

КуАИ:6(у)
С 934

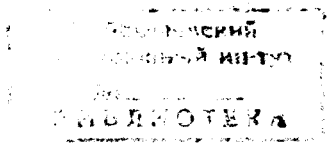


Министерство высшего и среднего специального
образования РСФСР

Кубомевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С.П.Королева

С Ч Е Т Ч И К И

Утверждено редакционным
советом института
в качестве методических
указаний к лабораторной
работе



Кубомев 1984

Методические указания к лабораторной работе по курсу "Электронные устройства приборных и вычислительных систем" содержат рекомендации по изучению интегральных синхронных и асинхронных двоичных и двоично-десятичных счетчиков. Здесь излагается методика синтеза синхронного счетчика с произвольным порядком изменения состояний на универсальных $J-K$ -триггерах.

Указания рекомендованы кафедрой АСУ, предназначены студентам специальностей 0646 и 0701.

Составитель Ю.В. П и е н и ч и к о в

Рецензенты: П.К. Д а н г е, В.А. Г л а з у н о в

Ц е л ь р а б о т ы: изучение интегральных счетчиков, выпускаемых промышленностью, овладение методикой синтеза синхронных счетчиков с произвольным порядком изменения состояний.

1. Основные определения

С ч е т ч и к - это устройство для подсчета числа входных сигналов.

Как операционный элемент счетчик реализует преобразование число-импульсного кода в позиционный по некоторому основанию системы счисления. В ЦВМ счетчики используются для образования последовательности адресов команд, для счета количества циклов выполнения операций и т.д.

С точки зрения теории автоматов, счетчик - это цифровой автомат, внутреннее состояние которого является функцией количества поступивших входных сигналов.

Количество переключающих сигналов, которое надо подать на вход счетчика для того чтобы счетчик вернулся в исходное состояние, равное числу состояний счетчика, называется коэффициентом пересчета или модулем счетчика - $K_{сч}$. Счетчик называется двоичным, если $K_{сч} = 2^m$, где m - целое число, $m > 0$, и десятичным, если $K_{сч} = 10^p$, где p - целое число, $p > 0$. Счетчики чаще всего строятся на триггерах различных типов, которые являются элементарными счетчиками с модулем 2.

Состояние счетчика в любой момент времени определяется кодом Q , который зафиксирован на его триггерах. Задать правила работы счетчика - значит тем или иным способом определить функцию $Q_n = f(n)$ при $n = 0, 1, 2 \dots K_{сч}$, где Q_n - состояние счетчика после n -го входного переключающего сигнала, n - номер входного переключающего сигнала. Очевидно, что $Q_n = Q_{n-1} + K_{сч}$ при любом n .

Любой счетчик с модулем $K_{сч}$ может быть использован как делитель частоты входных сигналов с коэффициентом деления $K_{сч}$.

По порядку изменения состояний могут быть счетчики с естественным и произвольным порядком счета. В первых счетчиках значение кода каждого последующего состояния отличается на ± 1 от кода предыдущего состояния.

По способу переключения триггеров во время счета счетчики делятся на асинхронные и синхронные. Первые называются еще счетчиками с последовательным переносом, т.к. переход каждого триггера из одного состояния в противоположное происходит последовательно во времени.

Входной переключающий сигнал непосредственно воздействует лишь на первый триггер, и каждый триггер вырабатывает переключающий сигнал для следующего соседнего триггера.

Синхронные счетчики называются еще счетчиками с параллельным переносом, т.к. в них входной переключающий сигнал непосредственно воздействует на все триггеры счетчика, что обеспечивает одновременность переходов триггеров. Каждый триггер вырабатывает для всех последующих лишь сигналы управления.

Быстродействие счетчика характеризуется разрешающим временем, т.е. минимальным временным интервалом между входными сигналами, при котором счетчик еще правильно функционирует. Максимальная частота счета F_{\max} связана с разрешающим временем $T_{\text{разр}}$ простым соотношением: $F_{\max} = T_{\text{разр}}^{-1}$. Очевидно, что быстродействие синхронных счетчиков при прочих равных условиях всегда выше, чем асинхронных.

2. Асинхронные счетчики

Двоичный асинхронный счетчик может быть построен путем последовательного соединения счетных триггеров. Наиболее удобным типом триггеров для этого являются $J-K$ триггеры (рис. 1). Здесь (и далее) управляющие входы триггеров, на которые должна быть подана логическая "1" условно показаны нигде не присоединенными.

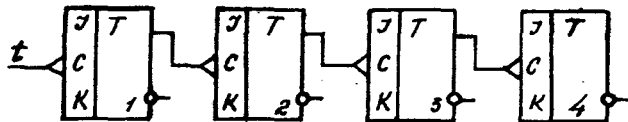


Рис. 1

Недостатком асинхронных счетчиков является задержка в установлении соответствующего кода после прихода счетного импульса. Действительно, если состояния триггеров счетчика соответствуют коду 0111 (цифра слева соответствует старшему разряду), то очередной входной импульс опрокинет первый триггер, изменение потенциала из "1" в "0"

на его выходе вызовет опрокидывание второго триггера, выходной сигнал второго триггера, в свою очередь, переключит третий триггер, и только после этого четвертый триггер переключится из "0" в "1".

Интегральный двоичный асинхронный счетчик К155ИЕ5 (рис. 2) со-

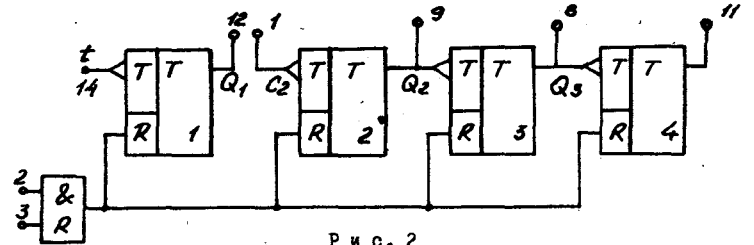


Рис. 2

стоит из счетчика на 2 (триггер Т1) и счетчика на 8 (триггеры Т2-Т4), соединение которых исходно отсутствует. Установка "0" производится, когда на входах 2 и 3 одновременно "1". Во время работы хотя бы на одном из входов должен быть "0".

Десятичные счетчики строят обычно на основе четырехразрядных двоичных счетчиков. Для того чтобы уменьшить $K_{\text{сч}}$ четырехразрядного счетчика с 16 до 10, вводят дополнительные логические связи. При этом в зависимости от вида логической связи одним и тем же десятичным числам в разных счетчиках могут соответствовать различные двоичные кодовые комбинации или, иначе говоря, счетчики работают в различных двоично-десятичных кодах.

Схема на рис. 3 соответствует десятичному счетчику К 155 ИЕ 2,

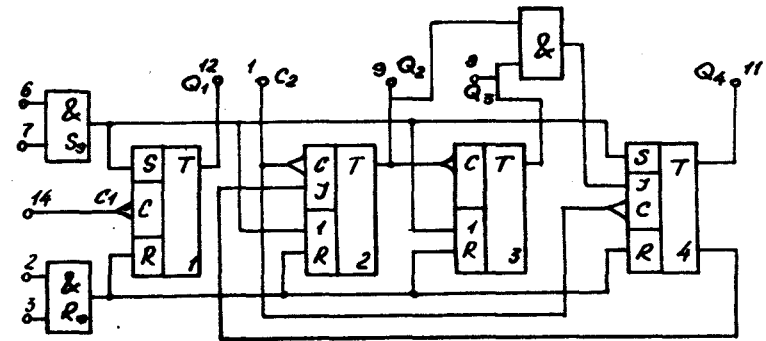


Рис. 3

работающему в коде 8-4-2-1. Счетчик состоит из счетчика на 2 (триггер Т1) и счетчика на 5 (триггеры Т2-Т4), соединение которых исходно отсутствует. Для образования десятичного счетчика выходы 12 и 1 соединяются между собой. Счетчик имеет входы нетактируемой установки в "0" (0000) и в "9" (1001) - выходы 2, 3 и 6, 7. Во время счета хотя бы на одном из каждой пары входов должен быть "0".

3. Реверсивные счетчики

Асинхронный реверсивный двоичный счетчик можно построить, если обеспечить подачу сигналов с прямого (при суммировании) или с инверсного (при вычитании) выхода предыдущего триггера на счетный вход последующего (рис. 4). В зависимости от сигналов на линиях направления

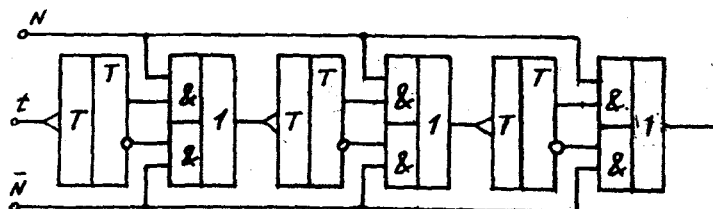


Рис. 4

счета N и \bar{N} схемы И-ИЛИ в межтриггерных связях обеспечивают работу счетчика в режиме суммирования ($N = 1$) или вычитания ($\bar{N} = 1$).

Схема на рис. 5 соответствует интегральному реверсивному синхронному счетчику К155ИЕ7. Для большей наглядности на рис. 5 не показаны все связи между выходами триггеров и выходами логических элементов И-ИЛИ и И-НЕ. Эти связи обозначены путем указания логической функции, которая соответствует сигналу, поданному на один из входов этих элементов. Как видно на рис. 5, при приходе импульса на вход суммирования (+I) состояние данного триггера изменяется на противоположное, если все предыдущие триггеры находятся на "1". Точно так же импульс на входе (-I) переключит данный триггер, если все предыдущие находятся на "0". Аналогичным образом формируются сигналы "переноса" (≥ 15) и "заема" (≤ 0), которые используются для увеличения разрядности счетчиков. На рис. 5 не показаны цепи начальной установки, которые совпадают с аналогичными цепями синхронного реверсивного де-

сятичного счетчика К155ИЕ6 (рис. 6), работающего в коде 8-4-2-1. Кроме двоичных реверсивных межтриггерных связей, в счетчике К155 ИЕ 6 существуют дополнительные логические цепи, обеспечивающие недвоичный переход от кода 1001 к коду 0000 при суммировании и обратный переход при вычитании.

Установка счетчиков К155 ИЕ 6 и К 155 ИЕ 7 в состояние "0" производится сигналом "1", подаваемым на вход R (вывод 14). Во время счета на этом выводе должен быть "0".

В обоих счетчиках триггеры имеют входы предварительной установки D, тактируемые потенциалом. В режиме счета сигнал на входе C (вывод 11) равен "1", цепи предварительной установки отключены. Если на входе C "0", то триггеры устанавливаются в состояние, соответствующее сигналам, поданным на входы D_1, D_2, D_4, D_8 (выводы 15, 1, 10, 9).

Естественно, что сигнал переноса в счетчике К 155 ИЕ 6 возникает на выводе (≥ 9) при состоянии счетчика 1001 и поступлении следующего счетного импульса.

Временные диаграммы работы счетчика К155 ИЕ 6 в различных режимах показаны на рис. 7.

На схемах цифровых устройств счетчиков К 155 ИЕ 5, К 155 ИЕ 2, К 155 ИЕ 6 и К 155 ИЕ 7 изображаются так, как показано на рис. 8.

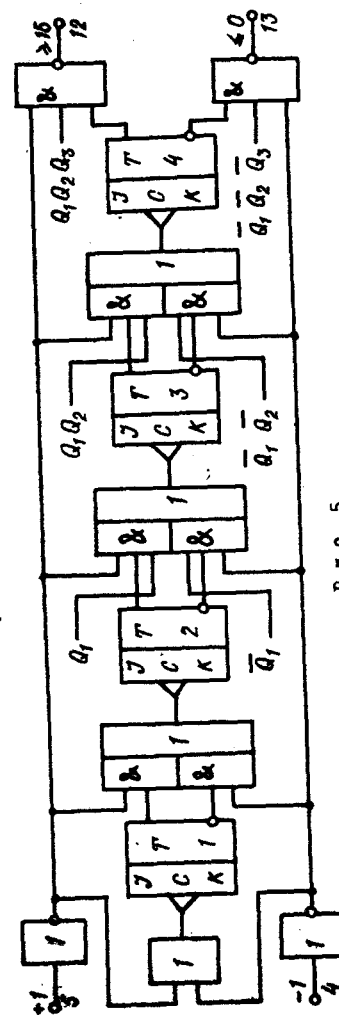


Рис. 5

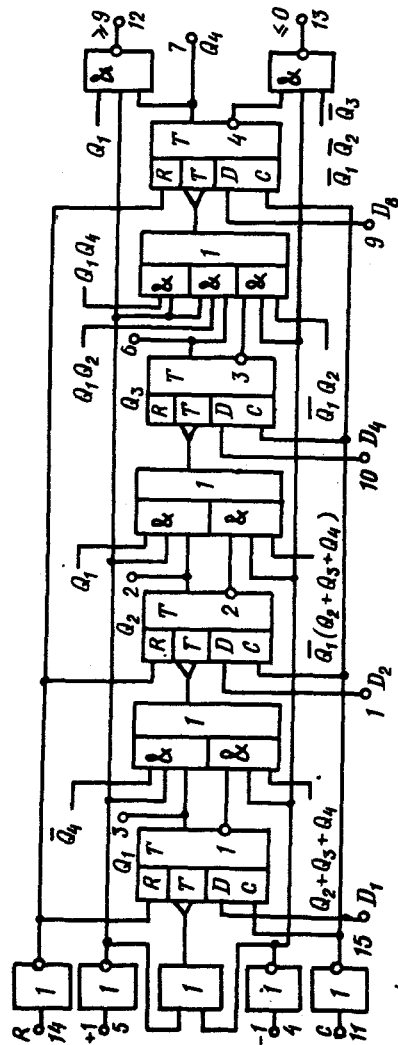


Рис. 6

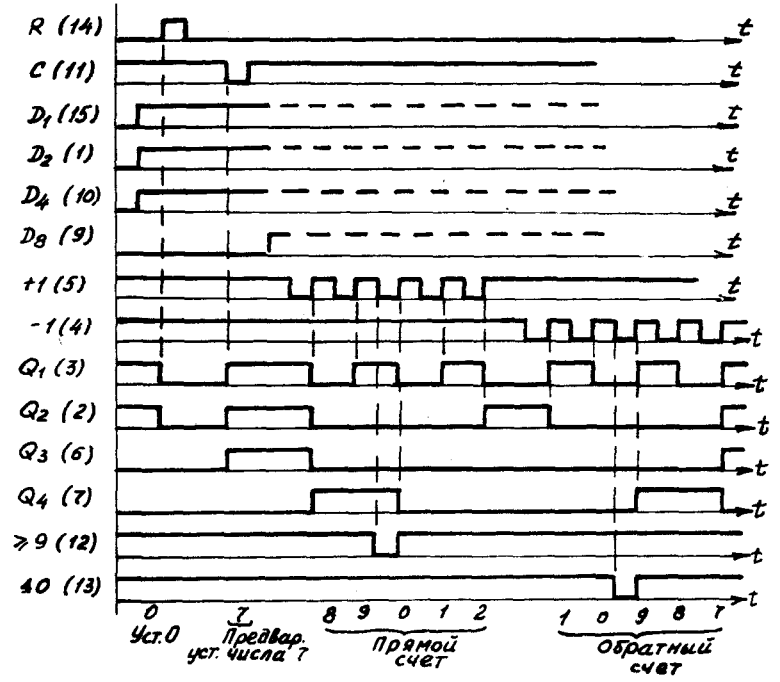


Рис. 7

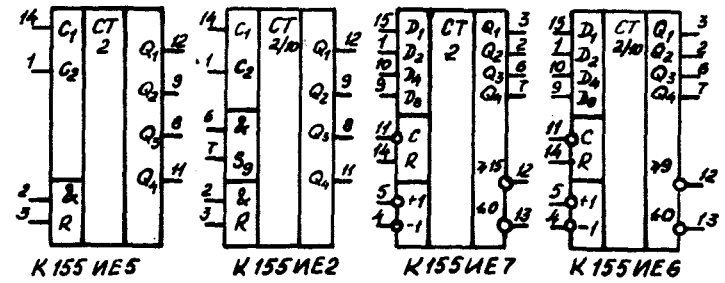


Рис. 8

4. Счетчики с различными коэффициентами пересчета

Счетчики с коэффициентами пересчета, отличающимися от двоичных и десятичных, могут быть также построены путем введения дополнительных связей в двоичные счетчики. Для каждого $K_{сч}$ эти связи будут различными.

Однако существуют и общие методы построения счетчиков с любым заданным $K_{сч}$. Один из этих методов заключается в немедленном сбросе в "0" счетчика, установившегося в комбинацию, соответствующую числу $K_{сч}$. Если, например, нам нужно построить счетчик на 5, то, сбрасывая двоичный трехразрядный счетчик на "0" каждый раз, когда он будет принимать состояние 101, мы обеспечим возврат счетчика в исходное состояние после каждых пяти входных импульсов.

Подобный прием удобно применять при использовании счетчиков, имеющих элементы "И" на входах установки в "0" (К 155 ИЕ 5 и К 155 ИЕ 2) и в "9" (К 155 ИЕ 2). В качестве примера на рис. 9 показаны соединения для получения $K_{сч} = 10$ для счетчика К 155 ИЕ 5 и $K_{сч} = 7$ для счетчика К 155 ИЕ 2. В последнем случае из десяти состояний исключаются три состояния (0110, 0111 и 1000). Временные диаграммы работы счетчиков при таких соединениях показаны на рис. 10, а, б.

При использовании синхронных счетчиков К 155 ИЕ 6 и К 155 ИЕ 7 для построения счетчиков с различными $K_{сч}$ может использоваться метод начальной установки. Этот метод заключается в том, что счет каждый раз начинается не с нуля, как обычно, а с некоторого числа. Оно и определяет $K_{сч}$.

Рассмотрим работу счетчика при прямом счете (рис. 11). Импульс начальной установки через элементы $D4.3$ и $D4.4$ поступает на вход C микросхем $D_1 - D_2$ и производит в них запись кода, поступающего на входы D_1, D_2, D_4, D_6 . Этот код соответствует некоторому числу "N", с которого начинается счет при поступлении импульсов на вход "+1". Первый тактовый импульс переводит счетчик в состояние "N+1", следующий в "N+2" и т.д. В тот момент, когда очередной тактовый импульс должен перевести счетчик из состояния "999" в нулевое, спад отрицательного импульса на выходе ≥ 9 микросхемы D_2 , пройдя через элементы $D3.1$ и $D3.2$, продифференцируется элементами $D4.1 - D4.4$. Короткий отрицательный импульс с выхода элемента $D4.4$, поступив на входы C , вновь запишет в счетчике исходное число "N".

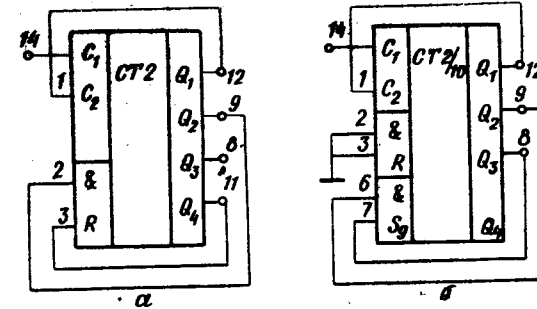


Рис. 9

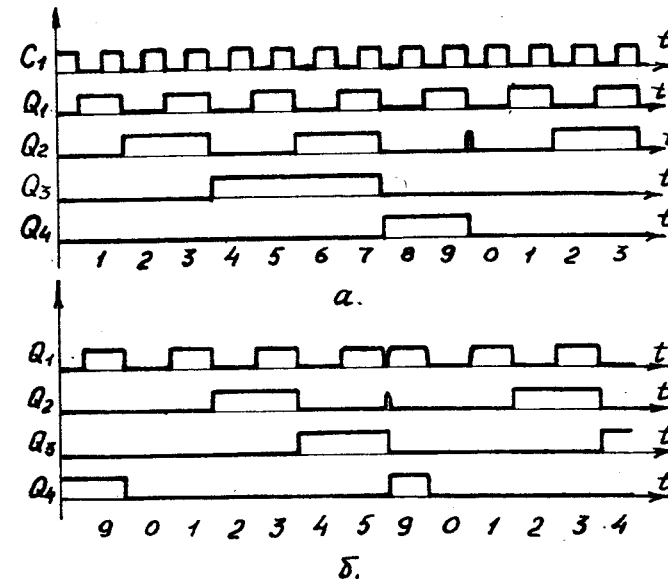
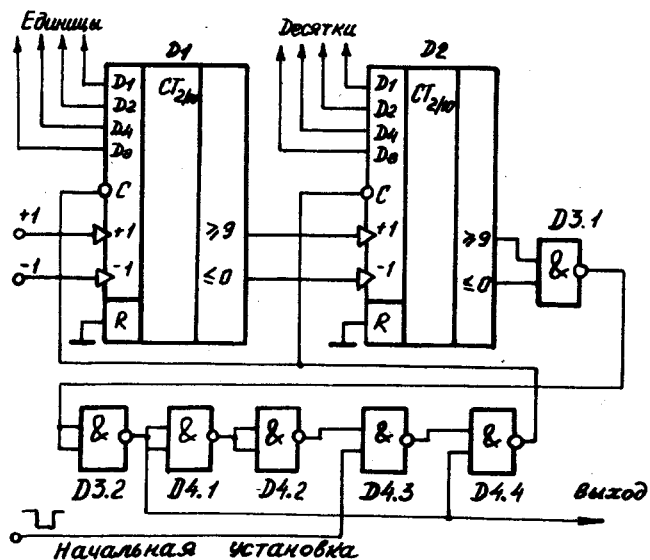


Рис. 10



Р и с. II

Таким образом, коэффициент пересчета счетчика составит $K_{сч} = 100 - N$. Число N можно изменять от 0 до 99. Если тактовые импульсы подавать на вход "-1", счет будет осуществляться в обратном порядке: первый тактовый импульс переведет счетчик в состояние " $N - 1$ ", второй в " $N - 2$ " и т.д. Когда очередной тактовый импульс должен перевести счетчик из состояния "0" в "99", спад отрицательного импульса с выхода " ≤ 0 " микросхемы $D3$ вновь установит счетчик в состояние " N ". В этом случае $K_{сч} = N + 1$. Если счетчик предполагается использовать только при прямом или только при обратном счете, элементы $D3.1$ и $D3.2$ можно исключить.

Максимальными $K_{сч}$ при использовании К155 ИЕ 6 составит 10^n , где n - число микросхем. Если же используются К155 ИЕ 7, схема счетчика сохраняется, но максимальный $K_{сч} = 16^n$, а для прямого счета $K_{сч} = 16^n - N$.

5. Синтез счетчиков с произвольным порядком измерения состояний

Выпускаемые серийно интегральные счетчики имеют естественный порядок изменения состояний. Если же нужен счетчик с произвольным порядком изменения состояний, его приходится синтезировать на $J-K$ - или D -триггерах. Синтез счетчика сводится к определению его структуры, содержащей минимальное число триггеров и связей между ними.

Исходные данные:

1. Модуль счета.
2. Порядок изменения состояний.
3. Требуемое быстродействие.

Табличный метод синтеза:

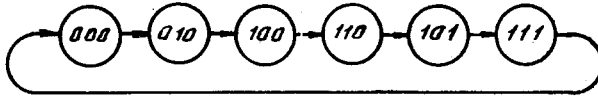
1. Определение количества триггеров m :

$$m = \text{int} \log_2 K_{сч}.$$

2. Выбор типа триггеров (исходя из требуемого быстродействия и способа переключения).
3. Составление таблицы функционирования счетчика, в которую входят двоичные коды всех предыдущих и последующих состояний.
4. Составление для каждого триггера прикладных таблиц, отражающих переходы $Q_i(t) \rightarrow Q_i(t+1)$.
5. Замена двухразрядных двоичных чисел в прикладных таблицах соответствующими значениями входных сигналов (используя характеристические таблицы для выбранного типа триггеров).
Получается набор карт Карнау для всех входов всех триггеров.
6. Составление минимизированных логических уравнений, связывающих входы и выходы всех триггеров.
7. Составление принципиальной схемы.

Пример.

Синтезировать синхронный счетчик с произвольным порядком счета, заданным графом (рис. I2) на универсальных $J-K$ -триггерах.



Р и с. 12

1. $m = \text{int} \log_2 6 = 3$.
2. Тип триггера в нашем случае задан.
3. Таблица функционирования счетчика.

Q		НОМЕР СОСТОЯНИЯ								
		0	1	2	3	4	5	0	1	
t	Q ₁	0	0	1	1	1	1	0	0	и т.д.
	Q ₂	0	1	0	1	0	1	0	1	
	Q ₃	0	0	0	0	1	1	0	0	
t+1	Q ₁	0	1	1	1	1	0	0	1	и т.д.
	Q ₂	1	0	1	0	1	0	1	0	
	Q ₃	0	0	0	1	1	0	0	0	

4. Прикладные таблицы :

Q ₁	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	00	-	-	01
1	11	11	10	11

Q ₂	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	01	-	-	10
1	01	01	10	10

Q ₃	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	00	-	-	00
1	00	11	10	01

Т.к. счетчик из трех триггеров имеет $2^3 = 8$ состояний, а синтезируемый счетчик должен иметь 6 состояний, то в клетках таблиц, соответствующих исключенным состояниям 001 и 011, стоят прочерки.

5. Характеристические таблицы для J-K- и D- триггеров, показывают, какие должны быть сигналы на входах триггера, чтобы триггер совершил переход $0 \rightarrow 1$ или $1 \rightarrow 0$ или остался в предыдущем состоянии $0 \rightarrow 0$ или $1 \rightarrow 1$. Двухразрядные числа в прикладных таблицах и соответствуют этим переходам $0 \rightarrow 1 = 01$, $1 \rightarrow 1 = 11$ и т.д.

Q(t) → Q(t+1)	J(t)	K(t)	D(t)
0 → 1	1	*	1
1 → 0	*	1	0
0 → 0	0	*	0
1 → 1	*	0	1

Карты Карнау для всех входов всех триггеров:

J ₁	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	0	-	-	1
1	*	*	*	*

J ₂	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	1	-	-	*
1	1	1	*	*

J ₃	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	0	-	-	0
1	0	*	*	1

K ₁	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	*	-	-	*
1	0	0	1	0

K ₂	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	*	-	-	1
1	*	*	1	1

K ₃	Q ₂ Q ₃			
	00	01	11	10
0	*	-	-	*
1	*	0	1	*

При минимизации прочерки (-) и безразличные состояния входов (*) могут быть доопределены нужным нам образом.

$$6. J_1 = Q_2 \quad J_2 = 1 \quad J_3 = Q_1 Q_2$$

$$K_1 = Q_2 Q_3 \quad K_2 = 1 \quad K_3 = Q_2$$

7. Полученные логические выражения позволяют построить принципиальную схему счетчика. Конъюнкции переменных Q_2, Q_3 и Q_1, Q_2 получаются с помощью входной логики $J-K$ триггеров (рис. 13)

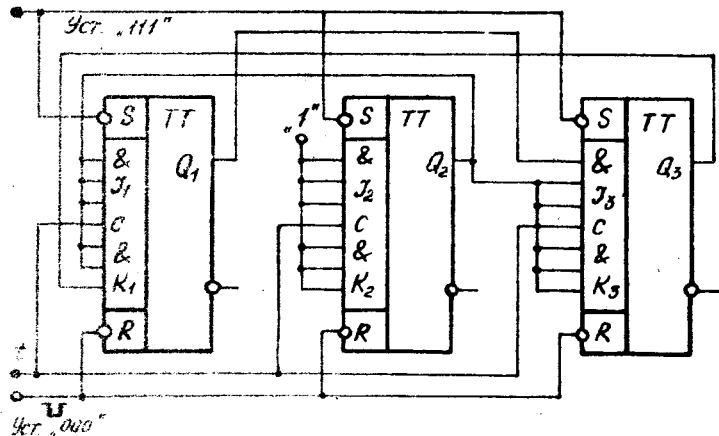


Рис. 13

VI. Порядок выполнения работы и содержание отчета

1. Получить у преподавателя задание на построение асинхронных и синхронных счетчиков с естественным порядком счета на основе выпускаемых серийно интегральных счетчиков.

2. Соединить на стенде выводы микросхем для получения заданного и проверить полученный счетчик в пошаговом режиме.

3. Получить задание на синтез синхронного счетчика с произвольным порядком изменения состояния.

4. Произвести синтез счетчика табличным методом.

5. Собрать схему счетчика и проверить его в пошаговом режиме.

Отчет должен содержать схемы счетчиков и временные диаграммы их работы.

Составитель: Юрий Владимирович П е н и ч н и к о в

С Ч Е Т Ч И К И

Методические указания

Редактор О.Б.Х н ы р е в а

Техн.редактор Н.М.К а л е н ю к

Корректор С.С.Р у б а н

Подписано в печать 25.01.84 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага оберточная белая.

Печать оперативная. Усл.п.л. I,16. Уч.-изд.л. I,1.

Т. 300 экз. Заказ 2068 Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени авиационный институт имени академика С.П.Королева, г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Областная типография им. В.И.Мяги, г. Куйбышев, ул. Венцека, 60.