

## Счётчики

Счетчиком называется последовательностное устройство, имеющее несколько состояний, причем данное состояние счетчика определяется предыдущим его состоянием и значением логической переменной на входе. По мере поступления входных сигналов счетчик последовательно изменяет свои состояния в определенном порядке, возвращаясь к началу цикла после каждых  $K$  входных сигналов. Значение  $K$ , соответствующее числу состояний счетчика, является модулем счета или коэффициентом пересчета счетчика.

Другими словами, счетчик предназначен для счета последовательности импульсов. Существуют различные типы счетчиков, различающиеся коэффициентом пересчета, генерируемыми последовательностями (двоичные, двоично-десятичные, Грея, Джонсона и др.), направлением счета (суммирующие, вычитающие, реверсивные) и др.

Счетчики строятся на основе  $D$ - или  $JK$ -триггеров

Примером простейшего счетчика является **двоичный счетчик по модулю  $N$** : он считает от 0 до  $N - 1$ , затем автоматически сбрасывается в 0 и продолжает счет.

**Двоично-десятичный счетчик** считает декадами от 0 до 9.

**$M$ -разрядный двоичный счетчик** считает от 0 до  $2^M - 1$ .

**Счетчик Грея** генерирует такую последовательность двоичных комбинаций, соседние элементы которой различаются только в одной позиции.

**Кольцевые счетчики** строятся на основе регистра сдвига, замкнутого в кольцо путем соединения выхода последнего триггера со входом первого. В простейшем случае на своем выходе генерирует двоичное слово, в котором только в одном разряде находится единица, а в других всегда нули. Единица при этом по мере счета циклически сдвигается. В более общем случае на основе замкнутых регистров сдвига строятся счетчики Джонсона.

## Суммирующий и вычитающий двоичные счетчики

$M$ -разрядный двоичный счетчик может быть построен на основе  $M$ -разрядного регистра. При этом данные на вход этого регистра будут поступать либо с сумматора (для суммирующего счетчика), либо с вычитателя (для вычитающего счетчика). Когда на вход счетчика приходит очередной импульс, необходимо прибавить (вычесть) 1 к значению, хранящемуся в регистре. Для этого можно использовать полный сумматор, но, т.к. число в регистре всегда меняется только на 1, будет достаточно полусумматора. Полусумматор имеет только два входа: флаг переноса и один операнд. Также, как и полные сумматоры, полусумматоры можно последовательно соединять.

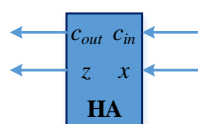


Таблица 1. Таблица истинности полусумматора

$x$	$C_{in}$	$C_{out}$	$z$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Пример построения 4-разрядного суммирующего счетчика со сбросом на основе полусумматоров и регистра показан на рис. 1. При наличии 1 на входе  $count$  такой счетчик будет считать до  $15_{dec}$  ( $1111_{bin}$ ) сбрасываться в 0 и продолжать счет.

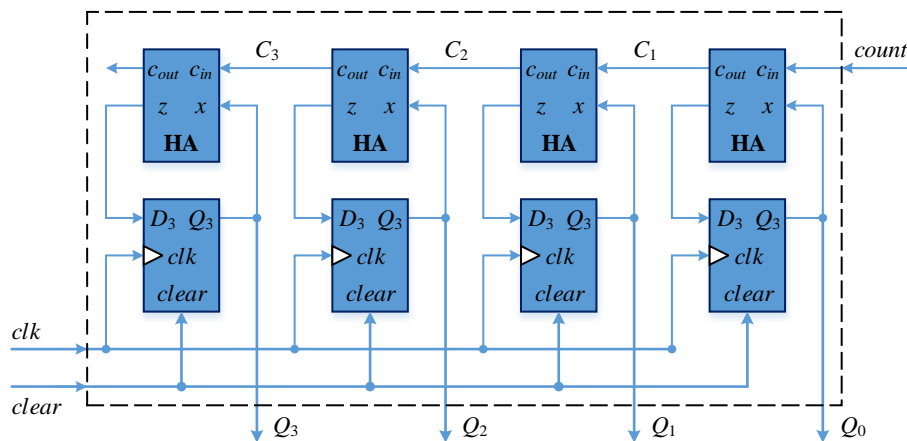


Рисунок 1. 4-разрядный двоичный суммирующий счетчик со сбросом на основе полусумматоров и регистра

На рисунке 2 представлена временная диаграмма 4-разрядного двоичного суммирующего счетчика. При подаче 1 на вход *count* такой счетчик инкрементирует число на своем выходе на каждый тактовой частоты. При этом на выходе счетчика последовательно появляются 4-х разрядные числа от  $0_{\text{dec}}$  ( $0000_{\text{bin}}$ ) до  $15_{\text{dec}}$  ( $1111_{\text{bin}}$ ). После того как рассматриваемый счетчик досчитал до 15 он продолжает счет с 0.

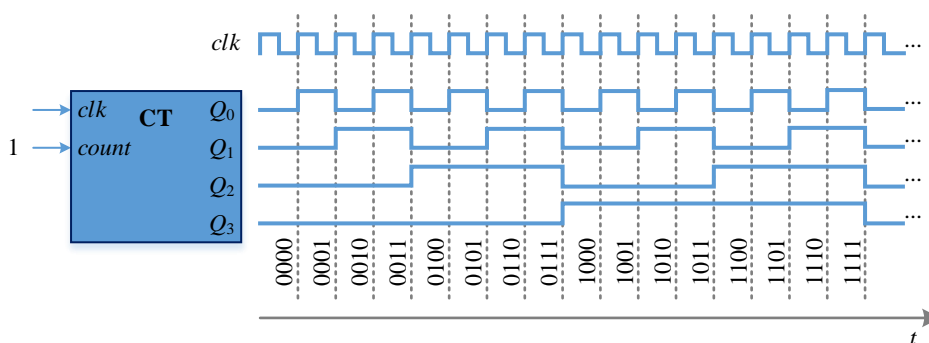


Рисунок 2. Временная диаграмма 4-разрядного суммирующего счетчика

## Реверсивный счетчик

Реверсивный счетчик (рис. 3) – это двоичный счетчик, который по сигналу управления может менять направление счета.

Он строится также, как и суммирующий (вычитающий) счетчик, на основе регистра, при этом полусумматоры в нем меняются на полусумматоры-вычитатели (Таблица 2).

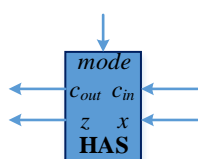


Таблица 2. Таблица истинности полусумматора-вычитателя

mode	x	Cin	Cout	z
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	1
1	1	1	0	0

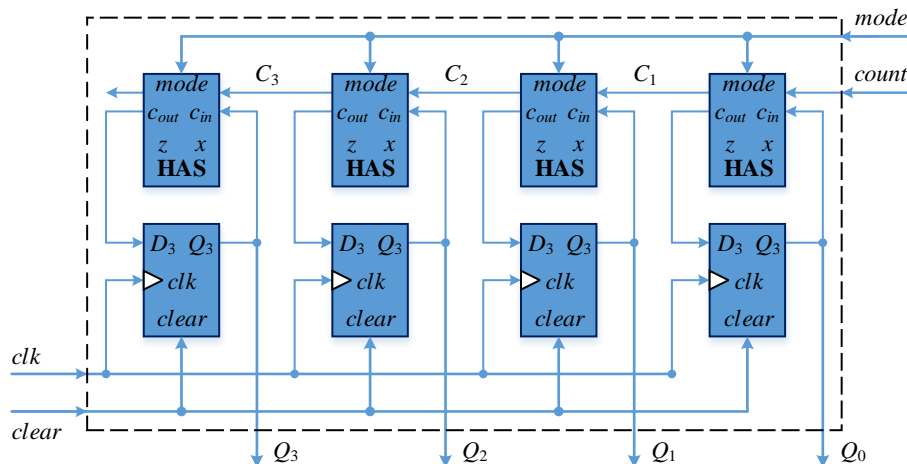


Рисунок 3. 4-разрядный реверсивный счетчик со сбросом на основе полусумматоров-вычитателей и регистра

## Счетчики с предустановкой

Иногда удобно начинать счет не с 0, а с какого-то произвольного значения. Счетчики, позволяющие выполнять такую операцию, называются счетчиками с предустановкой.

Счетчик с предустановкой можно получить, добавив к описанному выше реверсивному счетчику вход установки начального состояния счетчика и незначительно усложнив схему (рис. 4).

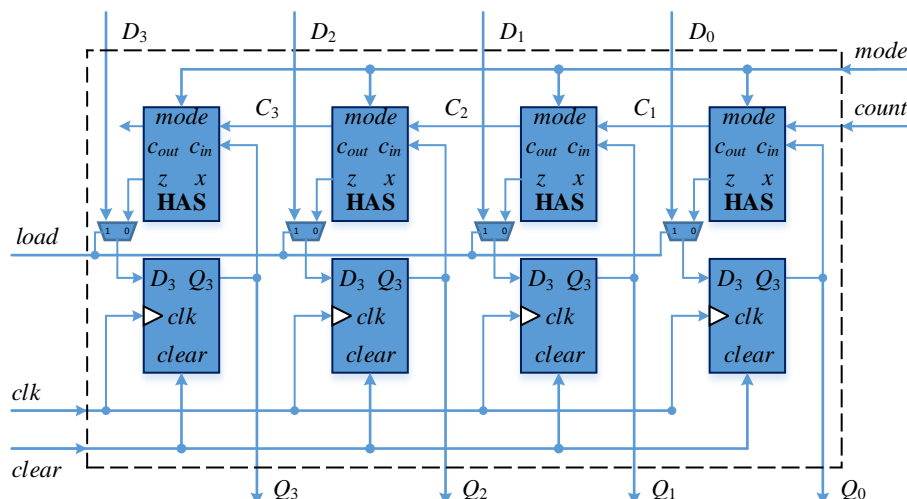


Рисунок 4. 4-разрядный реверсивный счетчик со сбросом и предустановкой

Важно отметить, что если вход сброса счетчика асинхронный, то при появлении на нем 1 счетчик будет сбрасываться “мгновенно”. При этом, если по сигналу *load* загружать в счетчик все 0, счетчик будет переходить в нулевое состояние только на следующий такт.

## Счетчики с произвольным коэффициентом пересчета

Недостатком счетчиков с предустановкой является тот факт, что они всегда считают до  $2^M - 1$ . Часто бывает необходимо считать до числа, меньшего  $2^M - 1$ . Для реализации этой функции в счетчик необходимо добавить компаратор, который будет сравнивать текущее значение на выходе счетчика с заданным максимальным.

В качестве примера счетчика с произвольным коэффициентом пересчета рассмотрим двоично десятичный счетчик от 6 до 9 (рис. 4).

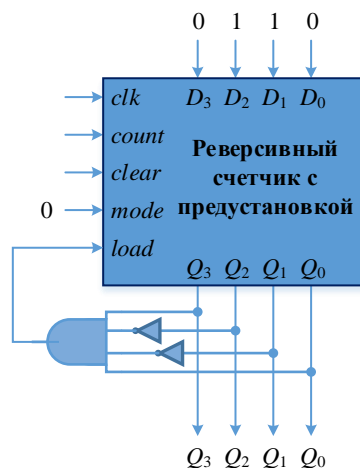


Рисунок 5. Двоично-десятичный счетчик от 6 до 9

## Кольцевые счетчики

При замыкании выхода последнего триггера регистра сдвига на вход первого триггера получается кольцевой счетчик. В процессе работы такого счетчика на его выходе 1 будет появляться только в одном разряде. Коэффициент пересчета такого счетчика равен числу разрядов в регистре сдвига.

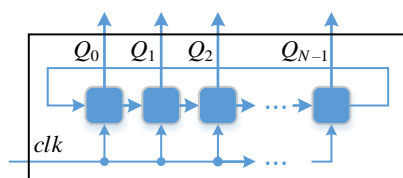


Рисунок 6. Кольцевой счетчик

Таблица 3. Таблица состояний 4-х разрядного кольцевого счетчика

$n$	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
0	1	0	0	0
1	0	1	0	0
2	0	0	1	0
3	0	0	0	1

Более сложной разновидностью счетчиков на основе замкнутых регистров сдвига являются счетчики Джонсона. В таких счетчиках за один раз переключается только один триггер, а за один период работы счетчика каждый триггер переключается два раза. В счетчике Джонсона для построения обратной связи берется не прямой, а инвертированный выход последнего триггера в регистре сдвига (рис. 7.) Из таблицы состояний счетчика Джонсона (таблица 4) видно, что в процессе счета на выходе счетчика проходит сначала волна единиц, а затем – волна нулей.

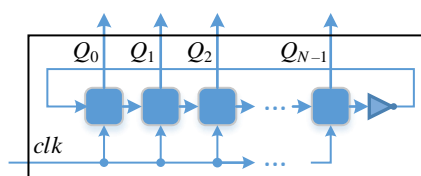


Рисунок 7. Счетчик Джонсона

Таблица 4. Таблица состояний 4-х разрядного счетчика Джонсона

$n$	$Q_0$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	1	1	1	0
3	1	1	1	1
4	0	1	1	1
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	0	0	0	0

Коэффициент пересчета счетчика Джонсона в два раза больше числа разрядов в регистре сдвига, на котором он построен. Код, который генерируется на выходе счетчика Джонсона, называется кодом Либау-Крейга.

Общим недостатком счетчиков на основе замкнутых регистров сдвига является их уязвимость к импульсным помехам. Такие помехи могут приводить к появлению на выходах триггеров некорректных комбинаций. Для защиты от импульсных помех в рассматриваемых счетчиках

применяются специальные схемы защиты, позволяющие вернуть счетчик в исходное состояние после сбоя.