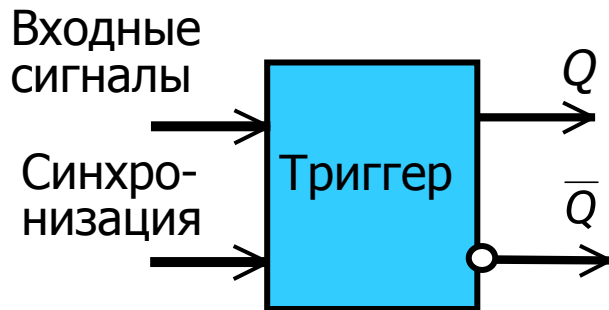


## Модуль 4. Триггерные устройства как элементарные автоматы Мура

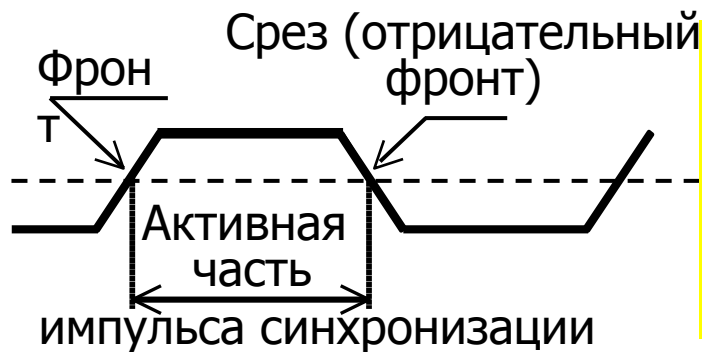
- Классификация триггерных структур.
- Асинхронные триггеры.
  - Триггер типа RS
  - Другие типы асинхронных триггеров
- Синхронные триггеры со статическим управлением
  - RS -триггер
  - D-триггер типа «защёлка»
  - Двухступенчатый JK-триггер типа MS (*опущен*)
- Триггеры с динамическим управлением: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

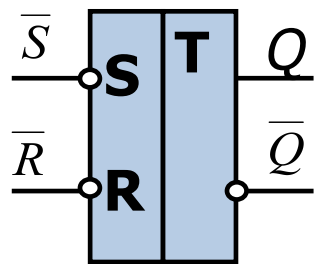
**3. По виду логического функционирования различают триггеры типов RS, D, T, JK и др.**



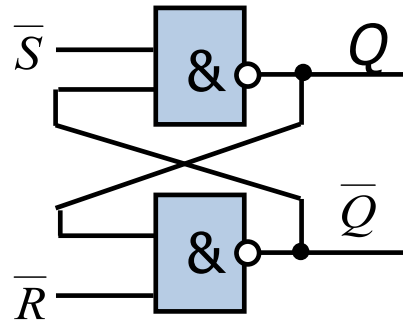
# Асинхронный RS- триггера с инверсными входами

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

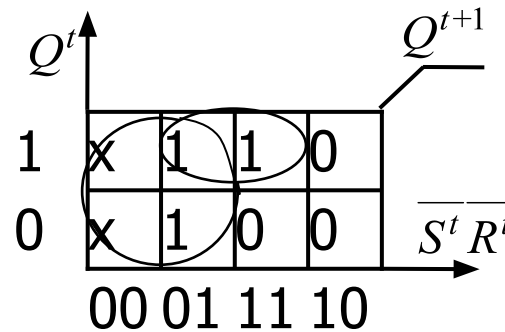
**УГО**



**Функциональная схема**



Карта Карно для получения характеристического уравнения RS-триггера.

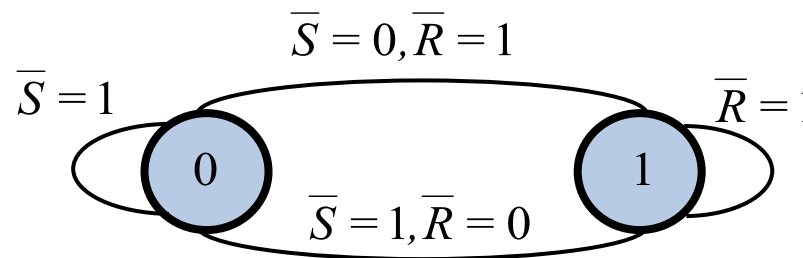


$$Q^{t+1} = \{S \square \bar{R}Q\}^t = \bar{\bar{S}}\bar{\bar{R}}Q$$

**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.**

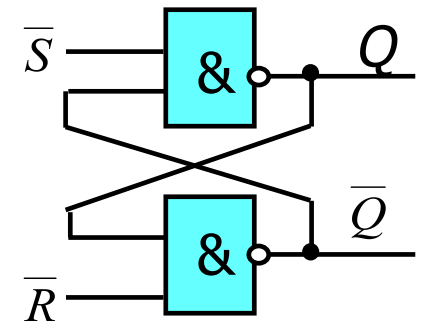
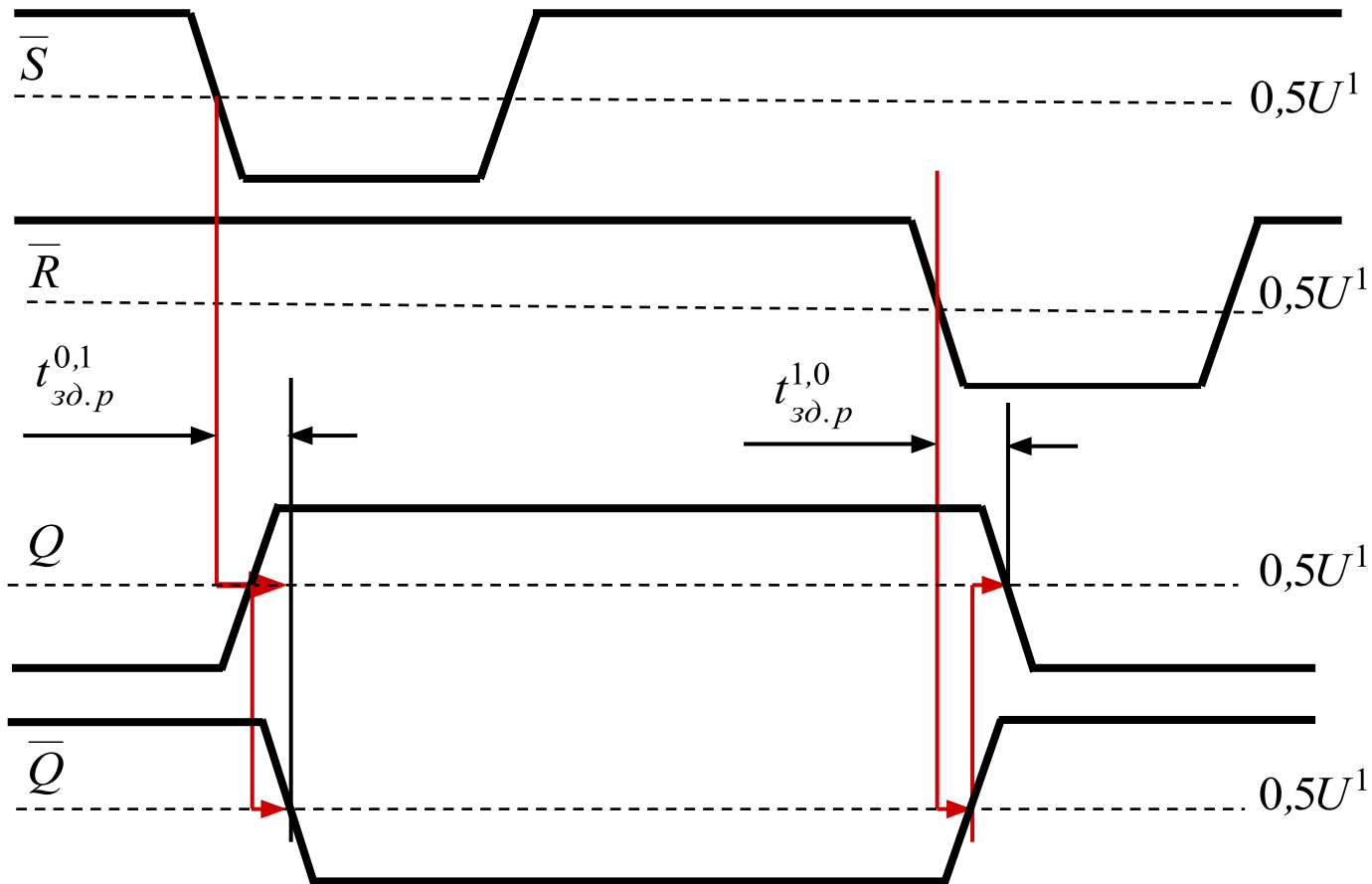


**Триггерный словарь**

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



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

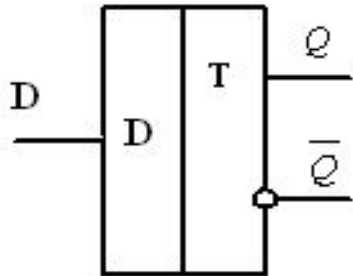


Это единственный тип асинхронного триггера, имеющий три необходимых режима работы (уст.1, уст. 0, хранен. 0 или 1) и описывающийся графом асинхронного автомата.

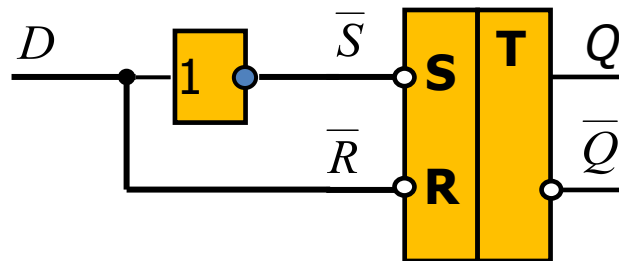


# Асинхронный D-триггер (*Delay –задержка*)

## УГО



## Функциональная схема



Характеристическое уравнение D-триггера

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

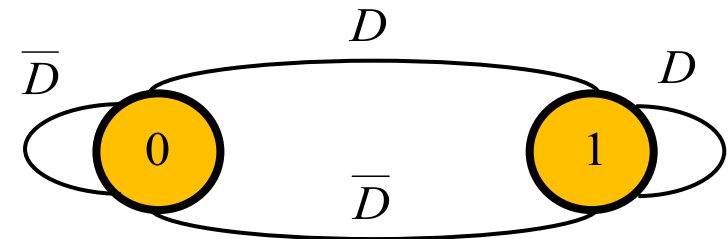
## Таблица переключений

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.

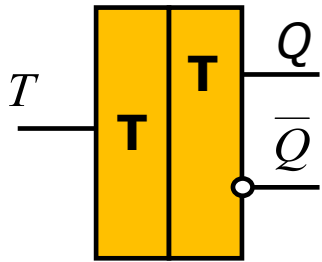


**Асинхронный D-триггер не имеет практического применения в виду отсутствия режима хранения установленного состояния. Триггер фактически выполняет только функцию задержки (*Delay*).**

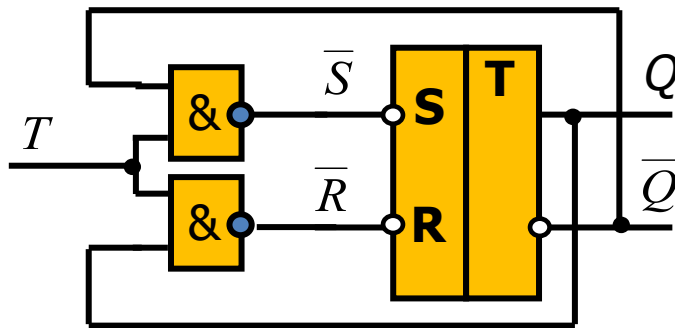


# Асинхронный Т-триггер (Toggle – переключатель)

## УГО



## Функциональная схема



Характеристическое уравнение Т-триггера

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

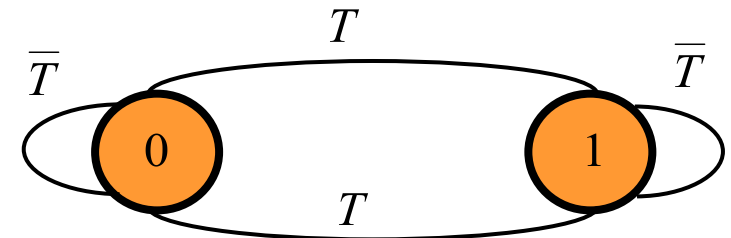
## Таблица переключений

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.

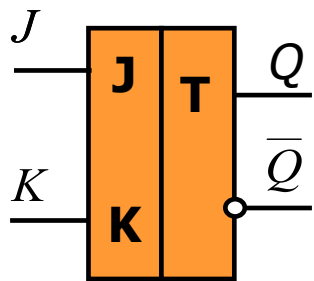


**Асинхронный Т-триггер не имеет практического применения, так как описывается графом синхронного автомата (при непрерывном воздействии входного сигнала  $T$ , он превращается в генератор импульсов).**

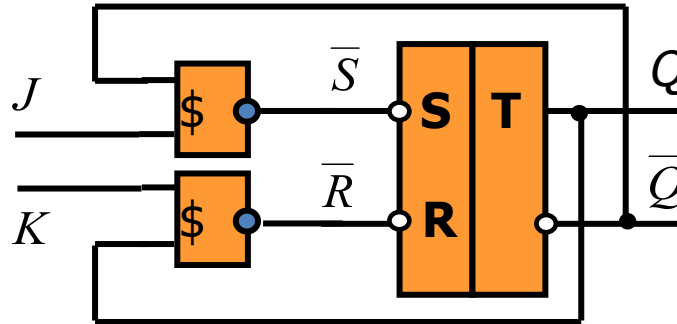


# Асинхронный JK-триггер

УГО



Функциональная схема



Характеристическое уравнение JK-триггера

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

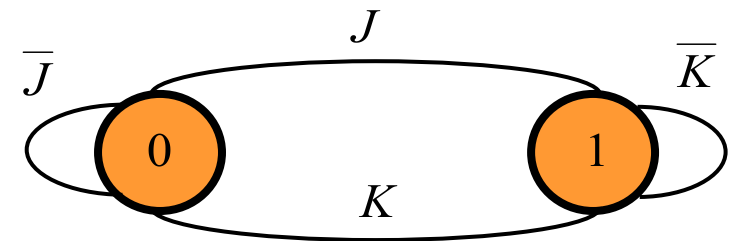
Таблица переключений

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.

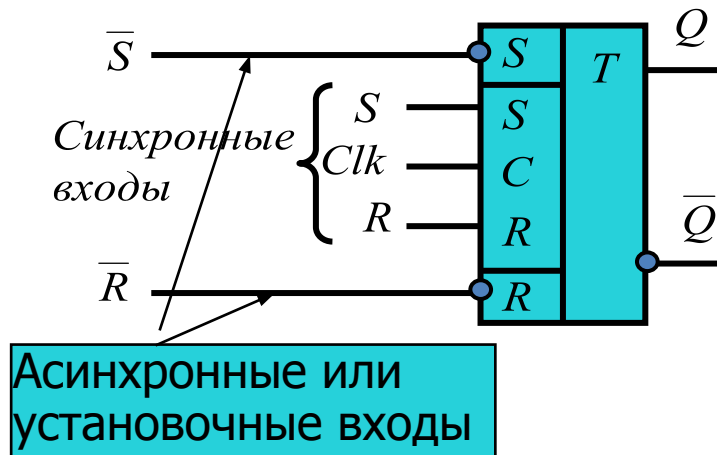


**Асинхронный JK-триггер не имеет практического применения, так как описывается графом синхронного автомата при J=K (при J=K, JK-триггер превращается в T-триггер).**

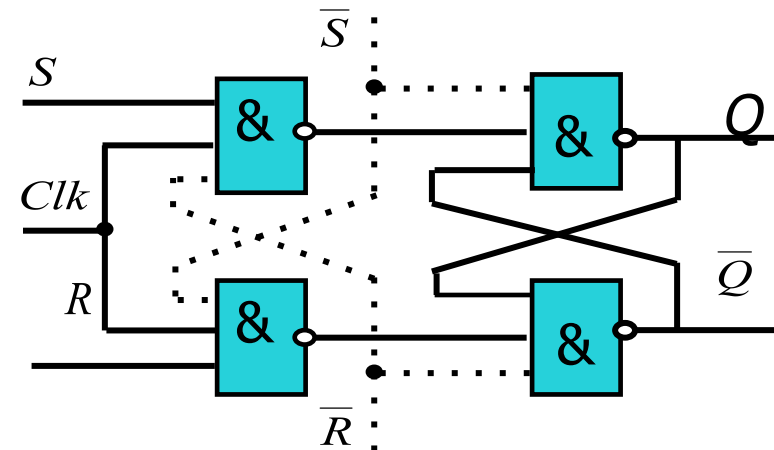


# Синхронные RS-триггер со статическим управлением (триггер, синхронизируемый импульсом)

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" ( $\bar{S} = 0, \bar{R} = 1$ ), 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:

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

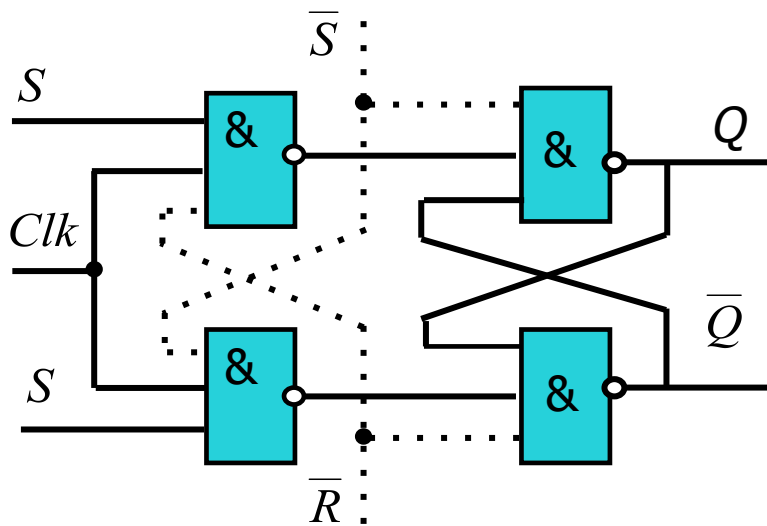
В этом случае, при значении синхросигнала  $Clk=1$  синхронный триггер описывается как асинхронный **RS**- триггер с прямыми входами.





# Таблица состояний (переходов) синхронного $RS$ -триггера

Функциональная схема  $RS$  -триггера



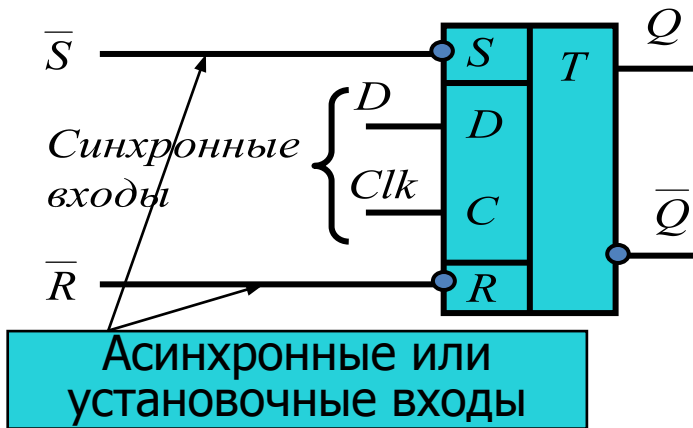
Асинхронные входы  $\bar{S} = 1, \bar{R} = 1$

$Clk$	$R^t$	$S^t$	$Q^t$	$Q^{t+1}$	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.

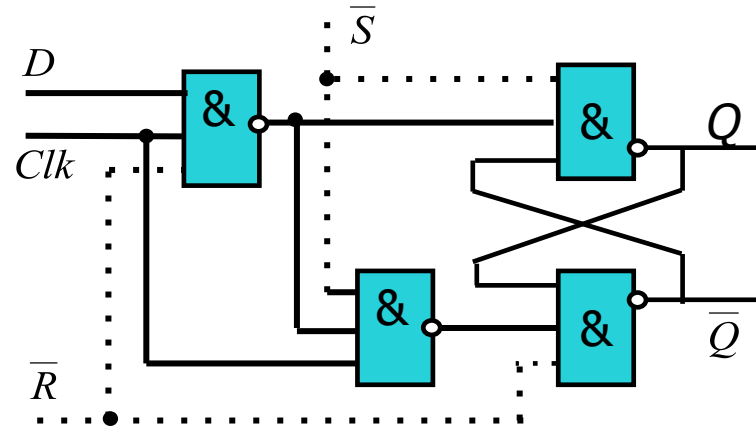


# Синхронный D-триггер со статическим управлением

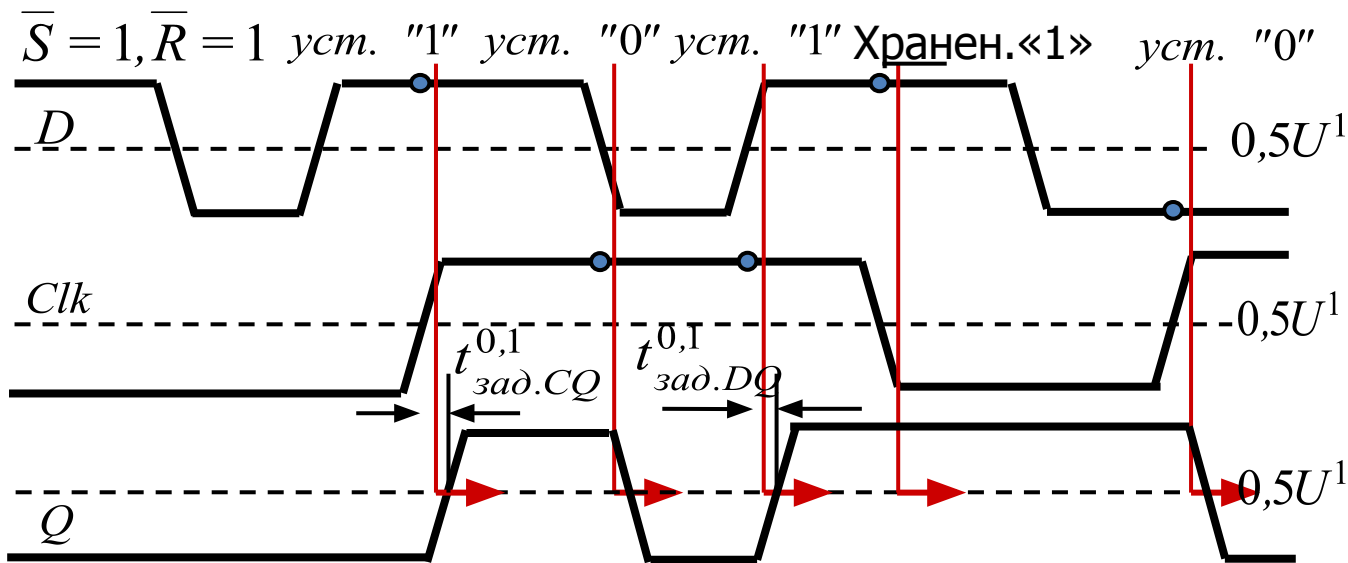
УГО D-триггера



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  $Clk$ .

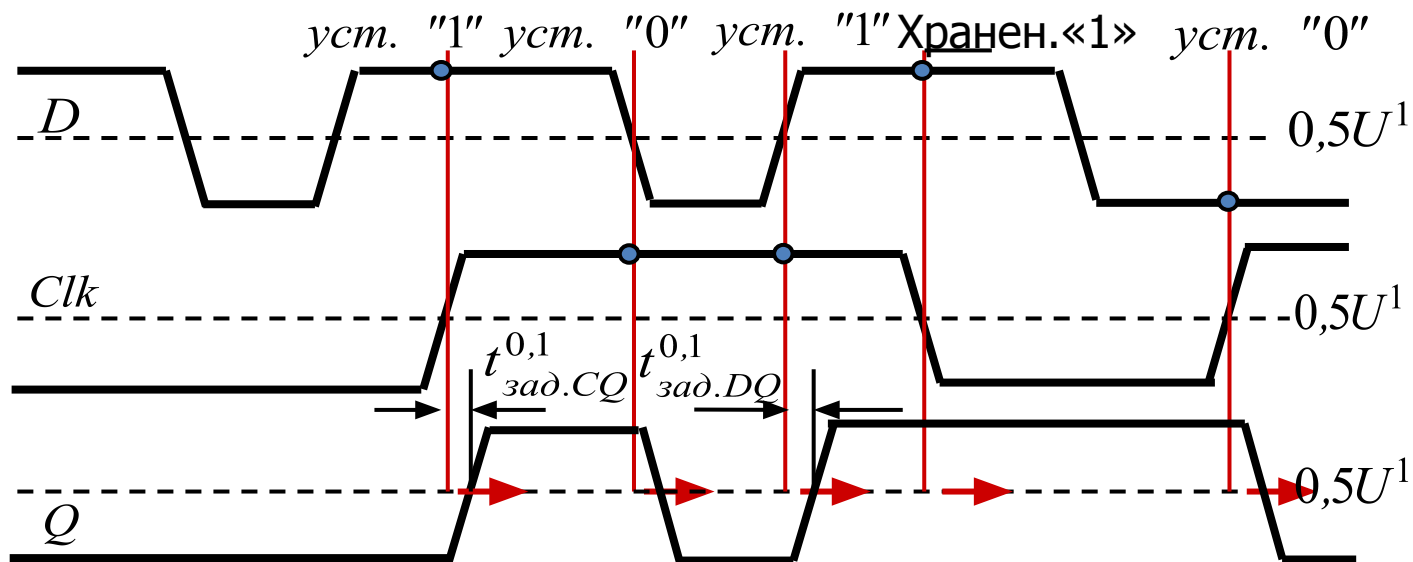
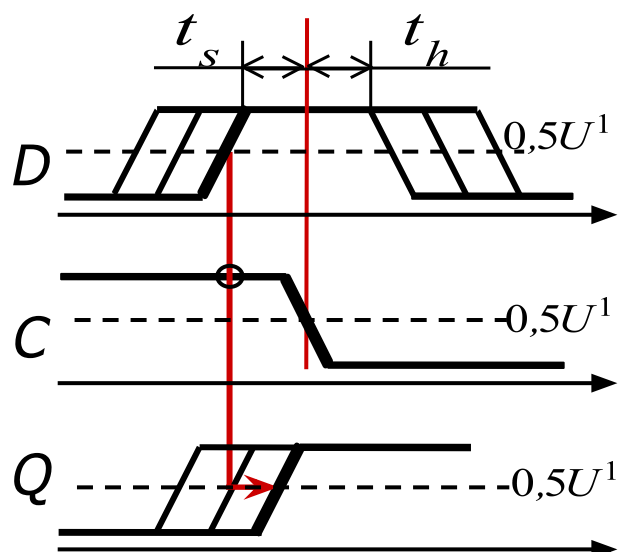


Таблица состояний (переходов)

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

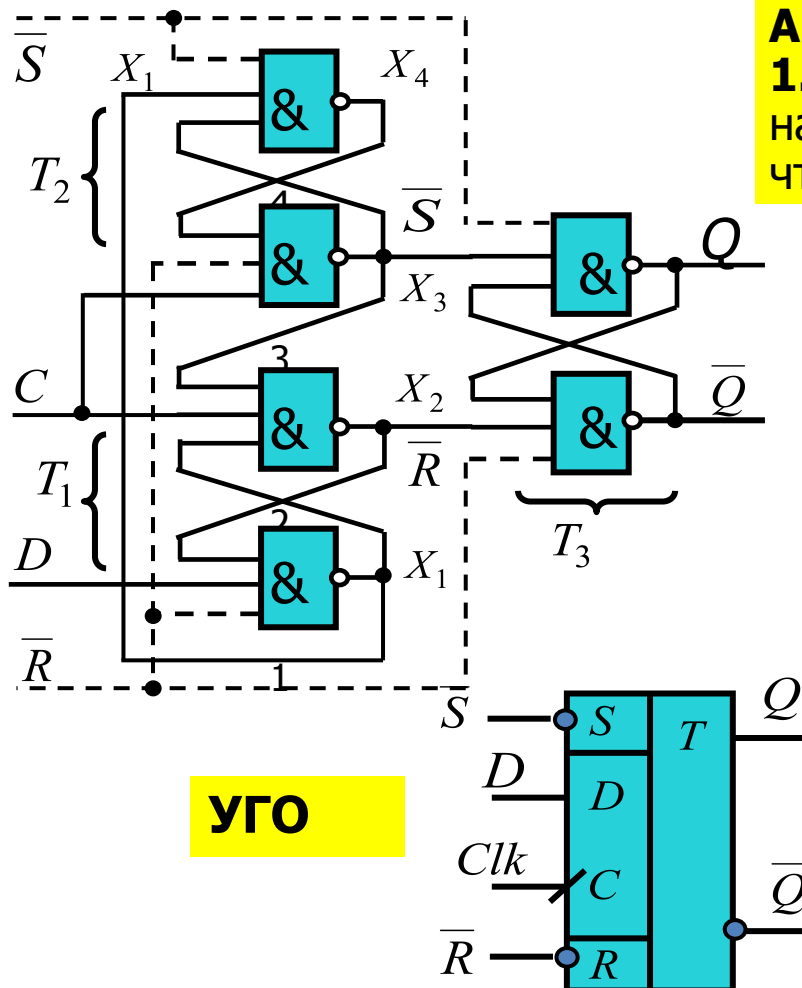


Поскольку в режим хранения  $D$ -триггер переходит по срезу  $C$ -сигнала, важно исключить сбой в это время. Поэтому всякие изменения сигнала на  $D$ -входе должны прекратиться за некоторое время до среза  $C$ -сигнала, называемое **временем установки  $t_s$  (setup time)** и могут снова возобновиться после среза  $C$ -сигнала спустя **время выдержки  $t_h$  (hold time)**. Ориентировочно:  $t_s = (1...2)\tau$ , а  $t_h = 0,5...1\tau$  ( $\tau$ -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):

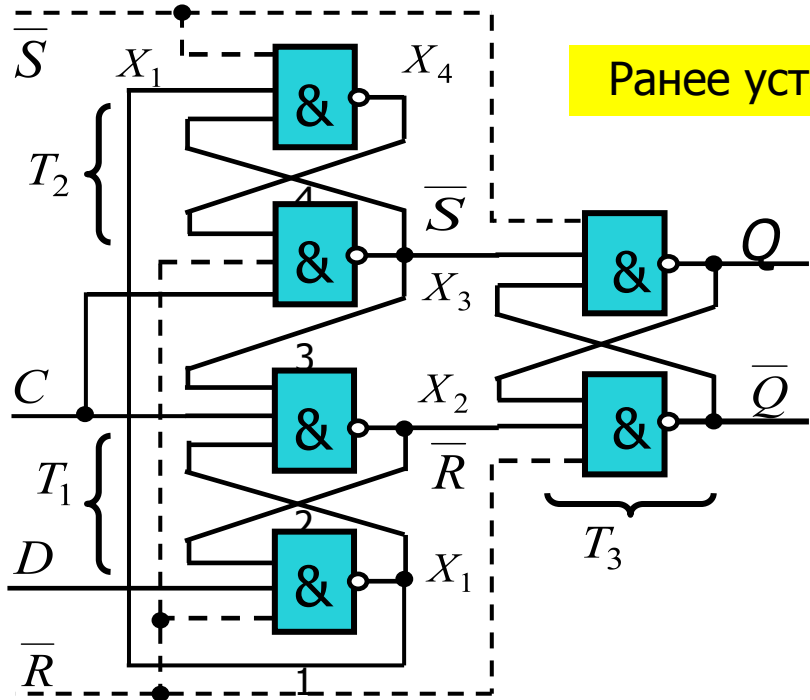
$$X_1 = \bar{D}, \text{ а } X_4 = \bar{X}_1 = D$$

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

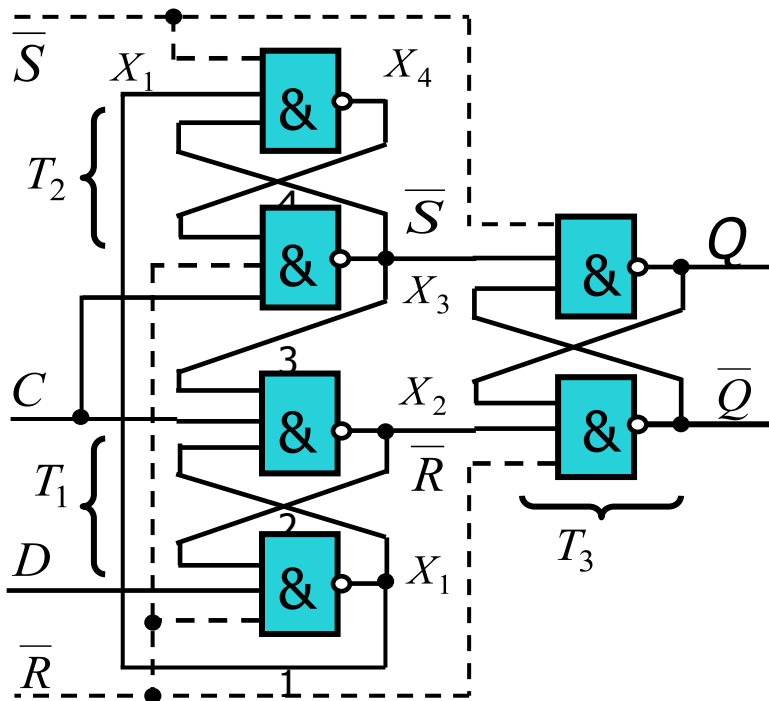
$$\left. \begin{array}{l} Q = \overline{(S)} \\ \bar{Q} = \overline{(R)} \end{array} \right\}$$

$D^t$	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)

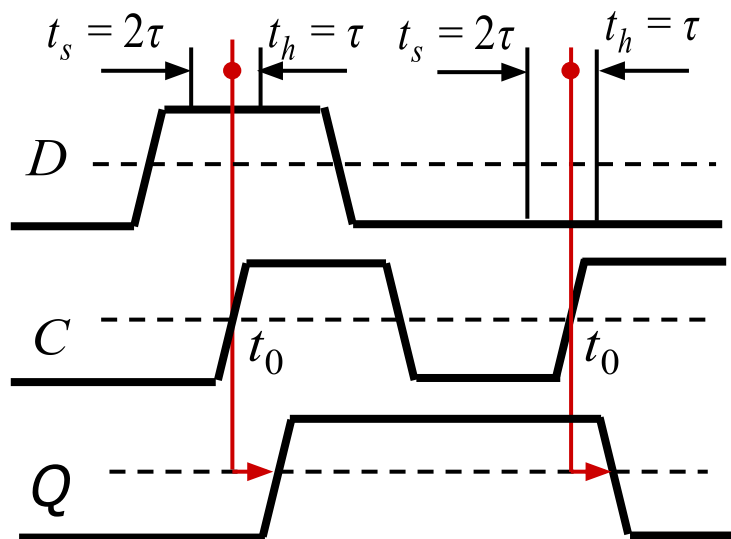


### 3. Анализ схемы при $C=1$ .

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  $X_2=X_3=1$  ( $nR=nS=1$ ).



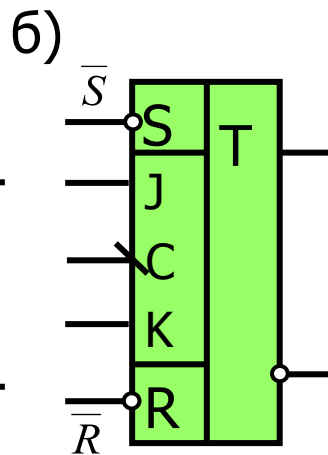
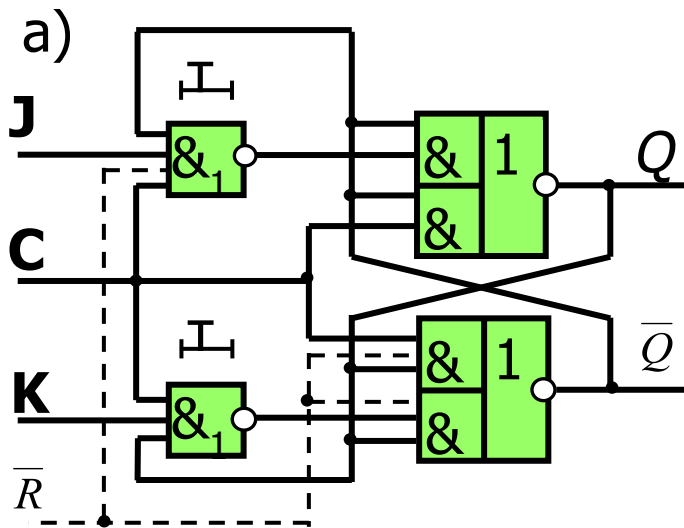
### Временные диаграммы работы динамического D-триггера ( $\bar{S}=1, \bar{R}=1$ ).

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  $\tau$  - задержка одного логического элемента.



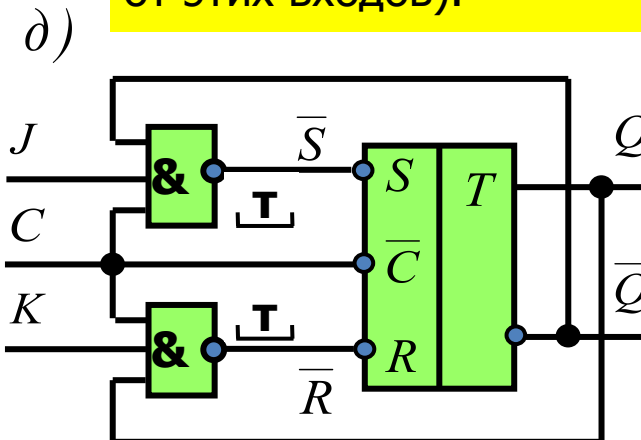
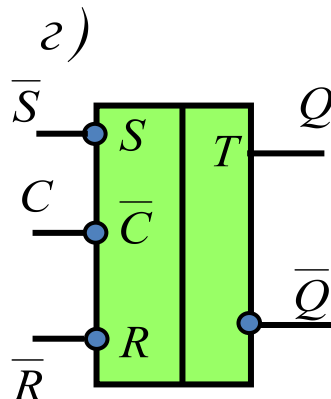
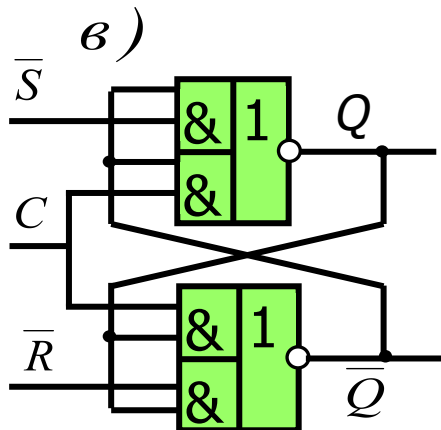
# JK – триггер с внутренней задержкой и динамическим управлением

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.

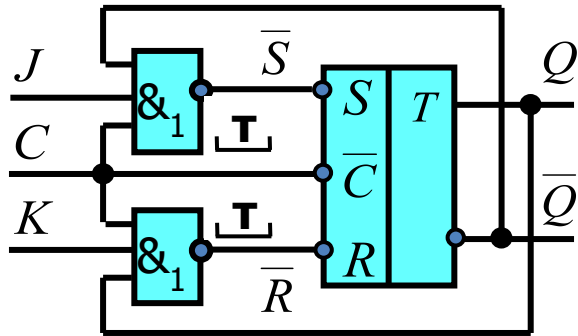
**Действительно**, при  $C=0$  схема вырождается в схему *RS* - триггера на элементах *И-НЕ*, а при  $C=1$  схема находится в режиме хранения, так как входные сигналы  $J$  и  $K$  и  $\bar{S}$  не влияют на состояние триггера (схема как бы блокируется от этих входов).



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



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



## Статические режимы.

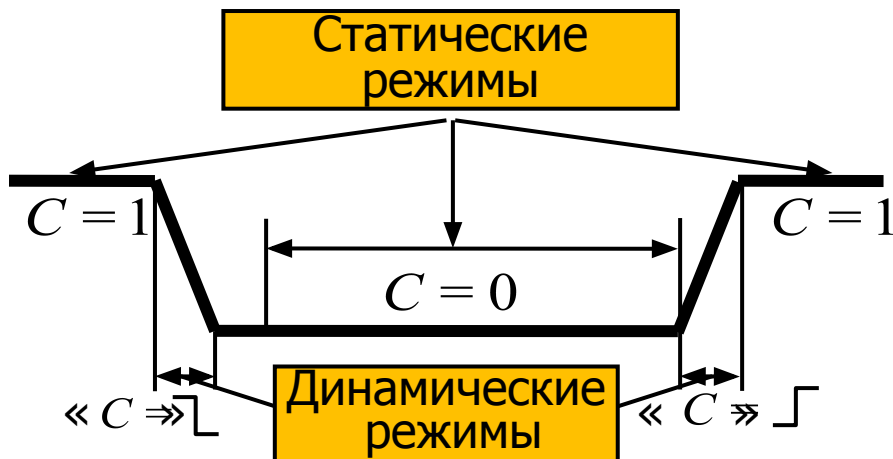
а) **C=0.** RS- триггер воспринимает входные сигналы, но находится в режиме хранения, т.к.  $R = \bar{S} = 1$

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.



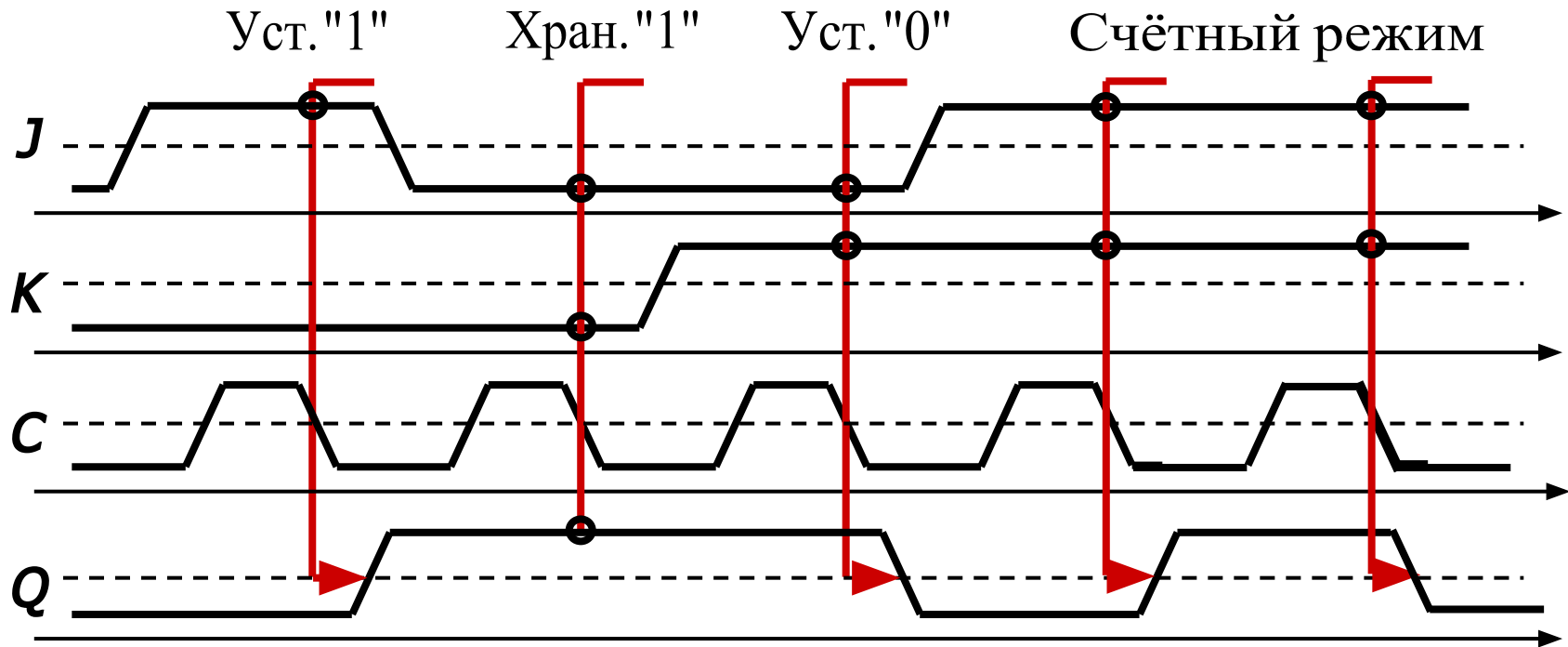
C=1 (время t)		« $\underline{\quad}$ » (время t+1)	
JK	$\bar{S} = \overline{JQ}$	$\bar{R} = \overline{KQ}$	Состояние RS-триггера
0 0	1	1	Хранение $Q^{t+1} = Q^t$
0 1	1	$\bar{Q}$	хран. "0", если $Q^t = 0$ уст - ка "0", если $Q^t = 1$ $Q^{t+1} = 0$
1 0	Q	1	хран. "1", если $Q^t = 1$ уст - ка "1", если $Q^t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

