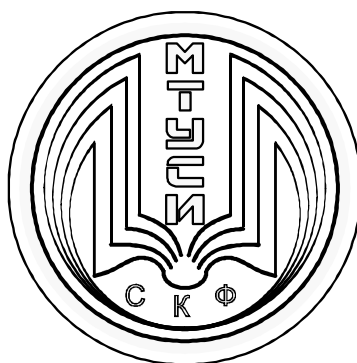


ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Северо-Кавказский филиал  
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
"Московский технический университет связи и информатики"

---



Методические указания  
к лабораторным и практическим занятиям

## СЧЕТЧИКИ

Направление подготовки:

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Ростов-на-Дону

2019 г.

УДК 681.3.06 (076)  
ББК 32.07

Чикалов А.Н. Счетчики. Методические указания к лабораторным и практическим занятиям. - Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2019. - 25с.

В пособии изложены методические рекомендации, содержательные материалы и контрольные задания для проведения лабораторных и практических занятий по освоению основных типов счетчиков и их использованию в различных системах. Пособие содержит необходимые справочные материалы.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профилей Многоканальные телекоммуникационные системы, Сети связи и системы коммутации, Защищенные системы и сети связи, Системы радиосвязи и радиодоступа, Вычислительные машины, комплексы, системы и сети, Программное обеспечение и интеллектуальные системы.

Пособие предназначено для использования при изучении дисциплин Вычислительная техника, Схемотехника телекоммуникационных устройств, а также может быть использовано преподавателями и студентами при изучении родственных дисциплин и в процессе самостоятельной работы.

**Составитель:**

доцент кафедры ИВТ Чикалов А.Н.

**Рецензент:** зав. кафедрой ИВТ СКФ МТУСИ, д.т.н. проф. Соколов С.В.

Издание рассмотрено и утверждено на заседании кафедры ИВТ  
26.08.2019 года протокол №1

© СКФ МТУСИ, 2019

© Чикалов А.Н., 2019 г.

### **Цель**

1. Выработать практические умения синтеза схем счетчиков и устройств на их основе.
2. Совершенствовать практические умения и навыки работы с цифровой техникой, ЭВМ и системами моделирования.
3. Совершенствовать навыки анализа, обобщения и систематизации полученных результатов, составления и оформления отчетных материалов, точного и лаконичного представления докладов на вопросы технического характера.

### **Учебные вопросы**

1. Исследование счетчиков на основе универсальных триггеров (RSJKC).
2. Исследование схемы счетчиков с различными способами переноса.
3. Исследование схемы счетчика K155IE7.
4. Исследование функционирования многоразрядного счетчика.
5. Исследование делителя на основе метода "со сбросом".
6. Исследование делителя на основе метода "с предустановкой".
7. Построение секундомера.
8. Построение делителей на базе ИМС K155IE2.
9. Построение делителей на базе ИМС K155IE5.

### **Литература для подготовки к занятию**

1. Угрюмов Е.П. Цифровая Схемотехника: Учебное пособие для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 816с.
2. Бойко В.И. и др. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства.- СПб.: БХВ-Петербург, 2004.-512с.
3. Потемкин И.С. Функциональные узлы цифровой автоматики. - М.: Энергоатомиздат, 1988.-320с.
4. Нефедов А. В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги. Справочник. Т. 1-12.— М.: ИП РадиоСофт, 2000.
5. [www://vpri.ru/index/mikroskhemy/](http://vpri.ru/index/mikroskhemy/)

### **Содержание отчета**

1. Название работы.
2. По каждому из заданий должны быть представлены название задания и те конкретные данные, которые указаны в задании.
3. Краткие ответы на те контрольные вопросы для самопроверки, которые ещё не нашли своего отражения в отчете, но вызывают затруднения для понимания.

### **Актуальность занятия**

Схемы счетчиков являются базовыми для реализации различных схем и устройств вычислительной техники. На них строятся делители частоты, пре-

образователи аналогового сигнала в цифровой и наоборот, с их помощью подсчитывают число происходящих событий. Счетчики управляют процессом выполнения программ в вычислителях. Поэтому знание принципов построения и работы счетчиков, основ проектирования устройств на их основе является обязательным.

### Вопросы для подготовки к занятию

1. Какие триггеры используются для построения счетчиков?
2. Приведите УГО типового счетчика и поясните назначение входов и выходов.
3. Какие основные операции реализует счетчик.
4. По какому сигналу происходит переключение счетчика?

## Краткие сведения из теории

### Классификация счетчиков

**Счетчиком** называется устройство, предназначенное для подсчета числа событий. Событие для обычного счетчика должно быть формализовано в виде фронта (переднего или заднего) сигнала. Именно по фронту сигнала счетчик меняет свое состояние. И именно фронт называют активным входным сигналом. Состояние обычного счетчика фиксируется двоичным кодом и позволяет определить количество поданных и посчитанных сигналов.

По мере поступления входных сигналов счетчик *последовательно* меняет на единицу свои состояния в определенном для данной схемы порядке (в сторону увеличения или в сторону уменьшения). Длину списка используемых устойчивых состояний (параметр М) называет **модулем** пересчета, основанием пересчета или емкостью счетчика. Одно из возможных состояний счетчика принимается за начальное (чаще это нулевое состояние). Если счетчик начал считать с начального состояния, то через каждые М сигналов в нем снова устанавливается начальное состояние, а на выходе счетчика при этом появляется сигнал М-ичного переноса в следующий более старший разряд.

Различные схемы счетчиков могут перебирать свои состояния в самом различном порядке. Чаще всего применяются двоичные счетчики, у которых порядок смены состояний триггеров соответствует естественной последовательности двоичных чисел. Кроме того, иногда могут применяться одинарное кодирование, при котором состояние счетчика представлено местом расположения единственной единицы (например, сдвигающий регистр с однойдвигающейся единицей), а также унитарное кодирование, когда состояние представлено числом единиц. Возможны и другие более сложные виды кодирования. В пособии рассматриваются только счетчики с естественным чередованием двоичных кодов.

Если счетчик перебирает свои состояния в возрастающем порядке, его называют **суммирующим**. Если состояния перебираются в убывающем по-

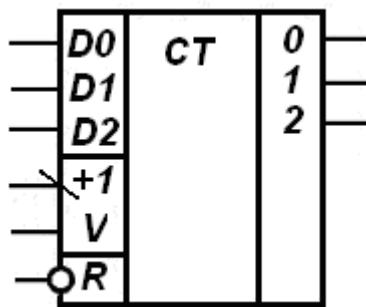
рядке, то такой счетчик называется **вычитающим**. Если же направление перебора может изменяться, то счетчик называют **реверсивным**.

Счетчики, которые в процессе работы для переключения требуют подачи синхросигналов, называют синхронными, а счетчики, у которых для переключения достаточно подавать лишь входные счетные сигналы - асинхронными. Часто счетчик снабжен входом общего сброса R и входами данных  $D_i$  для параллельной загрузки произвольного кода.

Условное графическое обозначение трехразрядного счетчика и последовательность его состояний представлено на рис.1.

Типовыми внешними связями счетчика являются:

- информационные входы (входы данных)  $D_i$ , по которым в счетчик можно загружать данные параллельным кодом;
- вход выбора режима V, по которому для счетчика устанавливается либо режим счета, либо режим записи по входам  $D_i$ . Если запись осуществляется без дополнительных сигналов синхронизации, то вход V могут называть входом асинхронной записи;



а)

б)

+1	Выходы		
	2	1	0
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1

Рис.1. УГО (а) и таблица состояний (б) счетчика

- вход сброса (гашения, установки в 0) R, по которому счетчик переводится в начальное нулевое состояние. Как и в триггерах, этот вход имеет приоритет. Вход R может и отсутствовать в счетнике. Существуют счетчики, у которых имеется вход установки S. Такие счетчики по этому входу устанавливаются в некоторое отличное от нуля начальное состояние. Это требуется в специальных счетниках, реализующих пересчетные функции. В обычных счетниках входы установки не используются;

- счетные сигналы подаются на вход "+1" для суммирующего счетчика и на вход "-1" - для вычитающего. Они называются счетными входами. На этих входах, как и в Т-триггерах, обозначается фронт, по которому происходит смена состояния счетчика;

- выходы счетчика (триггеров) 0-2, по которым фиксируется его состояние. Выходы формируют двоичный код, поэтому для счетчика важен

номер выхода, отображающий вес этого выхода в двоичном коде. Принято младший разряд (с меньшим весом) обозначать меньшей цифрой. Нумерация может начинаться с нуля, с единицы и продолжаться последовательными цифрами, либо непосредственно соответствовать весам разрядов, т.е. 1, 2, 4, 8 и т.д.

По функциональному назначению микросхемы счетчиков обозначаются буквенной комбинацией "ИЕ": И - дискретное устройство, Е - счетчик. Например, К155ИЕ7, КР555ИЕ5.

Счетчики, как и регистры, классифицируют по ряду основных признаков. Основные из них представлены на рис.2.

### **Принципы построения счетчиков**

Счетчики строятся из триггеров, обеспечивающих им свойство запоминания информации. Поэтому операции, свойственные для регистров, реализуются для счетчиков аналогично тому, как это выполнялось для регистров. В частности, это операции параллельной записи, сброса, выдачи, операции, требующие совмещения разных действий по одним и тем же входам (например, операции изменения направления счета).

Особенными для счетчиков являются сами операции счета. Поэтому именно они будут рассмотрены в этом подразделе.

Счетчики строятся на основе Т-триггеров. Именно их поведение точно соответствует динамике изменения кодов при подсчете числа событий. В этом легко убедиться на рис.1,б. Например, самый младший разряд счетчика изменяется на противоположный всякий раз, когда на вход поступает очередной счетный сигнал. Именно так ведет себя триггер по входу Т. От этого свойства вход и получил свое название – "счетный вход".

Если рассматривать следующий по старшинству разряд (с обозначением "1"), то его состояние меняется после достижения младшим разрядом "0" своего максимального значения – единицы. Следующий счетный сигнал должен вызвать появление переноса в разряд "1". Разряд "1" показывает, сколько раз разряд "0" заполнялся целиком до максимального значения. Легко заметить, что смена состояния разряда "1" происходит при изменении разряда "0" с единицы на ноль, т.е. по заднему фронту сигнала, являющегося состоянием этого разряда. Задний фронт предыдущего (нулевого) разряда и есть сигнал переноса. Причем по заднему фронту сигнала разряда "0" смена состояния разряда "1" происходит на противоположное состояние по отношению к существующему. Эти наблюдения позволяют построить схемы различных типов счетчиков.

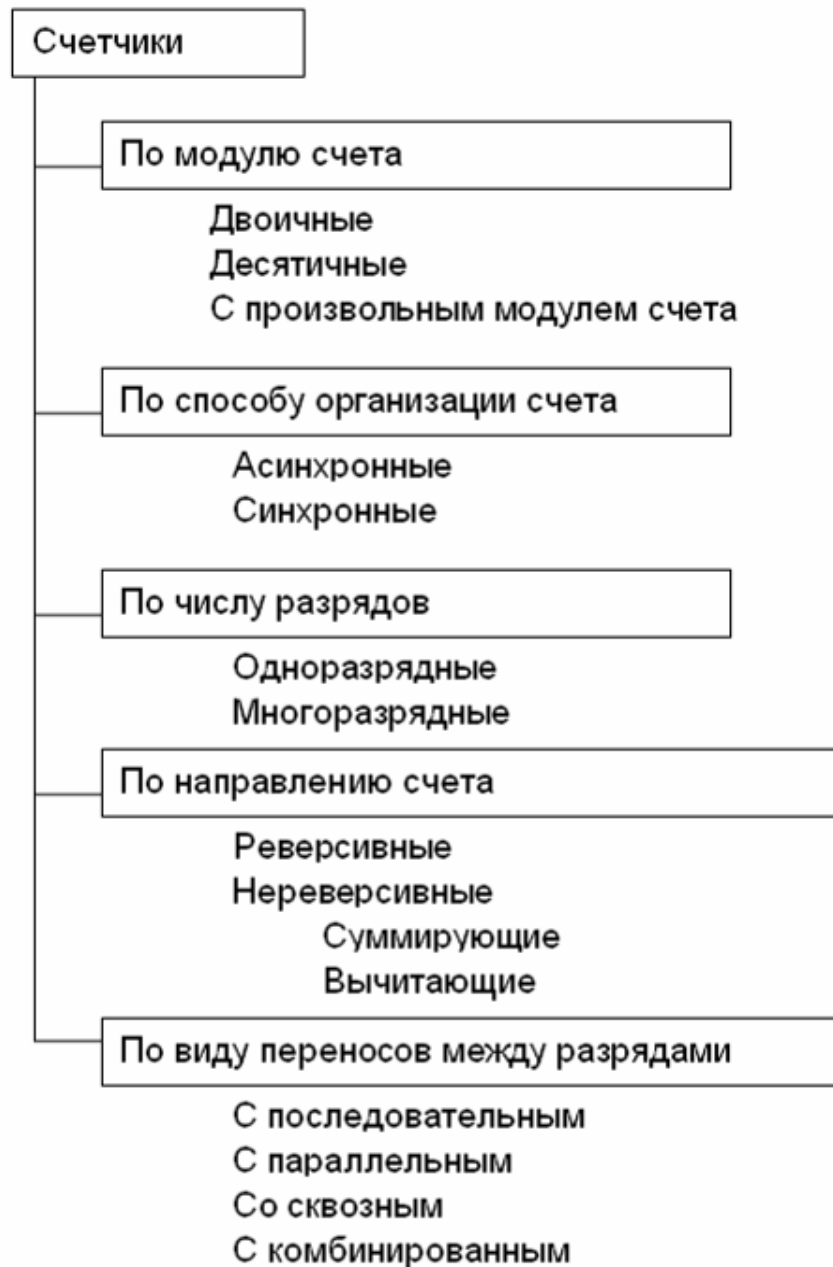


Рис.2. Классификация счетчиков

### **Счетчик с последовательным переносом.**

Схема счетчика с последовательным переносом и временные диаграммы его работы представлены на рис.3. Переключение триггеров в таком счетчике по заднему фронту (срезу) входного счетного импульса (СИ) происходит триггер за триггером последовательно, и задержка распространения  $n$ -разрядного счетчика оценивается задержкой самого худшего случая - сменой состояний всех разрядов. Это в  $n$  раз больше задержки распространения сигнала одного Т-триггера. Если разрядов много, то большая задержка может оказаться серьезным недостатком такого счетчика.

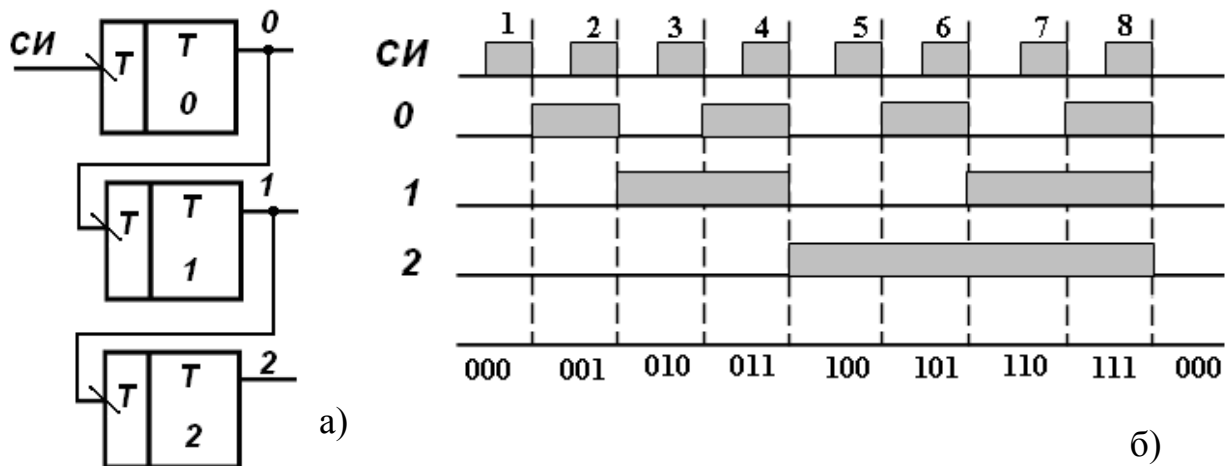


Рис.3. Схема (а) и временные диаграммы (б) суммирующего счетчика с последовательным переносом

В силу неодновременного переключения триггеров, прежде, чем верное состояние установится, на выходах счетчика будут кратковременно появляться различные неверные коды. С таким счетчиком приходится обращаться как с комбинационной схемой, правильный выход которой устанавливается лишь спустя интервал максимальной задержки распространения сигнала.

Специальных выходов переноса такие счетчики не имеют. Роль выходного переноса играет срез состояния (задний фронт) на выходе старшего разряда. Для наращивания счетчика вход еще одного Т-триггера или такого же счетчика подключается непосредственно к выходу старшего разряда.

Достоинствами счетчика с последовательным переносом и задним фронтом срабатывания являются предельная простота схемы и легкость ее наращивания для увеличения разрядности. Как правило, специальных выходов переноса такие схемы не имеют.

Примером счетчика с последовательным переносом может служить микросхема К155ИЕ5.

Если коды счетчика читать по-прежнему с прямых выходов триггеров, а перенос на следующий разряд забирать с инверсного выхода триггера, то счетчик становится вычитающим. В этом несложно убедиться самостоятельно, если проследить переключение каждого триггера по заднему фронту сигнала предыдущего разряда. Аналогично, если оставить перенос с прямого выхода предыдущего триггера, а фронт срабатывания изменить на передний, то счетчик опять получится вычитающий. Таким образом, направление счета зависит от фронта срабатывания триггера и прямого или инверсного выхода, используемого в качестве сигнала для переноса в следующий разряд.

Такой вывод позволяет определить и подход в построении реверсивных счетчиков. Если направление счета зависит от типа используемого выхода для формирования переноса, то для этого достаточно с помощью мультиплексора коммутировать эти выходы на Т-вход последующего триггера.

### Счетчик с параллельным переносом.

Параллельный перенос предполагает подачу импульсов счета на все триггеры счетчика одновременно. Для этого необходимо анализировать текущее состояние счетчика и формировать счетный импульс на те из триггеров, которые должны переключиться в настоящий момент. Это дает возможность переключать все триггеры почти одновременно в пределах лишь разброса задержки входной логики триггеров. В результате время задержки у счетчика с параллельным переносом существенно меньше, чем у счетчиков с последовательным переносом. Кроме того, время не зависит от числа разрядов.

Логика подачи счетных сигналов на триггеры будет реализована комбинационной схемой, которую синтезируют по общепринятым методикам.

Состояния счетчика кодируются последовательно увеличивающимися двоичными кодами, начиная с нулевого. Тогда для трех разрядов счетчика на основе Т-триггеров и динамики изменения состояний триггеров возможно составить таблицу для построения функций возбуждения триггеров (рис.4). Эти функции образуют логику входной комбинационной схемы управления счетчиком.

№ так-та	Предшествующие состояния триггеров			Последующие состояния триггеров			Сигналы управления триггерами		
	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$Q_3$	$Q_2$	$Q_1$	$q_3$	$q_2$	$q_1$
0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
2	0	1	0	0	1	1	0	0	1
3	0	1	1	1	0	0	1	1	1
4	1	0	0	1	0	1	0	0	1
5	1	0	1	1	1	0	0	1	1
6	1	1	0	1	1	1	0	0	1
7	1	1	1	0	0	0	1	1	1

Рис.4. Таблица функций возбуждения триггеров

Сигналы управления триггерами показывают те разряды, на которые должен подаваться счетный сигнал для получения последующего состояния счетчика из предыдущего. Функции справедливы, естественно, только для Т-входов триггеров.

На основании данных этой таблицы для функций  $q_3$ ,  $q_2$ ,  $q_1$ , могут быть с целью минимизации построены карты Карно (рис.5), из которых можно получить минимальные дизъюнктивные нормальные формы (МДНФ).

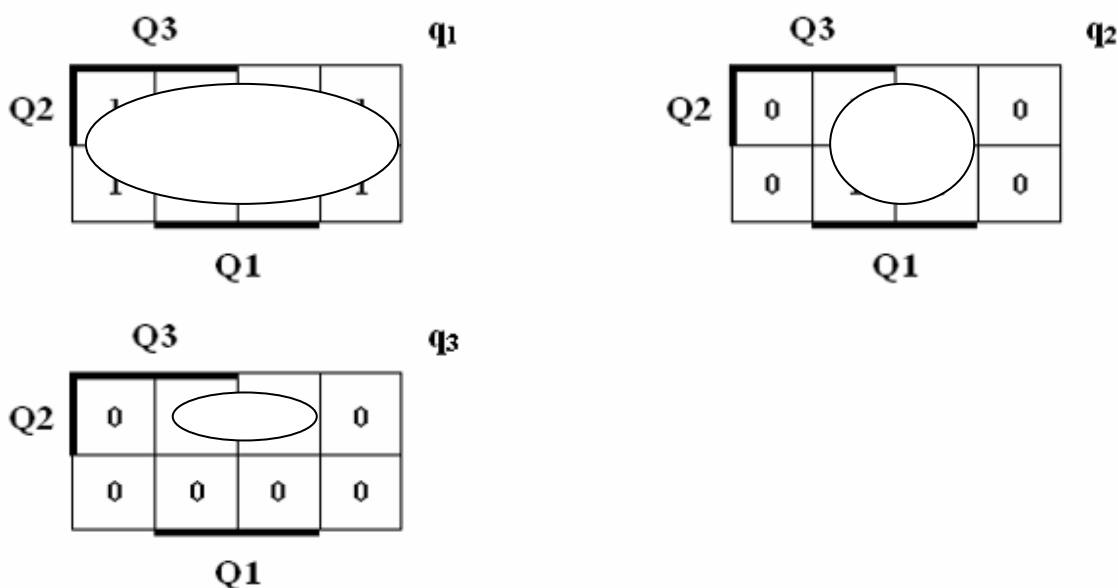


Рис.5. Карты Карно для минимизации функций возбуждения триггеров

Из карт Карно по выделенным для объединения конъюнкциям следует, что

$$\begin{aligned} q_1 &= 1, \\ q_2 &= Q1, \\ q_3 &= Q1 * Q2. \end{aligned}$$

Эти минимальные логические выражения соответствуют выходным сигналам входной комбинационной логической схемы и должны быть поданы на счетный вход одноименного триггера для смены его состояния в соответствии с таблицей на рис.4. Смена всех состояний осуществляется только при подаче счетного сигнала +1, поэтому он должен присутствовать в каждой конъюнкции. Схема такого счетчика показана на рис.6,а.

Высокая скорость переключений обеспечивается в этой схеме дополнительными аппаратными затратами. Причем каждый последующий элемент "И" в схеме управления должен иметь на один вход больше предыдущего. Поэтому на максимальную разрядность таких счетчиков из дискретных компонентов накладывает ограничение максимальное число входов логического элемента "И". Схемы большой разрядности, обычно, набирают из нескольких малоразрядных счетчиков.

Некоторое упрощение схемы счетчика с параллельным переносом можно получить на универсальных JK-триггерах (например, КМ155ТВ1) с встроенными схемами "И" для входов JK (рис.6,б). На них и реализуются функции возбуждения триггеров. Счетный вход для универсального JK-триггера образуется при одновременной подаче активного сигнала на входы J и K. Поэтому при подаче на входы синхронизации "С" счетного сигнала "+1" срабатывает соответствующий триггер. Вход  $q_1$  (т.е. JK-цепь первого тригге-

ра) следует подключить к положительному потенциалу источника питания через ограничительный резистор для формирования константы единицы.

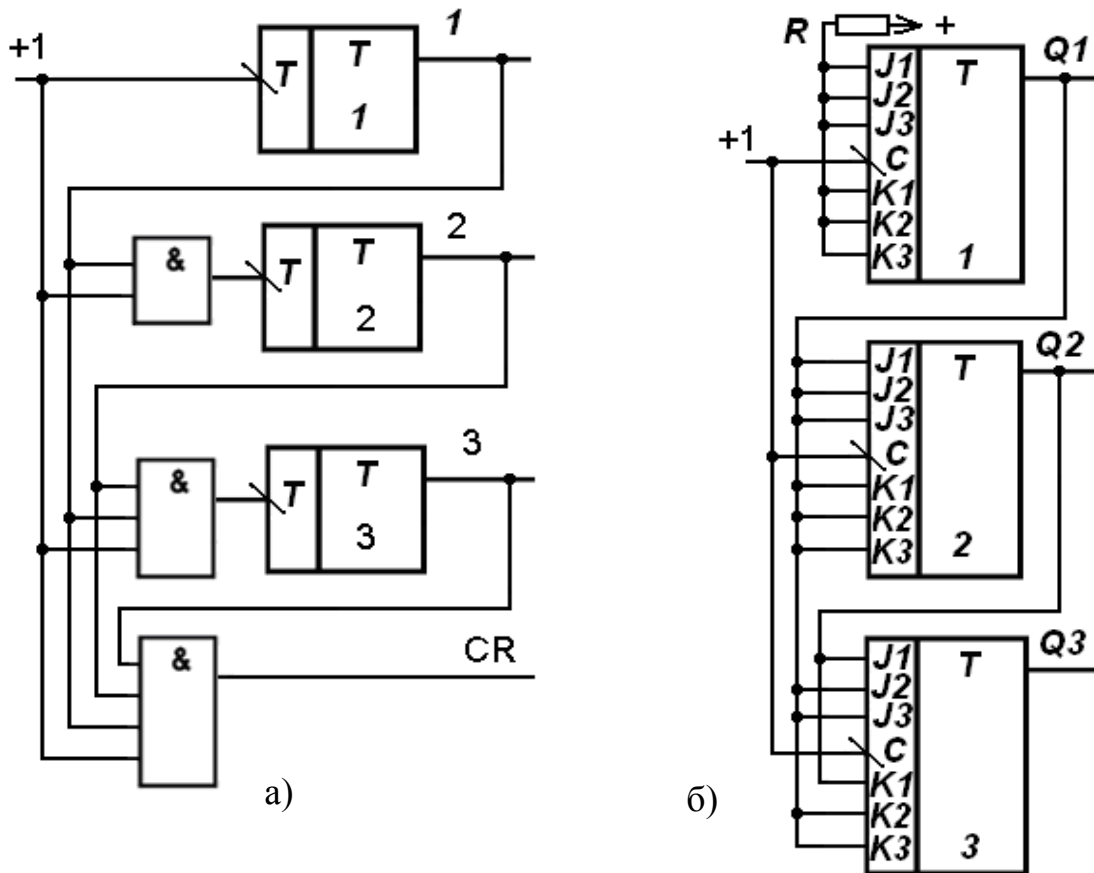


Рис.6. Схема счетчика с параллельным переносом на Т-триггерах (а) и на JK-триггерах с встроенной логикой (б)

### Счетчики с произвольным модулем счета

Различные области применения требуют счетчиков с модулями пересчета (основаниями) не только кратными целой степени двойки, но и другими. Например, для работы в десятичной системе - 10, для схем часов и календарей - 60, 24, 7. В общем случае требуется строить счетчики по любому заданному основанию  $M$ . Иногда пересчет выгоднее реализовать на единственном счетчике, иногда - разложить модуль на несколько сомножителей. Это зависит от особенностей решаемой задачи и критериев оптимизации схемы.

В любом случае модуль счета  $M$  равен количеству устойчивых состояний, которые имеет счетчик. На базе готовых счетчиков счетчик по произвольному основанию можно построить двумя основными способами.

### Метод со сбросом.

Этот метод предполагает выполнение операции сброса для возобновления нового цикла перебора устойчивых состояний. Схема счетчика при этом дополняется схемой гашения на элементе "И", которая по состояниям выходов  $Q_i$  обнаруживает код конца счета (первое неустойчивое состояние), после чего по цепи  $R$  сбрасывает счетчик в ноль. Структурная схема, реализующая этот способ, показана на рис.7. Сигнал, сбрасывающий счетчик, одновременно является и сигналом  $M$ -ичного переноса  $CR_M$ . Достоинством способа является естественное чередование двоичных кодов от 0 до  $M-1$ , использование уже имеющегося в счетчиках входа  $R$ , возможность в случае суммирующего счетчика собрать на элементе "И" лишь прямые выходы тех триггеров, которые при конце счета равны 1. Это упрощает схему, но не избавляет от необходимости иметь логический элемент, который, по сути, играет роль дешифратора первого неустойчивого состояния счетчика.

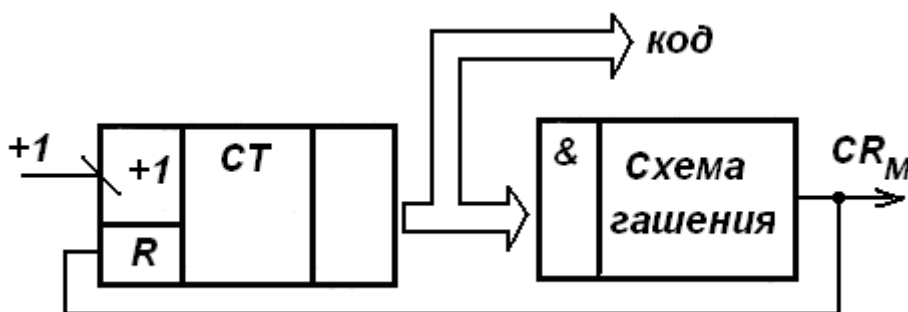


Рис.7. Принцип реализации метода "со сбросом"

Легко заметить, что модуль счета в этом методе совпадает с кодом первого неустойчивого состояния счетчика, при достижении которого должен вырабатываться сигнал сброса, и приводить к переходу в начальное состояние 0 (первое из устойчивых).

### Метод с предустановкой.

Метод предполагает начало счета с некоторого начального (предустановленного) кода до максимально возможного для этого счетчика. Последующее состояние (нулевое) должно обеспечивать опять переход на начальное состояние. В этом методе устойчивыми являются коды, относящиеся к самой нижней части таблицы всех увеличивающихся кодов счетчика, начиная с кода дополнения  $K=2^n - M$ .

Кодом конца счета в этом случае является естественное переполнение счетчика, т.е. замена кода "все единицы" на нуль, обнаруживаемый штатным трактом переноса. Поэтому сигнал переноса  $CR_M$ , воздействуя на вход  $PL$ , управляющий параллельной загрузкой, снова устанавливает в счетчике дополнение  $K$ . Для этого на входах  $D$  должны присутствовать константы кода предустановки. При отсутствии выхода переноса (например, в счетчиках с задним фронтом срабатывания) требуется схема дешифратора, выдающая ак-



Изменяя связи между триггерами, предприятия изготавливают микросхемы счетчиков с модулем пересчета 16, 12 и 10. В некоторых микросхемах счетчик разбивается на две части: триггер (т.е. счетчик на 2) с выведенными входом и выходом и счетчик на 8, 6 или 5 также с автономными входами и выходами. Для примера на рис.9,а представлено условное графическое обозначение двоичного счетчика К155ИЕ5, а на рис.9,б - десятичного счетчика К155ИЕ2. Вход С1 и выход 1 обоих счетчиков являются выводами первого триггера. Оставшийся счетчик со входом С2 и выходами 2, 4, 8 в микросхеме КЕ55ИЕ5 реализует счетчик до 8, а в микросхеме К155ИЕ2 - до 5.

Для получения четырехразрядных счетчиков необходимо произвести соединения выводов микросхемы, как показано на рисунках пунктирной линией. При этом модуль счета микросхемы К155ИЕ5 будет равен 16, а микросхемы К155ИЕ2 - 10. Особенностью обоих микросхем является реализация сброса по схеме "И". Для обнуления счетчиков необходимо на оба входа & и R одновременно подать логическую единицу.

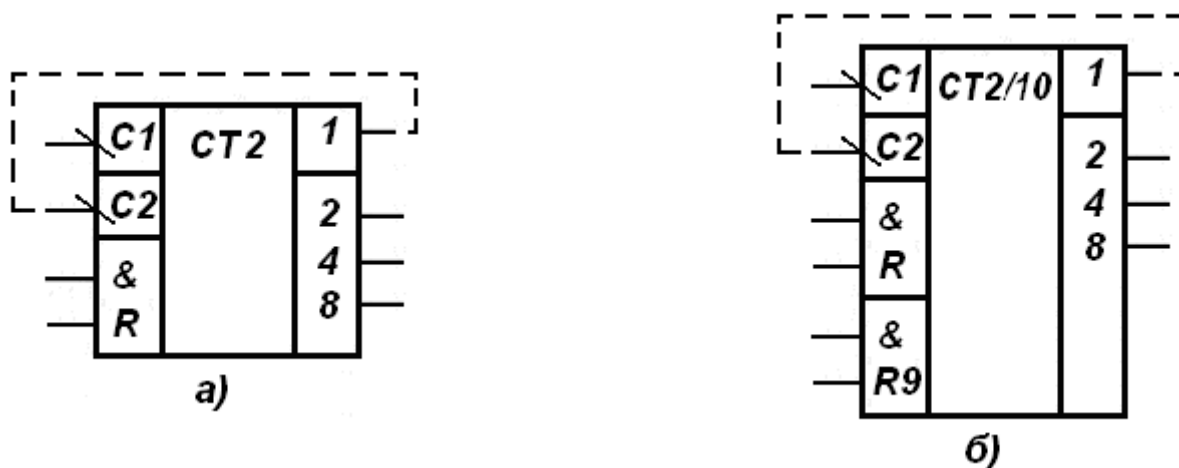


Рис.9. Счетчики К155ИЕ5 (а) и К155ИЕ2 (б)

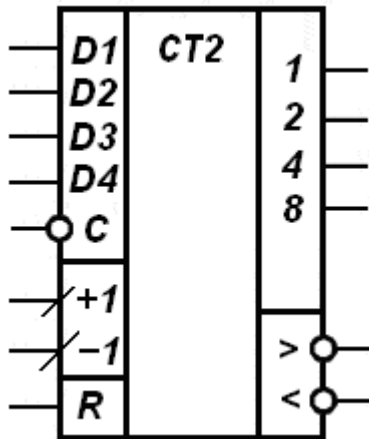
В микросхеме К155ИЕ2 дополнительно реализована возможность установки счетчика в состояние 1001, это происходит при одновременной подаче логической 1 на входы & и R9. Эти особенности позволяют упростить получение счетчиков с другим модулем счета, так как схемы гашения можно реализовать на имеющейся логике входов сброса и установки.

Счетчики с параллельным переносом часто выполняют реверсивными. Примером может служить микросхема К155ИЕ7 (рис.10,а).

Она предназначена для счета в двоичном коде, и состоит из четырех триггеров и управляющих логических элементов. Счетчик устойчиво работает на частоте до 20 МГц и имеет входы для прямого и обратного счета. Направление счета зависит от того, на какой вход подают последовательность входных импульсов. При подаче импульсов на вход +1 счет идет в прямом направлении, при подаче импульсов на вход -1 - в обратном направлении. Условия счета представлены в таблице режимов на рис.10,б. Установка в нулевое состояние происходит независимо от уровня на счетных входах и входе

С: при подаче на вход R логической 1. Этот вход обладает наивысшим приоритетом. При подаче на него логической 1 счет и запись со входов D будет блокироваться. Параллельная запись осуществляется при нулевом сигнале на входе С.

Логика этого счетчика построена так, что в режиме суммирования второй счетный вход -1 работает как вход разрешения счета: при формировании на нем нулевого сигнала счет по входу +1 прекращается (см. рис 10,б). Аналогично работает счетчик и в режиме вычитания. Это свойство существенно расширяет возможности ИМС.



а)

Входы				Режим счетчика
+1	-1	R	C	
Г	1	0	1	Суммирование
1	Г	0	1	Вычитание
х	х	0	0	Запись параллельная
х	х	1	х	Сброс
1	1	0	1	Хранение

б)

Рис.10. УГО счетчика К155ИЕ7 (а) и его таблица режимов (б)

Выходные сигналы счетчика появляются на выходах 1,2,4,8. На выходах ">" и "<" формируются сигналы переноса в следующий разряд при суммировании и вычитании соответственно. При суммировании с появлением максимального кода на выходах и спаде последнего счетного сигнала на выходе ">" формируется нуль. С появлением следующего переднего фронта на входе +1 на выходе ">" появляется опять единичное значение (рис.11).

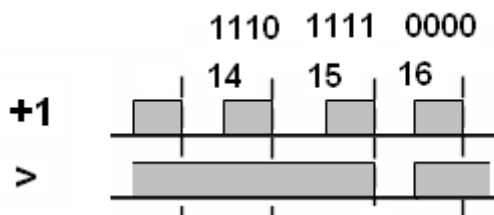


Рис.11. Динамика выхода переноса при полном заполнении счетчика

Таким образом, на выходе ">" за весь цикл состояний счетчика нуль появляется только один раз. Переход с нуля на единицу на нем и является сигналом переноса в следующий разряд. Аналогичная динамика наблюдается и при формировании сигнала займа с выхода "<" в режиме вычитания.

Практически такое же обозначение и такую же таблицу режимов имеет счетчик К155ИЕ6. Отличие состоит только в том, что его модуль равен 10. Это отражается в обозначении функции как "СТ2/10".

Используя выходы переносов, можно строить многоразрядные реверсивные счетчики без дополнительных элементов, простым соединением выходов переноса и займа сигнала с входами прямого и обратного счета (рис.12). Такая проблема существует только у интегральных счетчиков с передним фронтом срабатывания. Счетчики с задним фронтом срабатывания специальных схем формирования переносов не имеют.

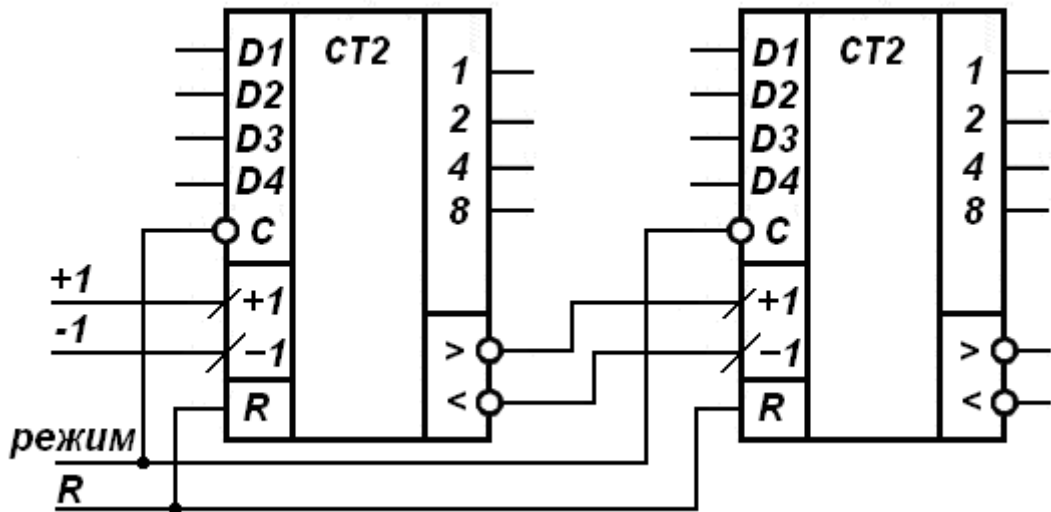


Рис.12. Нарастивание разрядности счетчиков с передним фронтом срабатывания

Микросхемы счетчиков выпускают также в качестве делителей. В этом случае они имеют лишь счетный вход и выход переноса, без выходов состояний триггеров. Примером может служить микросхема К155ИЕ1, которая является делителем входной частоты на 10. Условное графическое обозначение ее представлено на рис.13,а.

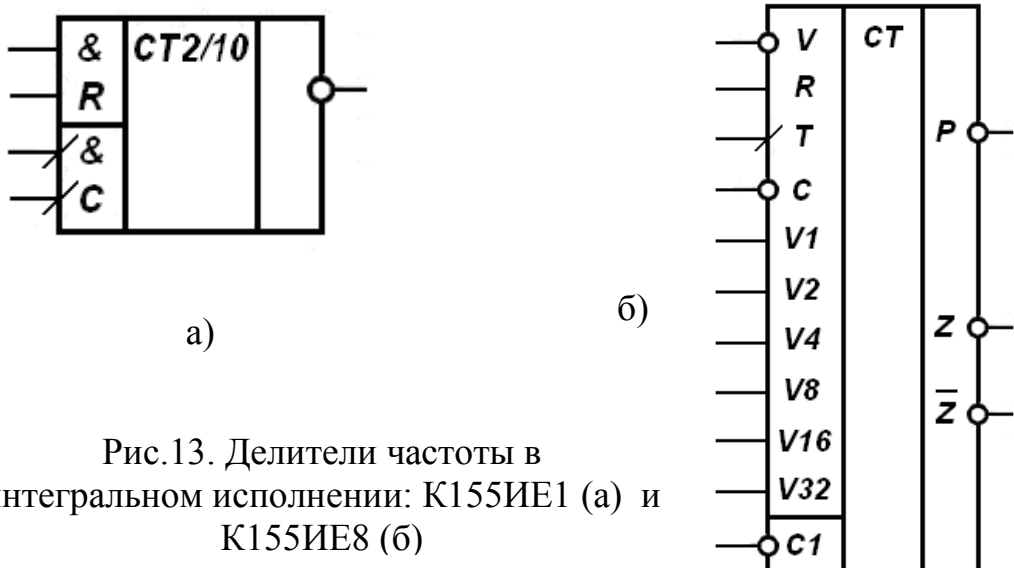


Рис.13. Делители частоты в интегральном исполнении: К155ИЕ1 (а) и К155ИЕ8 (б)

Микросхема содержит четыре последовательно включенных триггера. Сбрасываются все триггеры в нулевое состояние подачей напряжения высокого уровня одновременно на оба входа R, объединенные по схеме "И" (об этом говорит обозначение "&"). Счетные сигналы с передним фронтом подаются на соединенные вместе входы C, также объединенные по схеме "И". Возможен счет и при высоком уровне сигнала на одном из счетных входов. При каждом десятом входном импульсе на выходе делитель формирует равный по длительности входному импульс низкого уровня.

На рис.13,б представлен шестиразрядный двоичный делитель частоты с предварительной установкой коэффициента деления K155ИЕ8. Счетчик работает, если на стробирующий вход C, вход обнуления R и на разрешающий вход V подан уровень 0.

Микросхема состоит из счетчика, элементов совпадения и стробирующих элементов. Счетчик делит частоту сигнала максимум на 64. Элементы совпадения выделяют второй, четвертый, восьмой и т.д. импульсы. С помощью стробирующих элементов на выход микросхемы подается часть или все выделенные импульсы. В результате частоту входных импульсов можно изменять от 1/64 до 63/64 частоты входных импульсов. Счет происходит при подаче импульсов на вход T и блокируется при подаче на вход V сигнала 1. С помощью управляющего кода по входам V1, V2, V4, V8, V16, V32 можно менять время появления сигнала на выходе Z и инверсном  $\bar{Z}$ . Если на входе V8 установить уровень 1, то на выходе выделится каждый восьмой импульс, а если на входе V16 – то каждый шестнадцатый и т.д. Комбинация единиц на нескольких входах дает суммарное количество импульсов на выходе, вычисляемое по формуле:

$$N=V1+2*V2+4*V4+8*V8+16*V16+32*V32.$$

Выход R является выходом переноса для наращивания делителей. Вход C1 стробирует инверсный выход  $\bar{Z}$  и при подаче нуля формирует на нем константу единицы.

### **Задание 1. Исследование счетчиков на основе универсальных триггеров (RSJKC).**

Для этого необходимо выбрать их библиотеки JK-триггер, обеспечить его работу в режиме T-триггера и создать необходимые связи для организации 3-х разрядного суммирующего счетчика с последовательным переносом. Рядом построить схему 3-х разрядного вычитающего счетчика. Провести анализ функционирования полученных схем. Схемы с экрана не удалять.

Последовательность выполнения задания:

- 1) собрать схему суммирующего трехразрядного счетчика с последовательным переносом на JK-триггерах. Вместе с обычными индикаторами использовать семисегментный индикатор на выходе счетчика;
- 2) проверить правильность функционирования счетчика;
- 3) рядом справа на рабочем поле собрать схему трехразрядного вычитающего счетчика с последовательным переносом на JK-триггерах;
- 4) проверить правильность функционирования вычитающего счетчика.

В отчете представить:

- схему функциональную двух счетчиков;
- вывод о закономерностях в структуре счетчиков, определяющих направление счета;
- предложения о способе создания реверсивного счетчика.

## **Задание 2. Исследование схемы счетчиков с различными способами переноса**

Задание выполняется по указанию преподавателя. Для выполнения необходимо, сохранив на экране суммирующий счетчик из предыдущего задания, на месте вычитающего счетчика синтезировать функциональную схему суммирующего счетчика с параллельным переносом и проверить правильность ее функционирования.

Последовательность выполнения задания:

- 1) вывести функции возбуждения для Т-входов триггеров счетчика с параллельным переносом. В случае затруднений воспользоваться ранее приведенным материалом этого пособия;
- 2) сохранить из предыдущего задания схему суммирующего счетчика с последовательным переносом и синтезировать справа по полученным логическим выражениям трехразрядный суммирующий счетчик с параллельным переносом. В качестве элементной базы использовать доработанный триггер ИМС K155TM2 и логические элементы из состава библиотеки моделирующей программы. Оба счетчика должны выполнять также операцию обнуления;
- 3) обеспечить управление входами счетчиков и наблюдение сигналов в необходимых точках.

Для осуществления детального анализа поведения счетчика целесообразно привлечь буфер логического анализатора, вызываемый на рабочее поле клавишей "Р". К каждому входу буфера можно подключить контролируемые точки схемы, выполнить тестирование схемы в режиме моделирования, а затем вызвать временные диаграммы контролируемых точек (выполнив нажатие **F1\ГРАФИК**). Следует учесть, что диаграммы будут показаны с учетом задержек срабатывания элементов, пропорциональных их функциональной сложности. Более детально ознакомиться с работой в режиме временных

диаграмм можно в пособии: Логические элементы и триггеры. Методические указания к лабораторным и практическим занятиям. Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский филиал МТУСИ, 2016, стр.10.

4) задавая необходимые входные воздействия, проверить правильность функционирования счетчиков;

5) сделать вывод о работоспособности исследуемых счетчиков и их быстродействии, фронте срабатывания. Анализ быстродействия выполнить в режиме отображения диаграмм в относительных единицах;

6) при обнаружении неправильного функционирования счетчика:

- проверить точность аналитических расчетов;
- по временной диаграмме с учетом задержек проанализировать динамику поступления сигналов на счетные входы триггеров. Сделать вывод о причине ошибок и сформулировать способы их устранения. Диаграммы наблюдать с помощью логического анализатора;

- диаграммы занести в отчет;

- откорректировать схему и убедиться в ее работоспособности. Схему счетчика с параллельным переносом занести в отчет;

7) создать трехразрядный вычитающий счетчик с параллельным переносом, исправив соответствующим образом уже набранную схему. Проверить ее работоспособность;

8) сделать вывод о структурных отличиях суммирующих и вычитающих счетчиков;

9) сформулировать рекомендации по выбору триггера, обеспечивающего устойчивую работу счетчика с произвольным способом переноса и произвольным направлением счета.

В отчете представить:

- схему функциональную суммирующего и вычитающего счетчика с параллельным переносом;

- условное графическое обозначение счетчика;

- функции возбуждения входов триггеров счетчика с параллельным переносом;

- вывод об отличиях в структуре вычитающих и суммирующих счетчиков;

- выводы о типе триггера, обеспечивающего устойчивую работу счетчика со сложными схемами управления входами.

### **Задание 3. Исследование схемы счетчика K155ИЕ7**

Выбрать счетчик из библиотеки моделирующей программы, обеспечить управление и наблюдение за каждым выводом и реализовать все возможные режимы работы счетчика. Составить таблицу режимов работы счетчика. Возможные режимы работы счетчика следует спрогнозировать по типовым назначениям входов счетчика, изучая его УГО. В случае затруднений

возможно воспользоваться справочными материалами на доступных носителях и Интернетом. Подтверждение гипотез должно быть проверено на модели. Таблицу режимов занести в отчет в формате таблицы:

+1	-1	R	C	Название режима
----	----	---	---	-----------------

В отчете представить:

- условное графическое обозначение счетчика;
- назначение входов и выходов счетчика;
- таблицу режимов счетчика.

#### **Задание 4. Исследование функционирования многоразрядного счетчика**

Для этого необходимо нарастить разрядность счетчика, дополнив счетчик K155IE7 триггерами, и проверить работоспособность получившегося многоразрядного счетчика.

Последовательность выполнения задания:

1) синтезировать шестиразрядных суммирующий счетчик, дополнив счетчик K155IE7 одним JK-триггером на месте младшего разряда и одним JK-триггером на месте старшего разряда. Счетчик должен выполнять запись информации и сброс (для этого допустимо использовать одновременно несколько входов разных узлов в целях экономии времени);

2) обеспечить управление всеми входами получившегося счетчика и наблюдение сигналов в необходимых точках. Контролировать коды счетчика необходимо с помощью двух семисегментных индикаторов;

3) проверить и сделать вывод о работоспособности счетчика. В случае ошибочной работы счетчика выявить причину нарушения и устранить. Схему занести в отчет.

4) откорректировать схему таким образом, чтобы получился счетчик вычитающий. Проверить работоспособность счетчика. Изменения отразить на схеме в отчете.

В отчете представить:

- схему функциональную суммирующего и вычитающего счетчиков;
- при наличии ошибок – вывод о причине неправильной работы и способах ее устранения.

### Задание 5. Исследование делителя на основе метода "со сбросом"

На основе счетчиков 155ИЕ7 собрать схему делителя с коэффициентом, выбрав его из таблицы по номеру в журнале учебной группы. Обеспечить его работоспособность.

Номер по журналу	Коэффициент деления N
1, 17	26
2, 19	19
3, 18	20
4, 15	25
5, 13	22

Номер по журналу	Коэффициент Деления N
6, 12	21
7, 11	23
8, 14	28
9, 16	24
10, 20	17

Последовательность выполнения задания:

- 1) рассчитать количество разрядов для генерации по индивидуальному варианту. Следует учесть, что количество разрядов счетчика должно обеспечивать получение требуемое количество устойчивых состояний;
- 2) синтезировать делитель с расчетными параметрами;
- 3) сформулировать этапы проверки правильности функционирования схемы, кратко зафиксировать их в отчете и реализовать проверку. Индикацию состояний счетчика осуществлять с помощью семисегментных индикаторов;
- 4) сделать вывод о правильности реализации деления. Фиксацию выходных фронтов целесообразно осуществлять дополнительным триггером со счетным входом.

В отчете представить:

- функциональную схему делителя;
- назначение входов и выходов получившегося устройства;
- методику проверки работоспособности устройства;
- вывод об эффективности решения по отношению к схемам делителей на регистрах.

### Задание 6. Исследование делителя на основе метода "с предустановкой"

На основе счетчиков 155ИЕ7 собрать схему делителя с коэффициентом, выбрав его из таблицы по номеру в журнале учебной группы. Обеспечить его работоспособность.

Номер по журналу	Коэффициент деления N
1, 17	6
2, 19	9
3, 18	10
4, 15	5
5, 13	2

Номер по журналу	Коэффициент Деления N
6, 12	21
7, 11	13
8, 14	8
9, 16	4
10, 20	7

Последовательность выполнения задания:

1) рассчитать количество разрядов для генерации по индивидуальному варианту. Аналогично заданию 5 следует учесть, что количество разрядов счетчика должно обеспечивать получение требуемое количество устойчивых состояний;

2) рассчитать константу для предустановки;

3) синтезировать делитель с расчетными параметрами;

4) сформулировать этапы проверки правильности функционирования схемы, кратко зафиксировать их в отчете и реализовать проверку. Индикацию состояний счетчика осуществлять с помощью семисегментных индикаторов;

5) сделать вывод о правильности реализации деления. Фиксацию выходных фронтов целесообразно осуществлять дополнительным триггером со счетным входом.

В отчете представить:

- расчет константы для предустановки;
- функциональную схему делителя;
- назначение входов и выходов получившегося устройства;
- методику проверки работоспособности устройства;
- причину требуемой коррекции кода предустановки по отношению к теоретическому.

## Задание 7. Построение секундомера

Необходимо синтезировать схему секундомера, показывающего минуты и секунды с помощью семисегментных индикаторов. Элементная база выбирается самостоятельно из библиотеки моделирующей программы.

Очевидно, что для подсчета секунд и минут необходимо последовательно соединить два делителя с модулем 60 для каждого из них. Делители должны быть построены по методу со сбросом для естественного чередования кодов. Однако такие делители правильно отображать секунды и минуты не могут, т.к. диапазон двоичных кодов на них не соответствует тем кодам, которые должны отображать четыре индикатора секундомера. Единицы секунд изменяются в диапазоне 0-9, десятки секунд – в диапазоне 0-5, коды минут подчинены тем же законам. Поэтому каждый делитель на 60 следует

представить в виде двух: последовательно включенных делителей на 10 и на 6. Их общий коэффициент определяется умножением коэффициентов.

Последовательность выполнения задания:

1) построить структурную схему секундомера. На ней указать требуемые делители и их коэффициенты деления. Кроме того, показать индикаторы соответствующих единиц, кнопку пуск, останова и сброса секундомера;

2) синтезировать функциональную схему на моделирующей программе. Предусмотреть пуск, стоп и сброс секундомера;

3) обеспечить управление всеми входами узла и наблюдение сигналов в необходимых точках;

4) в ручном режиме, не подключая генератора 1 Гц, проверить правильность реализации всех функций устройства;

5) подключить генератор 1 Гц и проверить работу устройства в реальном масштабе времени. Генератор возможно реализовать с помощью настраиваемого генератора GF моделирующей программы, подобрав ему необходимый коэффициент деления. Коэффициент может изменяться в режиме моделирования клавишами:

"+" - увеличивает коэффициент на 1;

"-" - уменьшает коэффициент на 1;

"." - увеличивает коэффициент на 100;

"," - уменьшает коэффициент на 100.

В отчете представить:

- схему структурную устройства;
- схему функциональную устройства;
- назначение входов и выходов устройства.

## **Задание 8. Построение делителей на базе ИМС K155ИЕ2**

Необходимо выбрать из библиотеки счетчик K155ИЕ2 и на его основе без использования дополнительных логических элементов синтезировать максимально возможное количество схем делителей частоты с различными коэффициентами деления. Начинать следует с коэффициента деления 2 и далее последовательно до 10. Работоспособность каждой схемы следует подтвердить экспериментально.

При работе следует обратить внимание на возможности встроенной логики для входов сброса &R0 и установки кода девяти - &R9 (см. рис.9,б). Каждый из них реализует функцию логического умножения двух сигналов, что может оказаться полезным для контроля состояния необходимых выходов каждого из двух счетчиков в составе ИМС.

Кроме того, каждый из двух счетчиков в составе ИМС может реализовать делитель со своим коэффициентом. Общий коэффициент деления возможно получить как их произведение.

В отчете представить:

- все схемы делителей частоты, которые удалось синтезировать с указанием полученного коэффициента деления.

### **Задание 9. Построение делителей на базе ИМС K155IE5**

Необходимо выбрать из библиотеки счетчик K155IE5 и на его основе без использования дополнительных логических элементов синтезировать максимально возможное количество схем делителей частоты с различными коэффициентами деления. Начинать следует с коэффициента деления 2 и далее последовательно до максимума. Работоспособность каждой схемы следует подтвердить экспериментально.

При работе следует обратить внимание на возможности встроенной логики для входов сброса  $\bar{R}0$  (см. рис.9,а). Оба входа объединены с помощью функции логического умножения двух сигналов, что может оказаться полезным для контроля состояния необходимых выходов каждого из двух счетчиков в составе ИМС.

Кроме того, каждый из двух счетчиков в составе ИМС может реализовать делитель со своим коэффициентом. Общий коэффициент деления возможно получить как их произведение.

В отчете представить:

- все схемы делителей частоты, которые удалось синтезировать с указанием полученного коэффициента деления.

### **Задания для самопроверки**

1. Что обозначает надпись на корпусе ИМС K155IE7, K155IP1?
2. Для ИМС K155IE7 нарисовать условное графическое обозначение, сформулировать назначение выводов, назвать назначения входов, определяющих возможные режимы работы.
3. В чем отличие динамического и статического входов счетчика
4. Сформулировать методику синтеза счетчика.
5. В чем отличие счетчика с параллельным от счетчика с последовательным переносом?
6. Сформулируйте методику поиска неисправностей в счетчиках.
7. Какова величина задержки срабатывания счетчика относительно задержки логического элемента?
8. Возможно ли на счетчике K155IE7 реализовать сдвиг влево и сдвиг вправо? Если да, то как это сделать?
9. Какие еще счетчики вам известны, чем они отличаются от K155IE7?
10. Назовите способы применения счетчиков?

11. Что такое модуль счета? Как его рассчитать и определить экспериментально?
12. В чем отличие четырехразрядных двоичного и двоично-десятичного счетчиков?
13. На каких триггерах можно реализовать счетчик? Поясните схемами.
14. Чем структурно отличаются счетчики суммирующие от вычитающих?