



Цифровые автоматы.  
Примеры.

**Finite State Machines**

# Детектор последовательностей

## Sequence detector

10101011 - Начальный ограничитель кадра Ethernet

Алгоритм:

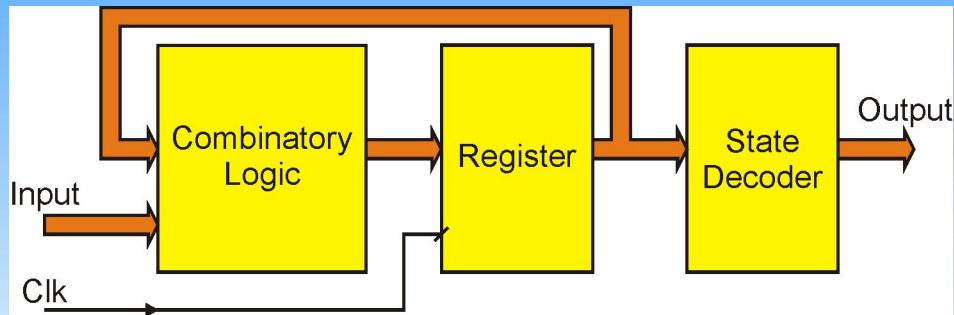
- Имеется синхронный последовательный канал.
- Необходимо выдать сигнал при определенном чередовании единиц и нулей.

Для примера возьмем детектируемую последовательность 110

1001100100110011011010100011100

# Детектор последовательностей

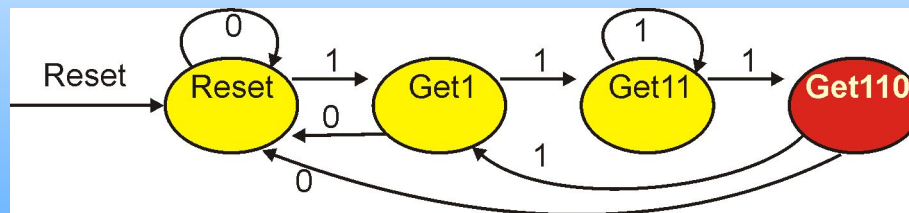
110



Автомат Мура  
Moore FSM

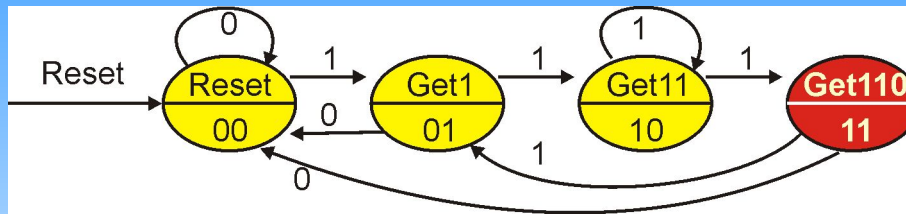
Автомат Мура (Moore) – автомат, выходные сигналы которого зависят только от текущего состояния.

1001100100110011011010100011100



# Детектор последовательностей

110



Автомат

Входы	Текущее состояние		Следующее состояние			
	D		A1	A0		B1
0	Reset	0	0	Reset	0	0
1	Reset	0	0	Get1	0	1
0	Get1	0	1	Reset	0	0
1	Get1	0	1	Get11	1	0
1	Get11	1	0	Get11	1	0
0	Get11	1	0	Get110	1	1
0	Get110	1	1	Reset	0	0
1	Get110	1	1	Get1	0	1

Комбинаторная схема



Входы			Выходы	
D	A1	A0	B1	B0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
0	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
1	1	1	0	1

# Детектор последовательностей

Выход В1

Входы			Выход
D	A1	A0	B1
0	0	0	0
1	0	0	0
0	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	1	1	0

⇒  $B1 = (D \cdot \overline{A1} \cdot A0) + (D \cdot A1 \cdot \overline{A0}) + (\overline{D} \cdot A1 \cdot \overline{A0})$



D	0	1	0	1
$\overline{D}$	0	0	0	1
	$\overline{A1} \cdot \overline{A0}$	$\overline{A1} \cdot A0$	$A1 \cdot A0$	$A1 \cdot \overline{A0}$



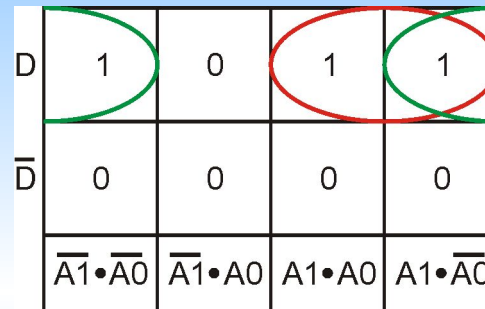
$$B1 = (D \cdot \overline{A1} \cdot A0) + (A1 \cdot \overline{A0})$$

# Детектор последовательностей

Выход B0

Входы			Выход
D	A1	A0	B0
0	0	0	0
1	0	0	1
0	0	1	0
1	0	1	0
1	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	1	1	1

⇒  $B0 = (D \cdot \overline{A1} \cdot \overline{A0}) + (\overline{D} \cdot A1 \cdot \overline{A0}) + (D \cdot A1 \cdot A0)$



A Karnaugh map for the function B0. The vertical axis is labeled D and  $\overline{D}$ . The horizontal axis is labeled  $\overline{A1} \cdot \overline{A0}$ ,  $\overline{A1} \cdot A0$ ,  $A1 \cdot A0$ , and  $A1 \cdot \overline{A0}$ . The map contains 1s in the following cells: (D,  $\overline{A1} \cdot \overline{A0}$ ), (D,  $A1 \cdot \overline{A0}$ ), (D,  $A1 \cdot A0$ ), and ( $\overline{D}$ ,  $A1 \cdot \overline{A0}$ ). There are three groupings: a green circle around the 1s in the first and second columns of the D row; a red circle around the 1s in the third and fourth columns of the D row; and a green circle around the 1s in the second and fourth columns of the  $\overline{D}$  row.

D	1	0	1	1
$\overline{D}$	0	0	0	0
	$\overline{A1} \cdot \overline{A0}$	$\overline{A1} \cdot A0$	$A1 \cdot A0$	$A1 \cdot \overline{A0}$

↓

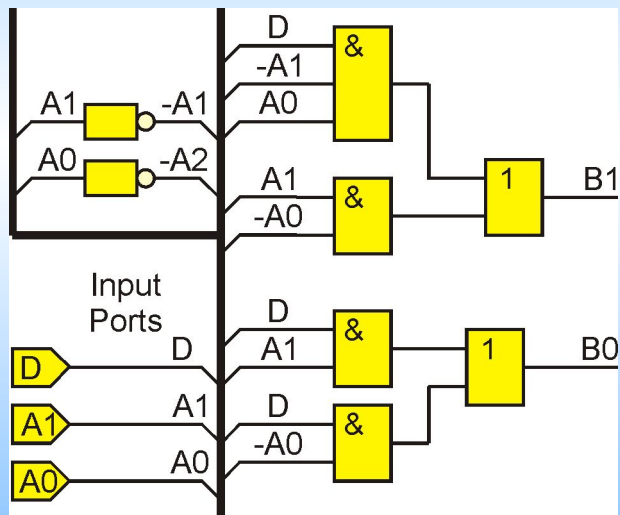
$$B0 = (D \cdot A1) + (D \cdot \overline{A0})$$

# Детектор последовательностей

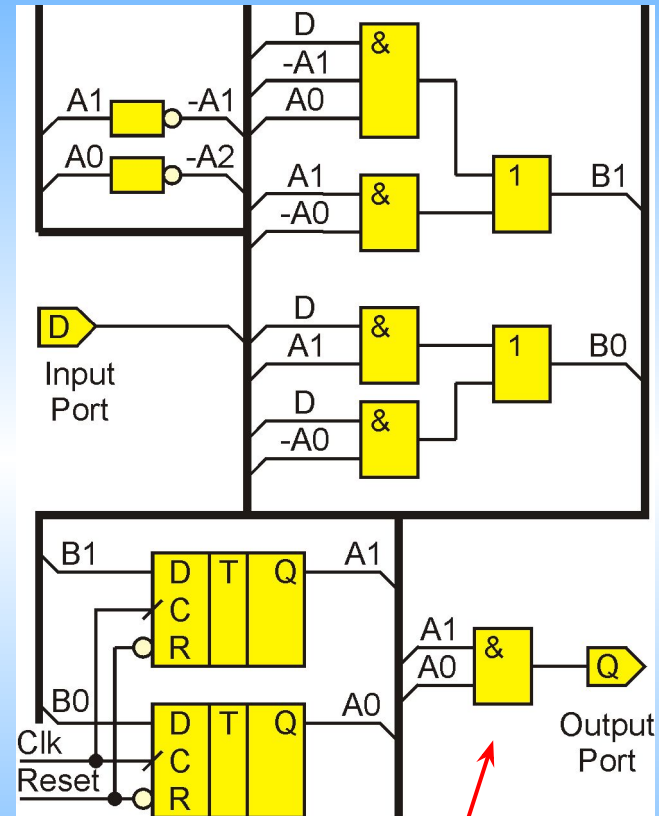
Комбинаторная схема

$$B1 = (D \cdot \overline{A1} \cdot A0) + (A1 \cdot \overline{A0})$$

$$B0 = (D \cdot A1) + (D \cdot \overline{A0})$$



FSM

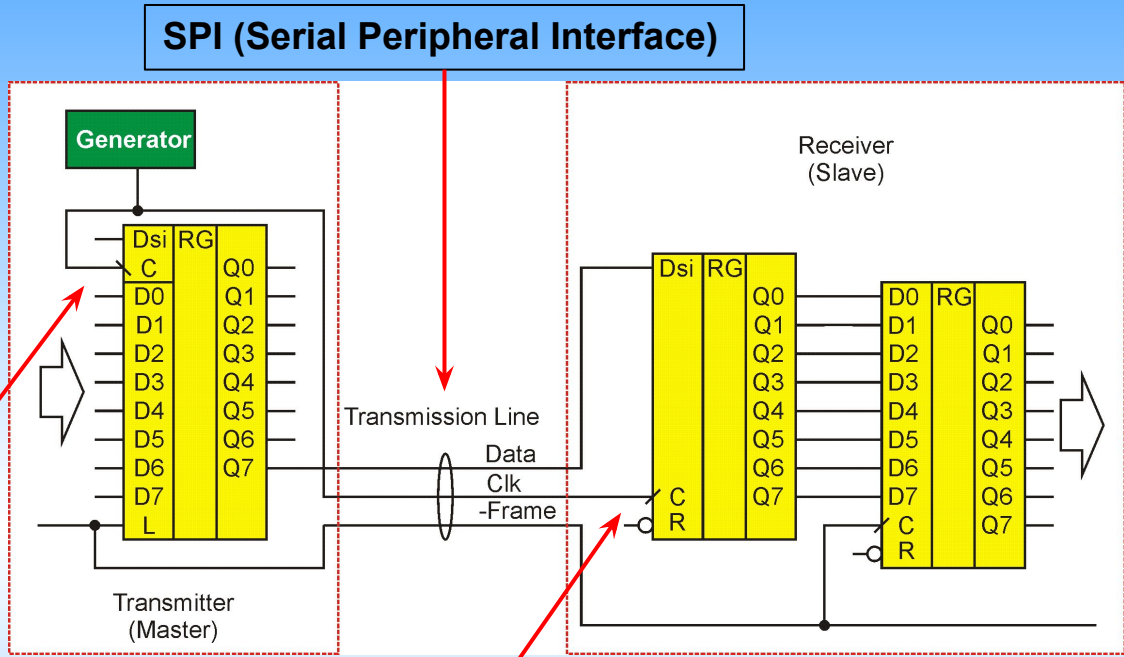


Регистр

Детектор состояния

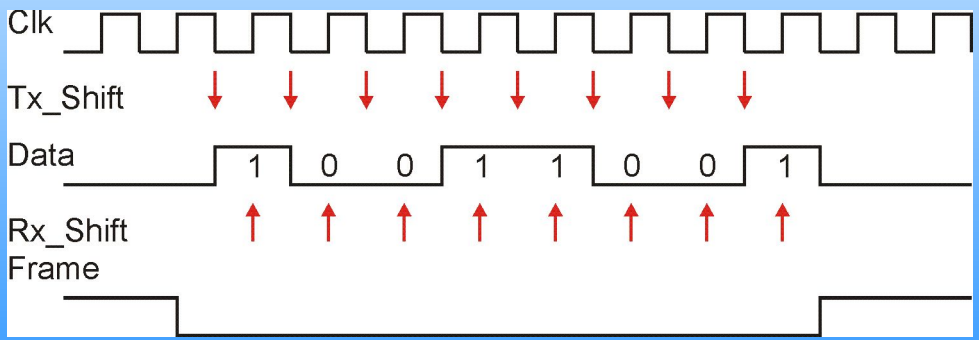
# Контроль по четности в канале SPI (Serial Peripheral Interface)

## Parity Checker



Сдвиг по срезу в передатчике

Сдвиг по фронту в приемнике (чтение)





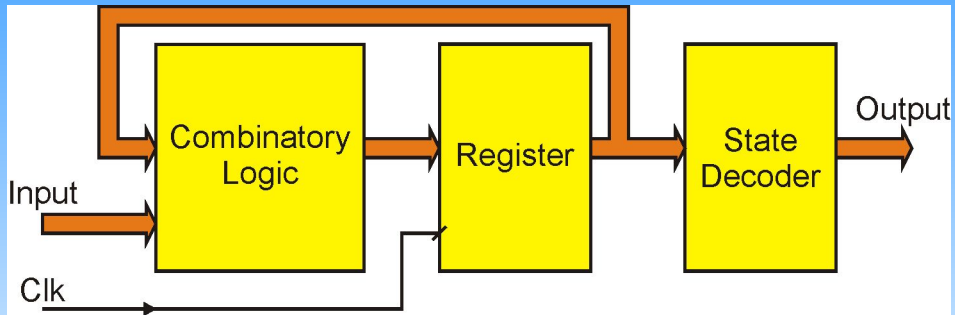
# Контроль по четности в канале SPI (Serial Peripheral Interface)

## Parity Checker

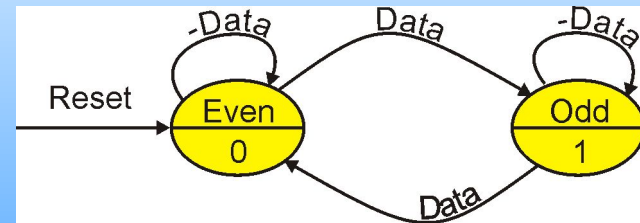
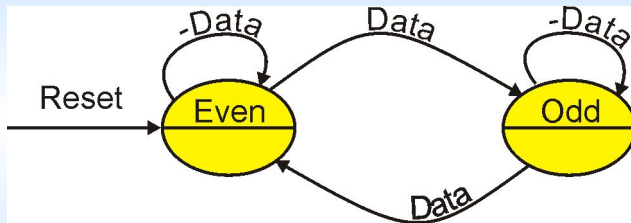
Алгоритм:

- Подается двоичная последовательность из N битов.
- При окончании кадра (-Frame) выдается
  - 0 если количество единиц в последовательности четное (Even)
  - 1 если количество единиц в последовательности нечетное (Odd)

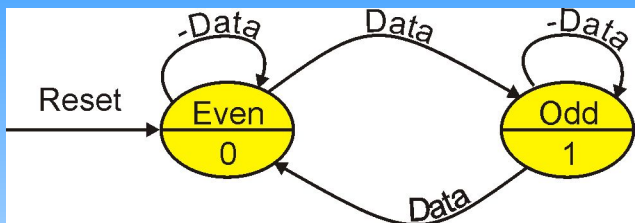
# Контроль по четности в канале SPI (Serial Peripheral Interface)



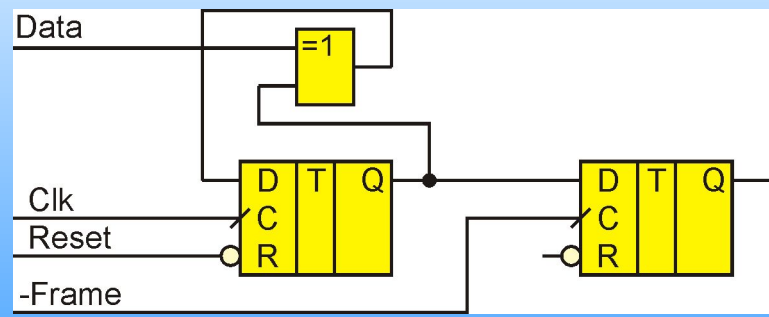
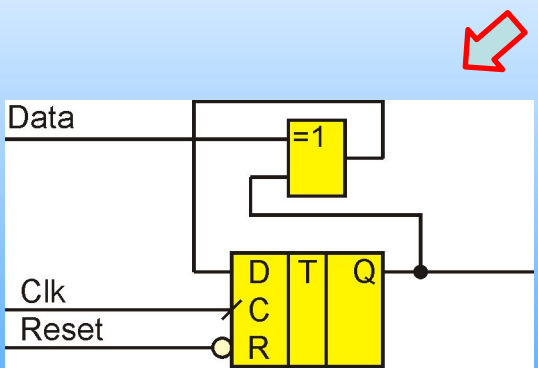
Автомат Мура  
Moore FSM



# Контроль по четности в канале SPI (Serial Peripheral Interface)



	Текущее состояние		Следующее состояние	
Data	Обозначение		Обозначение	
0	Even (чёт)	0	Even (чёт)	0
1	Even (чёт)	0	Odd (нечёт)	1
0	Odd (нечёт)	1	Odd (нечёт)	1
1	Odd (нечёт)	1	Even (чёт)	0

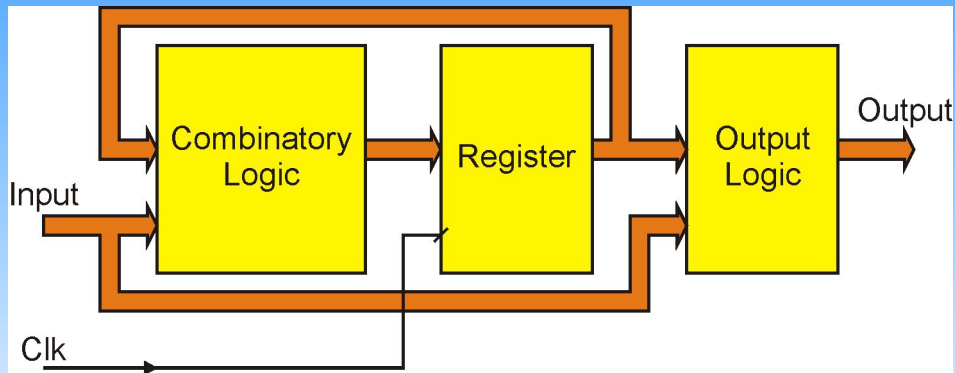


# Последовательный сумматор

Алгоритм:

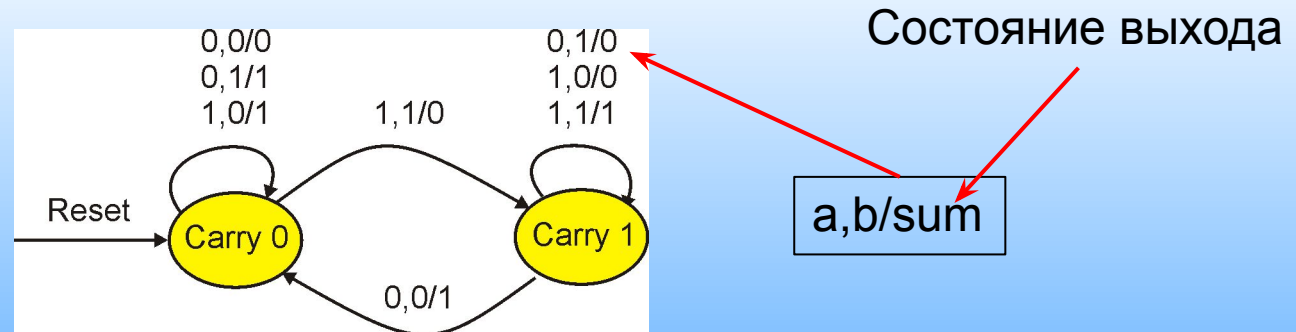
- ❑ Подаются две двоичные последовательности (a и b) младшими битами вперед.
- ❑ На выходе последовательно появляются биты суммы и бит переноса.

# Последовательный сумматор



Автомат Мили  
Mealy FSM

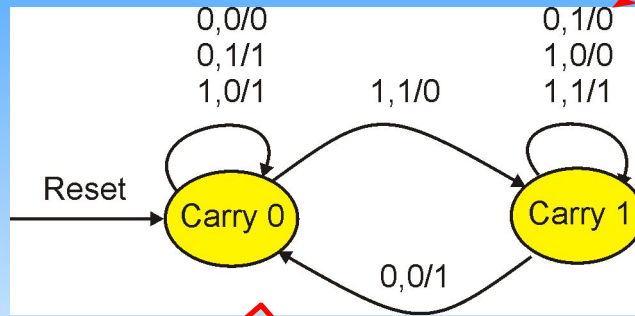
Автомат Мили (Mealy) – автомат, выходные переменные (или выходное слово) которого определяются текущим состоянием и текущими входными воздействиями.



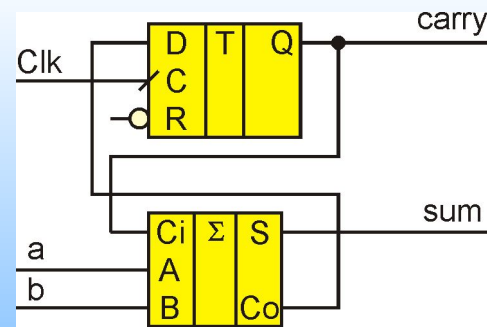
Выход зависит от входных сигналов и текущего состояния.  
Приходится подписывать выходной сигнал на переходах.

# Последовательный сумматор

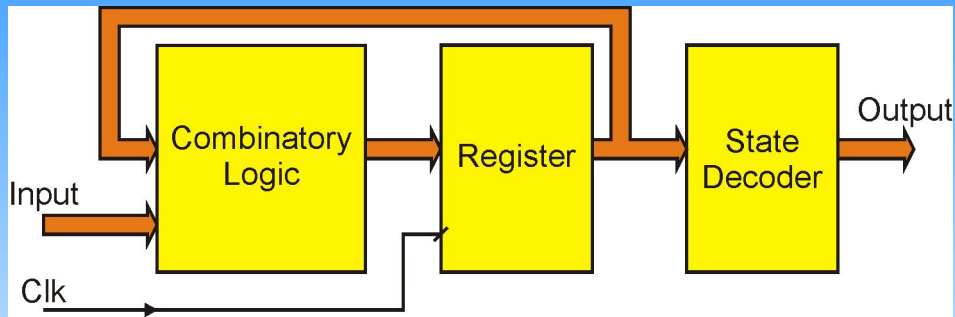
a,b/sum



Входы		Текущее состояние	Выход	Следующее состояние
a	b			
		Обозначение	sum	Обозначение
0	0	Carry 0	0	Carry 0
0	1	Carry 0	1	Carry 0
1	0	Carry 0	1	Carry 0
1	1	Carry 0	0	Carry 1
0	0	Carry 1	1	Carry 0
0	1	Carry 1	0	Carry 1
1	0	Carry 1	0	Carry 1
1	1	Carry 1	1	Carry 1

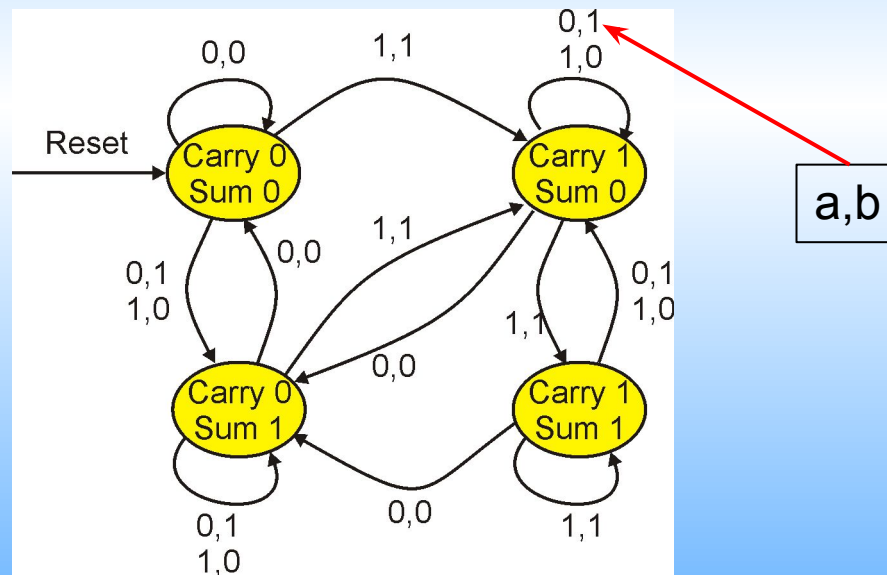


# Последовательный сумматор

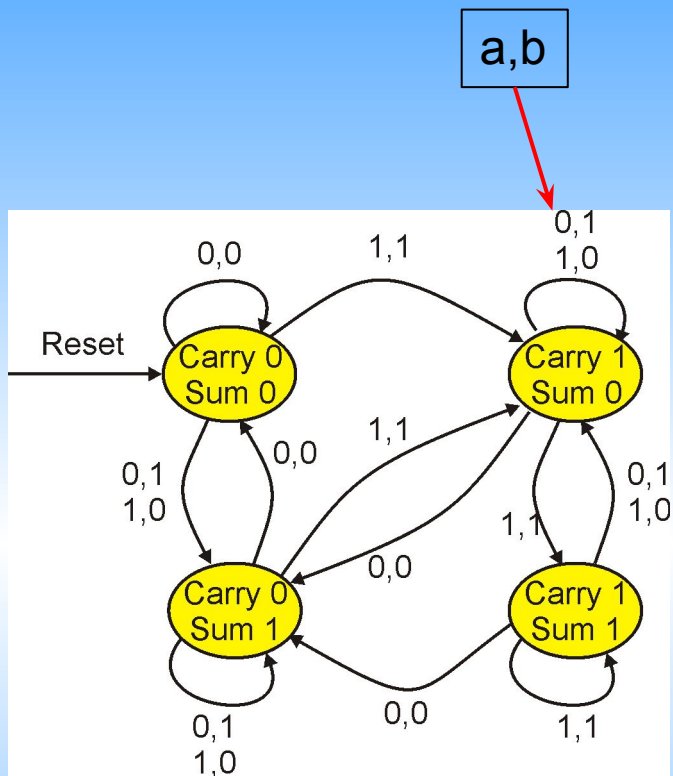


Автомат Мура  
Moore FSM

Автомат Мура (Moore) – автомат, выходные сигналы которого зависят только от текущего состояния.



# Последовательный сумматор

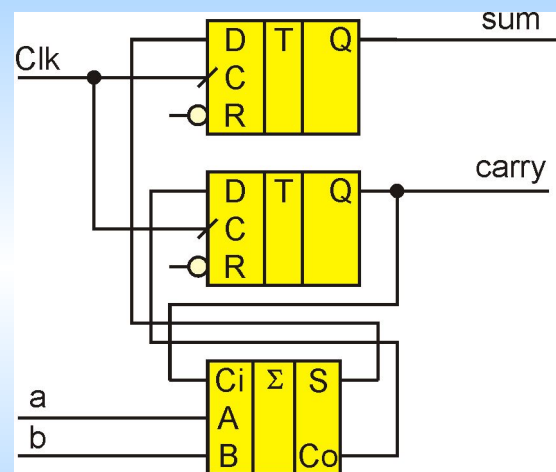


Входы		Текущее состояние		Следующее состояние	
a	b	Carry	Sum	Carry	Sum
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1



# Последовательный сумматор

Входы		Текущее состояние		Следующее состояние	
a	b	Carry	Sum	Carry	Sum
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0
0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1

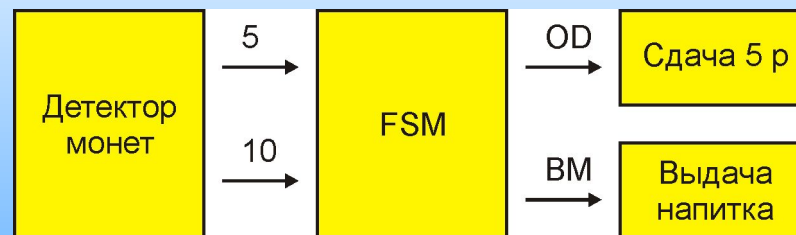


# Торговый автомат

## Vending Machine

Алгоритм:

- Автомат принимает монеты 5 и 10 рублей (для простоты).
- Необходимо набрать сумму 25 рублей.
- При достижении достаточной суммы:
  - Выдается сигнал на выдачу напитка.
  - Выдается сигнал на выдачу сдачи.



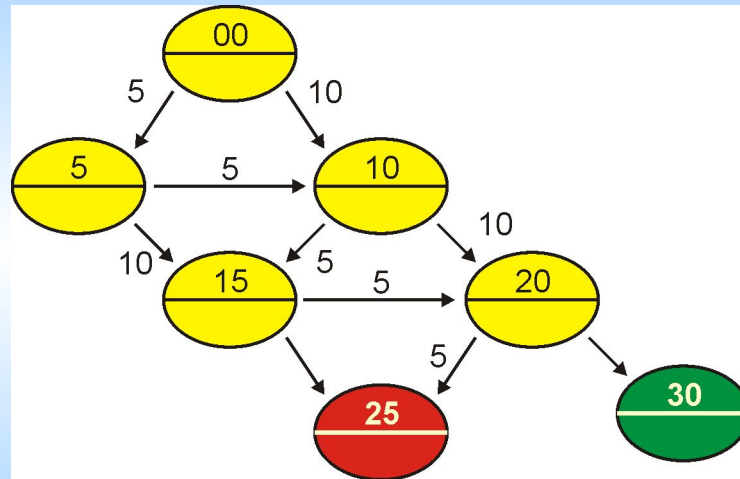


# Торговый автомат

Упрощение автомата:

Все равно в каком порядке поступают деньги.

Следствие: состояния с одинаковой суммой денег можно объединить

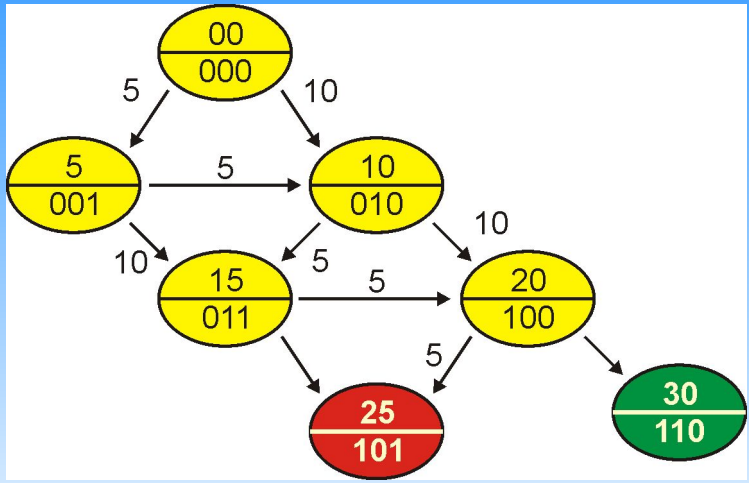


Выдача напитка



Выдача напитка и сдача

# Торговый автомат



Автомат

Входы		Текущее состояние				Следующее состояние			
5	10		A2	A1	A0		B2	B1	B0
1	0	00	0	0	0	5	0	0	1
0	1	00	0	0	0	10	0	1	0
1	0	5	0	0	1	10	0	1	0
0	1	5	0	0	1	15	0	1	1
1	0	10	0	1	0	15	0	1	1
0	1	10	0	1	0	20	1	0	0
1	0	15	0	1	1	20	1	0	0
0	1	15	0	1	1	25 / 101	1	0	1
1	0	20	1	0	0	25 / 101	1	0	1
		20	1	0	0	30 / 110	1	1	0



Выдача напитка

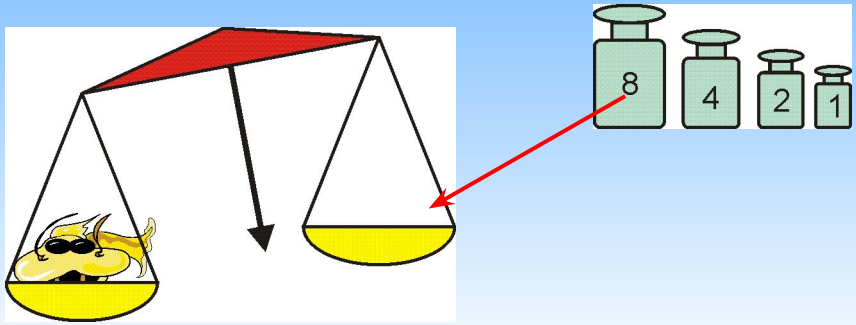


Выдача напитка и сдача

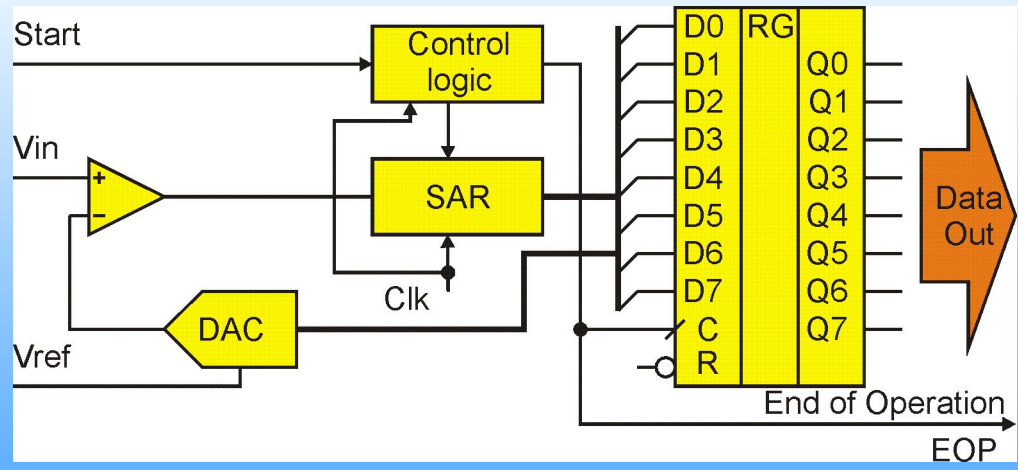
# Регистр последовательных приближений

Алгоритм взвешивания.  
Деление отрезка пополам.

Максимальный вес в этой  
разрядной сетке = 15



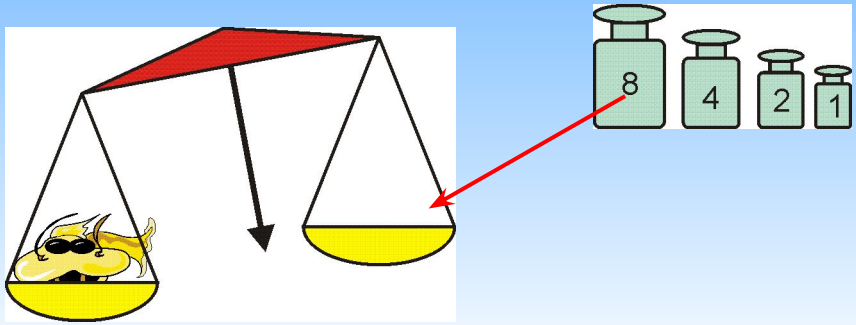
$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$



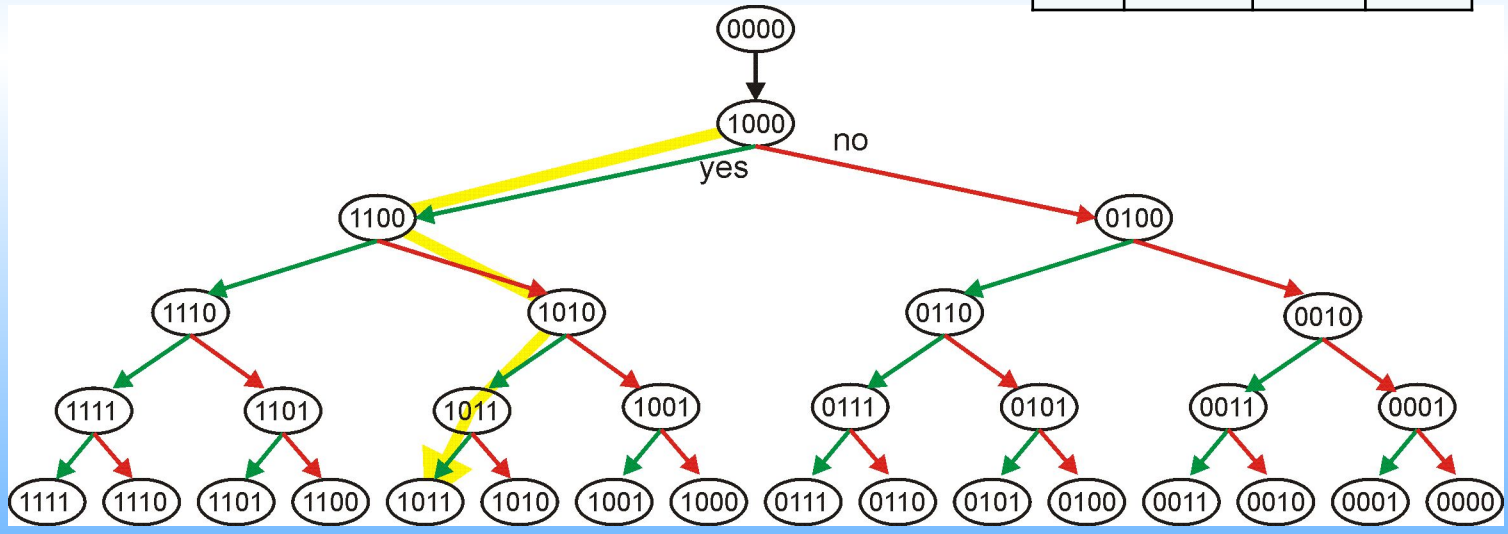
# Регистр последовательных приближений

Алгоритм взвешивания.  
 Деление отрезка пополам.

Максимальный вес в этой  
 разрядной сетке = 15

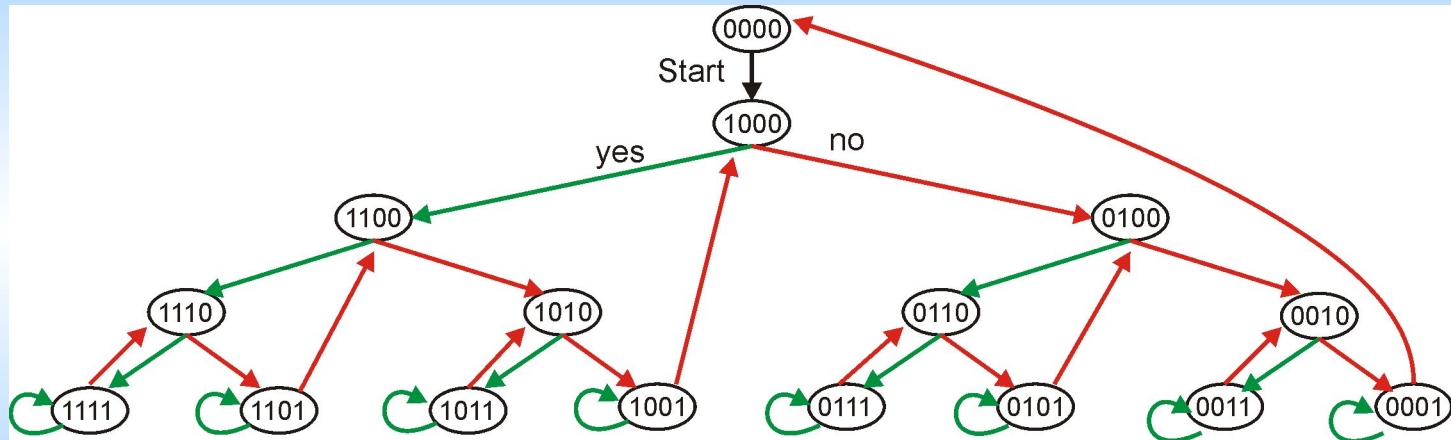


$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$



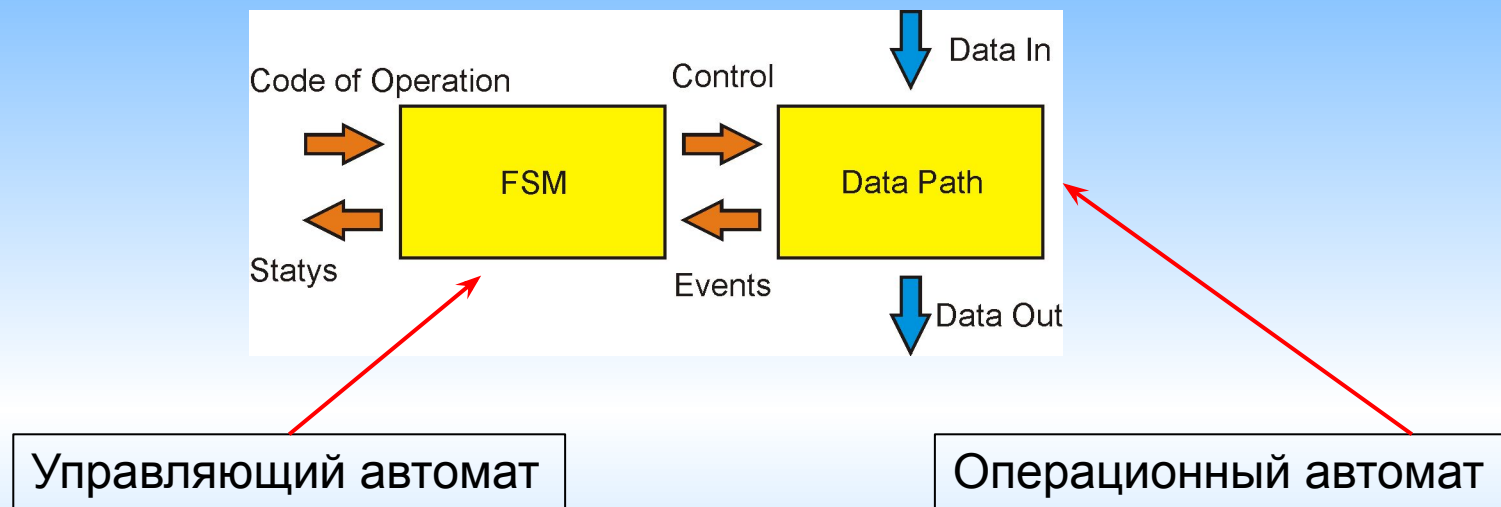
# Регистр последовательных приближений

Минимизированная диаграмма.





Большинство систем обработки данных описываются моделью Глушкова



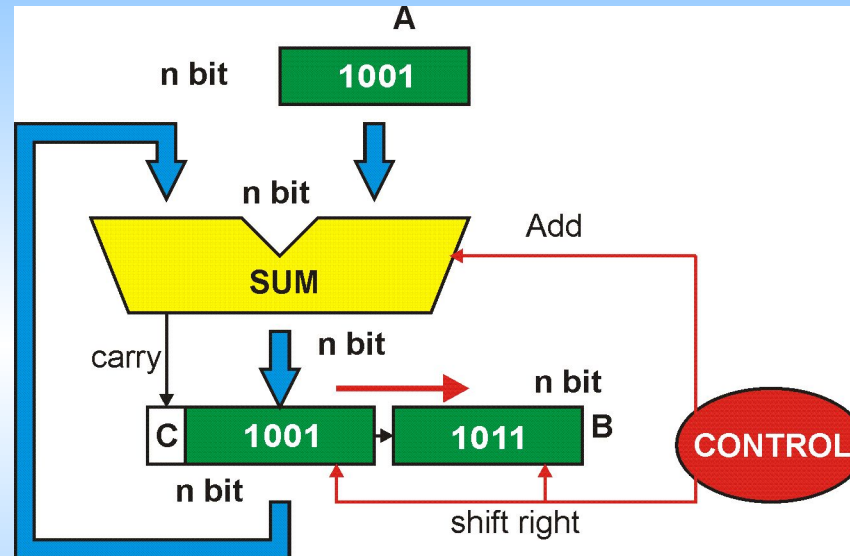
Академик Виктор Михайлович Глушков (1923-1982)



# Умножение

Умножение  
Версия 3

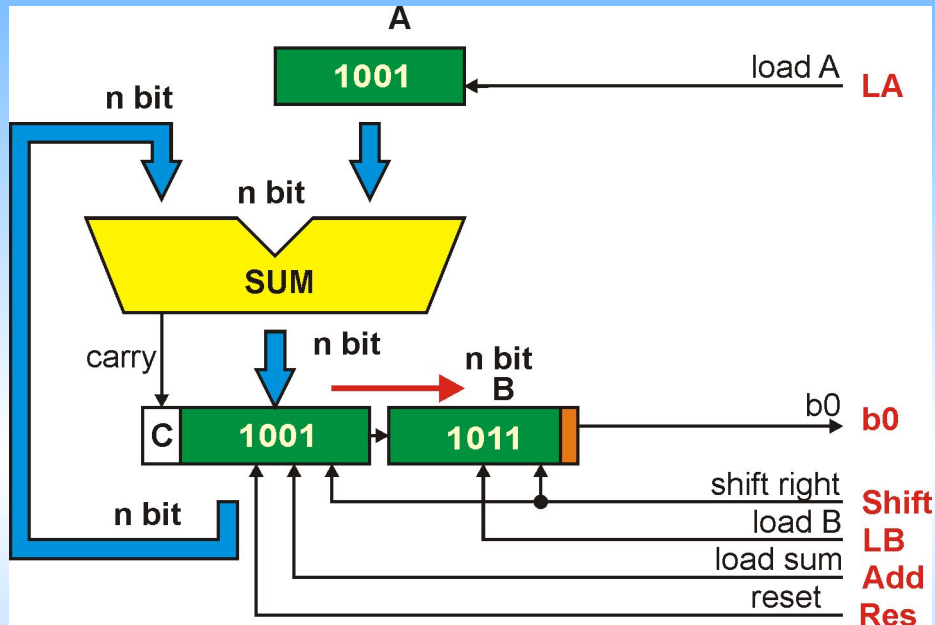
Идея операционного автомата умножения



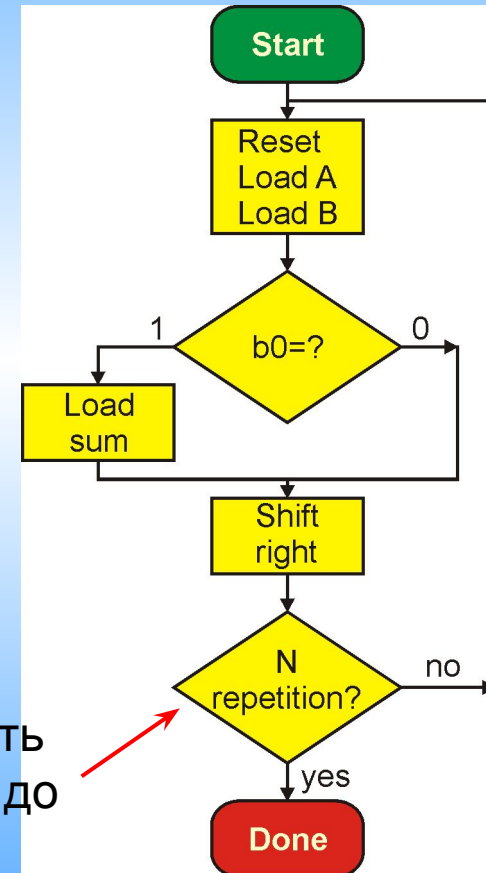
Сдвиг результата вправо вместо сдвига обычного сдвига А влево

# Умножение

Более подробный операционный автомат умножения



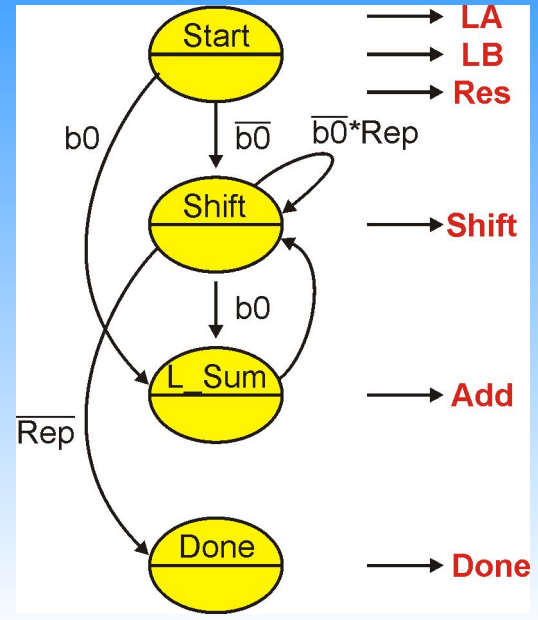
## Алгоритм



Для подсчета количества циклов можно использовать дополнительный счетный автомат (простой счетчик до N). Вначале его сбросить по Reset. Выход счетчика Rep=0, когда все циклы пройдены.

# Умножение

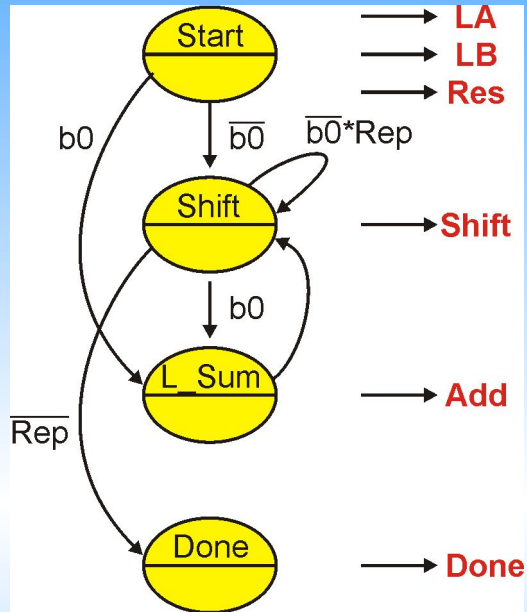
## Управляющий автомат Мура



Управляющий автомат			
Входы		Выходы	
b0		LA	Загрузка регистра множителя А
Rep	Повторение	LB	Загрузка регистра множителя В
		Res	Обнуление регистра суммы и счетчика циклов
		Shift	Сдвиг результата вправо
		Add	Загрузка левой части регистра результата выходом с сумматора
		Done	Признак конца операции. Для оповещения других подсистем

# Умножение

## Управляющий автомат Мура



Входы		Текущее состояние			Следующее состояние		
Rep	b0		A1	A0		B1	B0
1	1	Start	0	0	L_Sum	1	0
1	0	Start	0	0	Shift	0	1
1	0	Shift	0	1	Shift	0	1
1	1	Shift	0	1	L_Sum	1	0
0	X	Shift	0	1	Done	1	1
X	X	L_Sum	1	0	Shift	0	1
		Done	1	1			



Комбинаторная схема					
Входы				Выходы	
Rep	b0	A1	A0	B1	B0
1	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0
0	X	0	1	1	1
X	X	1	0	0	1
X	X	1	1	1	1

# Умножение

## Проверка комбинаторной схемы

Комбинаторная схема					
Входы				Выходы	
Rep	b0	A1	A0	B1	B0
1	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	1	0	1	1	0
0	X	0	1	1	1
X	X	1	0	0	1
X	X	1	1	1	1

Здесь показаны значимые переходы

Были не учтены строки.  
Но таких комбинаций входных  
сигналов быть не может.

Полная таблица переходов

Входы				Выходы	
Rep	b0	A1	A0	B1	B0
0	0	0	0	X	X
0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1