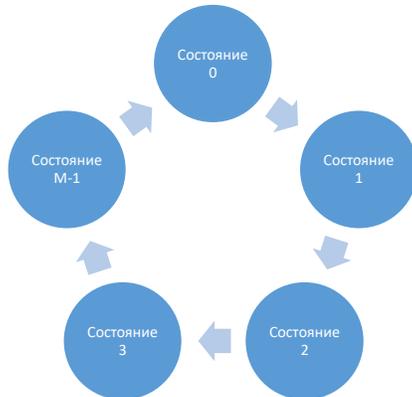


Счетчики

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: $n = \lceil \log_2 M \rceil$.

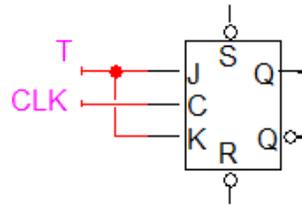
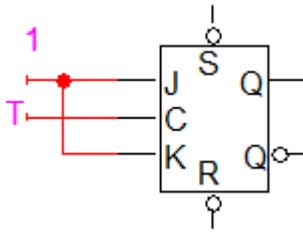
Если число n не является целым числом, оно округляется до ближайшего целого числа, большего, чем полученное.

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.

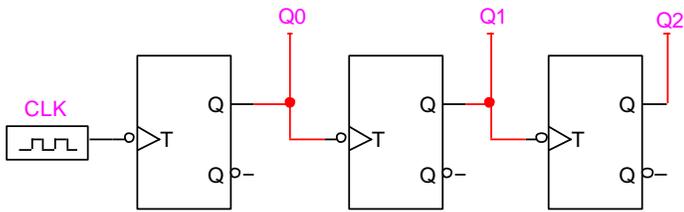
Пусть $M=2^3=8$. Последовательность состояний счетчика по модулю 8, реализующего прямой и обратный счет, приводится в таблице.

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:

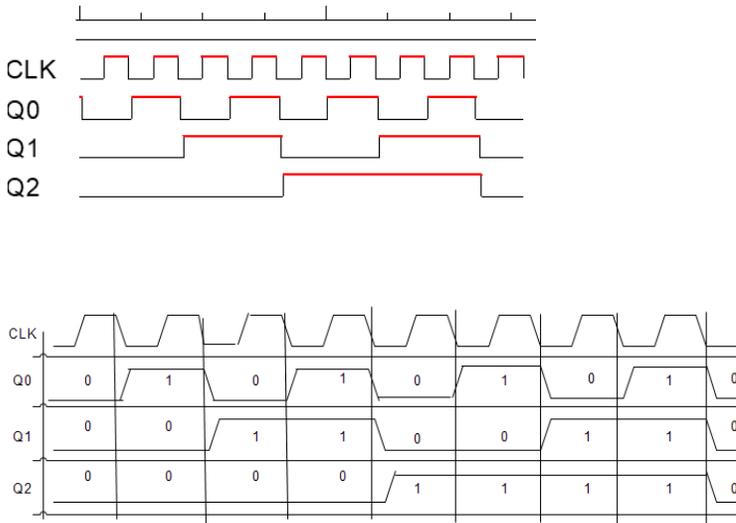
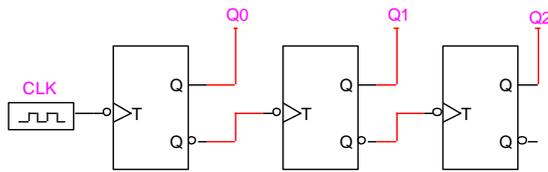


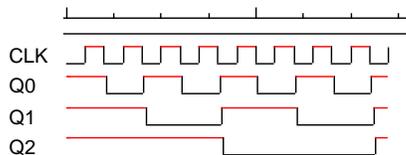
Схема счетчика по модулю 8, использующая последовательное соединение трех триггеров, которые работают в режиме Т триггера, работает следующим образом: по срезу первого счетного импульса выход Q_0 переключится с 0 в 1, Q_1 и Q_2 сохраняют значение логического 0. По срезу второго счетного импульса выход 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.

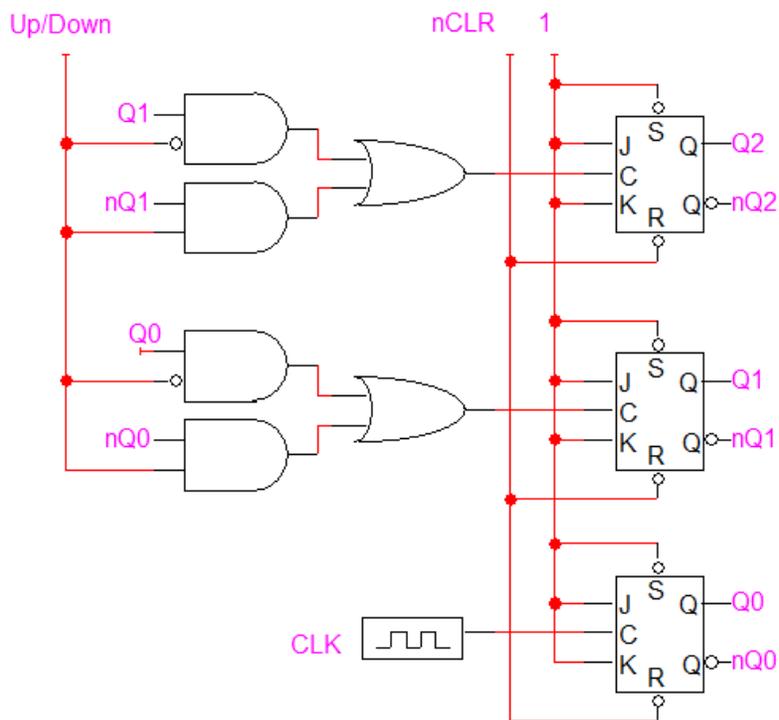
Схема обратного асинхронного счетчика по модулю 8:



Временная диаграмма обратного асинхронного счетчика по модулю 8:



Если необходимо обеспечить реверсивный счет, то счетчик должен иметь вход направления счета Up/Down. Единичный/нулевой уровень сигнала на указанном входе будет определять прямой/обратный счет путем выбора прямого/инверсного выхода триггера в данном разряде с целью управления синхровходом триггера в следующем разряде. Как видно из рис.4.7 структуру реверсивного счетчика легко получить, если на выходе каждого триггера включить простую схему логической коммутации на элементах И-ИЛИ.

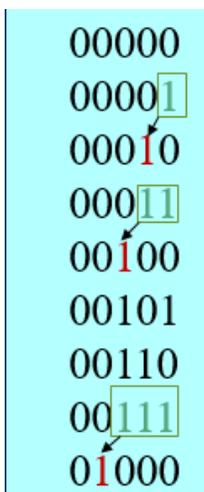


Асинхронный реверсивный счетчик

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.

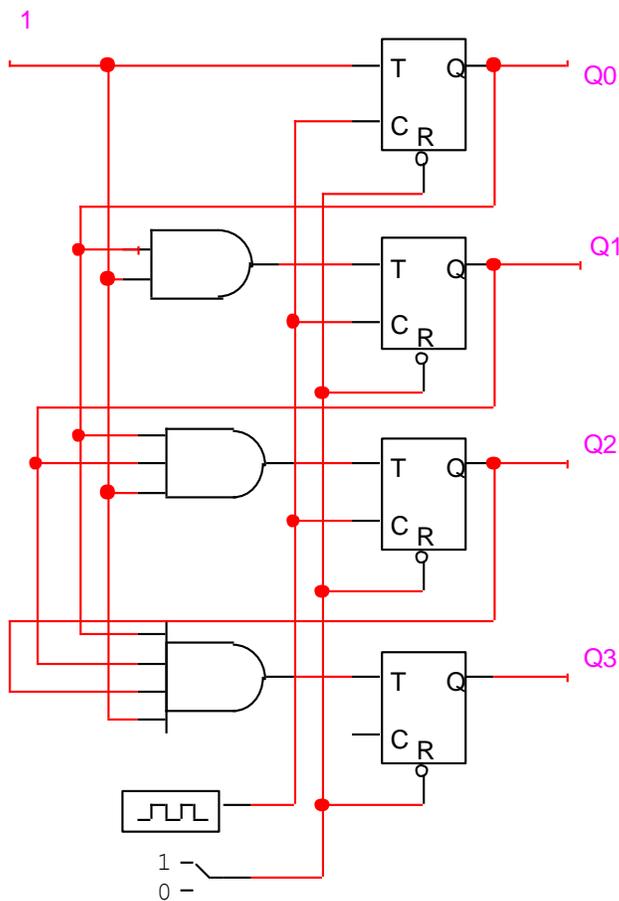


Синхронный счетчик с параллельным переносом

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.

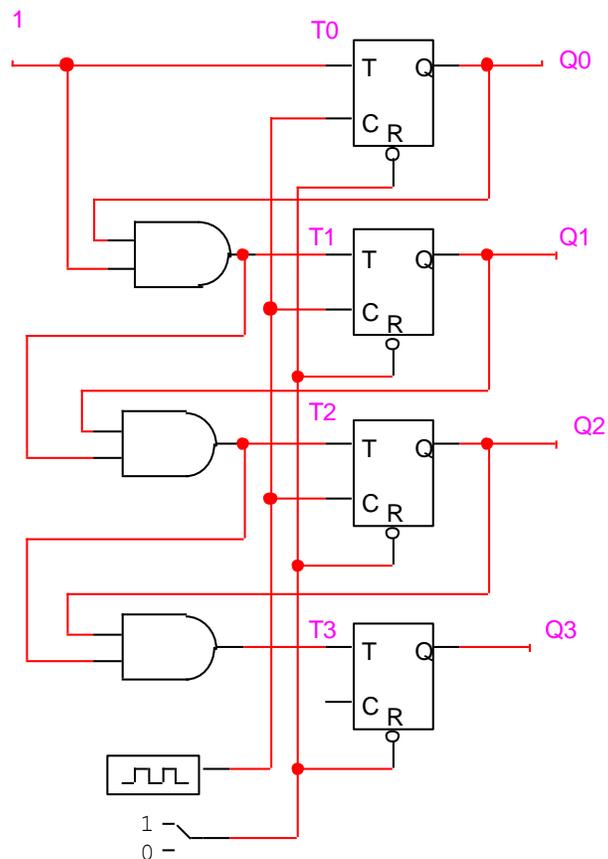
Синхронный счетчик с последовательным переносом

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 , $2^{n-1} < K < 2^n$.

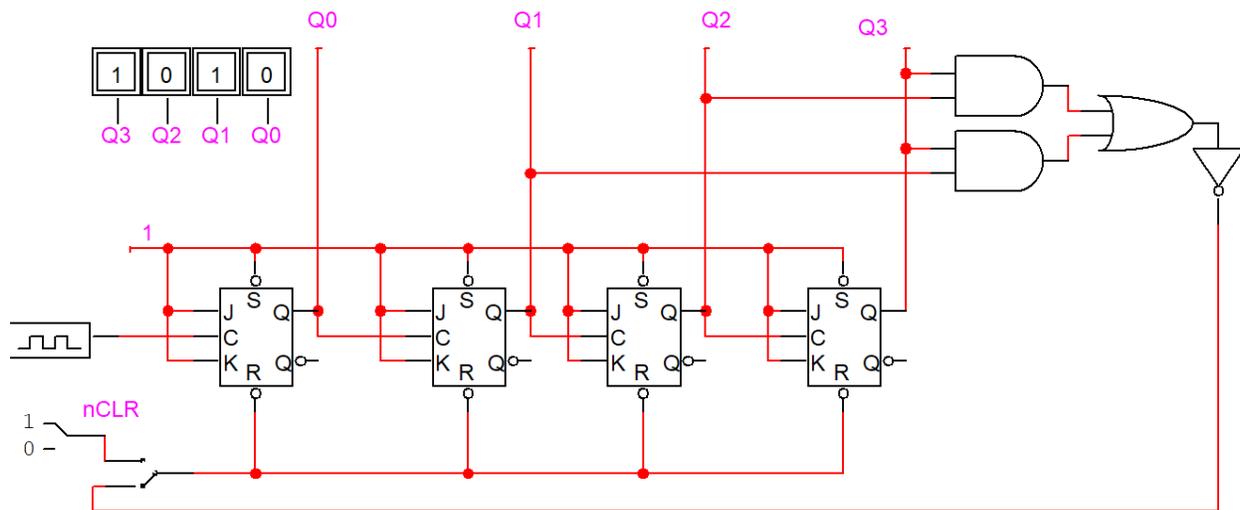
Структура асинхронного счетчика по модулю K получается из асинхронного счетчика по модулю 2^n , к которому добавлена дополнительная схема с функцией дешифрации запрещенных состояний, через которые счетчик не должен проходить. Когда двоичное состояние счетчика имеет значение K , декодер должен активировать 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 $2^2 < 5 < 2^3$

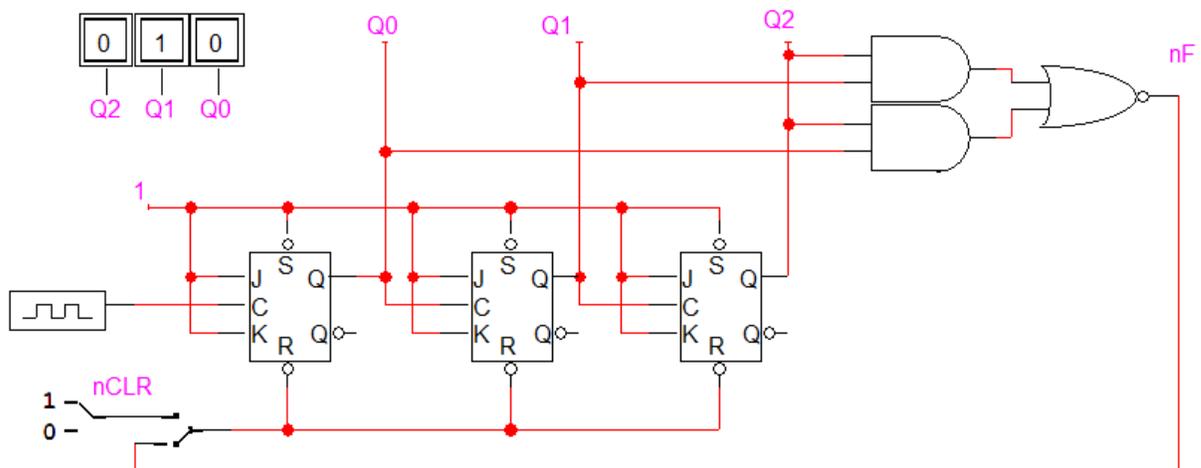
Обозначим триггеры Q2, Q1, Q0.

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	Q0 \ Q2Q1	00	01	11	10
1	0	0	1	0	0			1	
2	0	1	0	0	1			1	
3	0	1	1	0					1
4	1	0	0	0					
5	1	0	1	1					
6	1	1	0	1					
7	1	1	1	1					

$F = Q_2Q_1 + Q_2Q_0$

Асинхронный прямой счетчик по модулю 5



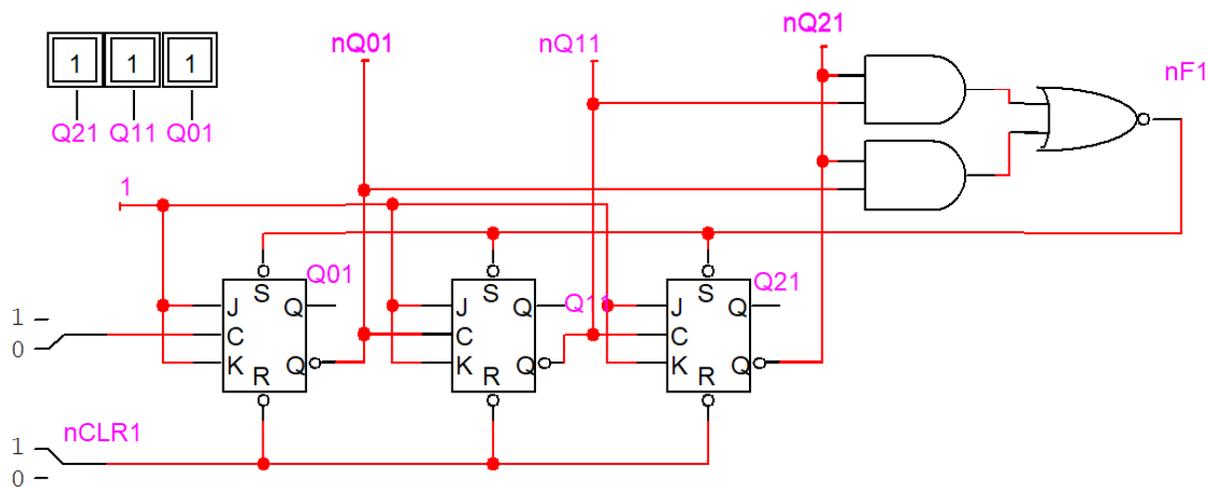
2. Выполнить синтез обратного асинхронного счетчика по модулю 5

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

Обозначим 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	Q2	Q1			
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.

Q_3Q_2

Q_1Q_0 00 01 11 10

00			*	*
01			*	*
11		1	*	*
10			*	*

Q_3Q_2

Q_1Q_0 00 01 11 10

00	*	*	1	
01	*	*	1	1
11	*	*	1	1
10	*	*	1	1

$$J_3 = Q_2 Q_1 Q_0$$

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

Q_3Q_2

Q_1Q_0 00 01 11 10

00		*	*	
01		*	*	
11	1	*	*	
10		*	*	

Q_3Q_2

Q_1Q_0 00 01 11 10

00	*		1	*
01	*		1	*
11	*	1	1	*
10	*		1	*

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

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

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

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

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

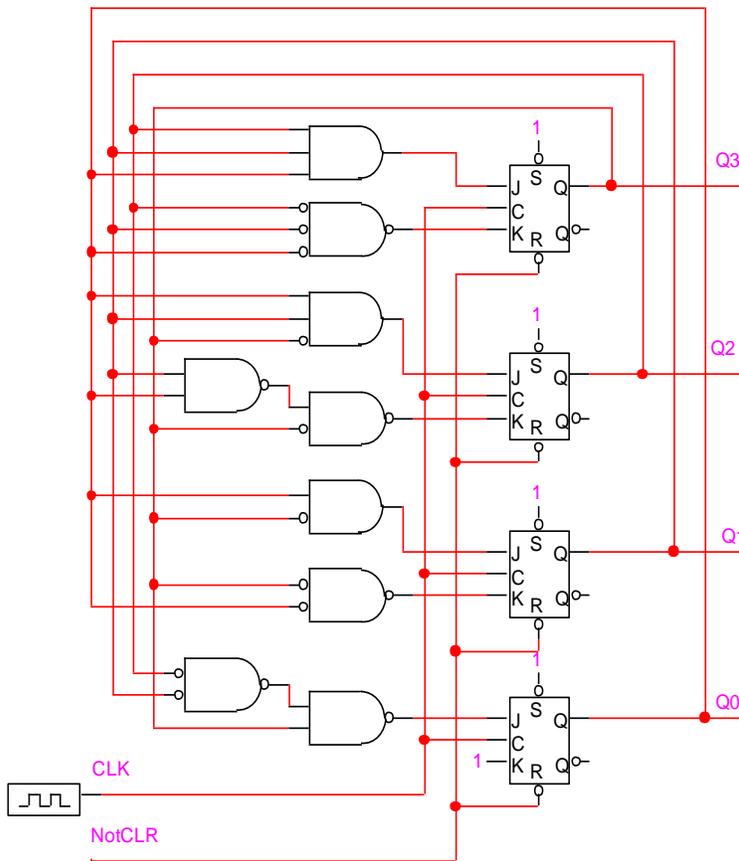
Q_3Q_2				
Q_1Q_0	00	01	11	10
00	1	1		1
01	*	*	*	*
11	*	*	*	*
10	1	1		

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

