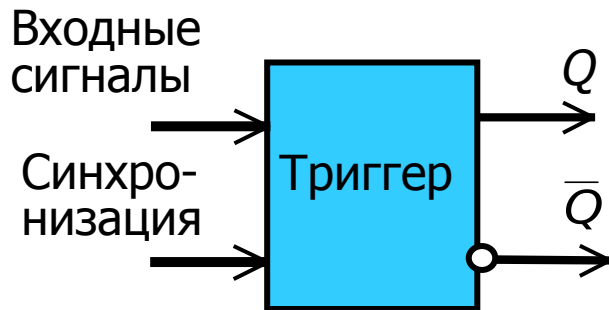


Модуль 4. Триггерные устройства как элементарные автоматы Мура

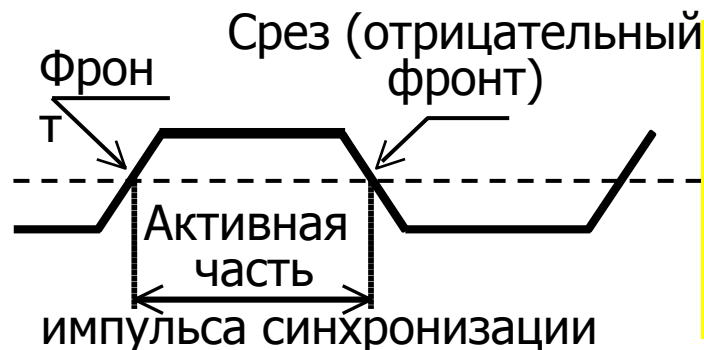
- Классификация триггерных структур.
- Асинхронные триггеры.
 - Триггер типа RS
 - Другие типы асинхронных триггеров
- Синхронные триггеры со статическим управлением
 - RS -триггер
 - D-триггер типа «защёлка»
 - Двухступенчатый JK-триггер типа MS (*опущен*)
- Триггеры с динамическим управлением:
 - D-триггеры
 - JK- триггер с внутренней задержкой

Классификация триггерных структур.

Триггер представляет собой устройство с двумя устойчивыми состояниями, одно из которых называют **единичным** ($Q = 1, \bar{Q} = 0$), а другое - **нулевым** ($Q = 0, \bar{Q} = 1$). **Классификация триггеров** может быть произведена по способу восприятия управляющей информации с информационных входов и принципу логического функционирования.



1. По способу восприятия информации различают асинхронные и синхронные триггеры. В асинхронных триггерах воздействие входных сигналов осуществляется непрерывно во времени. В синхронных триггерах воздействие входных сигналов происходит лишь в определенные отрезки времени синхросигнала.



2. По виду активных частей синхросигнала, во время которых происходит воздействие входных сигналов на триггер, различают:

- **триггеры, управляемые (тактируемые) импульсом синхронизации.** В свою очередь они подразделяется на одноступенчатые и двухступенчатые (**MS – триггеры**);

- **триггеры с динамическим управлением записью информации, когда восприятие входных сигналов и переключение в новое состояние происходит во время фронта (среза) синхросигнала.**

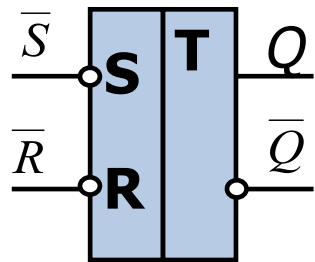
3. По виду логического функционирования различают триггеры типов RS, D, T, JK и др.



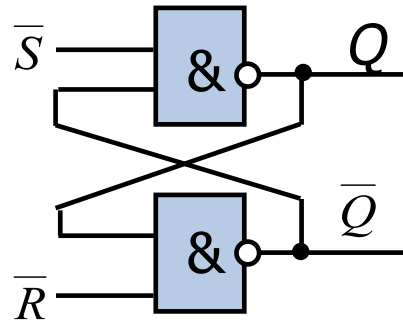
Асинхронный RS- триггера с инверсными входами

Схема RS- триггера с инверсными входами на элементах И-НЕ и его основные характеристики приведены на рисунках.

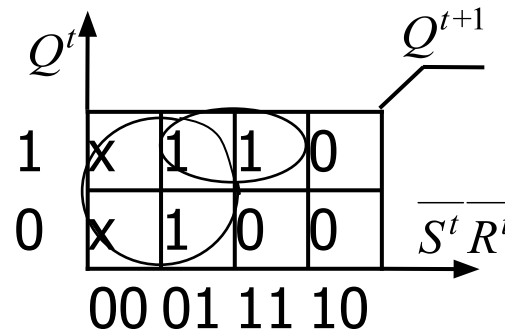
УГО



Функциональная схема



Карта Карно для получения характеристического уравнения RS-триггера.

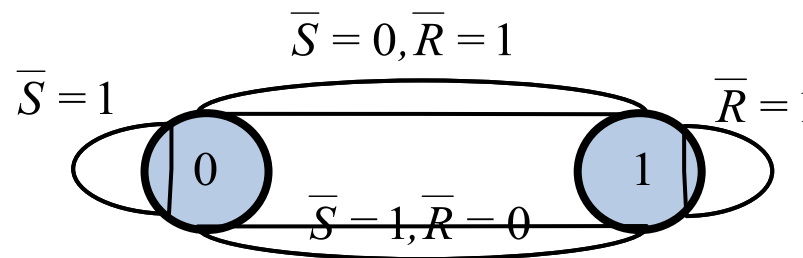


$$Q^{t+1} = \{S \square \bar{R}Q\}^t = \bar{\bar{S}}\bar{\bar{R}}Q$$

Таблица переключений

t			t+1	Режим
\bar{S}	\bar{R}	Q	Q	
0	0	0	x(1)	Запрещ.
0	0	1	x(1)	
0	1	0	1	Уст. 1
0	1	1	1	
1	0	0	0	Уст. 0
1	0	1	0	
1	1	0	0	Хранен.
1	1	1	1	

Граф RS-триггера, как граф асинхронного автомата.

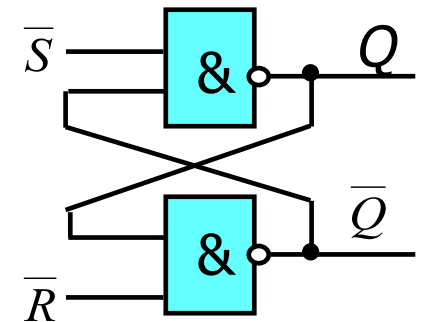
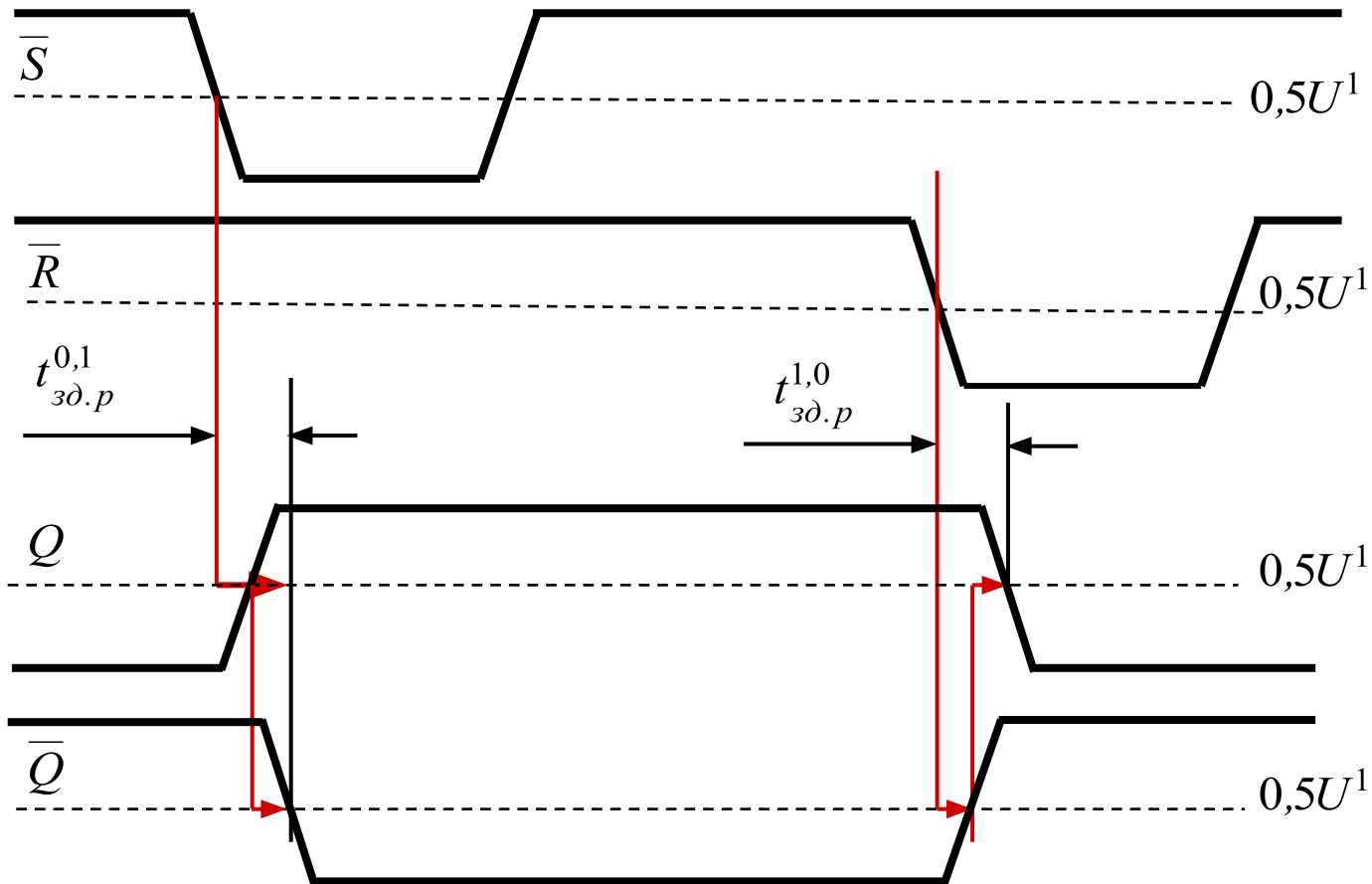


Триггерный словарь

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	\bar{R}^t	\bar{S}^t
0 0	*	1
0 1	1	0
1 0	0	1
1 1	1	*



Временные диаграммы работы RS-триггера с инверсными входами на элементах И-НЕ

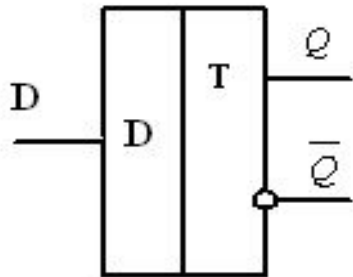


Это единственный тип асинхронного триггера, имеющий три необходимых режима работы (уст.1, уст. 0, хранен. 0 или 1) и описывающийся графом асинхронного автомата.

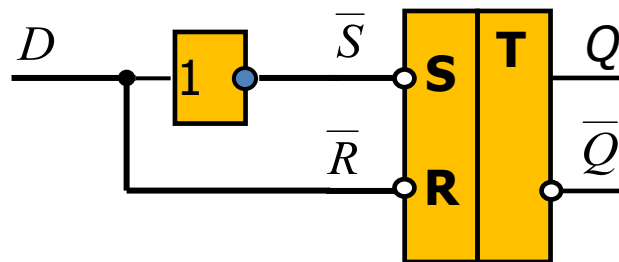


Асинхронный D-триггер (*Delay –задержка*)

УГО



Функциональная схема



Характеристическое уравнение D-триггера

$$Q^{t+1} = D^t$$

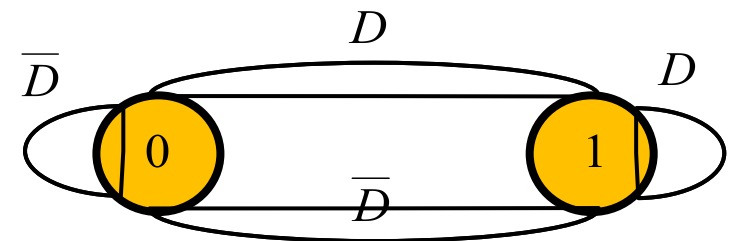
Таблица переключений

t		t+1	Режим
D	Q	Q	
0	0	0	Уст. 0
0	1	0	
1	0	1	Уст. 1
1	1	1	

Триггерный словарь

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	D^t
0 0	0
0 1	1
1 0	0
1 1	1

Граф D-триггера как граф асинхронного автомата.

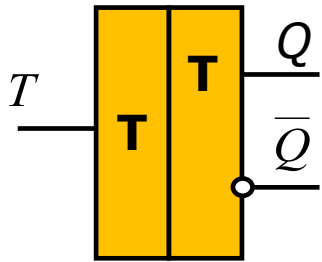


Асинхронный D-триггер не имеет практического применения в виду отсутствия режима хранения установленного состояния. Триггер фактически выполняет только функцию задержки (*Delay*).

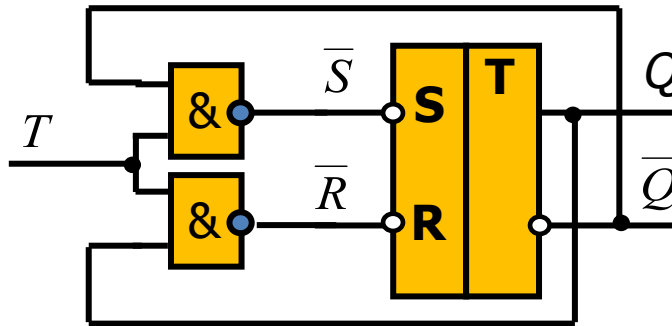


Асинхронный Т-триггер (Toggle – переключатель)

УГО



Функциональная схема



Характеристическое уравнение Т-триггера

$$Q^{t+1} = (\bar{T}Q + T\bar{Q})^t = (T \square Q)^t$$

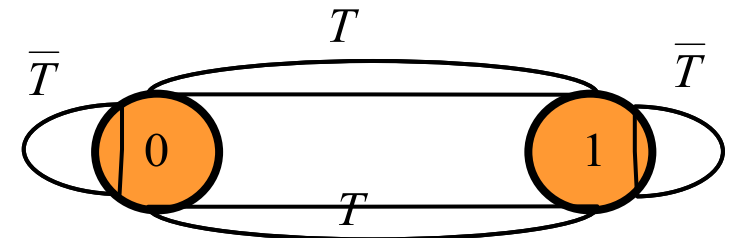
Таблица переключений

t		t+1	Режим
T	Q	Q	
0	0	0	Хранение
0	1	1	
1	0	1	Счётный режим
1	1	0	

Триггерный словарь

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	T^t
0	0
0	1
1	0
1	1

Граф Т-триггера как граф синхронного автомата.

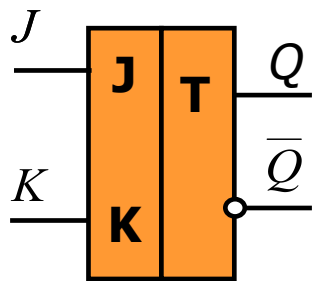


Асинхронный Т-триггер не имеет практического применения, так как описывается графом синхронного автомата (при непрерывном воздействии входного сигнала T , он превращается в генератор импульсов).

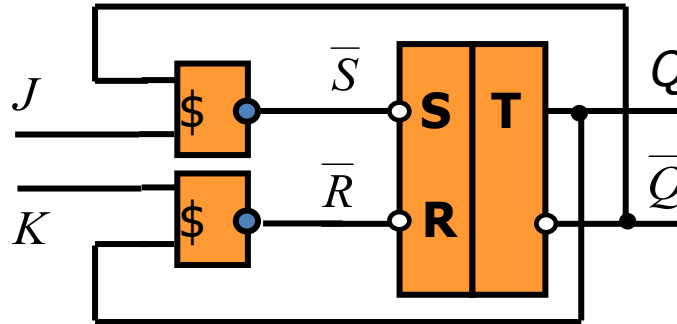


Асинхронный JK-триггер

УГО



Функциональная схема



Характеристическое уравнение JK-триггера

$$Q^t = (J\bar{Q} \square \bar{K}Q)^t$$

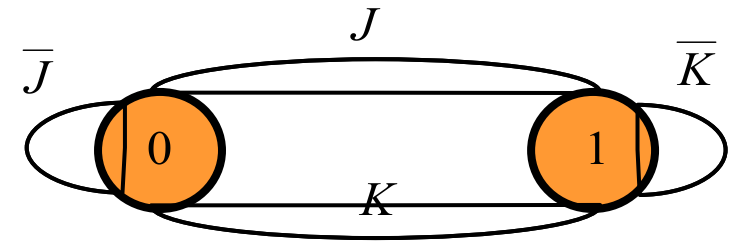
Таблица переключений

t			t+1	Режим
J	K	Q	Q	
0	0	0	0	Хранен.
0	0	1	1	
0	1	0	0	Уст. 0
0	1	1	0	
1	0	0	1	Уст. 1
1	0	1	1	
1	1	0	1	Счётный режим
1	1	1	0	

Триггерный словарь

$Q^t \rightarrow Q^{t+1}$	J^t	K^t
0 0	0	*
0 1	1	*
1 0	*	1
1 1	*	0

Граф JK-триггера как граф синхронного автомата при J=K.

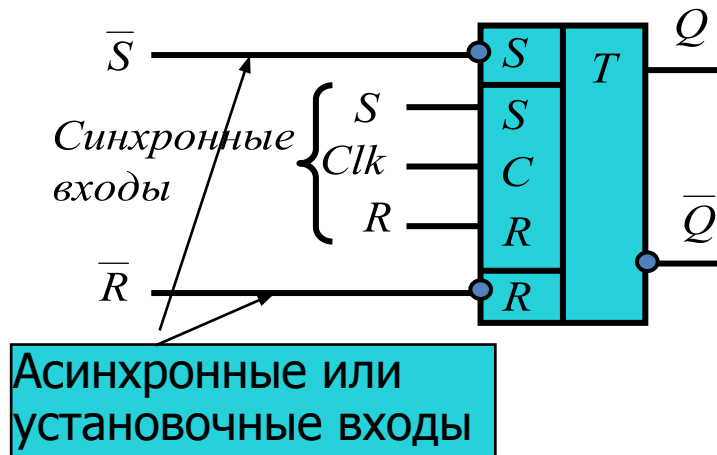


Асинхронный JK-триггер не имеет практического применения, так как описывается графом синхронного автомата при J=K (при J=K, JK-триггер превращается в T-триггер).

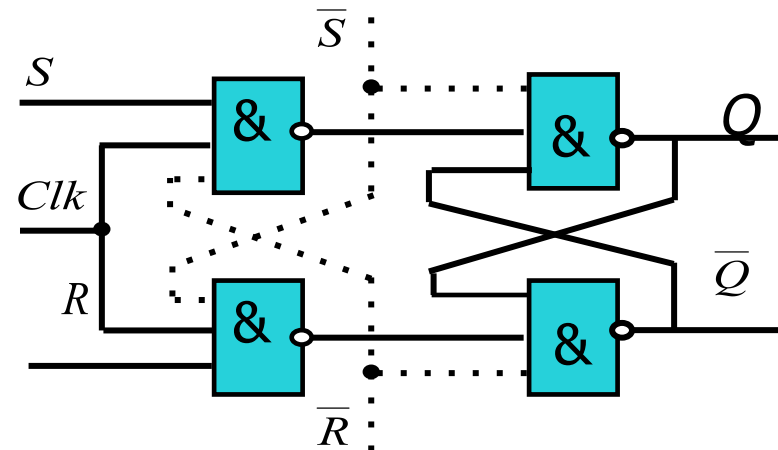


Синхронные RS-триггер со статическим управлением (триггер, синхронизируемый импульсом)

УГО RS-триггера



Функциональная схема RS-триггера



При $Clk=0$ схема триггера блокируется от синхронных **S**- и **R**- входов и находится в режиме хранения предыдущего состояния. Независимо от значения сигналов на синхронных входах, **асинхронные приказы**

$$Уст. "1" (\bar{S} = 0, \bar{R} = 1), \quad Уст. "0" (\bar{S} = 1, \bar{R} = 0).$$

имеют приоритет перед приказами по синхронным входам.

Триггер выполняет приказы по синхронным входам только при пассивных (не активных) значениях сигналов на асинхронных входах:

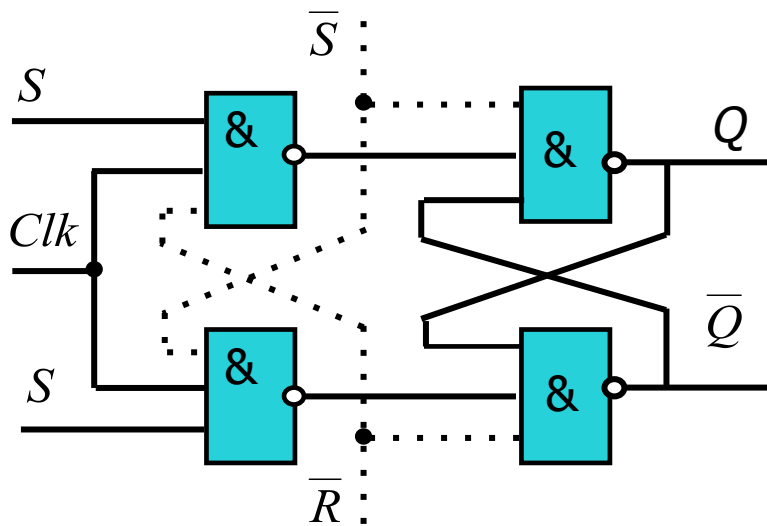
$$\bar{S} = 1, \bar{R} = 1$$

В этом случае, при значении синхросигнала $Clk=1$ синхронный триггер описывается как асинхронный **RS**- триггер с прямыми входами.



Таблица состояний (переходов) синхронного RS -триггера

Функциональная схема RS -триггера



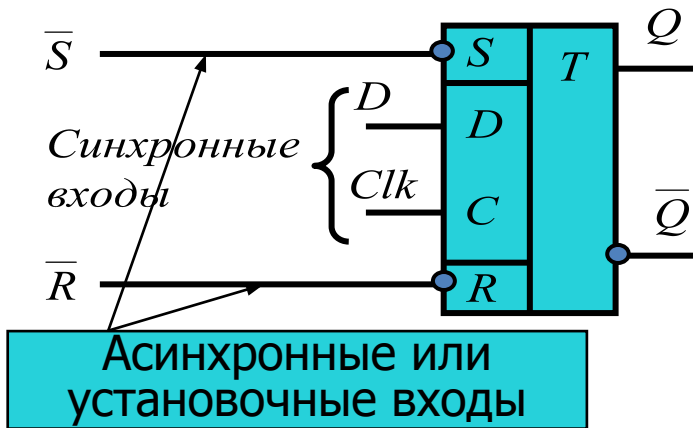
Асинхронные входы $\bar{S} = 1, \bar{R} = 1$

Clk	R^t	S^t	Q^t	Q^{t+1}	Режим
0	X	X	1/0	1/0	Блок. от входов (хранение)
1	0	0	1/0	1/0	Хранение
1	1	0	1/0	0	Уст. "0"
1	0	1	1/0	1	Уст. "1"
1	1	1	1/0	**	Запр. реж.

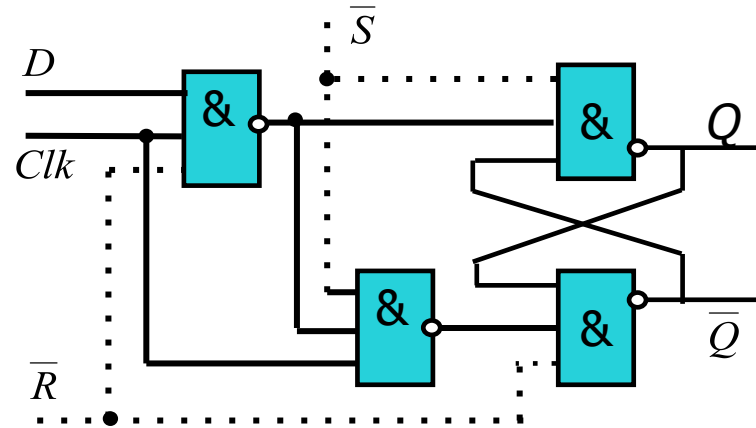


Синхронный D-триггер со статическим управлением

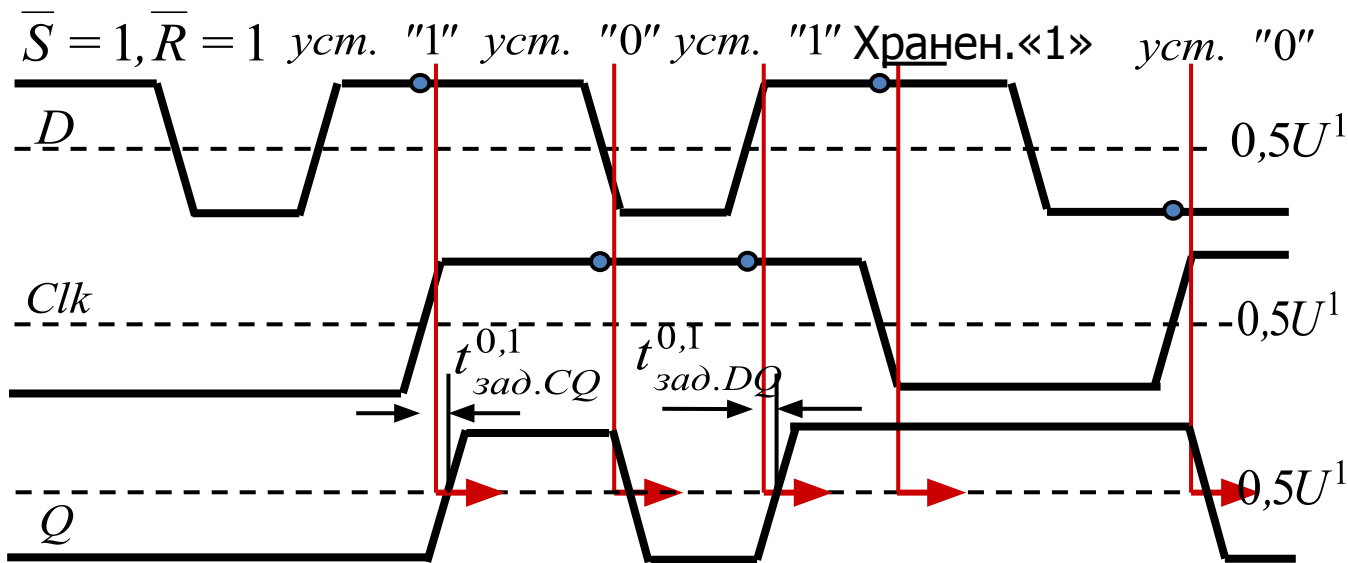
УГО D-триггера



Функциональная схема D-триггера



Сказанное выше относительно взаимодействия асинхронных и синхронных входов остаётся в силе и для данной схемы, впрочем как и для всех типов синхронных триггеров.



На временных диаграммах

($\bar{S} = 1, \bar{R} = 1$) показаны значения задержек переключения триггера по трактам:

от входа C до выхода:

$$t_{зад.CO}^{0,1}$$

и от входа D до выхода

$$t_{зад.DQ}^{0,1}$$



Синхронный D-триггер со статическим управлением (продолжение)

Статический D -триггер прозрачен для входного D -сигнала при $Clk = 1$ ($Q^{t+1} = D^t$) и переходит в режим хранения по срезу синхросигнала Clk .

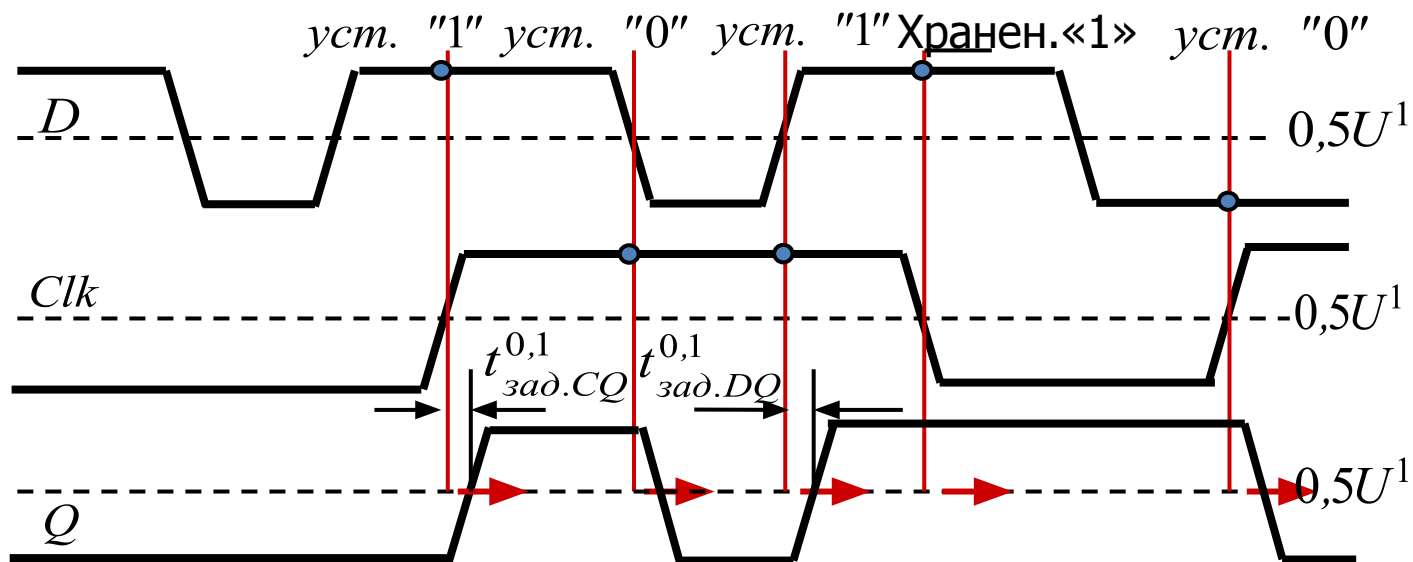
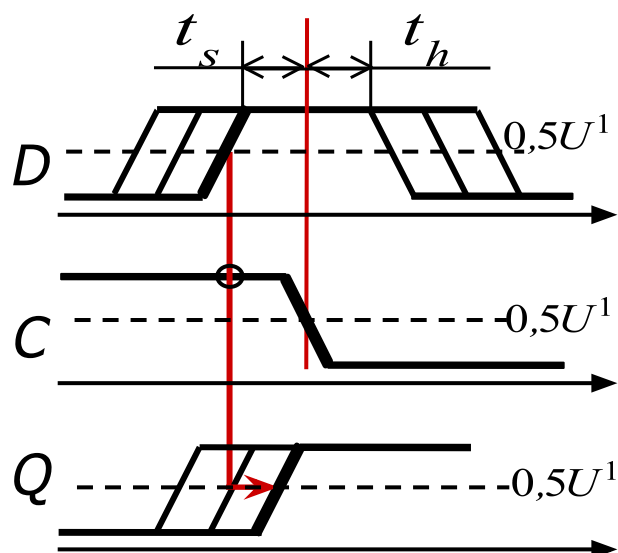


Таблица состояний (переходов)

C	D^t	Q^t	Q^{t+1}	Режим
0	X	1/0	1/0	Хранен.
1	0	1/0	0	Уст. "0"
1	1	1/0	1	Уст. "1"

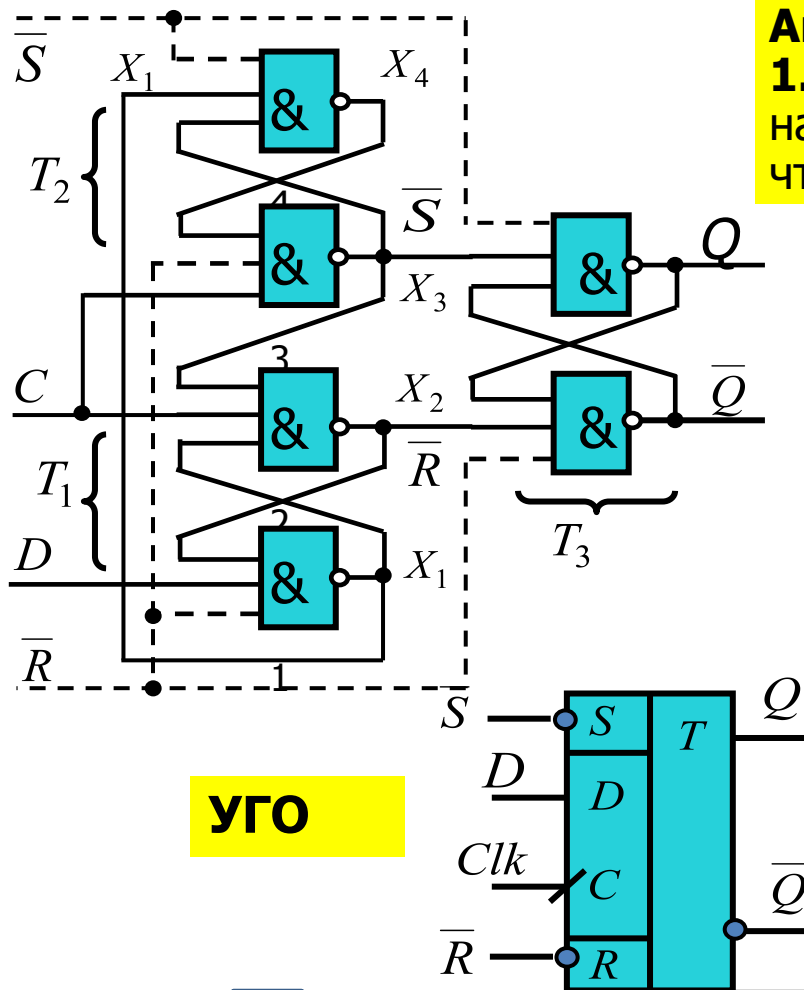


Поскольку в режим хранения D -триггер переходит по срезу C -сигнала, важно исключить сбой в это время. Поэтому всякие изменения сигнала на D -входе должны прекратиться за некоторое время до среза C -сигнала, называемое **временем установки t_s (setup time)** и могут снова возобновиться после среза C -сигнала спустя **время выдержки t_h (hold time)**. Ориентировочно: $t_s = (1...2)\tau$, а $t_h = 0,5...1\tau$ (τ -задержка одного ЛЭ). *Требование неизменности входного(ых) сигнала(ов) в момент перехода триггера в состояние хранения относится и к другим типам синхронных триггеров.*



D-триггер с динамическим управлением записью информации

К особенностям данного триггера (схема 3-х RS-триггеров (SN7474)) следует отнести его переключение по положительному фронту C - сигнала (что отражено указателем на C - входе в обозначении триггера), а к достоинствам – свойства непрозрачности и непроницаемости по D - входу при любом статическом уровне C - сигнала



УГО

Анализ схемы при $C=0$.

1. При $C=0$ сигналы $X_2=X_3=1$ и выходной триггер T_3 находится в режиме хранения. При этом из схемы следует, что (вентили $\&_1$ и $\&_4$ становятся инверторами):

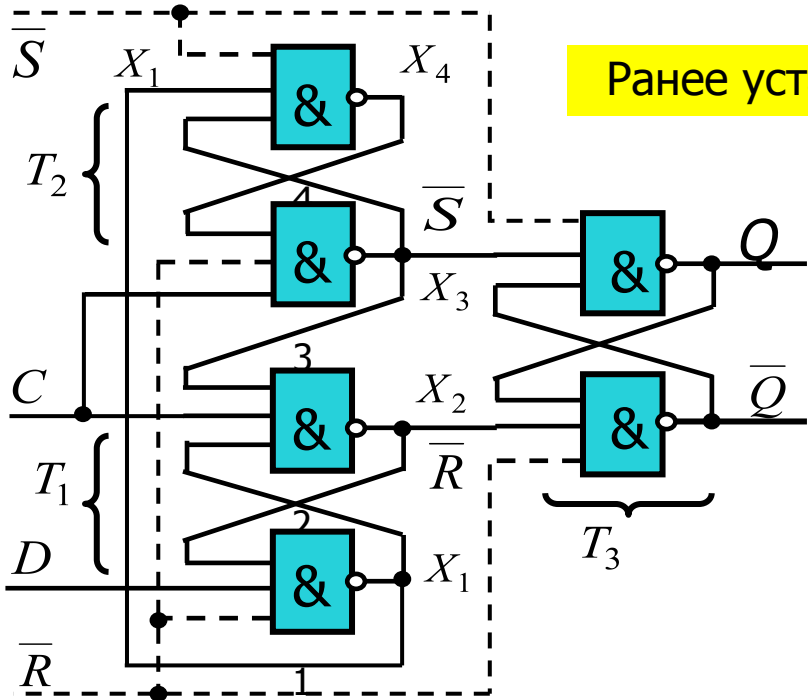
$$X_1 = \bar{D}, \text{ а } X_4 = \bar{X}_1 = D$$

Это значит, что всегда в одном из 2-х вспомогательных триггеров (T_1 или T_2) оба выходных сигнала (в зависимости от значения на D - входе) являются единичными! Это неправильное состояние исчезает, когда синхросигнал принимает «1»-значение ($C=1$).

Дальнейший анализ продолжим, введя таблицу функционирования триггера, отражающую его работу при различном значении входного сигнала D и синхросигнала C .



Поведение D-триггера при положительном перепаде синхросигнала $C \ll 0 \rightarrow 1 \gg$.



Ранее установлено, что при $C=0$ $X_2=X_3=1$, $X_1 = \bar{D}$, а $X_4 = \bar{X}_1 = D$

Свойство RS- триггера при $nS \& nR \neq 1$

t	t+1	
nS	nR	Q, nQ
0	0	1, 1
0	1	1, 0
1	0	0, 1
1	1	0/1, 1/0

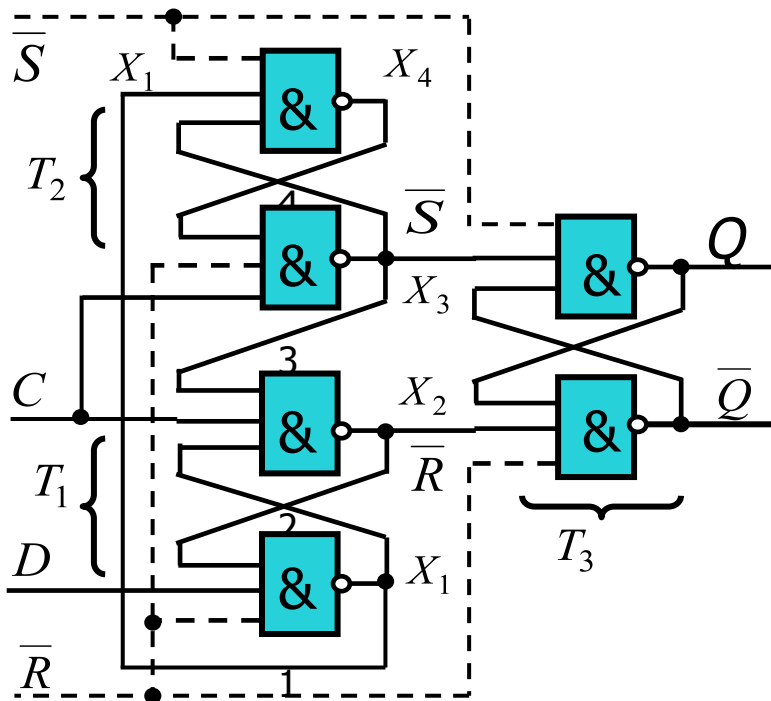
$$\left. \begin{array}{l} Q = \overline{(S)} \\ \bar{Q} = \overline{(R)} \end{array} \right\}$$

D^t	C	Триггер T_1		Триггер T_2		Q^{t+1}
		X_1	X_2	X_3	X_4	
0	0	1	1	1	0	Q^t
	1	D ≠ C, поэтому $X_1 = nD, X_2 = nC$		C = $X_1 = 1$, $T_2 \rightarrow$ «Хранение»		0
	1	1	0	1	0	
1	0	0	1	1	1	Q^t
	1	D = C = 1, $T_1 \rightarrow$ «Хранение»		C ≠ X_1 , поэтому $X_3 = nC, X_4 = nX_1$		1
	0	1	0	0	1	

Вывод. Изменение сигнала на входе $C \ll 0 \rightarrow 1 \gg$ приводит к реализации соотношения $Q^{t+1} = D^t$ которое и идентифицирует работу D- триггера.



Анализ схемы D-триггера (завершение)

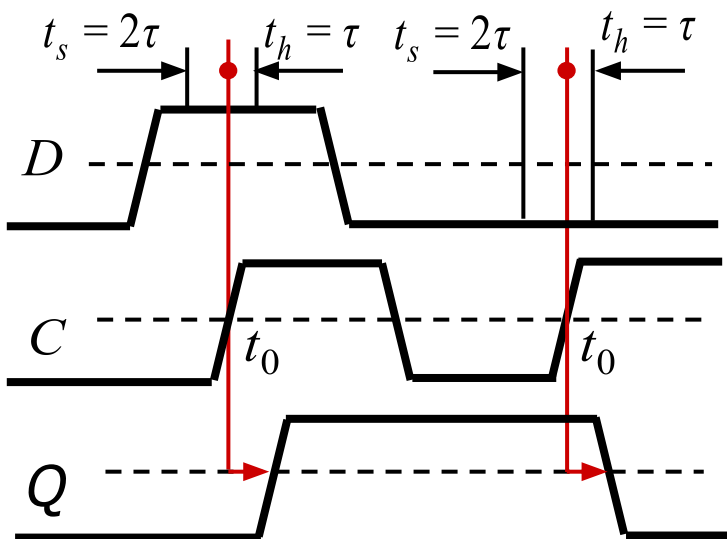


3. Анализ схемы при $C=1$.

При $C=1$ триггер T_3 сохраняет своё состояние, так как блокируется от воздействия сигнала по D -входу. Из таблицы следует, что при $C=1$ выполняется условие: $X_2 \neq X_3$.

- Пусть $X_2=0, X_3=1$. Тогда действие D -входа заблокировано вентилями $\&_1$ и $\&_4$, а триггер T_3 будет находиться в «0».
- Пусть $X_2=1, X_3=0$. В этом случае вентиль $\&_1$ разблокирован, но значение сигнала $X_3=0$ сохраняет значение $X_2=1$ и блокирует действие D -входа по цепи $\&_1$ и $\&_4$. Триггер T_3 будет находиться в «1».

4. При отрицательном перепаде синхросигнала $C \ll 1 \rightarrow 0 \gg$ триггер T_3 незамедлительно переходит в режим хранения, т.к. $C=0$ устанавливает $X_2=X_3=1$ ($nR=nS=1$).



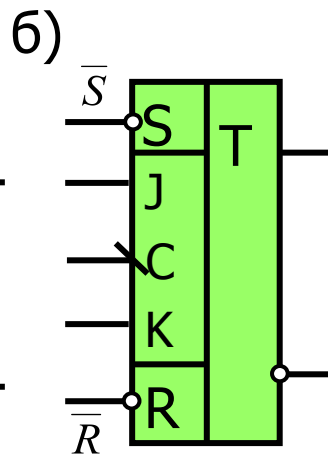
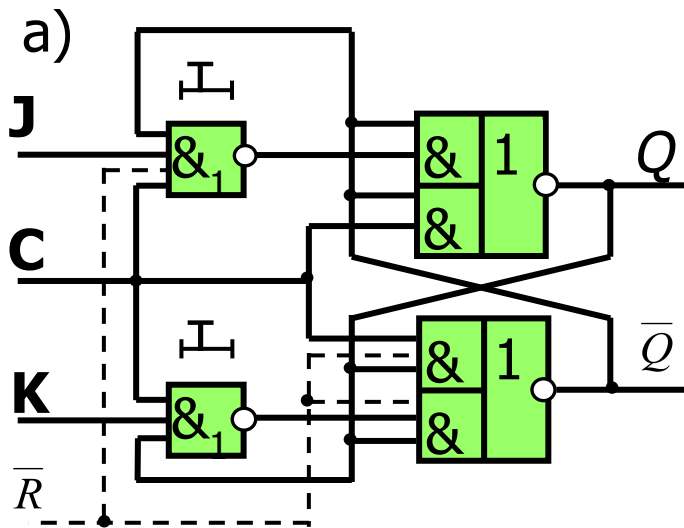
Временные диаграммы работы динамического D-триггера ($\bar{S}=1, \bar{R}=1$).

Чтобы не допустить сбоя в процессе переключения, необходимо соблюдать требование неизменности информационного сигнала на D -входе в области фронта C -сигнала в границах от $t_0 - 2\tau$ до $t_0 + \tau$, где τ - задержка одного логического элемента.



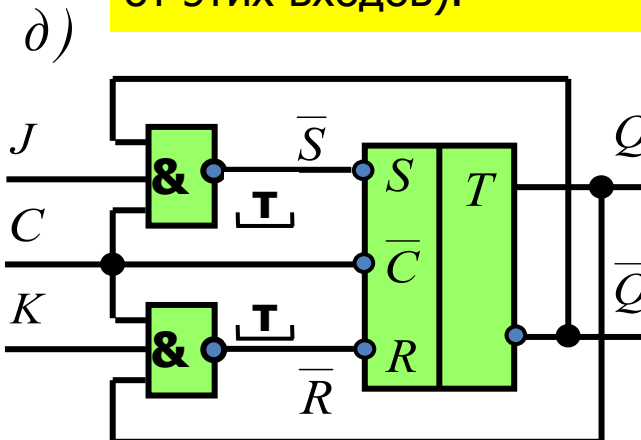
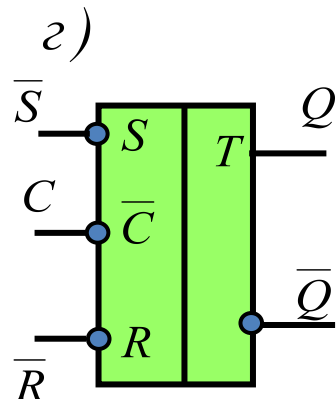
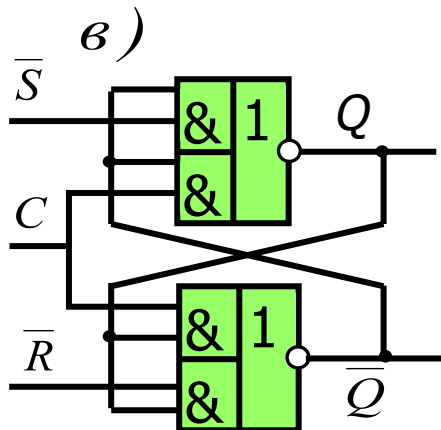
JK – триггер с внутренней задержкой и динамическим управлением

Схема JK– триггера с динамическим управлением, лишена недостатков JK– триггера типа *MS*. По этой схеме выполнены интегральные схемы триггеров 155ТВ6 (74хх107), 155ТВ9 (74хх112), 155ТВ11 (74хх114). Внутреннюю задержку в триггере, приблизительно равную трём последовательно включённым вентилям, выполняют входные конъюнкторы $\&_1$.



Для упрощения анализа схемы выделим последнюю ступень схемы (в), которая можно представить синхронным *RS*- триггером с инверсными входами (г) как для входных сигналов, так и для синхросигнала.

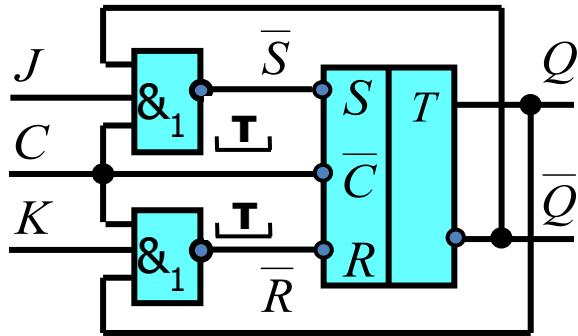
Действительно, при $C=0$ схема вырождается в схему *RS*- триггера на элементах *И-НЕ*, а при $C=1$ схема находится в режиме хранения, так как входные сигналы J и K и \bar{S} не влияют на состояние триггера (схема как бы блокируется от этих входов).



В итоге схема *JK*–триггера может быть представлена рисунком **д)**



Анализ JK-триггера в зависимости от вида активных частей сигнала C



Статические режимы.

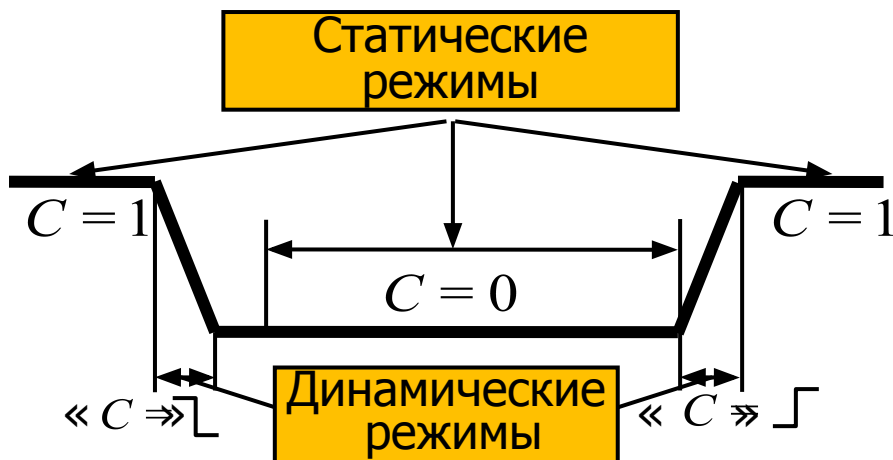
а) $C=0$. RS-триггер воспринимает входные сигналы, но находится в режиме хранения, т.к. $R = \bar{S} = 1$

б) $C=1$. Входные вентили $\&_1$ разблокированы, однако RS-триггер заблокирован по входу C, т.е. он не воспринимает выходные сигналы с вентилей.

Динамические режимы.

а) « $C = \underline{\quad}$ » Состояние RS-триггера не изменится, так как при $C=0$ сигналы на выходах вентилей $\&_1$ равны $\bar{R} = \bar{S} = 1$ и прежде чем они изменятся (вентили $\&_1$ выполняют роль малой динамической памяти), RS-триггер успеет заблокироваться синхросигналом $C=1$.

б) « $C = \overline{\quad}$ » RS-триггер успеет отработать входные сигналы с входных вентилей $\&_1$, прежде чем на их выходах сформируются сигналы, равные $\bar{R} = \bar{S}$, что заставит выходную ступень перейти в состояние хранения.

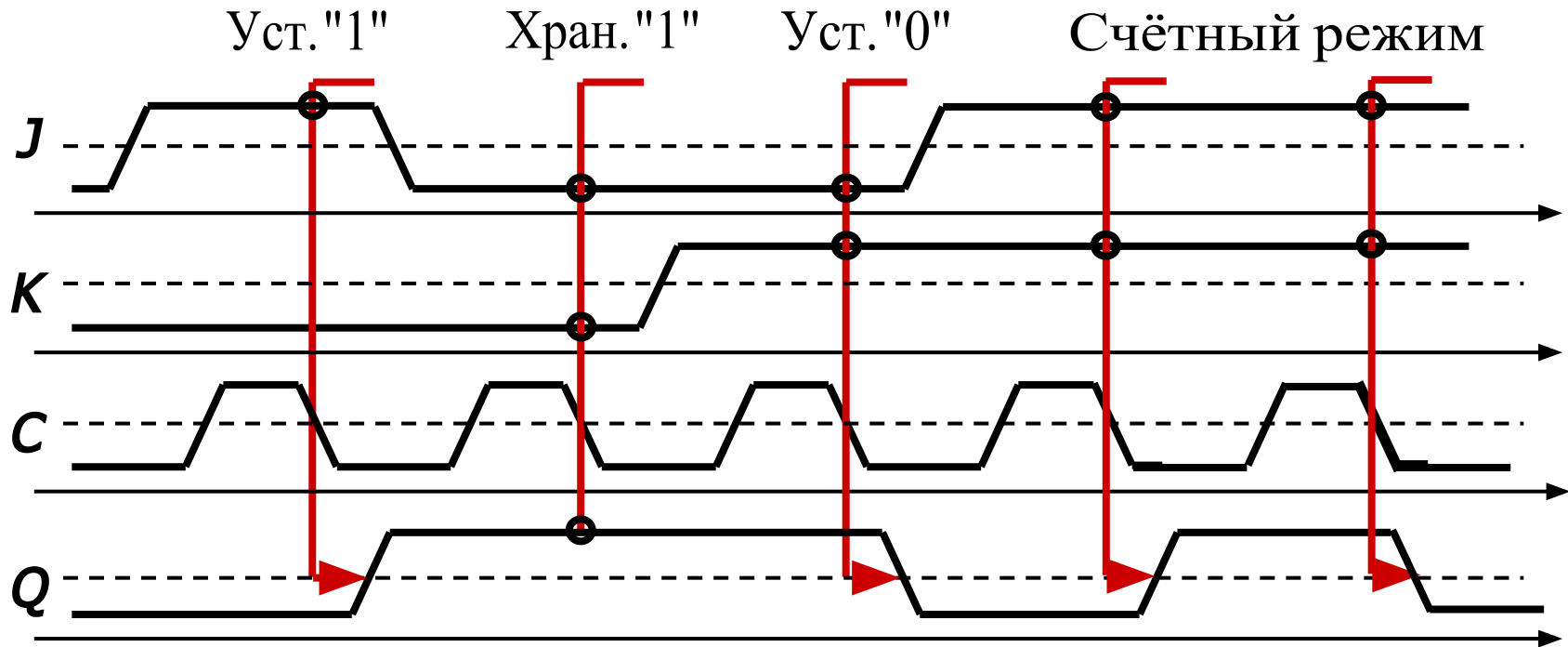


C=1 (время t)		« $\underline{\quad}$ » (время t+1)	
JK	$\bar{S} = \overline{JQ}$	$\bar{R} = \overline{KQ}$	Состояние RS-триггера
0 0	1	1	Хранение $Q^{t+1} = Q^t$
0 1	1	\bar{Q}	хран. "0", если $Q^t = 0$ уст - ка "0", если $Q^t = 1$ $Q^{t+1} = 0$
1 0	Q	1	хран. "1", если $Q^t = 1$ уст - ка "1", если $Q^t = 0$ $Q^{t+1} = 1$
1 1	Q	\bar{Q}	$Q^{t+1} = \bar{Q}^t$



Временные диаграммы работы JK- триггера, тактируемого срезами

$$\overline{R} = \overline{S} = 1$$



Контрольные вопросы

1. Изложите содержательный подход к классификации триггеров.
2. Приведите **УГО** асинхронных **RS-**, **D-**, **T-** и **JK-** триггеров.
3. Таблица переключений, триггерный словарь и граф **RS-** триггера с инверсными входами.
4. По каким причинам не находят применения асинхронные **D-**, **T-** и **JK-** триггеры.
5. Приведите **УГО** синхронных **RS-** и **D-** триггеров, тактируемых импульсом.
6. Нарисуйте функциональные схемы синхронных **RS-** и **D-** триггеров, тактируемых импульсом.
7. Как понимается вами свойство прозрачности статических синхронных триггеров для входных сигналов при синхросигнале **C=1**.
8. Как понимается вами приоритетность асинхронных (установочных) входов в синхронных триггерах?
9. Приведите временные диаграммы работы динамического **D-** триггера.
10. Приведите временные диаграммы работы динамического **JK-** триггера.

