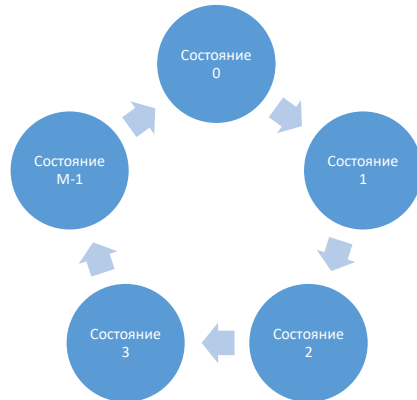


## Счетчики

Счетчики представляют очень важный класс ПЛС и предназначены для регистрации количества импульсов, поступающих на вход синхронизации счетчика, а также для деления частоты. Схема счетчика имеет  $M$  состояний. Переход между соседними состояниями происходит в результате прихода импульса на вход синхронизации счетчика. После поступления  $M$  импульсов счетчик возвращается в исходное состояние.



Счетчик с  $M$  состояниями называется счетчиком по модулю  $M$ .

Соотношение между модулем  $M$  и количеством триггеров  $n$  в счетчике, следующее:  $n = \lceil \log_2 M \rceil$ .

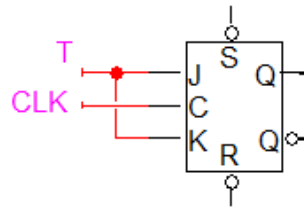
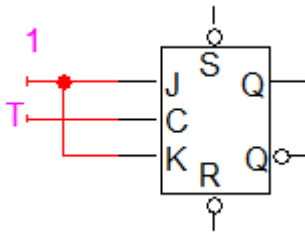
Если число  $n$  не является целым числом, оно округляется до ближайшего целого числа, большего, чем полученное.

Если модуль счетчика представляет собой степень двойки, этот счетчик называется двоичным. Двоичный счетчик с  $n$  триггерами будет иметь  $2^n$  состояний.

Если модуль счетчика не является степенью двойки, этот счетчик называется счетчиком произвольного модуля. Эти счетчики имеют дополнительные схемы, которые переводят счетчик в исходное состояние после достижения максимального количества состояний.

Основными компонентами счетчиков являются триггеры и КЛС для управления триггерами.

В счетчиках обычно используются Т-триггеры или другие триггеры, работающие в режиме Т триггеров.



В схеме счетчика с модулем  $M$  реализуется последовательность переходов из одного состояния в другое в прямом либо обратном направлении. Двоичная кодировка состояний может быть взвешенной или произвольной. Схема, обеспечивающая как прямой, так и обратный счет, называется реверсивным счетчиком. Наконец, схемы счетчиков могут быть синхронными либо асинхронными.

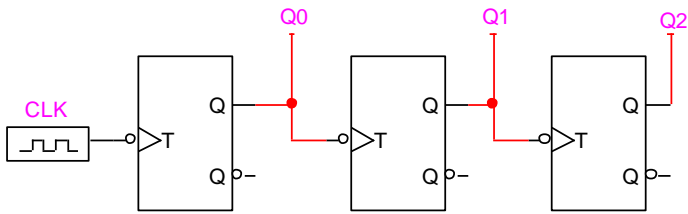
Пусть  $M=2^3=8$ . Последовательность состояний счетчика по модулю 8, реализующего прямой и обратный счет, приводится в таблице.

Таблица состояний счетчика по модулю 8

Номер импульса	Прямой счет			Обратный счет		
	Ранг			Ранг		
	2	1	0	2	1	0
0	0	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0
2	0	1	0	1	0	1
3	0	1	1	1	0	0
4	1	0	0	0	1	1
5	1	0	1	0	1	0
6	1	1	0	0	0	1
7	1	1	1	0	0	0
8	0	0	0	1	1	1

Анализ последовательности цифр в разряде 0 наводит на мысль, что соответствующая последовательность цифр может быть реализована на триггерах типа Т, которые изменяют свое состояние после каждого синхроимпульса. Другими словами, Т триггер является счетчиком по модулю 2. Из анализа в разрядах 1, 2, ... следует, что счетчик по модулю  $M=2^n$  можно построить путем последовательного соединения  $n$  триггеров типа Т. При таком последовательном соединении каждый Т триггер в момент перехода в исходное (нулевое) состояние должен вырабатывать синхросигнал, управляющий входом синхронизации Т триггера в соседнем старшем разряде. При этом регистрируемые импульсы должны подаваться на вход синхронизации Т триггера в младшем разряде.

Схема прямого асинхронного счетчика по модулю 8:



Временная диаграмма прямого асинхронного счетчика по модулю 8:

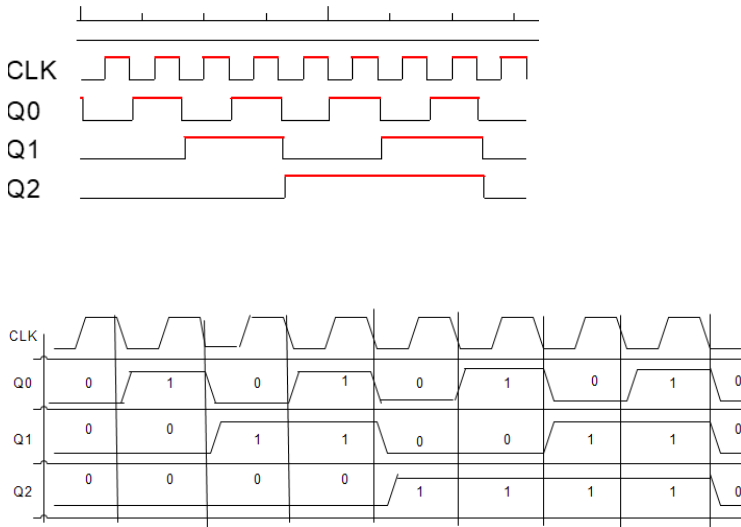


Схема счетчика по модулю 8, использующая последовательное соединение трех триггеров, которые работают в режиме Т триггера, работает следующим образом: по срезу первого счетного импульса выход  $Q_0$  переключится с 0 в 1,  $Q_1$  и  $Q_2$  сохраняют значение логического 0. По срезу второго счетного импульса выход  $Q_0$  переключится с 1 в 0. Так как выход  $Q_0$  управляет синхровходом триггера в соседнем старшем разряде, по срезу сигнала на выходе  $Q_0$  происходит переключение выхода  $Q_1$  из 0 в 1,  $Q_2$  при этом сохраняет значение логического 0. Таким образом, замечаем, что по срезу входного счетного импульса переключается  $Q_0$ ,  $Q_1$  переключается по срезу сигнала на выходе  $Q_0$ , а  $Q_2$  переключается по срезу сигнала на выходе  $Q_1$ . При этом имеет место прямой счет.

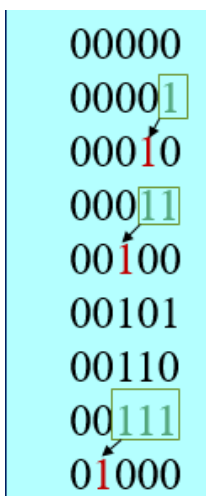
Для реализации обратного счета соединение триггеров выполняется так чтобы инверсный выход триггера в данном разряде управлял входом синхронизации триггера в соседнем старшем разряде.



Асинхронные счетчики характеризуются простой структурой, однако частота счетных импульсов относительно мала вследствие последовательного переключения триггеров.

### Синхронные счетчики

В синхронных счетчиках счетные импульсы поступают одновременно на входы синхронизации всех триггеров, вследствие чего выходы триггеров переключаются синхронно. При этом для каждого триггера должно удовлетворяться условие переключения  $T=1$  ( $J=K=1$ ). Из анализа прямой последовательности состояний видно, что триггер в данном разряде должен переключаться только тогда, когда триггеры во всех предыдущих младших разрядах находятся в единичном состоянии.

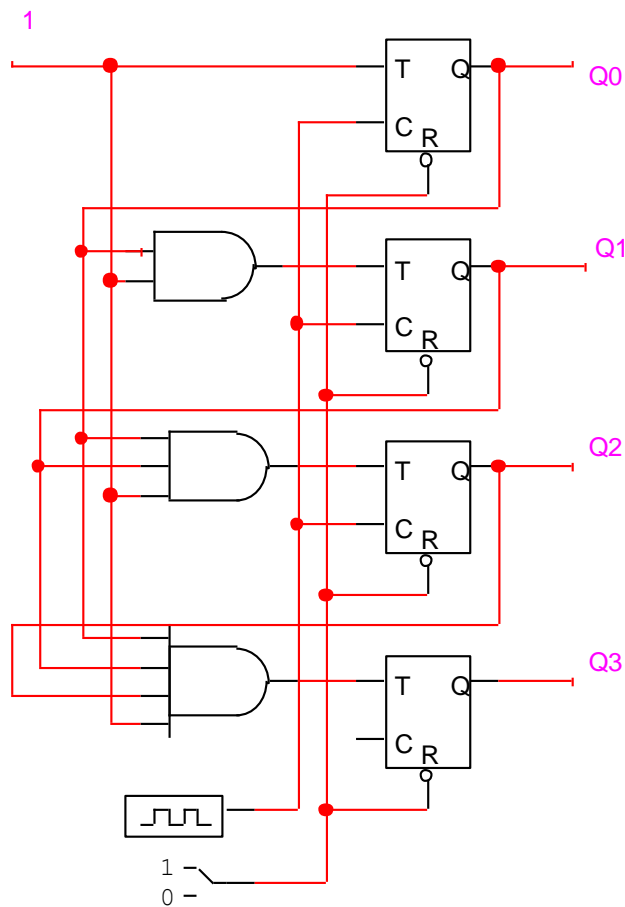


### Синхронный счетчик с параллельным переносом

Условия переключения триггеров синхронного счетчика по модулю 16 следующие:

$$\begin{aligned} T_0 &= 1, \\ T_1 &= Q_0, \\ T_2 &= Q_0 Q_1, \\ T_3 &= Q_0 Q_1 Q_2. \end{aligned} \quad (1)$$

Схема синхронного счетчика с параллельным переносом:



В этом счетчике реализовано параллельное распространение переноса.

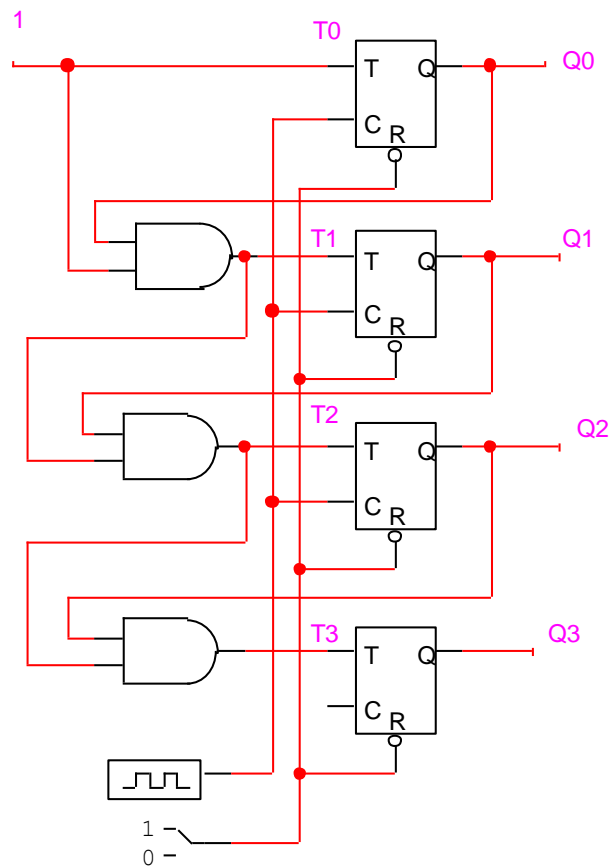
### Синхронный счетчик с последовательным переносом

Условия (1) можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 1, \\
 T_1 &= T_0 Q_0 = Q_0, \\
 T_2 &= T_1 Q_1, \\
 T_3 &= T_2 Q_2.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Реализация условий (2) приводит к структуре синхронного счетчика с последовательным переносом. В таком счетчике используются только двухвходовые логические элементы И, которые, однако, соединяются последовательно.

Схема синхронного счетчика с последовательным переносом:



### Счетчики с произвольным модулем

До сих пор были представлены асинхронные и синхронные счетчики по модулю  $M = 2^n$ .

Далее мы представим синтез счетчиков по модулю  $K$ ,  $2^{n-1} < K < 2^n$ .

Структура асинхронного счетчика по модулю  $K$  получается из асинхронного счетчика по модулю  $2^n$ , к которому добавлена дополнительная схема с функцией дешифрации запрещенных состояний, через которые счетчик не должен проходить. Когда двоичное состояние счетчика имеет значение  $K$ , декодер должен активировать асинхронный сигнал обнуления CLR для сброса триггеров счетчика.

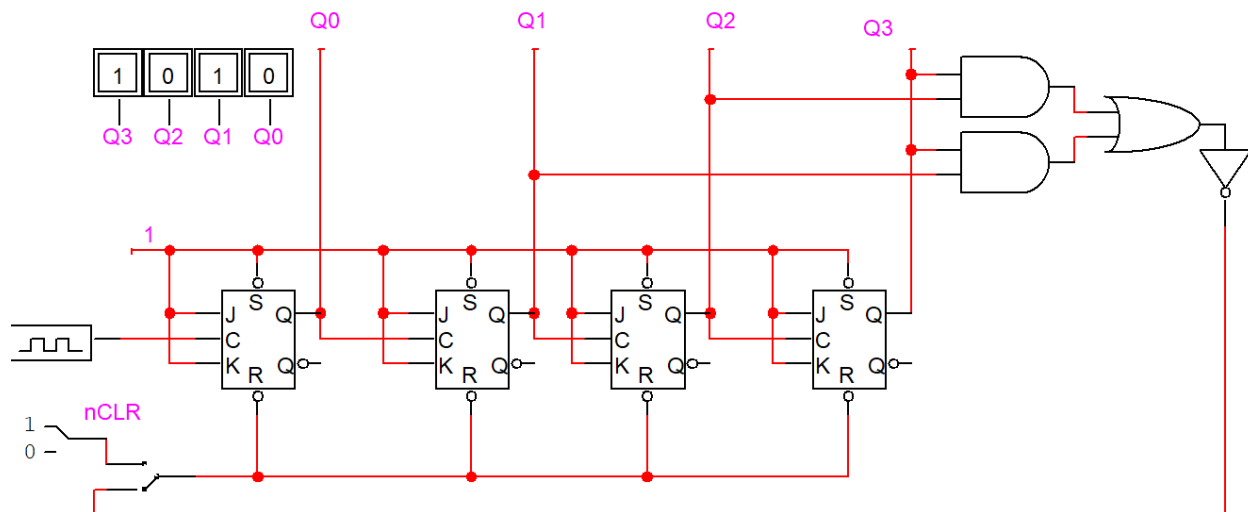
## Асинхронный счетчик по модулю 10

Таблица состояний						Минимизация функции обнаружения	
	Q3	Q2	Q1	Q0	F	запрещенного состояния F	
0	0	0	0	0	0		
1	0	0	0	1	0		
2	0	0	1	0	0		
3	0	0	1	1	0		
4	0	1	0	0	0		
5	0	1	0	1	0		
6	0	1	1	0	0		
7	0	1	1	1	0		
8	1	0	0	0	0		
9	1	0	0	1	0		
10	1	0	1	0	1	1	1
11	1	0	1	1	1	1	1
12	1	1	0	0	1	1	1
13	1	1	0	1	1	1	1
14	1	1	1	0	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1

Q3Q2	00	01	11	10
Q1Q0	00		1	
01			1	
11			1	1
10			1	1

$F = Q_3Q_2 + Q_3Q_1$



Асинхронный прямой счетчик по модулю 10



Упражнения.

Выполнить синтез прямого асинхронного счетчика по модулю 5

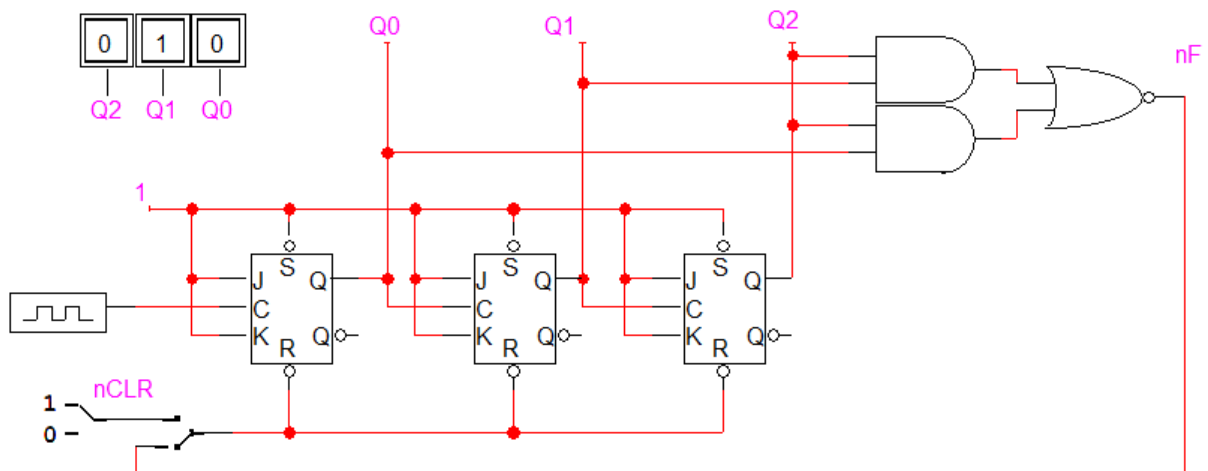
3 триггера необходимы, потому что  $2^2 < 5 < 2^3$

Обзначим триггеры Q2, Q1, Q0.

Таблица истинности будет содержать 5 допустимых состояний: от 0 до 4 и 3 запрещенных состояния 5,6 и 7.

Таблица состояний					Минимизация функции обнаружения запрещенного состояния F																										
	Q2	Q1	Q0	F																											
0	0	0	0	0																											
1	0	0	1	0																											
2	0	1	0	0																											
3	0	1	1	0																											
4	1	0	0	0																											
5	1	0	1	1	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">Q2Q1</td> </tr> <tr> <td>Q0</td> <td></td> <td>00</td> <td>01</td> <td>11</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table> <p><math>F = Q_2Q_1 + Q_2Q_0</math></p>							Q2Q1		Q0		00	01	11	10	0				1		1				1	1
		Q2Q1																													
Q0		00	01	11						10																					
0				1																											
1				1	1																										
6	1	1	0	1																											
7	1	1	1	1																											

Асинхронный прямой счетчик по модулю 5



2. Выполнить синтез обратного асинхронного счетчика по модулю 5

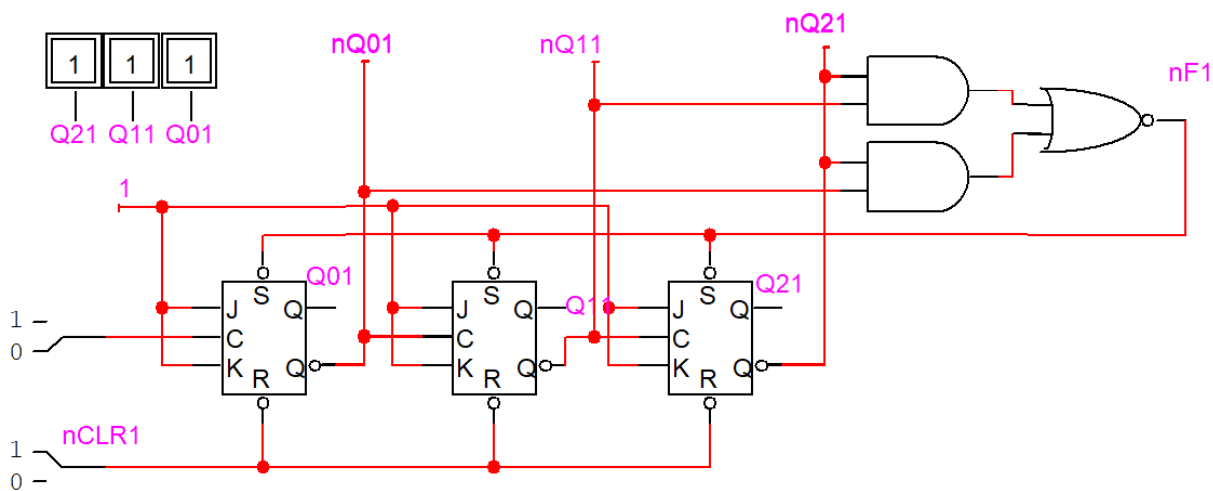
3 триггера необходимы, потому что  $2^2 < 5 < 2^3$

Обзначим триггеры Q2, Q1, Q0.

Таблица истинности будет содержать 5 допустимых состояний: от 7 до 3 и 3 запрещенных состояния 0,1 и 2.

Таблица состояний					Минимизация функции обнаружения запрещенного состояния F				
	Q2	Q1	Q0	F					
0	1	1	1	0	Q2Q1				
1	1	1	0	0	Q0	00	01	11	10
2	1	0	1	0	0	1	1		
3	1	0	0	0	1	1			
4	0	1	1	0					
5	0	1	0	1					
6	0	0	1	1					
7	0	0	0	1					

$$F = nQ_2nQ_1 + nQ_2nQ_0$$



### Синхронные счетчики с произвольным модулем

Синтез синхронного счетчика по модулю **K** выполняется в несколько этапов:

- Для счетчика, который должен иметь  $K$  состояний, определяется число триггеров:

$$n = \lceil \log_2 K \rceil.$$

- Составляется таблица переходов счетчика, в столбцах которой записываются текущие и следующие состояния счетчика. Кроме того, заполняется столбец, отражающий функции возбуждения триггеров счетчика. Значения функций возбуждения должны проставляться так чтобы в процессе работы счетчика обеспечивалось требуемое переключение каждого из триггеров. Конкретные значения этих функций берутся из таблицы переходов используемого типа триггера (обычно используется JK триггер).
- По таблице переходов счетчика строятся диаграммы Карно для функций возбуждения, которые затем минимизируются.
- На последнем этапе выполняется реализация минимизированных функций возбуждения в заданном базисе логических элементов. В результате получают схему счетчика.

В счетчике по модулю  $K$  из  $2^n$  возможных состояний не используются  $(2^n - K)$  состояний. Это запрещенные состояния, которые на диаграммах Карно отражаются как безразличные. Следует, однако, учесть, что при запуске или под воздействием определенных помех счетчик может оказаться в одном из запрещенных состояний. При этом, если после нескольких тактов работы счетчик переходит в разрешенное состояние, то его дальнейшая работа корректна. С другой стороны, возможна ситуация, когда счетчик не может самостоятельно выйти из последовательности запрещенных состояний, а только путем перезапуска. Если подобная ситуация имеет место, то необходимо заново выполнить синтез. При этом в таблицу переходов счетчика записываются все возможные состояния, причем для запрещенных состояний следующим указывается исходное состояние (обычно нулевое).

**Пример.** Выполнить на JK триггерах синтез синхронного счетчика по модулю 10, обеспечивающего режим прямого счета.

Так как счетчик должен иметь  $m=10$  состояний, то для его построения потребуется  $n = \lceil \log_2 10 \rceil = 4$  триггера типа JK:  $Q_3, Q_2, Q_1, Q_0$ .

Строим таблицу переходов счетчика, используя при этом таблицу возбуждения JK триггера.

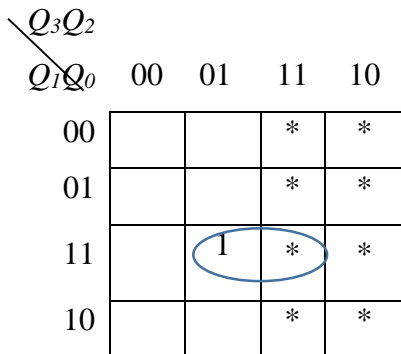
Таблица переходов синхронного счетчика по модулю 10:

Выходы триггеров		Функции установки триггеров							
$(Q_3Q_2Q_1Q_0)$ $t$	$(Q_3Q_2Q_1Q_0)$ $t+1$	$J_3$	$K_3$	$J_2$	$K_2$	$J_1$	$K_1$	$J_0$	$K_0$
0000	0001	0	*	0	*	0	*	1	*
0001	0010	0	*	0	*	1	*	*	1
0010	0011	0	*	0	*	*	0	1	*
0011	0100	0	*	1	*	*	1	*	1
0100	0101	0	*	*	0	0	*	1	*
0101	0110	0	*	*	0	1	*	*	1
0110	0111	0	*	*	0	*	0	1	*
0111	1000	1	*	*	1	*	1	*	1
1000	1001	*	0	0	*	0	*	1	*
1001	0000	*	1	0	*	0	*	*	1
1010	0000	*	1	0	*	*	1	0	*
1011	0000	*	1	0	*	*	1	*	1
1100	0000	*	1	*	1	0	*	0	*
1101	0000	*	1	*	1	0	*	*	1
1110	0000	*	1	*	1	*	1	0	*
1111	0000	*	1	*	1	*	1	*	1

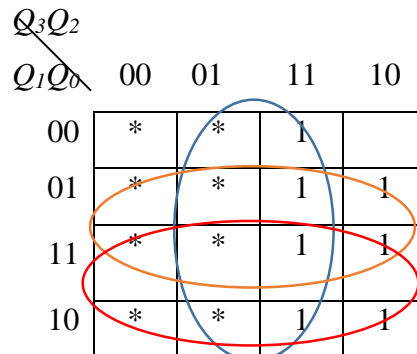
Таблица возбуждения JK триггера.

$Q_t$	$Q_{t+1}$	$J$	$K$
0	0	0	*
0	1	1	*
1	0	*	1
1	1	*	0

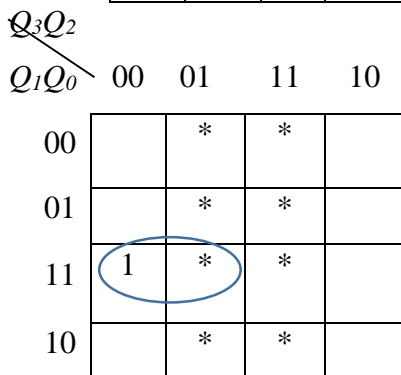
Таблица переходов счетчика разработана с использованием таблицы возбуждения JK триггера. Функции установки триггеров минимизированы с помощью диаграмм Карно.



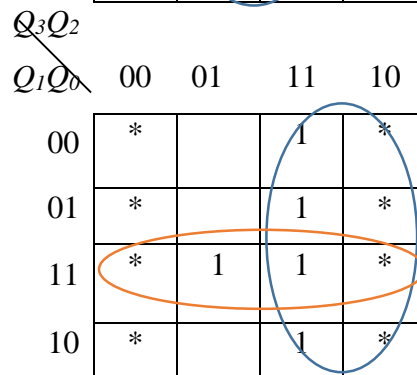
$$J_3 = Q_2 Q_1 Q_0$$



$$K_3 = Q_2 \vee Q_1 \vee Q_0 = \overline{\overline{Q_2} \overline{Q_1} \overline{Q_0}}$$



$$J_2 = \overline{Q_3} Q_1 Q_0$$



$$K_2 = Q_3 \vee Q_1 Q_0 = \overline{\overline{Q_3} \overline{Q_1} \overline{Q_0}}$$

$Q_3Q_2$				
$Q_1Q_0$	00	01	11	10
00				
01	1	1		
11	*	*	*	*
10	*	*	*	*

$Q_3Q_2$				
$Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	*	*
01	*	*	*	*
11	1	1	1	1
10			1	1

$$J_1 = \overline{Q_3}Q_0$$

$$K_1 = Q_3 \vee Q_0 = \overline{\overline{Q_3}Q_0}$$

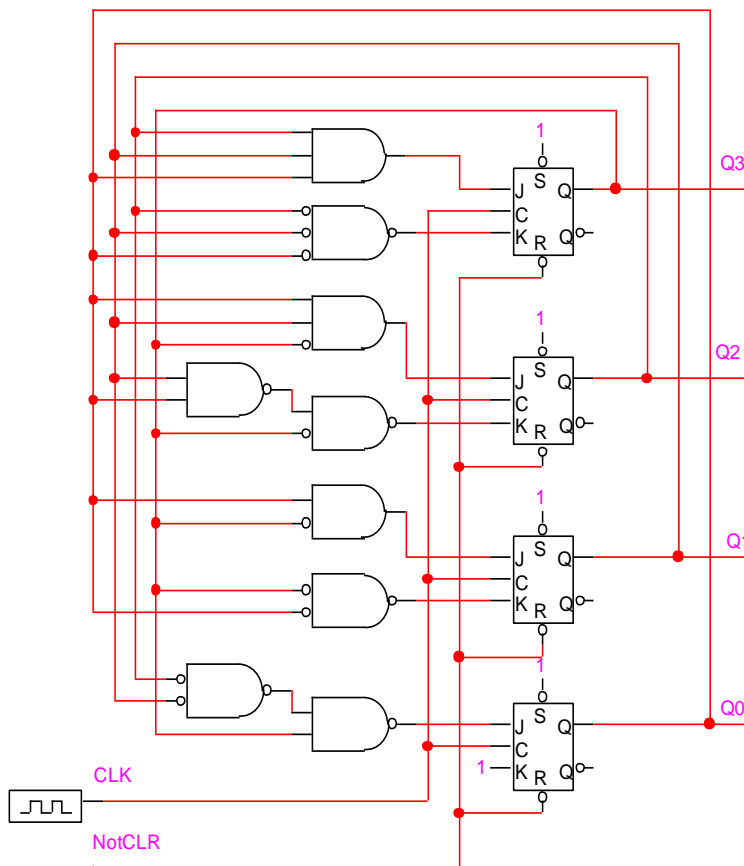
$Q_3Q_2$				
$Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	1	1		1
01	*	*	*	*
11	*	*	*	*
10	1	1		

$Q_3Q_2$				
$Q_1Q_0$	00	01	11	10
00	*	*	*	*
01	1	1	1	1
11	1	1	1	1
10	*	*	*	*

$$J_0 = \overline{Q_3} \vee \overline{Q_2}Q_0 = \overline{\overline{\overline{Q_3}Q_0}}$$

$$K_0 = 1$$

Схема прямого синхронного счетчика по модулю 10



Микросхема синхронного счетчика 74\_163

