое состояние которых определяется последовательностью поступления входных сигналов. Счётчики применяются в различных цифровых устройствах. Назначение счётчика очевидно: это подсчёт числа некоторых событий или временных интервалов, либо упорядочение событий в хронологической последовательности. Счётчики могут выполнять и другие функции, например, их можно использовать для адресации, в качестве делителей частоты и элементов памяти.

Счётчик характеризуется прежде всего *модулем счёта* (ёмкостью)  $M$ . Он переходит при поступлении входных сигналов из состояния в состояние, после каждого  $M$  сигналов возвращаясь к началу цикла. Счётчики классифицируют по значению модуля, направлению счёта, способу организации межразрядных связей, по способу подачи тактового импульса.

*По значению модуля счёта* различают двоичные ( $M = 2^n$ ), двоично-кодированные (с произвольным модулем, но кодированием состояний двоичными кодами), счётчики с одинарным кодированием и др.

*По направлению счёта* счётчики делят на суммирующие (прямого счёта), вычитающие (обратного счёта) и реверсивные (с изменением направления счёта).

*По способу организации межразрядных связей* различают счётчики с последовательным, параллельным и комбинированными переносами. Параллельные счётчики называют синхронными, а последовательные - асинхронными.

Цифровую схему, выполняющую функцию счёта, можно собрать из триггеров. Рассмотрим некоторые схемы счётчиков.

## 2. Счётчики со сквозным переносом

Процедура двоичного и десятичного счёта показана в табл. 1. Используя 4 двоичных разряда ( $D$ ,  $C$ ,  $B$  и  $A$ ) можно считать от 0000 до 1111 (от 0 до 15 в десятичной системе). Столбец  $A$  соответствует самому младшему разряду, а столбец  $D$  самому старшему разряду. Если нужен счётчик, который считает от 0000 до 1111 (в двоичной

системе), у него должно быть 16 различных выходных состояний, т.е. нужен счётчик с модулем 16. На рис.1 показана схема счётчика по модулю 16, составленная из 4 JK-триггеров. Каждый JK-триггер работает в режиме переключения ( $J = K = 1$ ). Пусть в начальный момент состояние выходов счётчика соответствует двоичному числу 0000 (счётчик очищен). При поступлении тактового импульса 1 на синхронизирующий вход (C) триггера T1 этот триггер переключается (при прохождении среза импульса) и на индикаторе появляется двоичное число 0001. Тактовый импульс 2 возвращает триггер T1 в исходное состояние 0 ( $Q = 0$ ), что в свою очередь приводит к переключению триггера T2 в состояние 1 ( $Q = 1$ ). На индикаторе появится число 0010. Счёт продолжается: срез сигнала на выходе каждого триггера запускает следующий триггер.

Таблица 1. Таблица двоичного и десятичного счета



Двоичный счет				Десятичный счет
D	C	B	A	
8	4	2	1	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

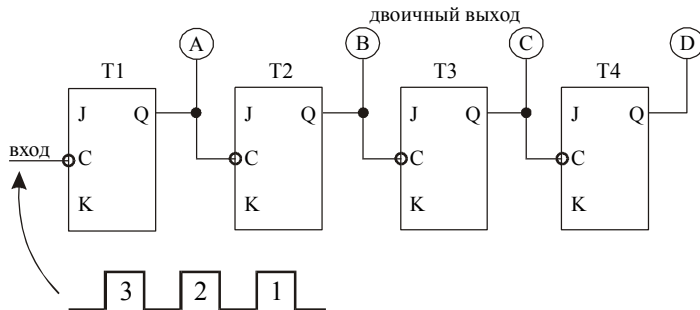


Рис.1. Схема счетчика по модулю 16

Из табл.1 видно, что цифры (1 или 0) в столбце *A* изменяется на каждом шаге счёта, т.е. триггер *T1* переключается с приходом каждого нового тактового импульса. Из столбца *B* видно, что триггер *T2* переключается в два раза реже триггера *T1*. Каждый более старший разряд «переключается» в 2 раза реже предыдущего.

На рис.2 показаны временные диаграммы при работе счётчика в процессе счёта до 10 (двоичное число 1010).

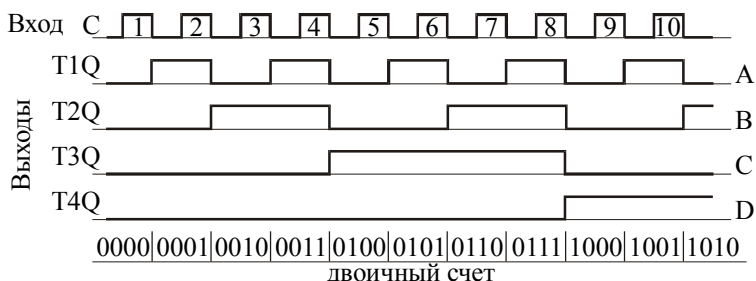


Рис.2. Временные диаграммы работы счетчика по модулю 16

Синхронизирующему входу соответствует верхняя диаграмма. Диаграммы для выходов *Q* триггеров *T1*, *T2*, *T3*, *T4* приведены ниже. Под диаграммами указаны двоичные числа, соответствующие различным состояниям счётчика. Из рис.2 видно, что тактовые импульсы запускают только триггер *T1*, триггер *T1* запускает триггер *T2*, триггер *T2* запускает триггер *T3* и т.д. Каждый триггер воздействует только на один (следующий за ним триггер), поэтому для переключения всех триггеров необходимо некоторое время. Например, на импульсе 8 (рис.2) тактовый импульс запускает триггер *T1*, вызывая его переключение в состояние 0. Это в свою очередь приводит к переключению триггера *T2* из состояния 1 в состояние 0. Затем точно также переключается *T3*. В момент установки на выходе *Q* триггера *T3* уровня логического 0 запускается триггер *T4*, который переключается из состояния 0 в состояние 1. Таким образом, изменение состояний последовательно распространяется по цепочке триггеров. Рассматриваемый счётчик называют *счётчиком со сквозным переносом*. Кроме этого данный счётчик можно назвать *асинхронным*, поскольку предыдущий триггер вырабатывает для последующего тактовые импульсы. По направлению счёта счётчик, изображённый на рис.1 является суммирующим (прямого счёта).

### 3. Асинхронные счётчики по модулю 10

Счётчик по модулю 10 считает от 0000 до 1001 (от 0 до 9 в десятичной системе), т.е. до черты в табл.1. Для построения такого счётчика трёх триггеров недостаточно ( $10 > 2^3$ ), поэтому он содержит 4 триггера, но имеет обратные связи, останавливающие счёт при коде 9=1001. На рис.3 показана схема счётчика по модулю 10, в которую кроме 4 триггеров включён логический элемент И-НЕ, для установки всех триггеров в нулевое состояние (очистки счетчика) с приходом десятого импульса.

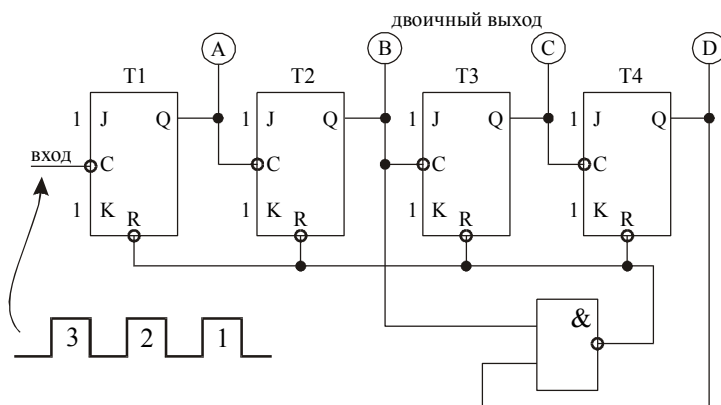


Рис.3. Схема асинхронного счетчика по модулю 10

Рассмотрим принцип работы данной схемы (рис.3). Из табл.1 видно, что за числом 1001 следует 1010 (10 в десятичной системе). При подаче логической 1, содержащейся в разрядах двоек и восьмерок двоичного числа 1010, на входы элемента И-НЕ, этот элемент подаст логический 0 на входы R четырех триггеров. Таким образом, все триггеры установятся в состояние 0 и счетчик снова начинает считать от 0000 до 1010. Подобное использование логического элемента И-НЕ позволяет создать счетчики с некоторыми другими значениями модуля. Счетчик, изображенный на рис.3 называют также декадным (десятичным) счетчиком.

#### 4. Синхронные счетчики

В синхронных счетчиках все триггеры получают тактовый импульс одновременно, поскольку тактовые входы их соединяются параллельно. Такие триггеры переключаются практически одновременно. В асинхронных счетчиках каждый триггер вносит в процесс счета определенную задержку, поэтому младшие разряды результирующего кода появляются на выходах триггеров не одновременно, т.е. несинхронно с соответствующим тактовым импульсом. Например, для четырехразрядного асинхронного счетчика код *1111* появится на выходах триггеров уже после того, как поступит шестнадцатый тактовый импульс. Код *1111* сформируется не одновременно.

Рассмотрим схему 3–разрядного счетчика по модулю 8 (рис.4). Все синхронизирующие входы триггеров ( *C* ) соединены параллельно, тактовые импульсы поступают непосредственно на синхронизирующий вход каждого триггера.

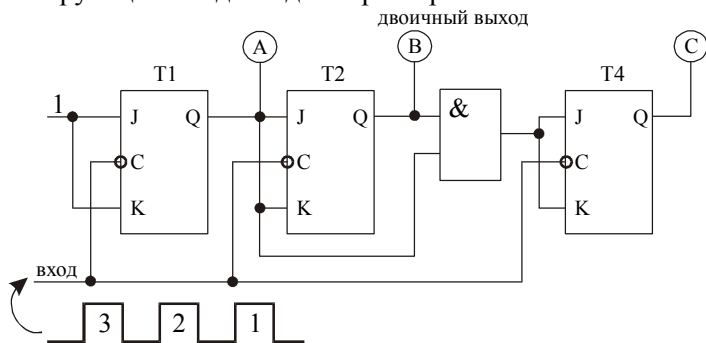


Рис.4. Схема синхронного счетчика по модулю 8

Последовательность двоичных чисел, проходимая счетчиком за один цикл счета (счетная последовательность) приведена в табл.2.

Таблица 2. Счетная последовательность импульсов

Строка	Номер тактового импульса	Двоичная счетная система			Десятичные числа
		С	В	А	
1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	1
3	2	0	1	0	2
4	3	0	1	1	3
5	4	1	0	0	4
6	5	1	0	1	5
7	6	1	1	0	6
8	7	1	1	1	7
9	8	0	0	0	0

Рассмотрим принцип работы данного счетчика в течение одного цикла счета. На каждом шаге цикла входной импульс поступает на синхронизирующий вход каждого триггера.

Импульс 1 — строка 2 табл.2. Переключается только триггер  $T1$ , поскольку только у него на входах  $J$  и  $K$  действует уровень логической 1.  $T1$  переходит из состояния 0 в состояние 1.

Результат: на выходе счетчика 001.

Импульс 2 — строка 3. Переключаются два триггера  $T1$  и  $T2$ , поскольку на входах  $J$  и  $K$  этих триггеров действует уровень логической 1.  $T1$  переходит из состояния 1 в состояние 0,  $T2$  — из состояния 0 в состояние 1.

Результат: на выходе 010.

Импульс 3 — строка 4. Переключается только один триггер.  $T1$  переходит из состояния 0 в состояние 1.  $T2$  не переключается, поскольку на входах  $J$  и  $K$  действует уровень логического 0.

Результат: на выходе 011.

Импульс 4 — строка 5. Все триггеры меняют свое состояние на противоположное.  $T1$  и  $T2$  переходят из 1 в 0.  $T3$  переключается из 0 в 1.

Результат: на выходе 100.

Импульс 5 — строка 6. Триггер  $T1$  переходит из состояния 0 в состояние 1.

Результат: на выходе 101.

Импульс 6 — строка 7. Переключаются два триггера.  $T1$  переходит из 1 в 0,  $T2$  - из 0 в 1.

Результат: на выходе 110.

Импульс 7 — строка 8. Триггер  $T1$  переходит из состояния 0 в состояние 1.

Результат: на выходе 111.

Импульс 8 — строка 9. Все триггеры меняют свое состояние, переходя из 1 в 0.

Результат: на выходе 000.

Следует заметить, что в данном счетчике  $JK$ -триггеры используются как в режиме переключения ( $J = K = 1$ ), так и в режиме блокировки ( $J = K = 0$ ).

## 5. Вычитающие счетчики

Помимо суммирующих счетчиков (прямого счета), рассмотренных выше, существуют счетчики, которые считают в обратном направлении - **вычитающие**.

Рассмотрим схему асинхронного вычитающего счетчика по модулю 8 (рис.5).

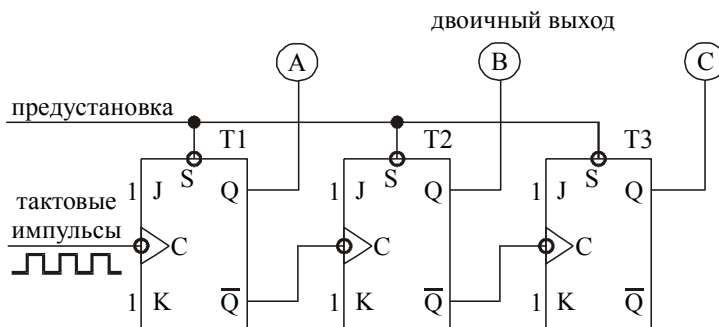


Рис.5. Схема асинхронного вычитающего счетчика по модулю 8

Отличие данной схемы от схемы суммирующего счетчика (рис.1) состоит в способе переноса сигнала от триггера к триггеру. В суммирующем счетчике синхронизирующий вход каждого триггера связан с прямым выходом  $Q$  предыдущего триггера. В вычитающем счетчике синхронизирующий вход каждого триггера связан с инверсным выходом  $\overline{Q}$  предыдущего триггера. В счетчике изображенном на рис.5, перед началом счета в обратном направлении предусмотрена предварительная его установка в состояние  $111$  (десятичное число 7) с помощью входа предустановки ( $S$ ). Счетная последовательность двоичных чисел приведена в табл.3.

Таблица 3. Счетная последовательность импульсов

Номер тактового импульса	Двоичная счетная последовательность			Десятичные числа
	С	В	А	
0	1	1	1	7
1	1	1	0	6
2	1	0	1	5
3	1	0	0	4
4	0	1	1	3
5	0	1	0	2
6	0	0	1	1
7	0	0	0	0
8	1	1	1	7
9	1	1	0	6

## **6. Самоостанавливающиеся счетчики**

Вычитающий счетчик, схема которого показана на рис.5 – счетчик циклического типа. Когда этот счетчик приходит в состояние  $000$ , он снова начинает счет с двоичного числа  $111$ . В некоторых случаях

нужны счетчики, которые останавливаются, когда исчерпывается вся счетная последовательность. Рассмотрим, какие изменения нужно внести в схему вычитающего счетчика, чтобы счет прекращался при достижении состояния *000*.

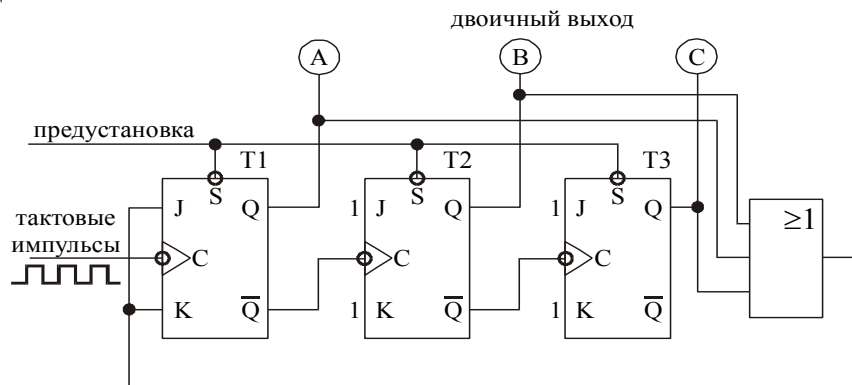


Рис.6. Схема самоостанавливающегося счетчика

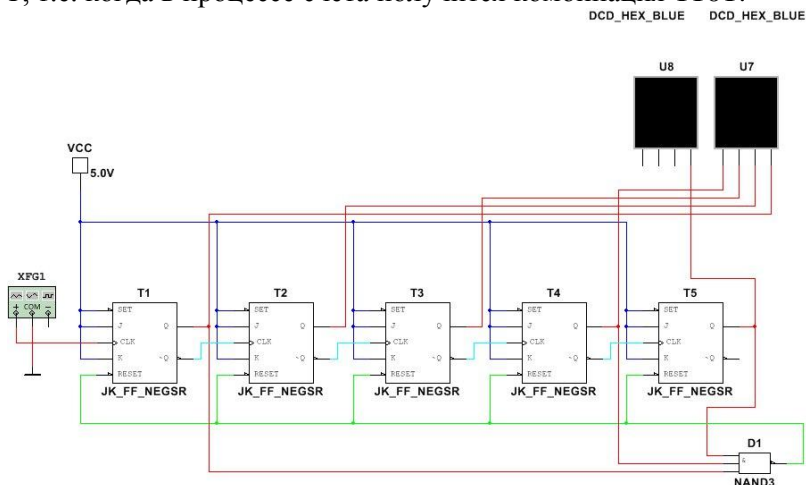
Из рис.6 видно, что для этого нужно ввести в схему логический элемент ИЛИ, который будет устанавливать на входах *J* и *K* триггера *T1* уровень логического 0, когда на выходах (*C*, *B*, *A*) счетчика появится сигнал *000*. Если нужно начать новый цикл счета с двоичного числа *111*, на вход предустановки *S* следует подать уровень логического 0.

Используя один логический элемент или их комбинацию, можно останавливать счет прямом и обратном направлении, на любом наперед заданном двоичном числе. Выход логического элемента нужно для этого присоединить к входам *J* и *K* первого триггера в асинхронном счетчике. При этом триггер *T1* переводится в режим хранения.



## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

- 1) Рассмотрим схему асинхронного счетчика по модулю 25 (рис.1). Модуль счета – это число различных состояний счетчика в процессе одного полного цикла.  $25_{10} = 11001_2$ , т.е. 1101 является конечной двоичной комбинацией счета. Сигналы с выходов триггеров  $T1$ ,  $T4$ ,  $T5$  (эти выходы соответствуют логической 1 в конечной комбинации счета) поданы на входы элемента ЗИ-НЕ ( $D1$ ). Выход элемента  $D1$  соединен с входами  $R$  (очистки) триггеров  $T1 - T5$ . Триггеры  $T1 - T5$  будут установлены в нулевое состояние (начало счета), когда на выходах  $T1$ ,  $T4$ ,  $T5$  будут логич. 1, т.е. когда в процессе счета получится комбинация 1101.

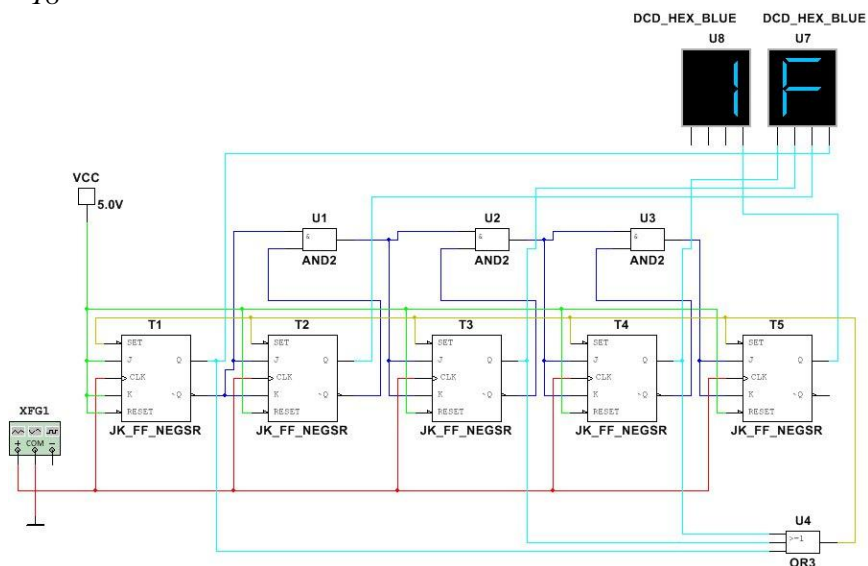


- 2) 

Рис.1. Схема асинхронного счетчика по модулю 25

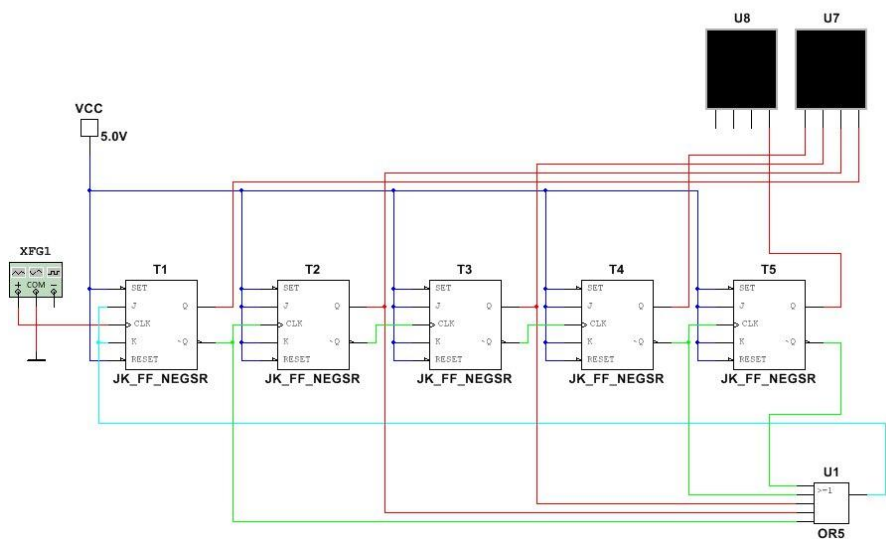
- 3) Рассмотрим схему синхронного счетчика с обратным счетом в диапазоне 31–18 (рис.2).  $18_{10} = 10010_2$ . Комбинация 10010 является конечной комбинацией счета. Сигналы с выходов триггеров  $T1$ ,  $T3$ ,  $T4$  (эти выходы соответствуют логическому 0 в конечной комбинации счета) поданы на входы элемента 3 ИЛИ ( $D1$ ). Выход элемента  $D1$  соединен с входами  $S$  (предустановки) триггеров  $T1 - T5$ . Триггеры  $T1 - T5$  будут установлены в единичное состояние (начало счета), когда на выходах  $T1$ ,  $T3$ ,  $T4$  будут логич. 0, т.е. когда в процессе счета получится комбинация 10010.

Рис.2. Схема синхронного счетчика с обратным счетом в диапазоне 31 – 18



Для получения самоостанавливающегося счетчика необходимо по достижении конечной комбинации счета установить логич. 0 на входах  $J$  и  $K$  первого триггера. Например, для счетчика по модулю 25 конечной будет комбинация 11001. Сигналы с прямых выходов триггеров  $T2$ ,  $T3$  и с обратных выходов триггеров  $T1$ ,  $T4$ ,  $T5$  подаются на входы элемента 3 ИЛИ ( $D1$ ). Выход элемента  $D1$  соединен с входами  $J$  и  $K$  триггера  $T1$ . Когда на прямых выходах триггеров  $T2$ ,  $T3$  установится логич. 0 и на обратных выходах триггеров  $T1$ ,  $T4$ ,  $T5$  – логич. 0 на выходе  $D1$  и на входах  $J$ ,  $K$  триггера  $T1$  будет логич. 0, что и является необходимым для остановки счета.

Рис. 3. Схема асинхронного самоостанавливающего счетчика по модулю 25



## ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

№	Задание 1 построить схему счетчика по указанному модулю	Задание 2 построить схему счетчика с обратным счетом в диапазоне
1	асинхронный – 11	синхронный 31 - 3
2	синхронный – 12	асинхронный 31 - 5
3	асинхронный – 30	синхронный 31 – 12
4	синхронный – 29	асинхронный 31 – 15
5	асинхронный – 14	синхронный 31 – 8
6	синхронный – 13	асинхронный 31 – 13
7	асинхронный – 28	синхронный 31 – 9
8	синхронный – 23	асинхронный 31 – 8
9	асинхронный – 17	синхронный 31 – 13
10	синхронный – 18	асинхронный 31 – 14
11	асинхронный – 26	синхронный 15 - 5
12	синхронный – 27	асинхронный 15 – 3
13	асинхронный – 19	синхронный 31 – 5
14	синхронный – 20	асинхронный 31 – 7
15	асинхронный – 24	синхронный 31 – 15
16	синхронный – 25	асинхронный 31 – 12
17	асинхронный – 21	синхронный 31 – 10
18	синхронный – 22	асинхронный 31 – 3
19	асинхронный – 12	синхронный 31 – 14
20	синхронный – 21	асинхронный 31 – 4
21	асинхронный – 23	синхронный 31 – 7
22	синхронный – 28	асинхронный 15 - 5
23	асинхронный – 29	синхронный 15 - 3
24	синхронный – 17	асинхронный 31 – 11
25	асинхронный – 18	синхронный 31 – 6
26	синхронный – 26	асинхронный 31 – 9
27	асинхронный – 27	синхронный 31 – 4
28	синхронный – 19	асинхронный 31 – 10
29	асинхронный – 20	синхронный 31 – 11
30	синхронный - 24	асинхронный 31 – 6

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. По каким принципам можно классифицировать счетчики?
2. В каком режиме работают JK – триггеры, используемые в асинхронном счетчике (рис.1)?
3. Сколько необходимо использовать JK – триггеров для построения счетчика по модулю 25?
4. Для каких целей применяется логический элемент 2И – НЕ в схеме асинхронного счетчика по модулю 10 (рис.3)?
5. Изобразите схему асинхронного счетчика прямого счета по модулю 25 на базе JK – триггеров.
6. Сигнал, какого уровня необходимо подать на S вход каждого JK – триггера в схеме асинхронного счетчика (рис.3)?
7. В чем отличия между синхронными и асинхронными счетчиками?
8. В каких режимах работают JK – триггеры, применяемые в схеме синхронного 3 - разрядного счетчика (рис.5)?
9. Сигналы, каких уровней подаются на входы S и R триггеров при работе асинхронного вычитающего счетчика (рис.5)?
10. Какие логические элементы, и с какой целью необходимо дополнительно ввести в схему на рис.1 для получения самоостанавливающегося счетчика?
11. Какие уровни сигналов подаются на входы J и K счетчика, показанного на рис.6?

### **ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №3**

Номер варианта студенту выдается преподавателем. Отчет на защиту предоставляется в печатном виде.

Структура отчета (на отдельном листе(-ах)):

- Титульный лист.
- Цели и задачи работы.
- Формулировка задания (вариант).
- Логические схемы исследования работы счетчиков (три схемы).
- Краткое описание работы каждой из схем.
- Выводы.