

# Цифровые автоматы – общие сведения



**Автомат** — математическая модель дискретного устройства

Автомат описывается набором множеств:

$\mathbf{A} = \{a_1 \dots a_N\}$  — множество значений **состояний** устройства

$\mathbf{Z} = \{z_1 \dots z_N\}$  — множество входных управляющих сигналов

$\mathbf{W} = \{w_1 \dots w_N\}$  — множество выходных сигналов

$\delta$  — функция переходов от текущего состояния  $a_n$  в следующее состояние  $a_{n+1}$

$\lambda$  — функция зависимости выходов от значений  $a_n$  и  $z_n$

$a_1$  — начальное состояние автомата

**Автомат Мура**

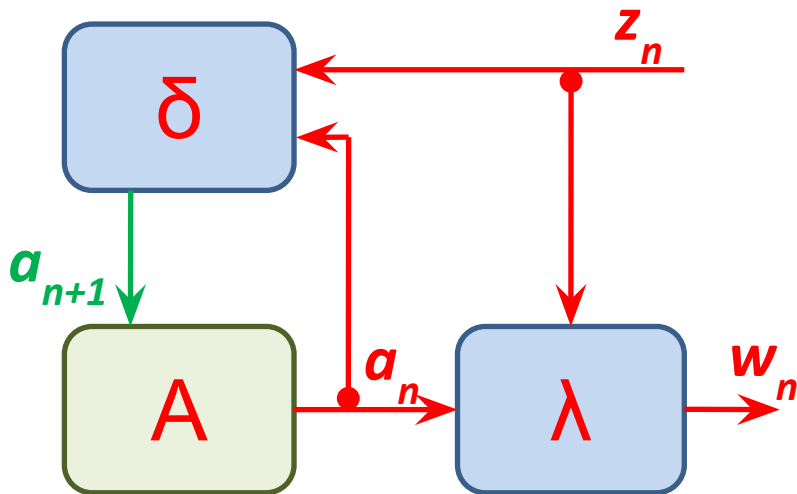
$$\begin{aligned} a_{n+1} &= \delta(a_n, z_n) \\ w_n &= \lambda(a_n, z_n) \end{aligned}$$

**Автомат Мура**

$$\begin{aligned} a_{n+1} &= \delta(a_n, z_n) \\ w_n &= \lambda(a_n) \end{aligned}$$

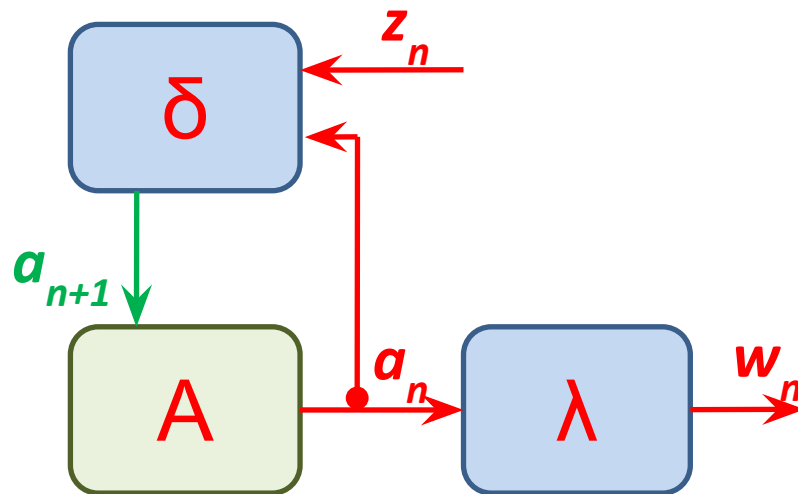
## Автомат Мили

$$a_{n+1} = \delta(a_n, z_n)$$
$$w_n = \lambda(a_n, z_n)$$



## Автомат Мура

$$a_{n+1} = \delta(a_n, z_n)$$
$$w_n = \lambda(a_n)$$



# Классификация триггеров



•1 *сделать в 2018-2019у.г.*

•2

•3

# Базовые триггерные схемы



*RS бистабильная ячейка; RSC триггер; D-защелка; D-защелка на ПК; JK и T триггер*

*сделать в 2018-2019у.г.*

DC триггер	текущее значение	следующее значение	управляющие сигналы
	что есть	что надо получить	
$Q_n$	$Q_{n+1}$	D	
X	0	0	
X	1	1	

## DC триггер

$$Q_{n+1} = D$$

$$Q_{n+1} = D \cdot C + \bar{C} \cdot Q_n$$

Дополнить  
диаграммами  
сигналов

сделать в 2018-2019 у.г.

TV триггер	текущее значение	следующее значение	управляющие сигналы
	что есть	что надо получить	
$Q_n$	$Q_{n+1}$	V	
0	0	0	
1	0	1	
0	1	1	
1	1	0	

## TV триггер

$$Q_{n+1} = \bar{Q}_n \cdot V + \bar{V} \cdot Q_n$$

$$Q_{n+1} = \bar{Q}_n \cdot V \cdot T + (\bar{V} + \bar{T}) \cdot Q_n$$

	текущее значение	следующее значение	управляющие сигналы
	что есть	что надо получить	
DC триггер	$Q_n$	$Q_{n+1}$	D
	X	0	0
	X	1	1

## DC триггер

$$Q_{n+1} = D$$

$$Q_{n+1} = D \cdot C + \bar{C} \cdot Q_n$$

## DV

## триггер

$$Q_{n+1} = D \cdot V + \bar{V} \cdot Q_n$$

$$Q_{n+1} = D \cdot V \cdot C + (\bar{V} + \bar{C}) \cdot Q_n$$

Дополнить  
диаграммами  
сигналов

сделать в 2018-2019г.г.

	текущее значение	следующее значение	управляющие сигналы	
	что есть	что надо получить	как это сделать	
DV триггер	$Q_n$	$Q_{n+1}$	D	V
	X	0	0	1
	0	0	X	0
	X	1	1	1
	1	1	X	0

	текущее значение		управляющие сигналы	
	что есть	что надо получить	как это сделать	
	$Q_n$	$Q_{n+1}$	R	S
RS триггер	0	0	X	0
	1	0	1	0
	0	1	0	1
	1	1	0	X

## RS триггер

$$Q_{n+1} = S + \bar{R} \cdot Q_n$$

$$Q_{n+1} = (S + \bar{R} \cdot Q_n)C + \bar{C} \cdot Q_n$$

Дополнить  
диаграммами  
сигналов

сделать в 2018-2019г.г.

	текущее значение		управляющие сигналы	
	что есть	что надо получить	как это сделать	
	$Q_n$	$Q_{n+1}$	K	J
JK триггер	0	0	X	0
	1	0	1	X
	0	1	X	1
	1	1	0	X

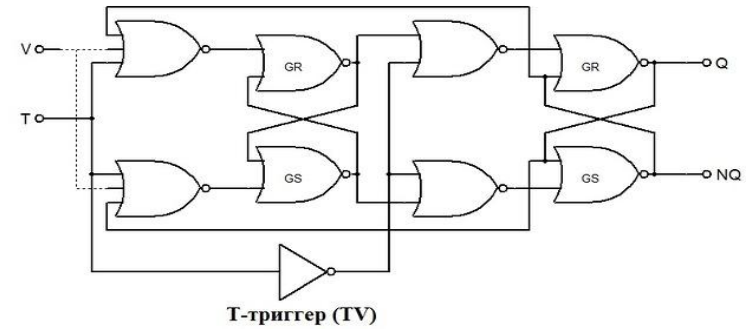
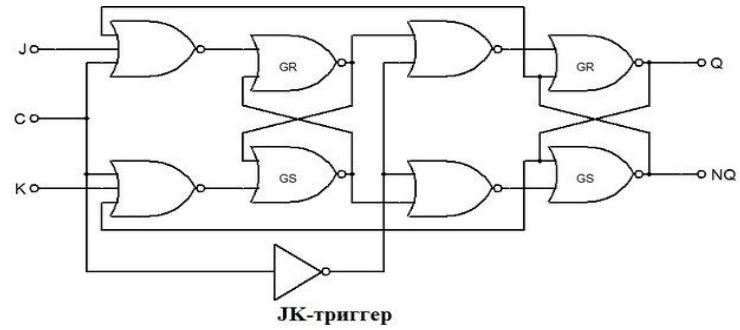
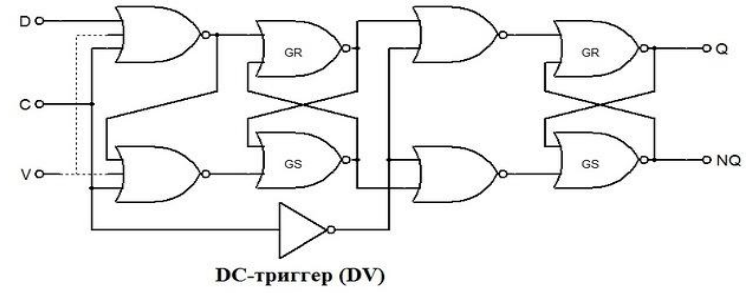
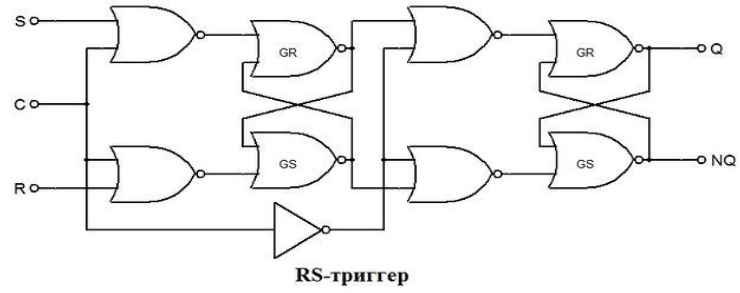
## JK триггер

$$Q_{n+1} = J \cdot \bar{Q}_n + \bar{K} \cdot Q_n$$

$$Q_{n+1} = (J \cdot \bar{Q}_n + \bar{K} \cdot Q_n)C + \bar{C} \cdot Q_n$$

# Схемы триггеров

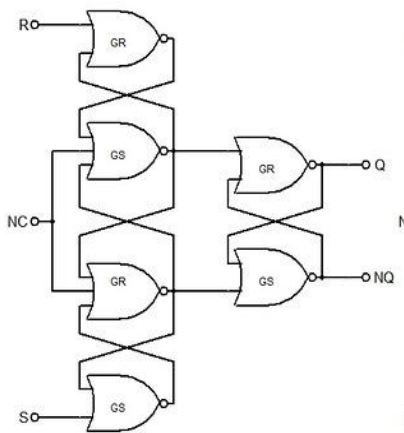
## Триггеры типа Master-Slave



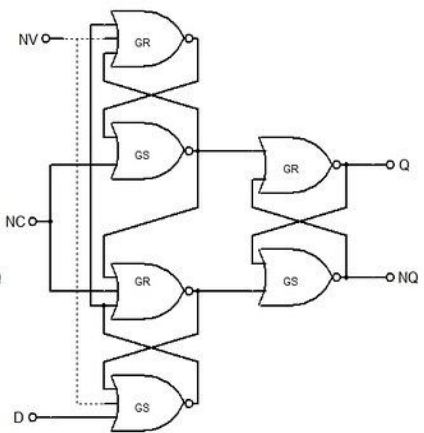


# Схемы триггеров

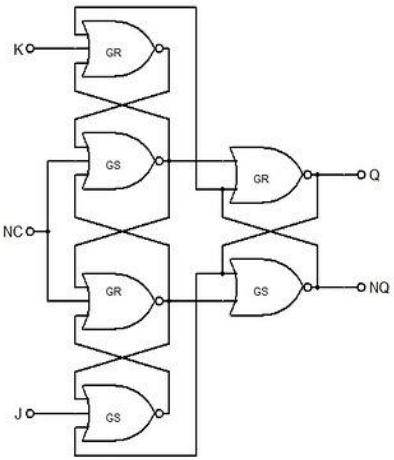
## Триггеры на коммутируемых ячейках



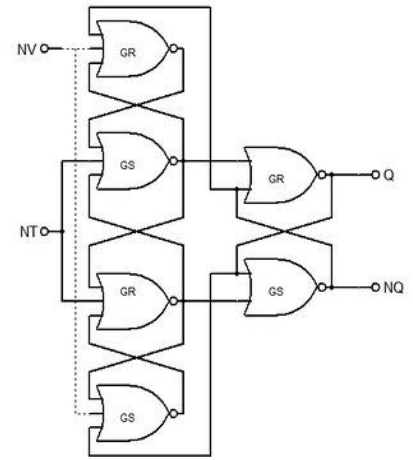
**RS-триггер**



**DC-триггер (DV)**



**JK-триггер**

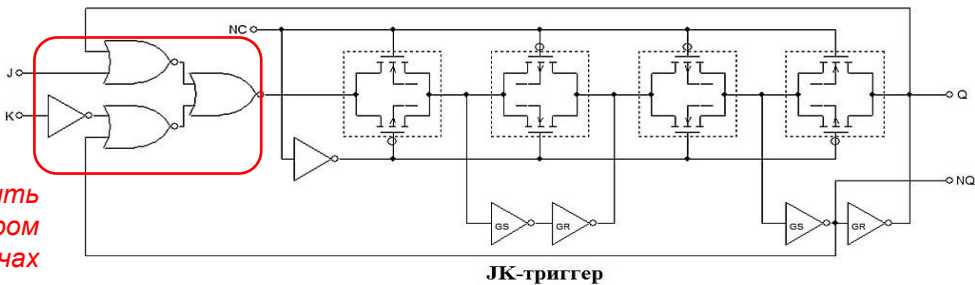
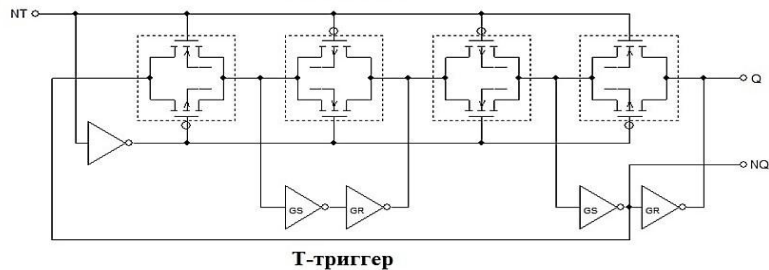
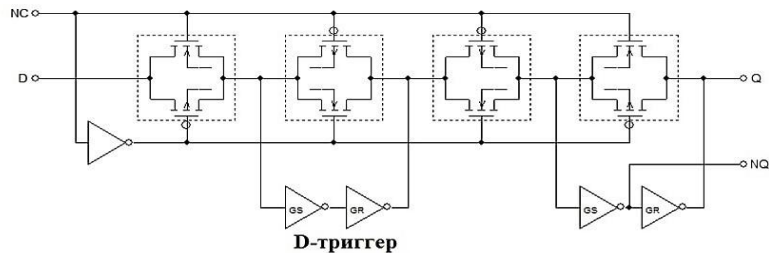


**T-триггер (TV)**



# Схемы триггеров

## Триггеры типа Master-Slave на проходных ключах

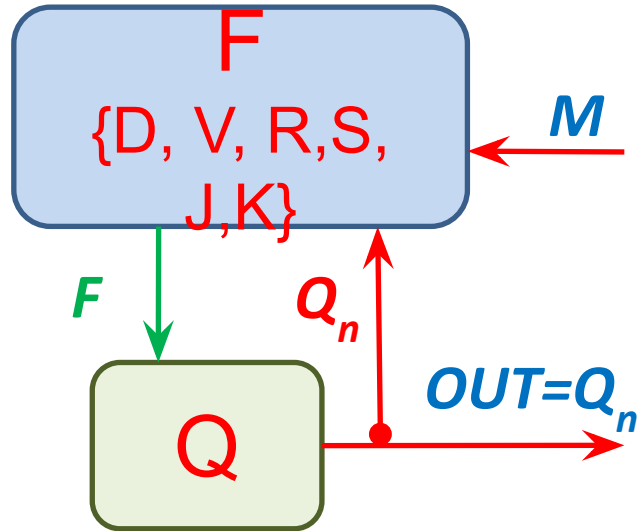


Заменить  
мультиплексором  
на прох. ключах

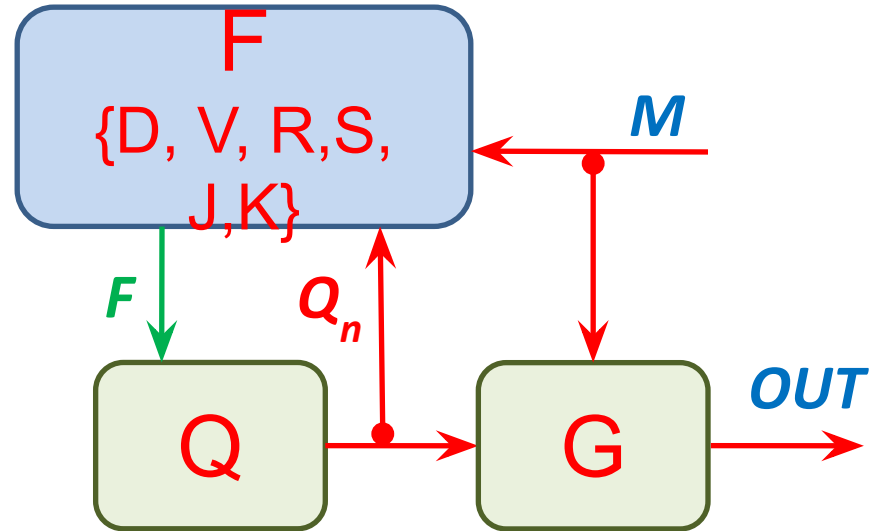
# Структурная схема автомата

Пример - двухрежимный счетчик

как автомат Мура

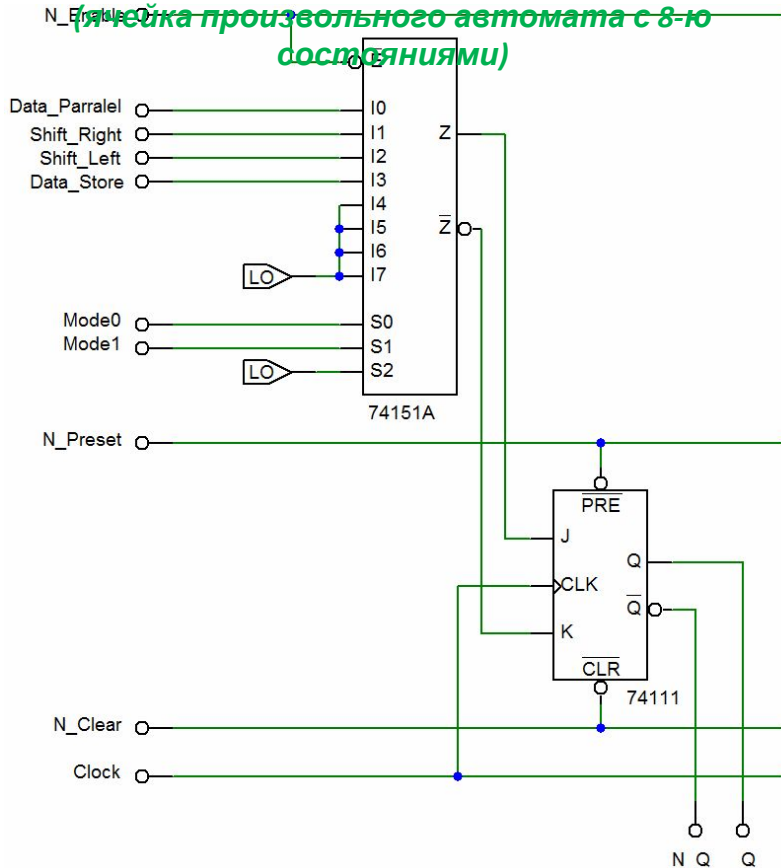


как автомат Мили



# Регистры

## Базовая ячейка универсального регистра



## Регистры сдвига

$$\text{Shift\_Right}_i = Q_{i-1} \quad \text{Shift\_Right}_0 = \text{Data\_IN}$$

$$\text{Shift\_Left}_i = Q_{i+1} \quad \text{Shift\_Left}_N = \text{Data\_IN}$$

## Параллельный регистр

MUX режимов параллельной записи и хранения

$$\text{Data\_Parralel}_i = \text{Data}_i$$

$$\text{Data\_Store}_i = Q_i$$

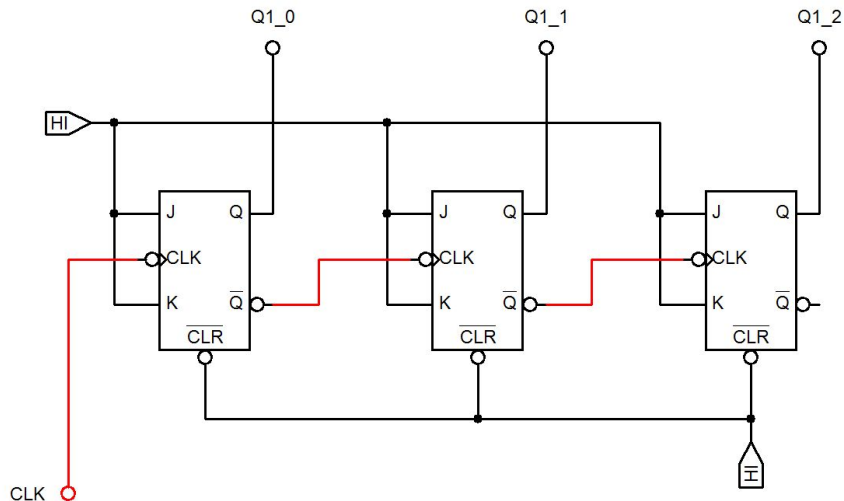
## Реверсивный регистр

MUX режимов сдвига

## Универсальный регистр (см. рисунок)

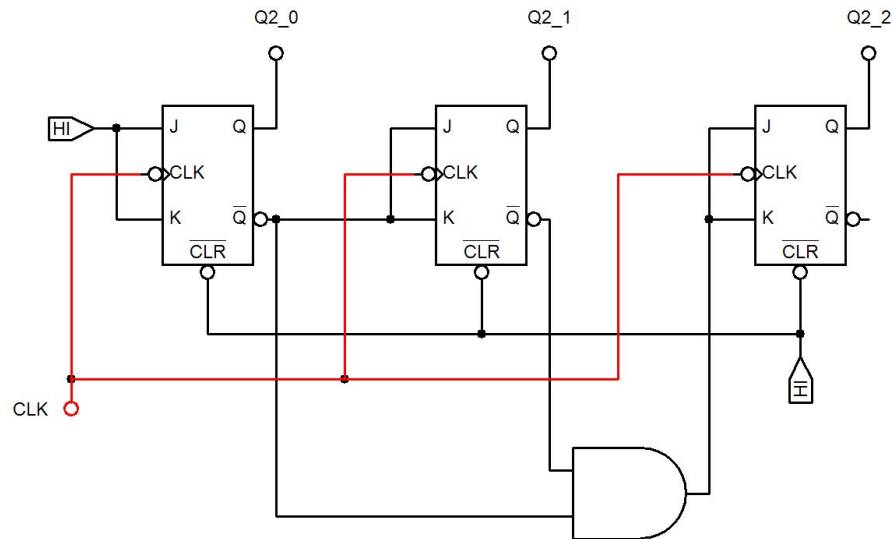
MUX режимов сдвига, параллельной записи и режима хранения

# Полные счетчики – Делители частоты



**Асинхронный**

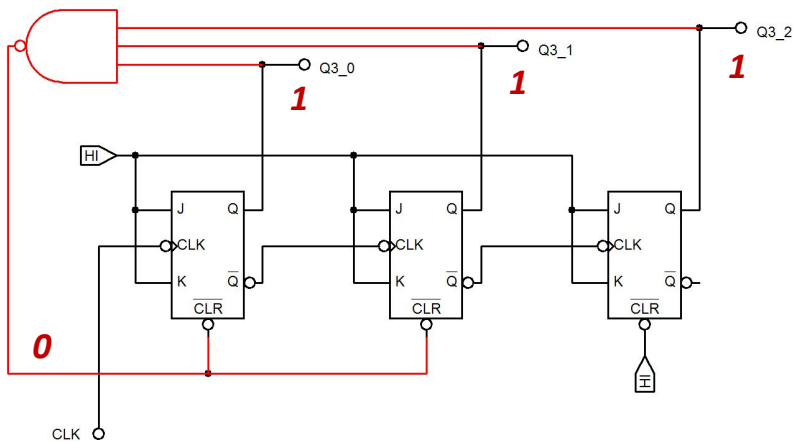
$$V_i = 1$$
$$C_0 = CLK \quad C_i = !Q_{i-1}$$



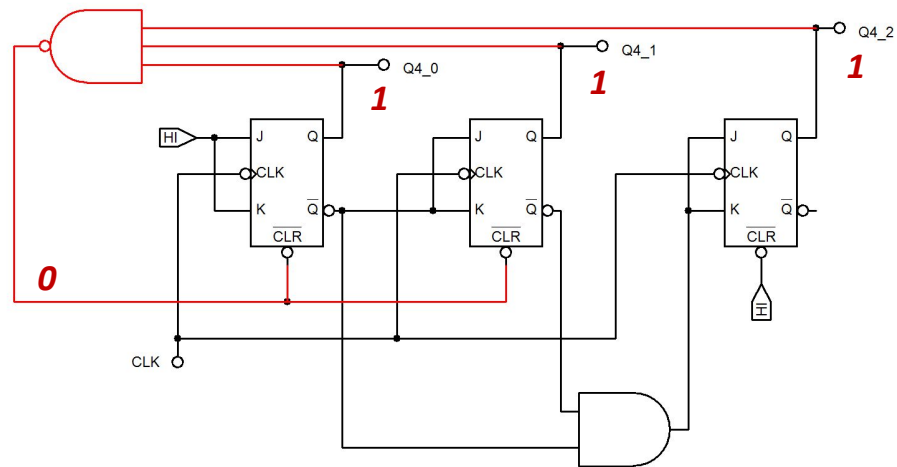
**Синхронный**

$$V_0 = 1 \quad V_i = V_{i-1} \cdot !Q_{i-1}$$
$$C_i = CLK$$

# Не полные счетчики с асинхронным сбросом



**Асинхронный**



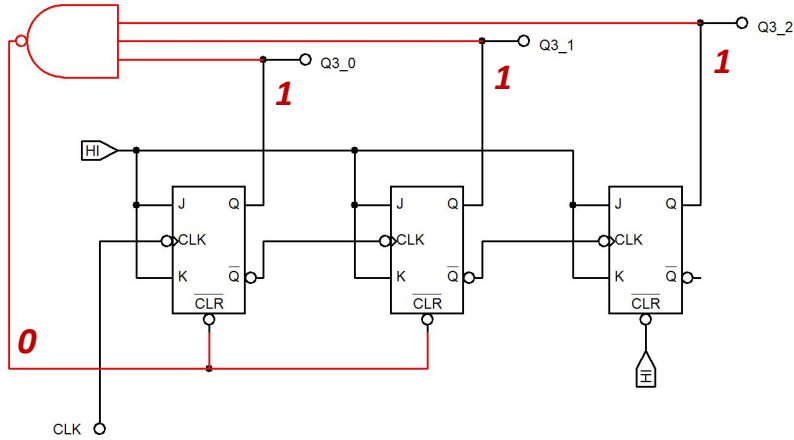
**Синхронный**

**Пример: вычитающий счетчик с модулем счета 5**

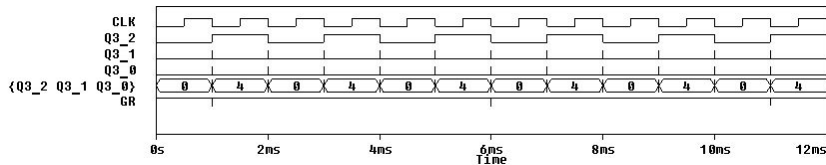
**Установка в значение  $Q_{n+1} = 4$  происходит при  $Q = 7$**

**НО в жизни не все так просто (см. следующий слайд)**

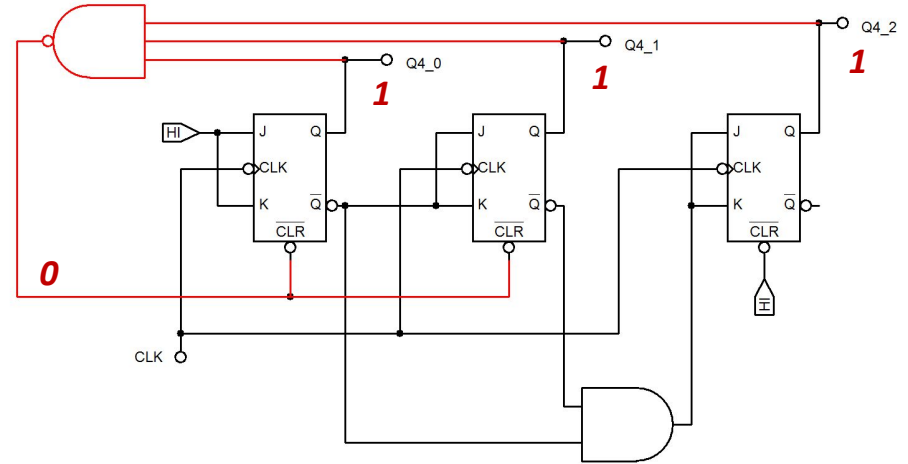
# Не полные счетчики с асинхронным сбросом



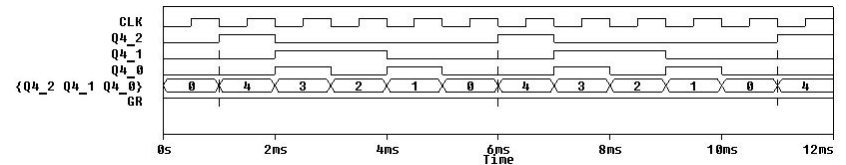
Асинхронный



**НЕ РАБОТАЕТ**

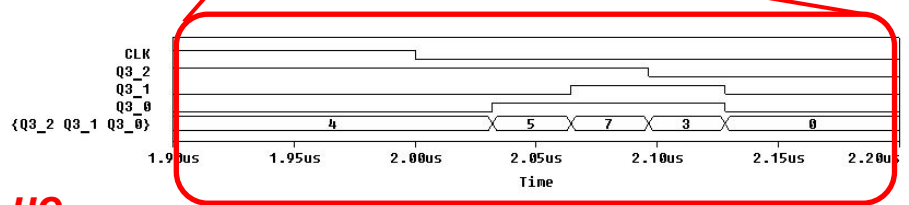
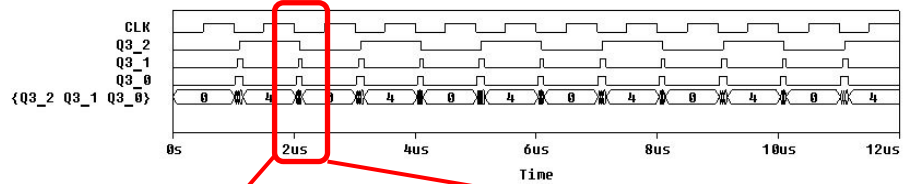
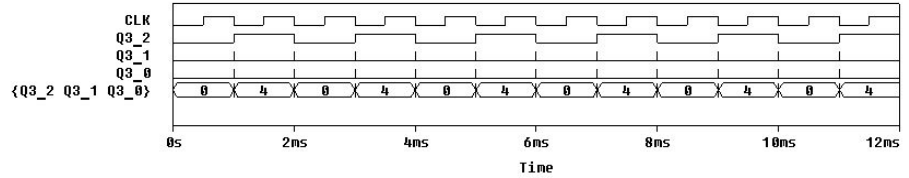
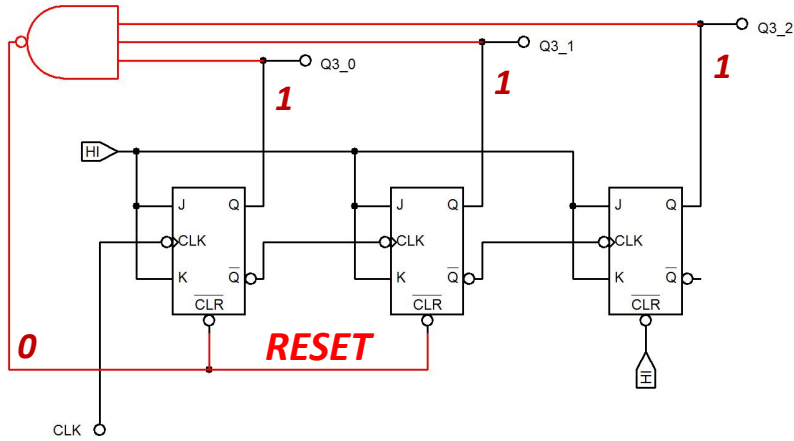


Синхронный



**РАБОТАЕТ**

# Не полные счетчики с асинхронным сбросом



Ожидаемый счет

4 → 3 → 2 → 1 → 0 → 4 → ...

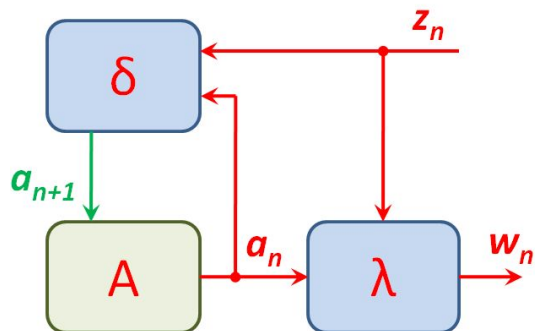
НО переключение  $Q_i$  идет последовательно

4<sup>Q<sub>0</sub></sup> → 5<sup>Q<sub>1</sub></sup> → 7<sup>Q<sub>2</sub></sup> → 3 → 0 → 4 → ...  
RESET<sub>0,1</sub>

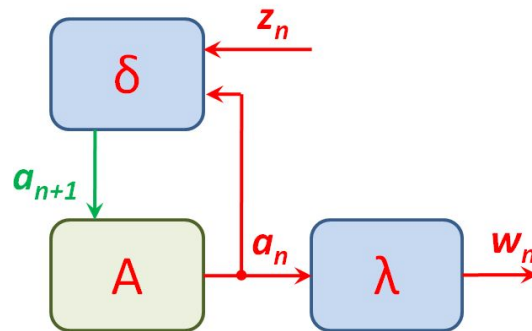


# Асинхронные цифровые автоматы – основной недостаток

## Автомат Мили



## Автомат Мура



$\delta(A, Z)$  – комбинационная логика

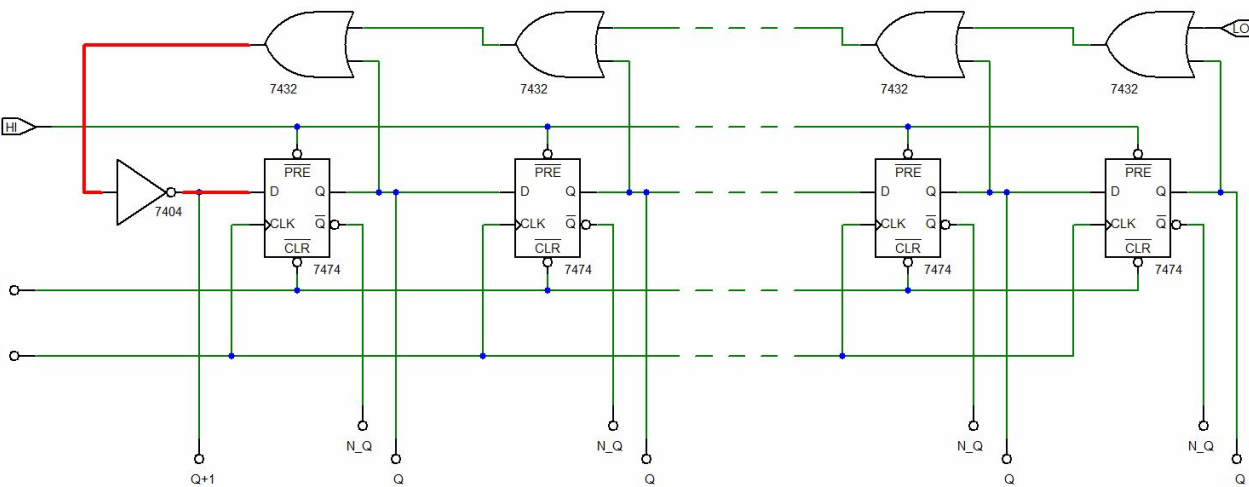
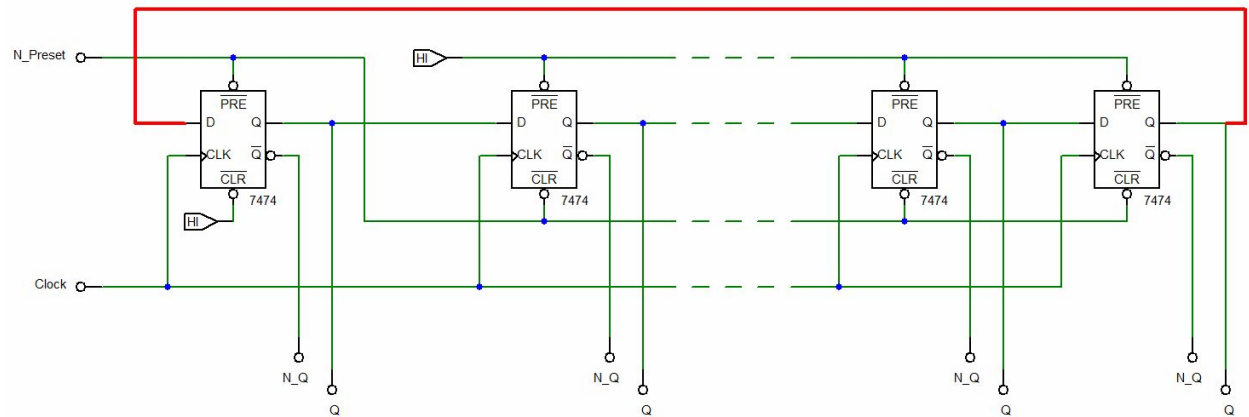


разность логических путей, «гонки» сигналов



**риски сбоев в асинхронных автоматах**

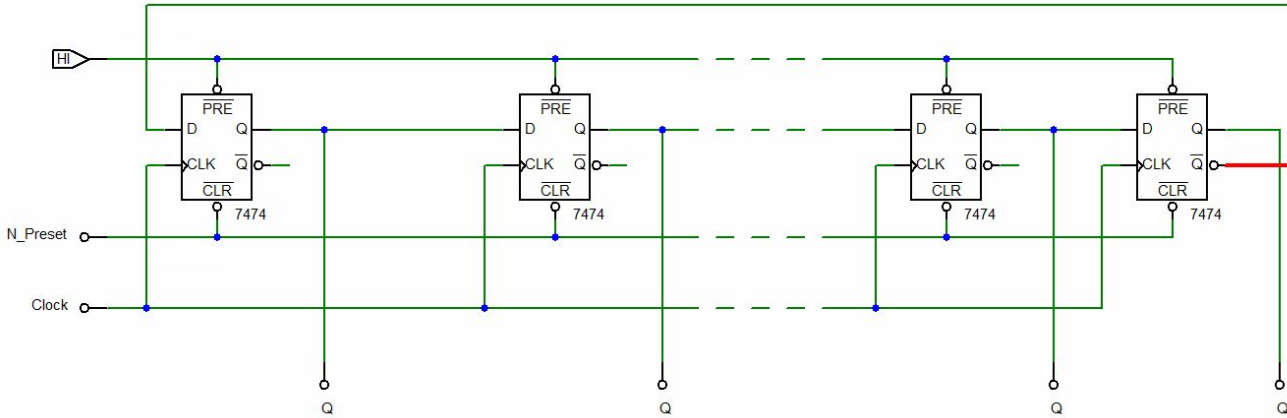
# Кольцевой счетчик (счетчик в коде "1 из N", унитарный счетчик)



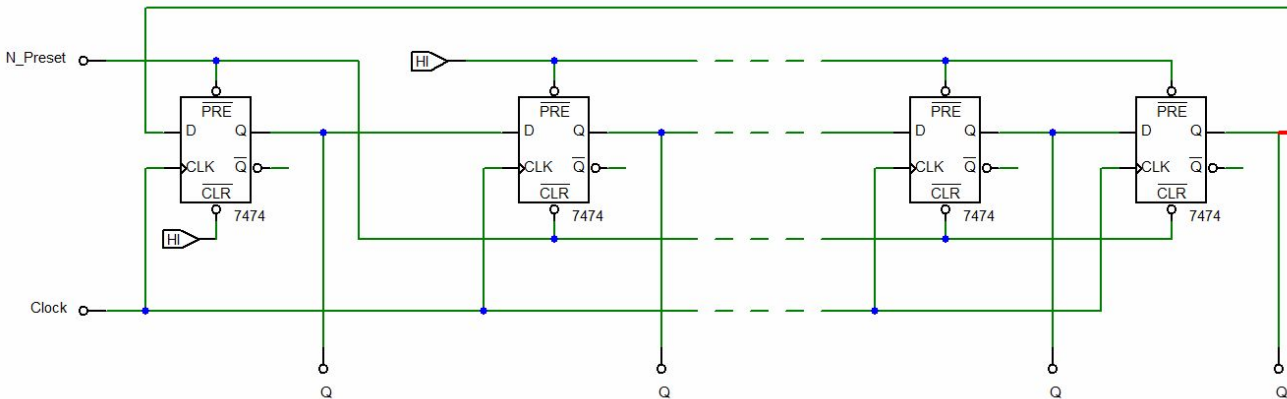
- Вариант 1:**
- на базе сдвигового регистра
  - $N$  состояний  $\rightarrow N$  триггеров
  - обязательная инициализация
  - риск неустраняемых ошибок типа "лишние 1/0"

- Вариант 2:**
- на базе сдвигового регистра
  - $N$  состояний  $\rightarrow N-1$  триггеров
  - ???
  - автоматический вход в рабочий цикл за  $\leq N-2$  тактов (автоматическое исправление)

# Счетчик Джонсона и кольцевой счетчик на его основе



## Сравнение с кольцевым счетчиком на базе регистра



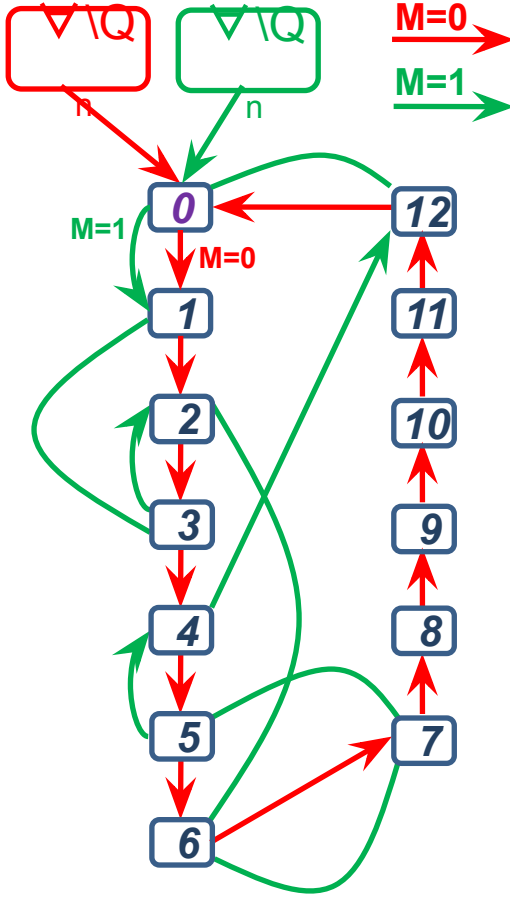
### Счетчик Джонсона:

- на базе сдвигового регистра
- $N$  состояний  $\rightarrow N/2$  триггеров
- обязательная инициализация
- риск неустранимых сбоев
- на базе счетчика Джонсона
- $N$  состояний  $\rightarrow N/2$  триггеров
- риск неустранимых сбоев типа "лишние 1/0"
- простое получение выходных функций вида

$$F_i = Q_i \cdot Q_{i+1} \cdot \bar{F}_{i-1}$$

Вар. 3 кольцевого счетчика:  
типа "лишние 1/0"

# Граф и таблица переходов автомата



## Пример - двухрежимный счетчик

		ЧТО ЕСТЬ					Режим				ЧТО НАДО ПОЛУЧИТЬ				КАК ЭТО СДЕЛАТЬ			
		Входы схем управления триггерами					Следующее состояние триггеров				Выходы схем управления триггерами							
		Q3 <sub>n</sub>	Q2 <sub>n</sub>	Q1 <sub>n</sub>	Q0 <sub>n</sub>	M	Q3 <sub>n+1</sub>	Q2 <sub>n+1</sub>	Q1 <sub>n+1</sub>	Q0 <sub>n+1</sub>	D3 <sub>n</sub>	V2 <sub>n</sub>	R1 <sub>n</sub>	S1 <sub>n</sub>	K0 <sub>n</sub>	J0 <sub>n</sub>		
Замкнутый цикл №1 двоично кодированный счетчик с модулем 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	X	0	X	1		
	1	0	0	0	1		0	0	1	0	0	0	0	1	1	X		
	2	0	0	1	0		0	0	1	1	0	0	0	X	X	1		
	3	0	0	1	1		0	0	1	0	0	0	1	0	1	X		
	4	0	1	0	0		0	0	1	0	0	0	X	0	X	1		
	5	0	1	0	1		0	0	1	1	0	0	0	1	1	X		
	6	0	1	1	0		0	0	1	1	0	0	0	X	X	1		
	7	0	1	1	1		0	1	0	0	0	1	1	0	1	X		
	8	1	0	0	0		0	1	0	0	1	1	0	X	0	X	1	
	9	1	0	0	1		0	1	0	1	0	0	0	1	1	X		
	10	1	0	1	0		0	1	0	1	1	0	0	X	X	1		
	11	1	0	1	1		0	1	1	0	0	1	1	0	1	X		
	12	1	1	0	0		0	0	0	0	0	0	1	X	0	X	0	
повтор №1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	X	0	X	1			
Замкнутый цикл №2 счетчик в коде Грея с модулем 9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	X	0	X	1		
	1	0	0	0	1		0	0	1	1	0	0	0	1	0	X		
	3	0	0	1	1		0	0	0	1	0	0	0	X	1	X		
	2	0	0	1	0		0	0	1	1	0	0	1	0	X	0		
	6	0	1	1	0		0	0	1	1	1	0	0	X	X	1		
	7	0	1	1	1		0	0	1	0	1	0	0	1	0	X		
	5	0	1	0	1		0	0	1	0	0	0	X	0	1	X		
	4	0	1	0	0		0	1	1	0	0	0	X	0	X	0		
	12	1	1	0	0		0	0	0	0	0	1	X	0	X	0		
	повтор №2	0	0	0	0		0	1	0	0	0	1	0	X	0	X	1	

Какой тип автомата в таблице

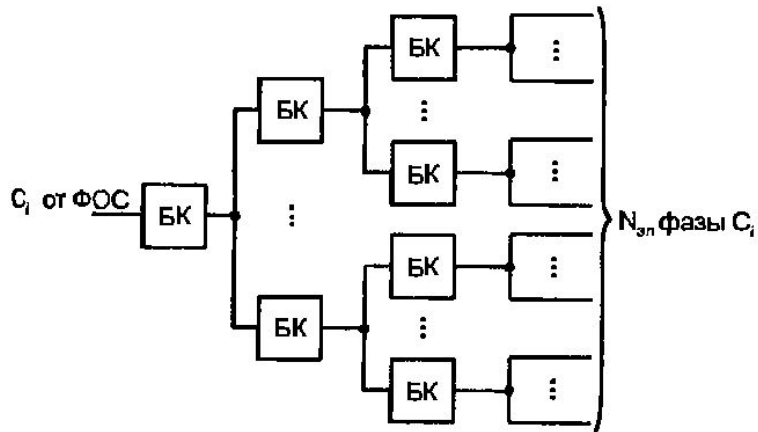
# *Неполные двоично кодированные счетчики. Методы синтеза*



•1 *сделать в 2018-2019у.г.*

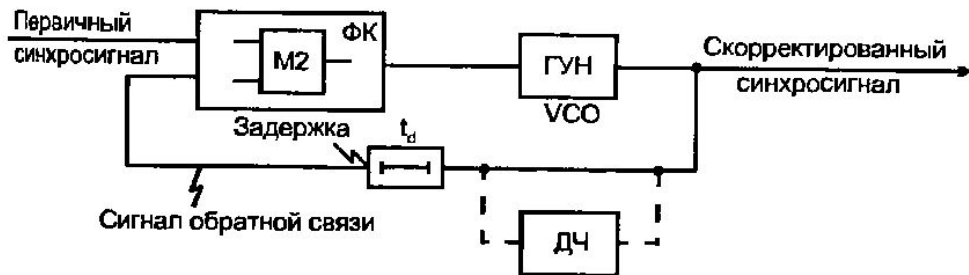
•2

•3



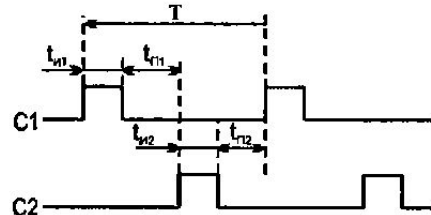
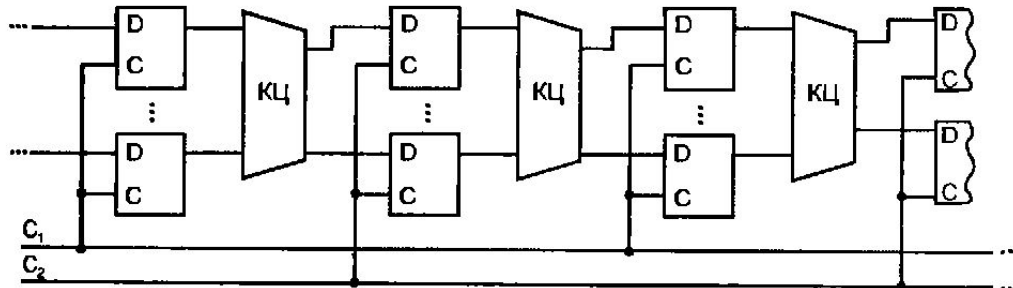
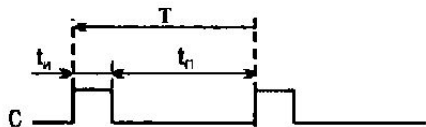
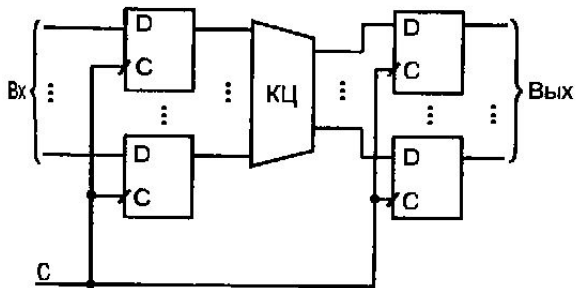
Простое размножение тактового сигнала:

- **простая схема с промежуточной регенерацией формы тактового сигнала**
- **накопление рассинхронизации на неоднородностях элементов и разностях физических длин проводников**



ФАПЧ – фазовая автоподстройка частоты:

- **автокоррекция периода синхросигнала**
- **аналоговая схема → постоянное потребление**



## Однофазная:

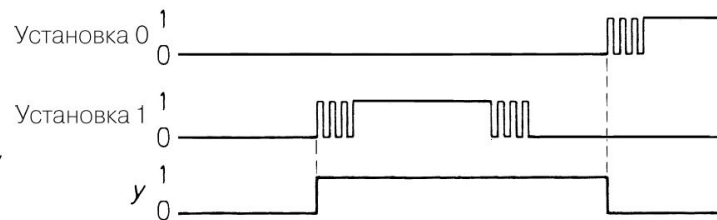
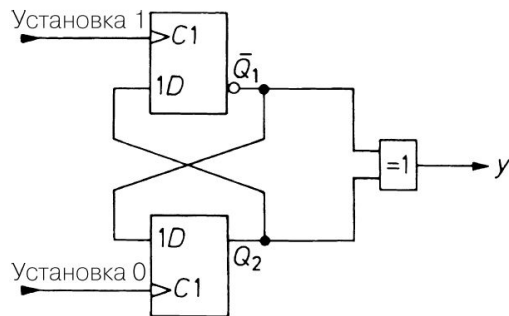
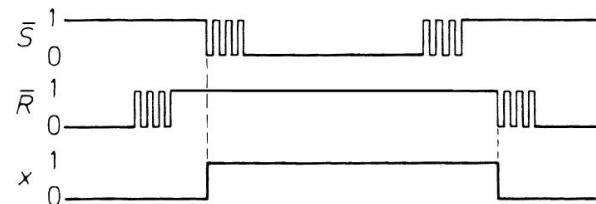
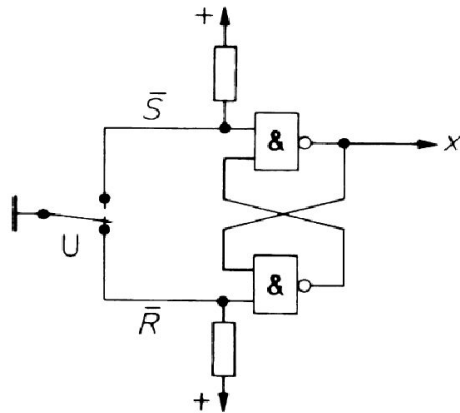
- строго динамические триггеры
- строгие интервалы между фазами ЦОС

## Двухфазная (многофазная):

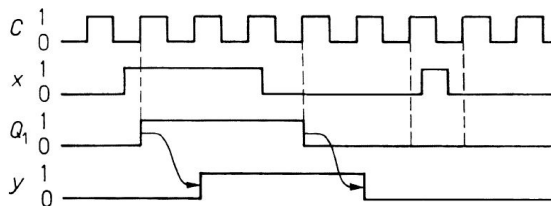
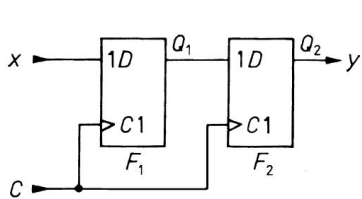
- могут использоваться триггеры-защелки
- можно варьировать интервалы между фазами ЦОС
- необходимо формирование системы синхросигналов

# Некоторые специальные применения триггеров

## Устранение дребезга контактов механических переключателей

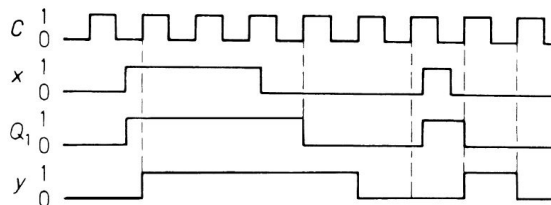
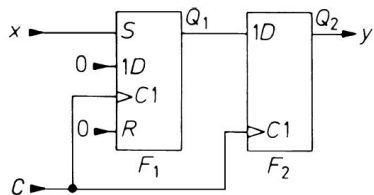






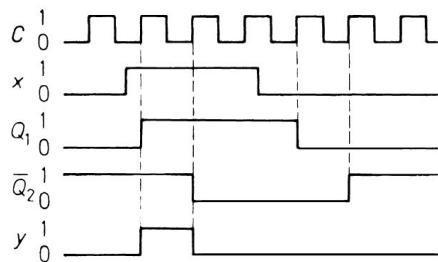
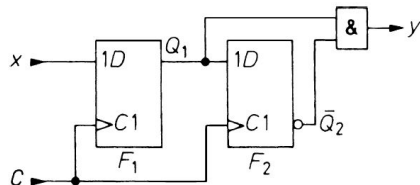
## Синхронизация информационных сигналов

- Подавление метастабильных состояний добавочным триггером
- Подавление импульсных помех



## Синхронизация информационных сигналов

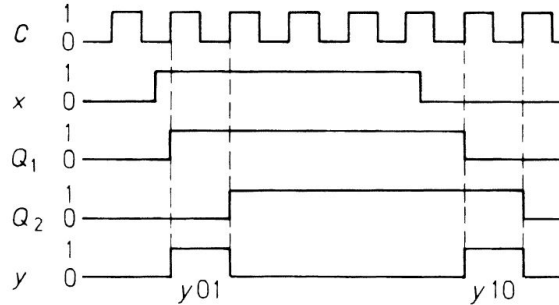
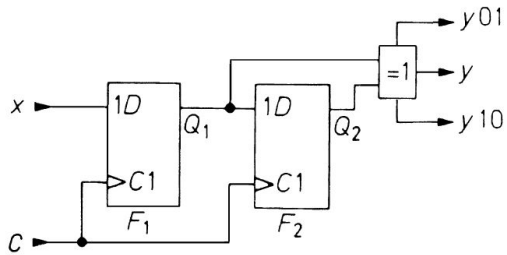
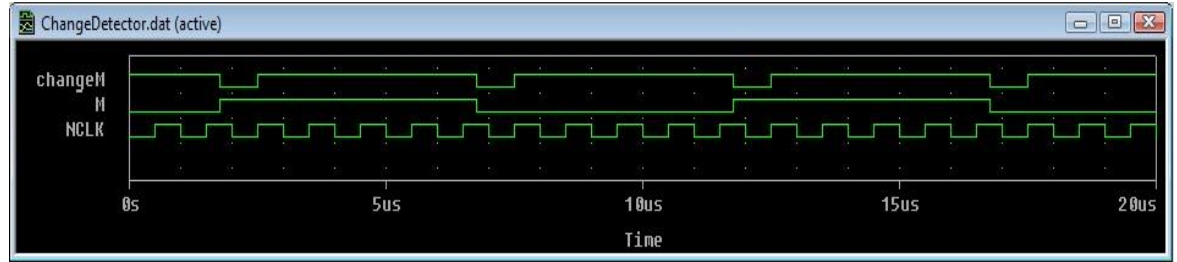
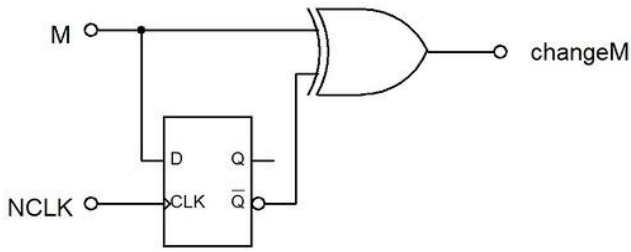
- Расширение коротких импульсов данных
- Нормирование длины импульсов



## Вариант схемы одновибратора

- Формирование одиночного импульса стандартной длины в ответ на импульс данных неопределенной длины

# Детектор переключения сигнала

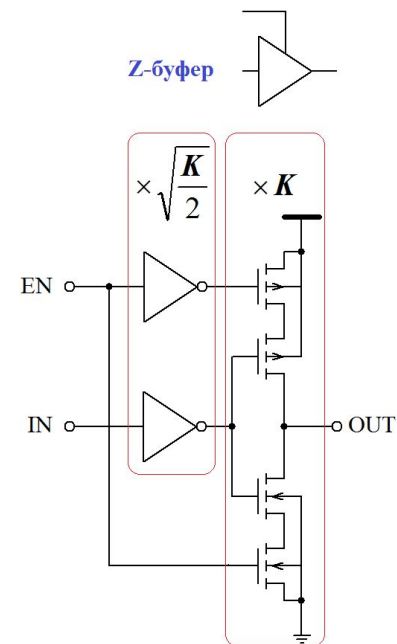
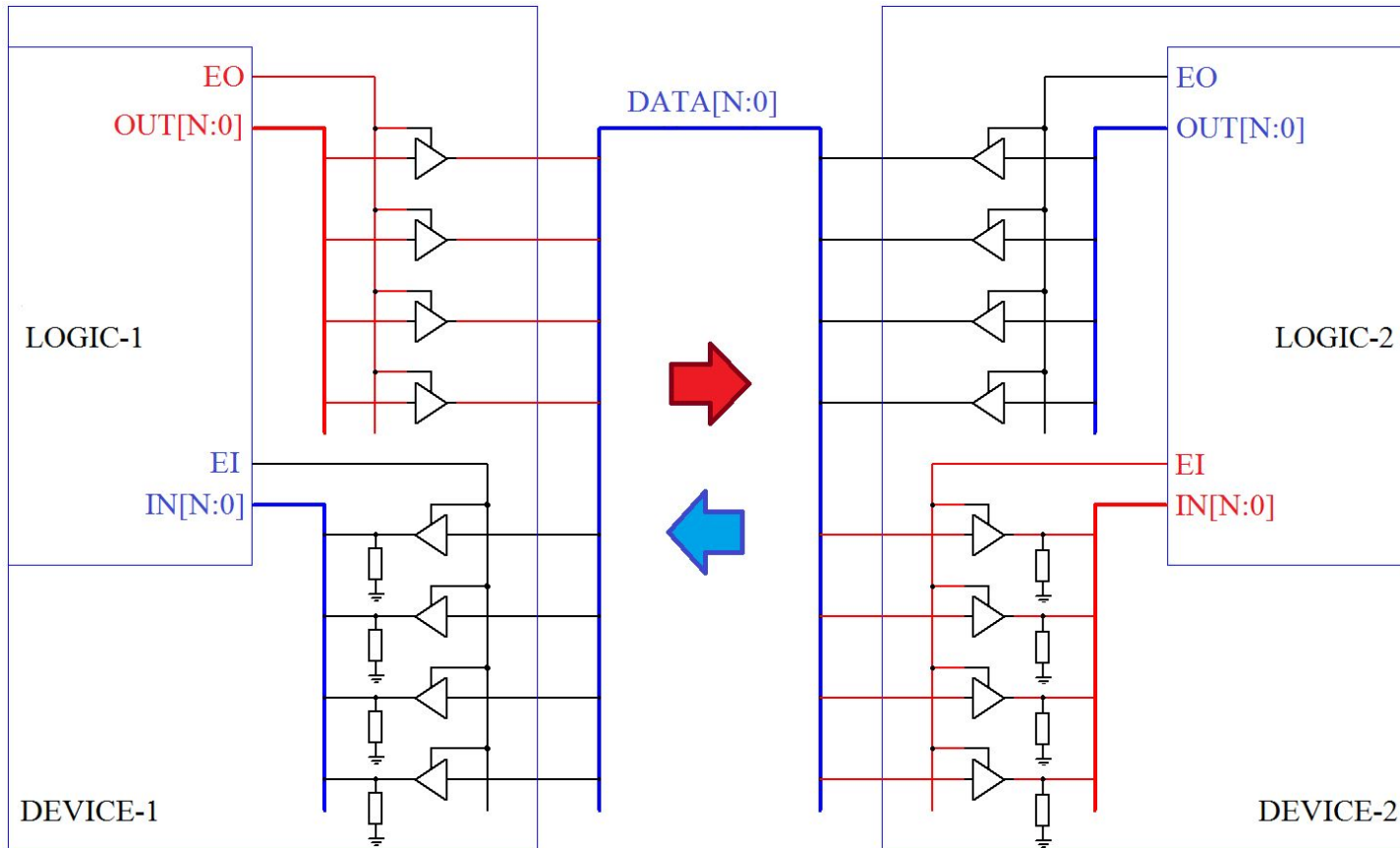


***Y01 – переключение X из 0 в 1***  
***Y10 – переключение X из 1 в 0***  
***Y – любое переключение X***



***Асинхронный сброс(установка) при переключении режима автомата***

# Двухнаправленный обмен данными. Общие шины



# Двухнаправленный обмен данными. Общие шины

