

# Синхронные триггеры

# СОСТЯЗАНИЯ СИГНАЛОВ В ЦИФРОВЫХ СХЕМАХ

Состязания (гонки) возникают из-за неравенства задержек физических сигналов поступающих на входы логического элемента, вследствие чего перекрываются во времени их единичные значения. Выходной физической сигнал  $Y$  изменяется дважды: когда возникает перекрытие и когда оно заканчивается – формируется импульс.

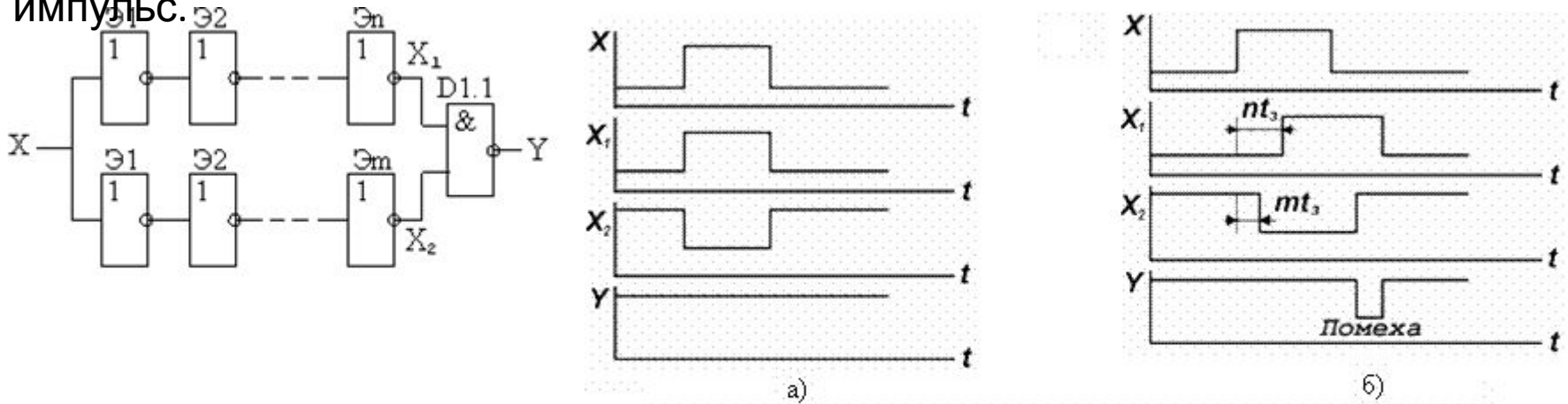


Рисунок 1 – Временные диаграммы КС показывающие процесс образования явления гонок

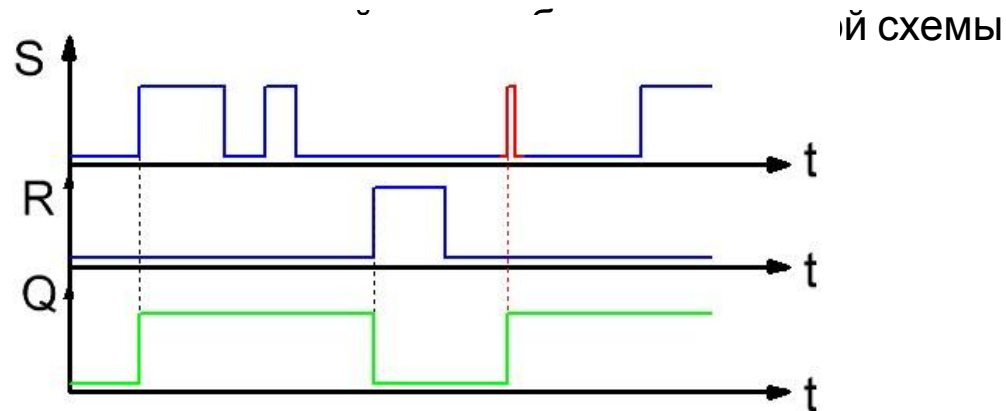


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы асинхронного триггера

## Основная модель синхронного автомата

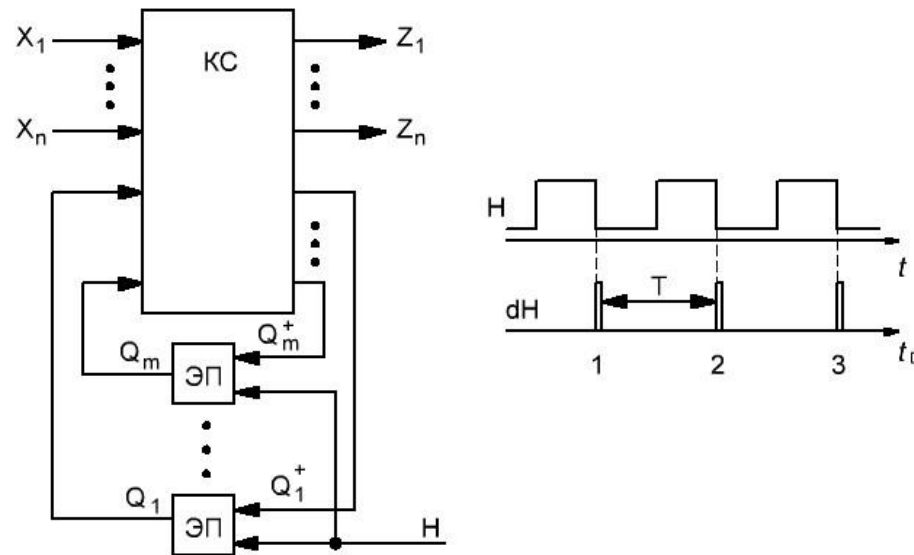


Рисунок 3 – Модель синхронного потенциального автомата

Выходной сигнал  $Q_1$  синхронного элемента задержки принимает значение входного сигнала  $Q_1^+$  в момент импульсного воздействия тактового сигнала  $H$ . Тактовый сигнал  $H$  задает дискретные моменты времени  $t_D = 1, 2, 3 \dots$

Функционирование автомата может рассматриваться только в эти дискретные моменты времени при соблюдении условий:

- Входные сигналы  $X_n$  не должны изменяться в моменты времени  $dH = 1$ ;
- Переходной процесс возникший в предыдущий момент времени  $t_D$ , должен закончиться к следующему дискретному моменту времени  $t_{DH}$ .

Тактовый сигнал  $H$  выполняет функцию временного селектирования информационных сигналов в ЭП  $Q_m^+$  в моменты времени  $t_D$ , поэтому требуется, чтобы значения информационных сигналов были истинными только в эти моменты времени.

## Синхронный RS-триггер на элементах И-НЕ

$$Q^{t+1} = \overline{\overline{S^t + R^t \cdot Q^t}} = \overline{\overline{S^t} \cdot \overline{R^t \cdot Q^t}}. \quad C^t R^t \text{ и } C^t S^t$$

$$Q^{t+1} = C^t S^t + \overline{C^t R^t} \cdot Q^t = C^t S^t + C^t R^t \cdot Q^t = \overline{\overline{C^t S^t} \cdot \overline{C^t R^t} \cdot \overline{Q^t}}.$$

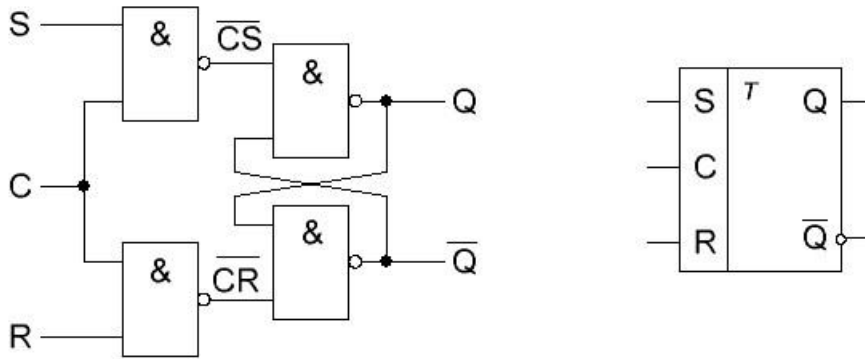
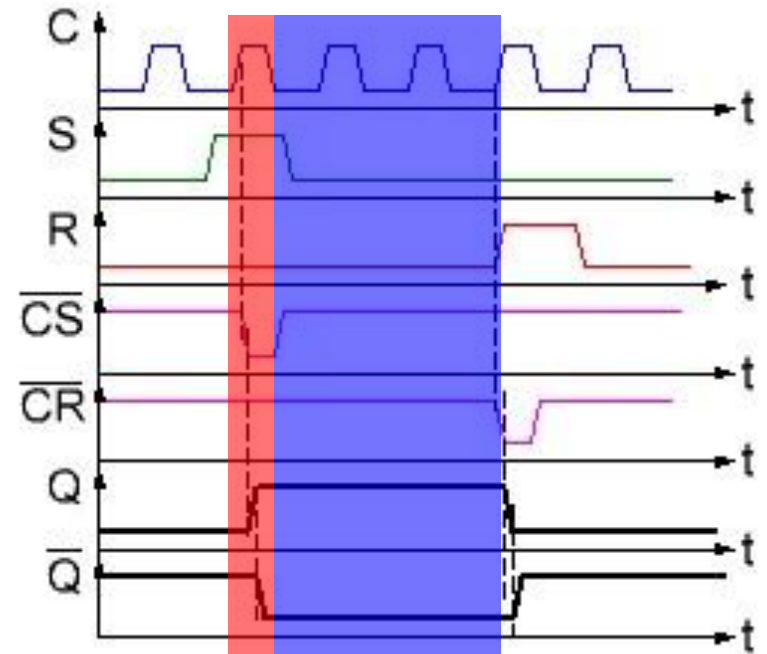


Рисунок 4 – Синхронный RS-триггер на элементах И-НЕ и его УГО



Временная диаграмма

$$t_{\text{п}} = t_3^{01} + t_3^{10} = 2t_3^{\text{cp}}$$

$$t_{\text{CC}} \geq 2t_3^{\text{cp}}$$

$$t_{3\text{T}} = 2t_3^{10} + t_3^{01}$$

## Синхронный RS-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ

$$Q^{t+1} = C^t S^t + \overline{C^t R^t} \cdot Q^t = \overline{(\overline{C^t} + \overline{S^t})} \cdot \overline{(\overline{C^t} Q^t + \overline{R^t} Q^t)} =$$

$$= \overline{C^t} \cdot \overline{(\overline{C^t} Q^t + \overline{R^t} Q^t)} + \overline{S^t} \cdot \overline{(\overline{C^t} Q^t + \overline{R^t} Q^t)}$$

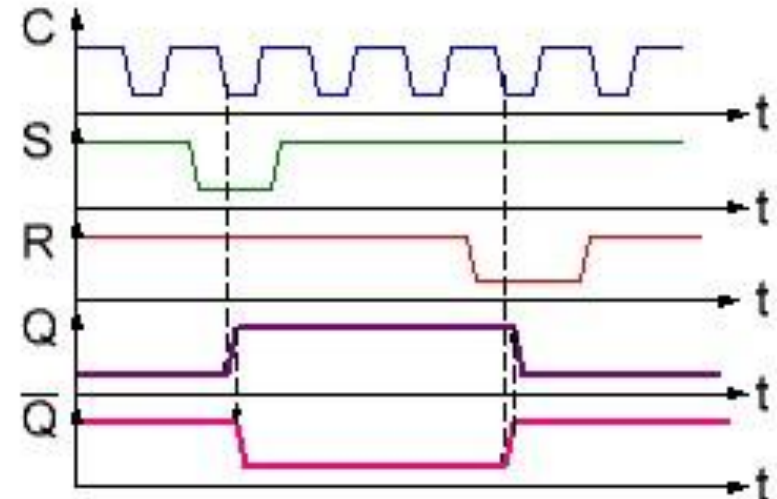
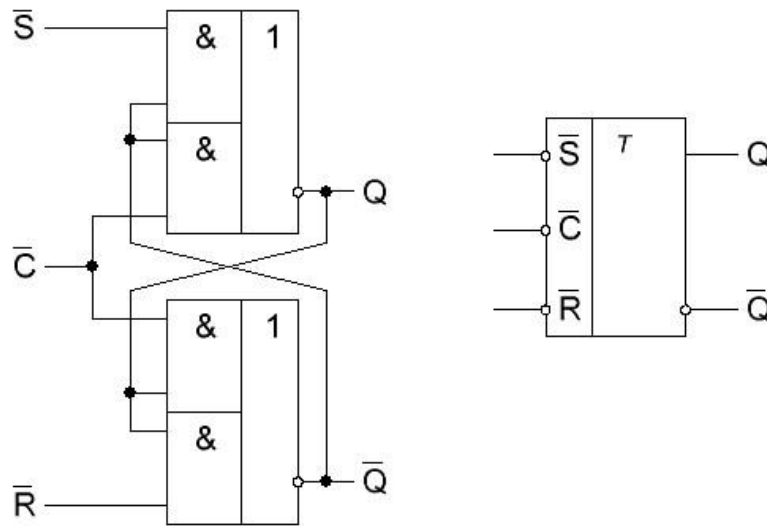


Рисунок 5 – Синхронный RS-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ и его УГО

Временная диаграмма

$$t_{3T} = t_3^{01} + t_3^{10} = 2t_3^{cp}$$

## Синхронный RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ

$$Q^{t+1} = \overline{C^t R^t} \cdot C^t S^t + \overline{C^t R^t} \cdot Q^t =$$

$$= \overline{\overline{C^t + R^t}} + \overline{\overline{C^t + S^t}} + Q^t.$$

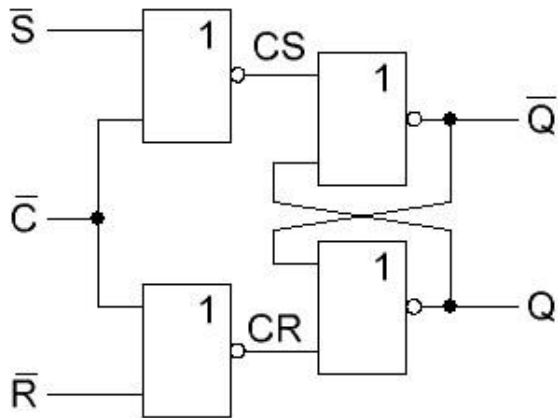
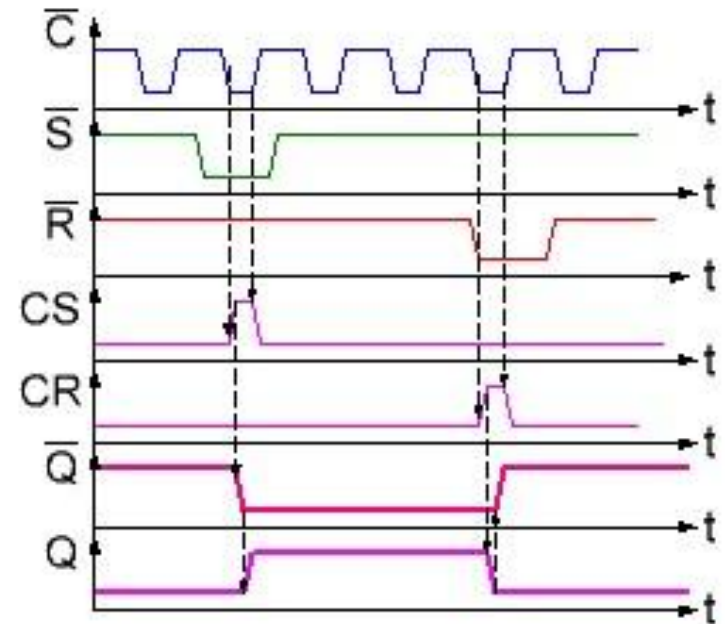


Рисунок 6 – Синхронный RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ



Временная диаграмма

$$t_{3T} = 2t_3^{01} + t_3^{10}$$

## Синхронный RS-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ

$$Q^{t+1} = \overline{C^t R^t + (C^t S^t + Q^t)}$$

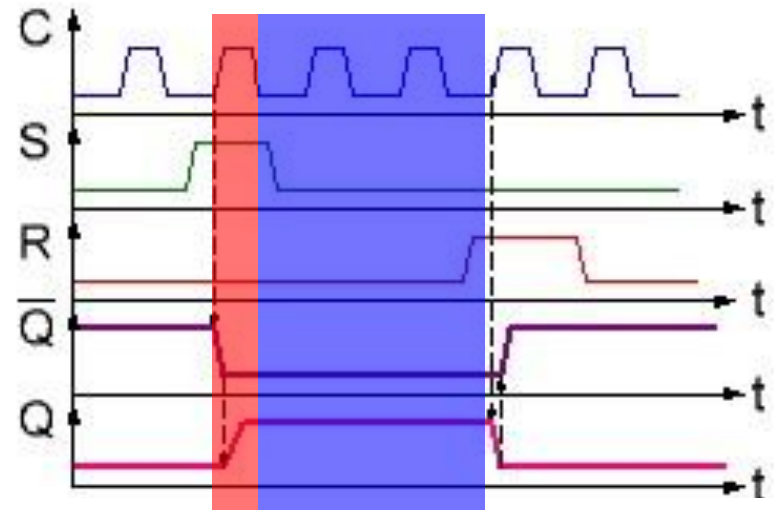
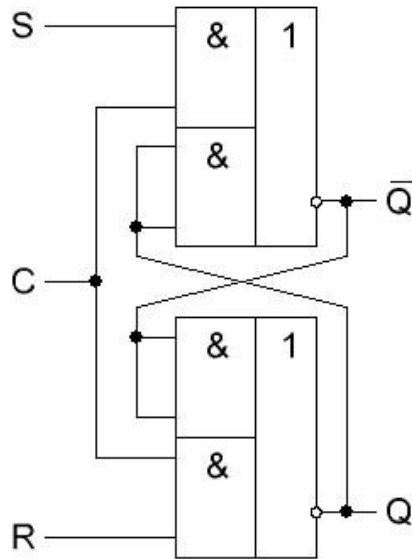


Рисунок 7 – Синхронный RS-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ

Временная диаграмма

$$t_{\text{п}} = t_{3\text{T}} = 2t_3^{\text{ср}}$$

## Преобразование RS-триггера в D-триггер

$$S \rightarrow D \quad R \rightarrow \bar{D}$$

$$Q^{t+1} = \overline{C^t D^t} \cdot \overline{C^t} \cdot \overline{C^t D^t} \cdot Q^t.$$

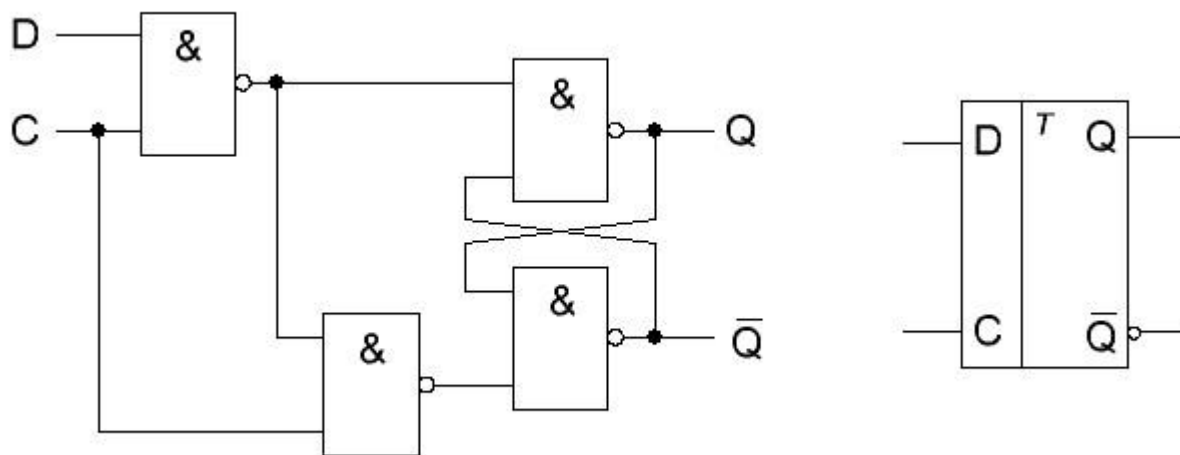


Рисунок 8 – Синхронный RS-триггер на элементах И-НЕ и его УГО



$$Q^{t+1} = \overline{\overline{C^t + D^t}} + \overline{\overline{C^t + (C^t + D^t)} + Q^t}.$$

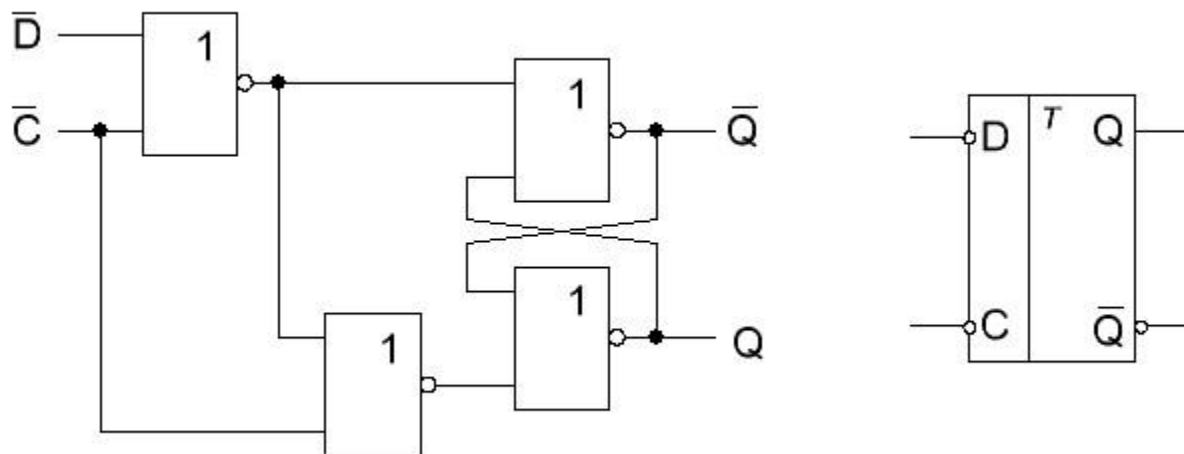
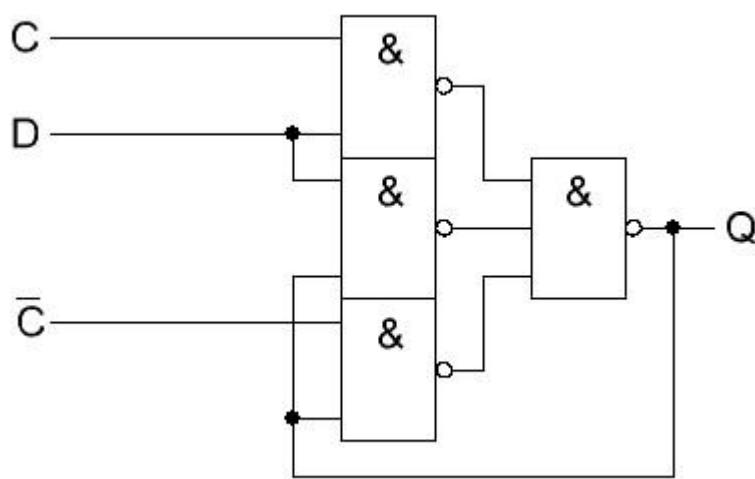


Рисунок 9 – Синхронный RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ и его УГО

$$\text{ДНФ } Q^{t+1} = C^t D^t + D^t Q^t + \overline{C^t} Q^t.$$

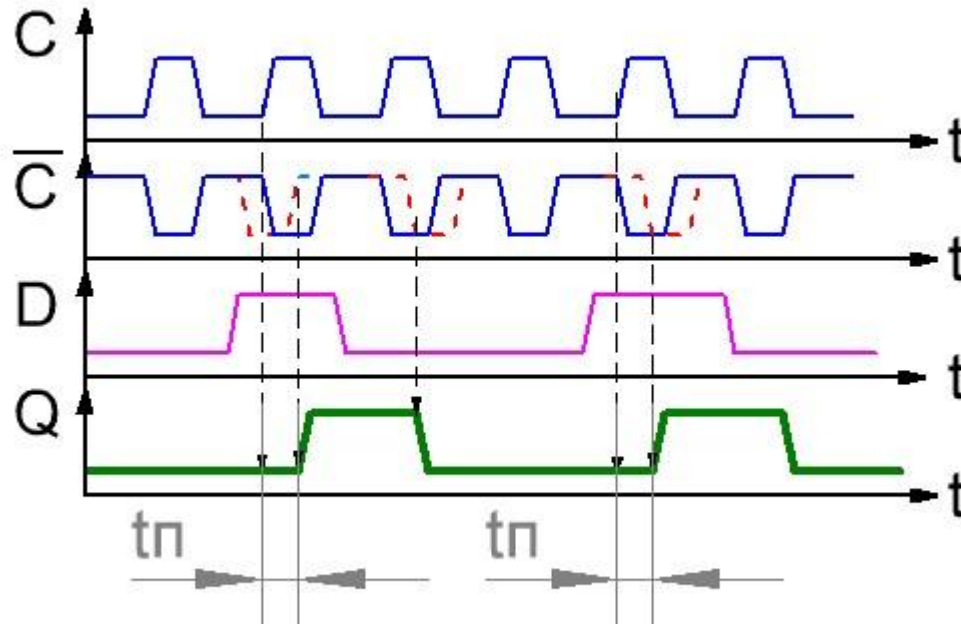
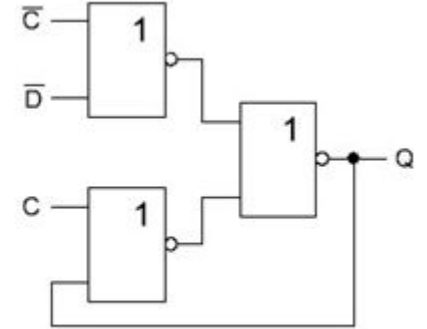
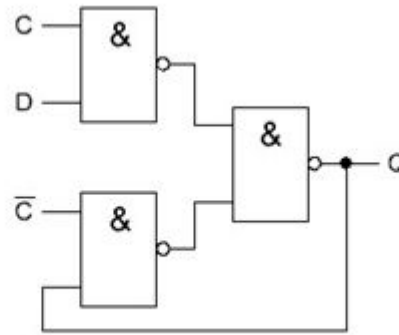
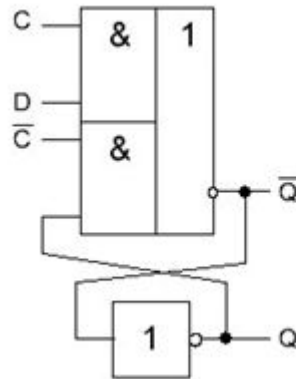
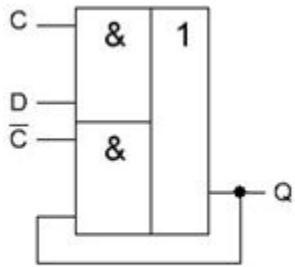


$$Q^{t+1} = \overline{\overline{C^t D^t} \cdot \overline{D^t Q^t} \cdot \overline{C^t Q^t}}.$$

Рисунок 10 – D-триггер  
защёлка  
на элементах И-НЕ.  
(Триггер Эрла)

Триггер Эрла имеет наибольшее быстродействие из всех триггеров, которые можно использовать в конвейерных устройствах обработки информации, содержащих несколько ступеней преобразования информации.

МДНФ  $Q^{t+1} = C^t D^t + \overline{C^t} Q^t.$



Временная диаграмма

## Синхронный DV-триггер

$$Q^{t+1} = \overline{C^t V^t D^t} ((C^t V^t \overline{C^t V^t D^t}) Q^t).$$

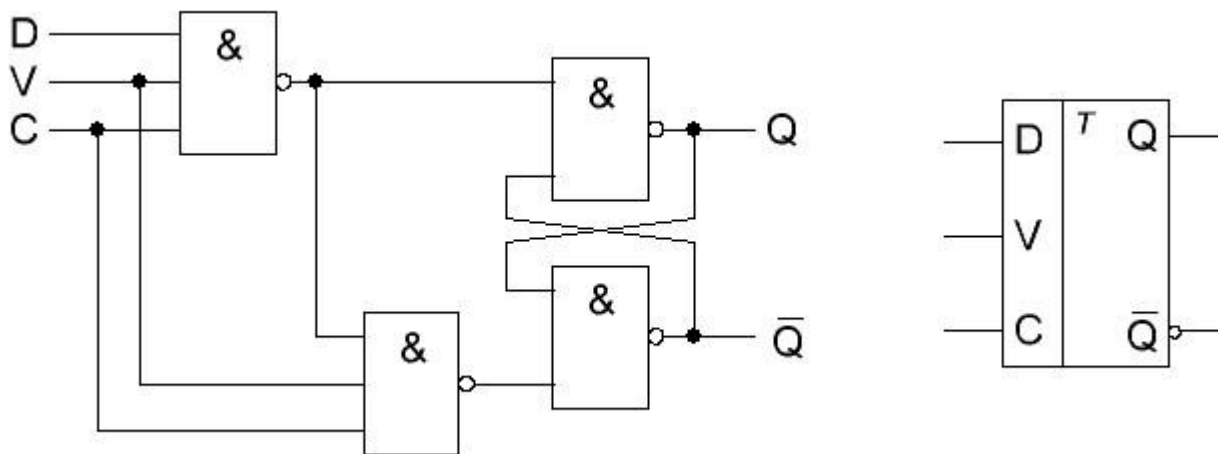


Рисунок 11 - Синхронный DV-триггер на элементах И-НЕ и его УГО

$$Q^{t+1} = \overline{C^t V^t D^t} + (C^t V^t D^t + Q^t).$$

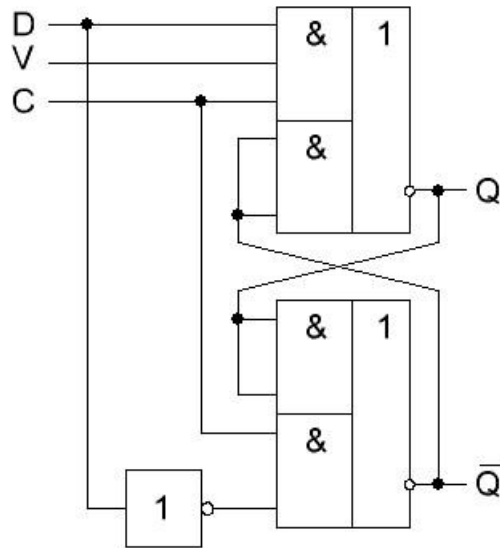


Рисунок 12 - Синхронный DV-триггер на элементах И-ИЛИ-НЕ

В одноступенчатом триггере имеется одна ступень запоминания информации, при этом, в состоянии записи триггер "прозрачен", то есть все изменения на входе триггера повторяются на выходе триггера, что может привести к ложным срабатываниям устройств стоящих после триггера.

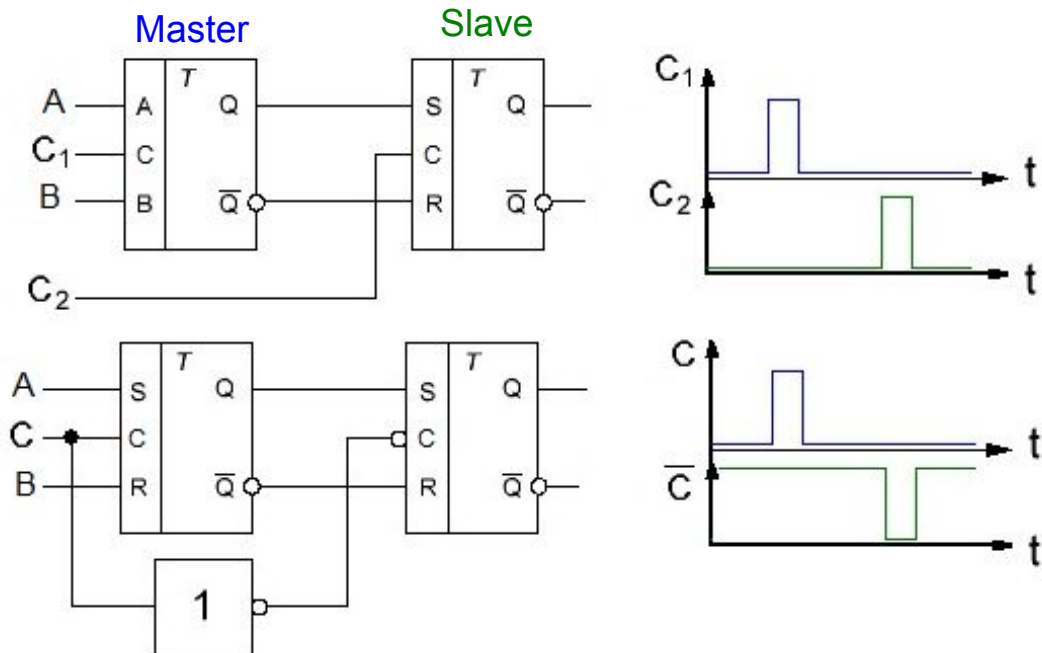


Рисунок 13 – Двухступенчатый RS-триггер

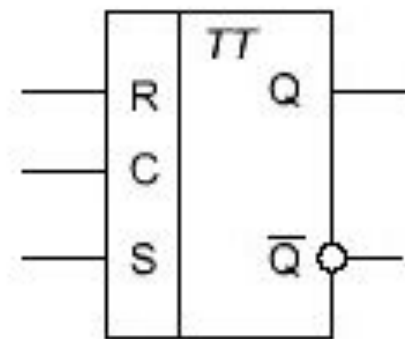


Рисунок 14 - УГО двухступенчатого RS-триггера

В двухступенчатом триггере две ступени. Вначале информация записывается в первую ступень (Master), при этом все изменения происходящие на выходе триггера во вторую ступень (Slave) до сигнала перезаписи не попадают. Затем, после перехода триггера первой ступени в режим хранения, информация переписывается во вторую ступень и появляется на выходе второго триггера, что позволяет избежать состояния "прозрачности".

Двухступенчатый триггер обозначают - TT.

$$t_{3TT} = t_{CC} + t_{3T2}$$

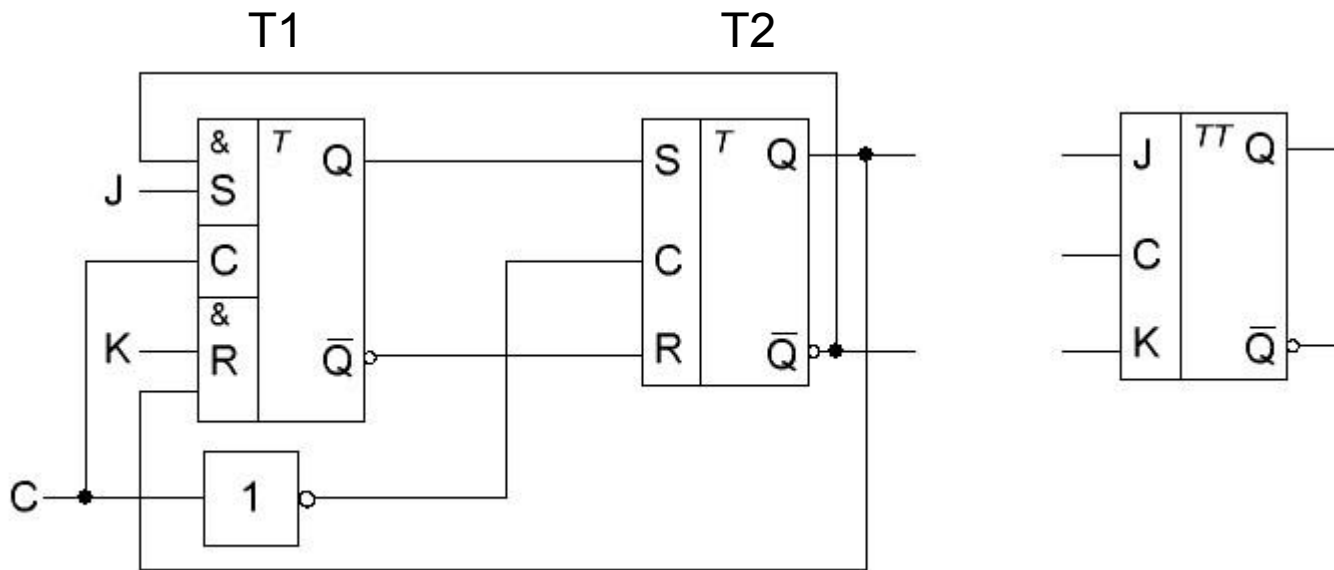


Рисунок 15 – Синхронный JK-триггер на базе двухступенчатого RS-триггера и его УГО

$$t_{CC} > t_{ПТ1}$$

$$t_{3ТТ} = t_{CC} + t_{3Т2}$$

## Способ управления записью информации в триггер

В ряду классификационных признаков способ управления записью информации в триггер следует считать важнейшим, так как он позволяет учесть основные моменты в работе триггера, а именно:

- какие части (фрагменты) сигнала (фронты, уровни, их комбинации) используются для записи (приема) информации в схему управления;
- реакцию триггера на смену информации в процессе ее записи;
- момент времени, когда записываемая информация появляется (фиксируется) на выходах триггера.

Можно выделить две группы триггеров, различаемых по способам управления записью информации:

- триггеры, у которых прием и фиксация информации **совмещены** во времени;
- триггеры, у которых прием и фиксация информации **разнесены** во времени.



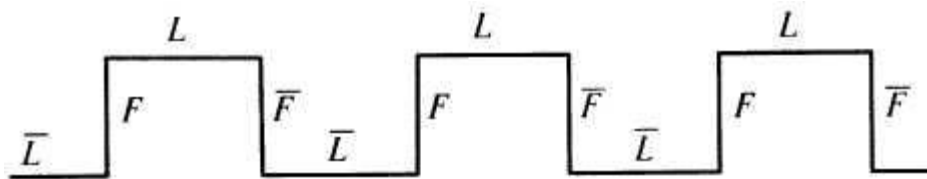


Рисунок 16 - Обозначение фрагментов сигнала

$L$  – от англ. *Level* – уровень

$F$  – от англ. *Front* – фронт

$\bar{F}$  – срез

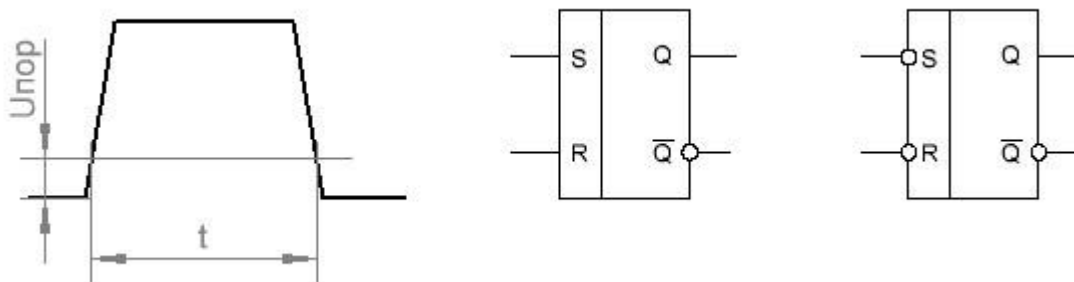


Рисунок 17 - Статическое управление триггером

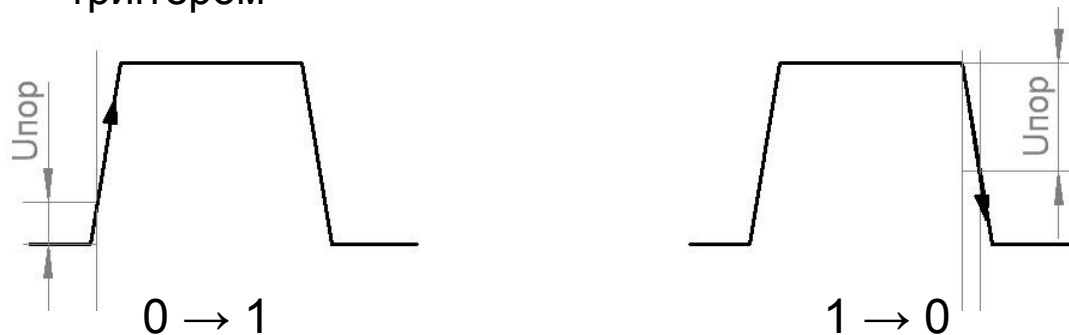


Рисунок 18 - Динамическое управление триггером

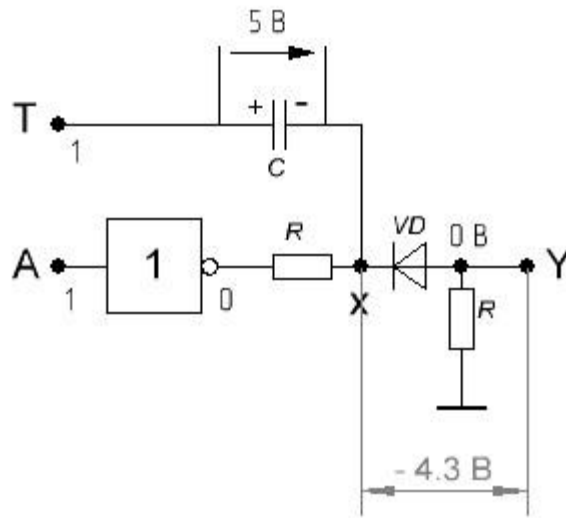


Рисунок 19 – Структура импульсного элемента

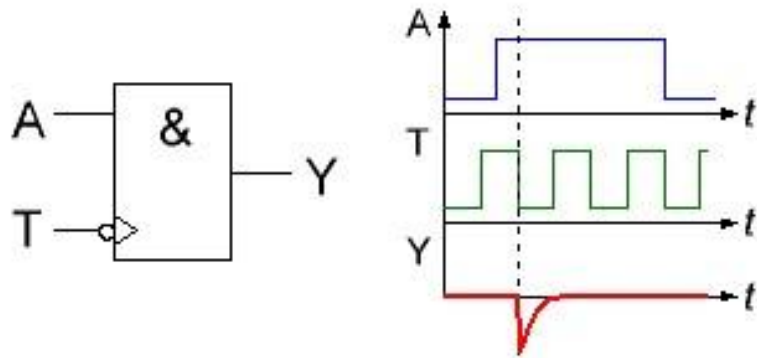


Рисунок 20 – Условное обозначение и временная диаграмма импульсного элемента для варианта с отрицательным выходным импульсом.

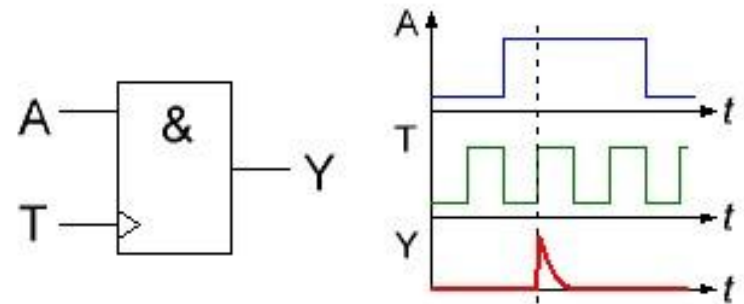
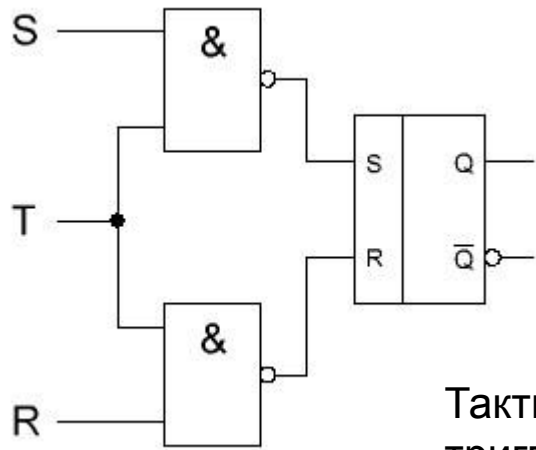
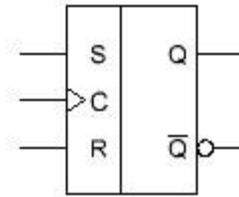
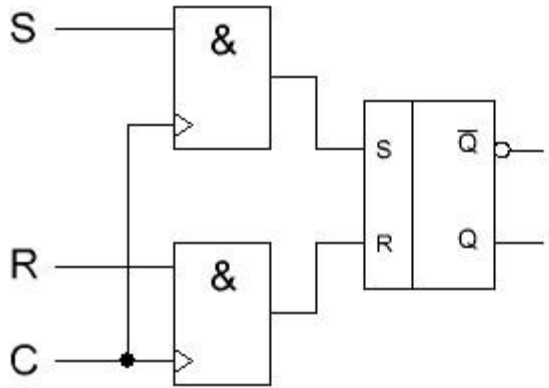


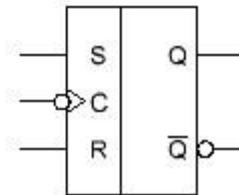
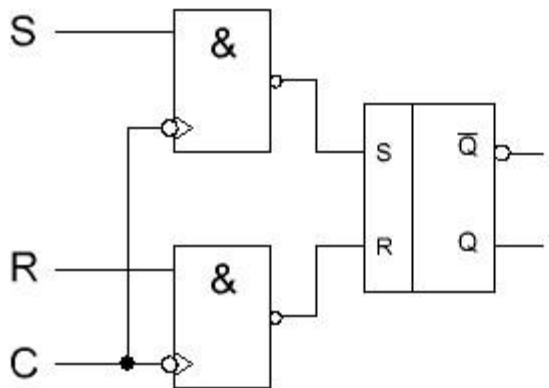
Рисунок 21 – Условное обозначение и временная диаграмма импульсного элемента для варианта с положительным выходным импульсом.



Тактируемый по уровню триггер

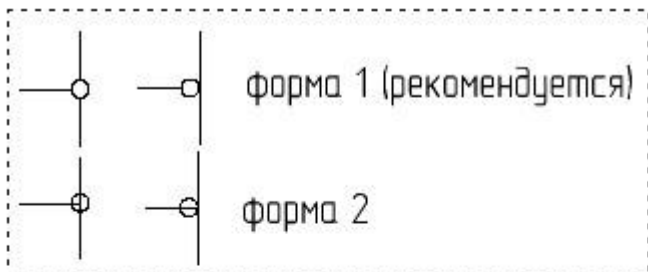


Тактируемый по фронту триггер и его условно-графическое изображение

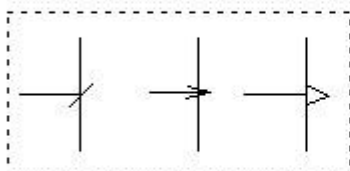


Тактируемый по срезу триггер и его условно-графическое изображение

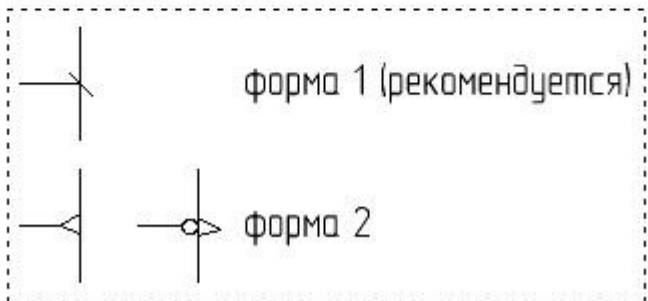
# Логические индикаторы входов и выходов



Логическое отрицание

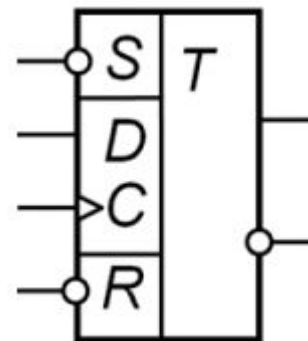


Прямой динамический вход



Инверсный динамический вход

Асинхронные входы изображаются отдельно от синхронных и отделяются горизонтальной прямой.



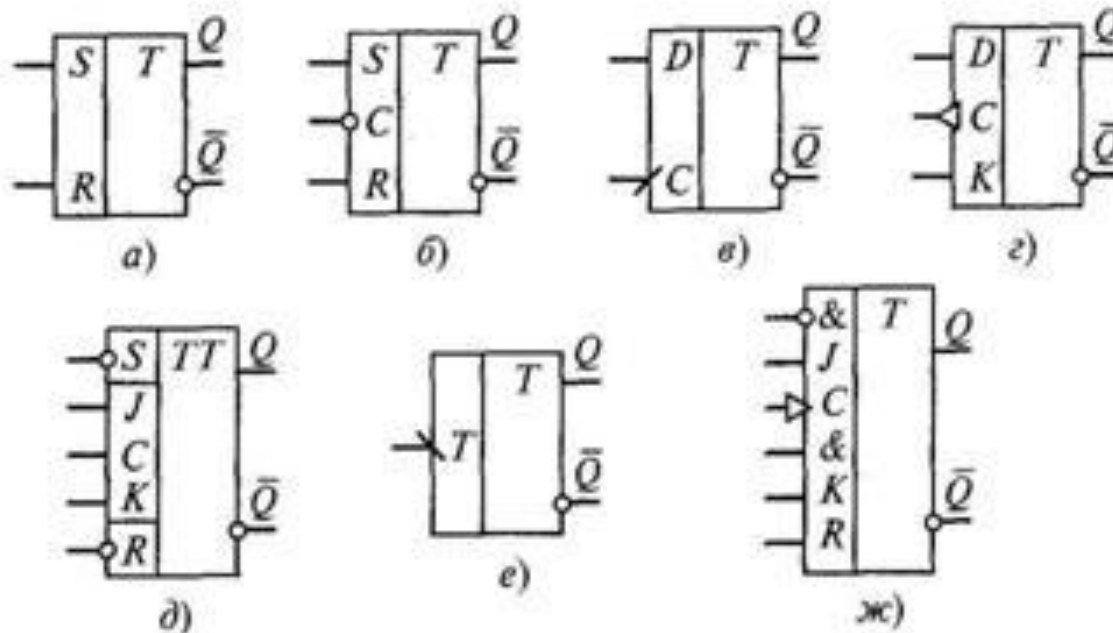


Рисунок 22 – УГО триггеров: а – асинхронный RS-триггер, б – синхронный RS-триггер со статическим управлением, в – синхронный D-триггер с динамическим управлением по фронту тактового сигнала, г – синхронный D-триггер с динамическим с управлением по срезу тактового сигнала, д – синхронный JK-триггер со статическим управлением и асинхронными цепями управления R и S, е – счетный T-триггер с управлением по срезу тактового сигнала, ж - синхронный JK-триггер со динамическим управлением по срезу тактового сигнала с прямым и инверсным входом J объединённых конъюнкцией двумя входами K объединённых конъюнкцией и асинхронным входом сброса (установки 0)

Рекомендуется к просмотру  
 «Электротехника и электроника для программистов»

<https://www.youtube.com/channel/UCFI31dsn8yxaarw6LZpSHWw>