

Языки описания схем

(mk.cs.msu.ru → Лекционные курсы → Языки описания схем)

Блок 17

Автоматы и синхронные схемы

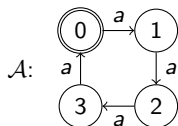
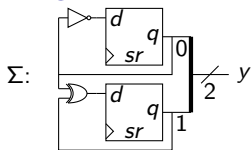
Лектор:

Подымов Владислав Васильевич

E-mail:

valdus@yandex.ru

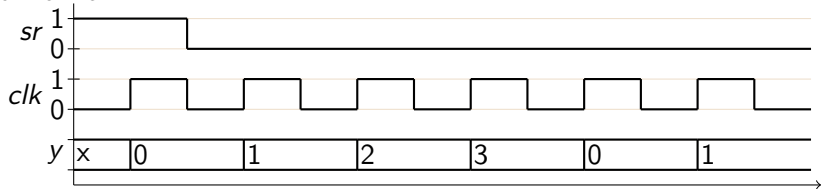
Вступление



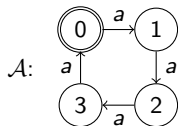
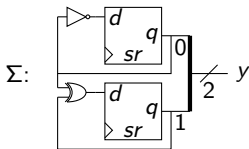
Выполнение \mathcal{A} :

t	0	1	2	3	4	5	...
$x(t)$		a	a	a	a	a	...
$q(t)$	q_0	$\rightarrow q_1$	$\rightarrow q_2$	$\rightarrow q_3$	$\rightarrow q_0$	$\rightarrow q_1$...
$y(t)$	0	1	2	3	0	1	...

Выполнение Σ :



Вступление



Любой автомат может быть реализован в виде **синхронной** схемы

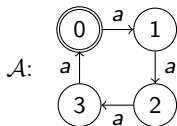
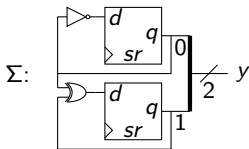
Многие **синхронные** схемы **со сбросом** являются автоматами

На этих двух тезисах основывается “умная” разработка схем, согласно которой

- ▶ схема или её часть проектируется как автомат, и
- ▶ разработанный автомат реализуется на схемном языке каким-либо “типовым” способом

Отдельные детали соответствия схем и автоматов встречались ранее в курсе, и чтобы поставить это соответствие, достаточно вспомнить и соединить все эти детали

Схема \rightarrow автомат: состояния



Состояние триггера в каждый момент времени¹ — это булево значение

Состояние регистра в каждый момент времени —
это набор булевых значений

Состояние схемы в каждый момент времени —
это набор состояний элементов её последовательной части

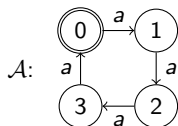
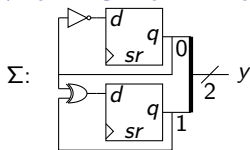
Например, если упорядочить триггеры Σ так: (нижний, верхний) — то

- ▶ множество состояний Σ — $\{(00), (01), (10), (11)\}$
- ▶ в арифметической трактовке — $\{0, 1, 2, 3\}$

Состояния автомата, соответствующего схеме, — это состояния схемы

¹ Если не считать переходных и некорректных состояний

Схема \rightarrow автомат: начальное состояние



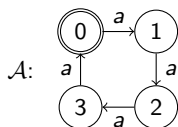
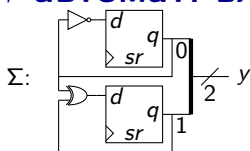
В результате сброса (синхронного или асинхронного) в элементах последовательной части схемы устанавливаются предзаданные состояния

Другими словами, в результате сброса в схеме устанавливается предзаданное состояние q_0

Начальное состояние автомата, соответствующего схеме со сбросом, — q_0

Например, начальное состояние автомата, соответствующего Σ — 0

Схема \rightarrow автомат: входной алфавит



$[x_1/v_1, x_2/v_2, \dots, x_n/v_n]$ — набор значений v_1, v_2, \dots, v_n

в соответствующих точках схемы x_1, x_2, \dots, x_n

в заданный момент времени:

- ▶ значение в каждой точке — это набор булевых значений
- ▶ *в арифметической трактовке* это число диапазона $\{0, 1, \dots, 2^k - 1\}$, где k — разрядность точки

Входной алфавит автомата, соответствующего схеме

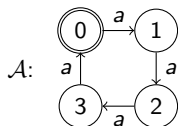
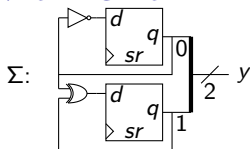
со входами x_1, \dots, x_n (кроме тактового и сброса) —

это множество всех наборов значений на входах x_1, \dots, x_n

Например, в Σ нет ни одного входа,

и входной алфавит соответствующего автомата — $\{a\}$, где $a = \square$

Схема \rightarrow автомат: выходной алфавит

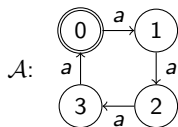
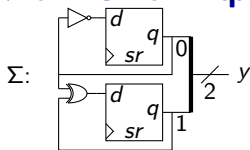


Выходной алфавит автомата, соответствующего схеме с выходами y_1, \dots, y_n , — это множество всех наборов значений на этих выходах

Например,

- ▶ Диапазон значений выходной шины Σ — $\{0, 1, 2, 3\}$
- ▶ Выходной алфавит соответствующего автомата:
 $\{[y/0], [y/1], [y/2], [y/3]\}$

Схема \rightarrow автомат: функция выхода



Если значения на выходах схемы в каждый момент времени **однозначно** определяются её состоянием, то функцию выхода B соответствующего автомата можно задать так:

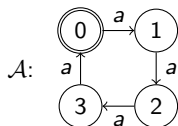
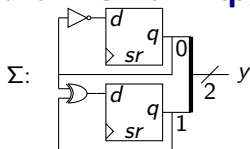
$B(q)$ — это набор значений на выходах схемы, находящейся в состоянии q

Например, для Σ

с учётом всех предыдущих построений верно следующее:

$$B(q) = q$$

Схема \rightarrow автомат: функция переходов



Для **синхронной** схемы, находящейся в состоянии q , и каждого набора значений a на входах этой схемы **однозначно** определено состояние q' , в которое переходит схема в момент *подходящего* (переднего/заднего) фронта тактового сигнала

Для такой схемы можно задать функцию переходов T соответствующего автомата следующим образом:

$$T(q, a) = q'$$

Например, для схемы Σ :

$$T(0, []) = 1$$

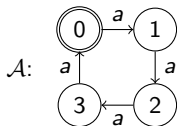
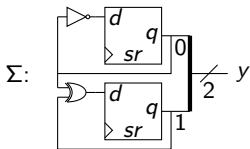
$$T(1, []) = 2$$

(с учётом всего сказанного ранее)

$$T(2, []) = 3$$

$$T(3, []) = 0$$

Схема \rightarrow автомат: итог



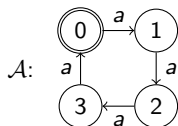
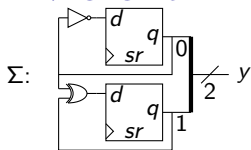
Ограничения на устройство схемы,
упомянутые ранее при обсуждении соответствия её автомату:

1. Синхронность
2. Наличие сброса (синхронного или асинхронного)
3. Существенная зависимость значений на выходах **ТОЛЬКО** от состояния схемы

Итог: если схема удовлетворяет трём ограничениям выше,
то ей соответствует автомат,
наглядно и полностью описывающий поведение этой схемы

В частности, автомат \mathcal{A} соответствует схеме Σ
и полностью описывает поведение этой схемы (если $a = []$)

Автомат \rightarrow схема: входы и выходы



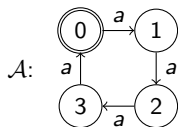
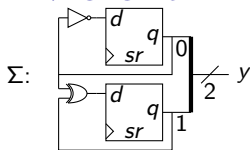
Рассмотрим автомат (Q, q_0, B, T)

над входным алфавитом I и выходным алфавитом O

Покажем, как реализовать этот автомат
синхронной схемой со сбросом, содержащей

- ▶ входы x_1, \dots, x_n , не считая тактового входа и входа сброса
- ▶ выходы y_1, \dots, y_m

Автомат \rightarrow схема: входы и выходы



Чтобы говорить о “разумной” реализации этого автомата схемой, следует уточнить устройство алфавитов I, O :¹

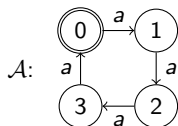
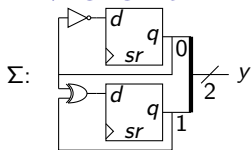
- ▶ I — множество всех значений в точках x_1, \dots, x_n
- ▶ O — множество всех значений в точках y_1, \dots, y_n

Например, для автомата \mathcal{A} можно положить, что:

- ▶ $I = \{a\} = \{\emptyset\}$: в соответствующей схеме нет входов
- ▶ $O = \{0, 1, 2, 3\} = \{[y/0], [y/1], [y/2], [y/3]\}$:
в соответствующей схеме содержится один выход y ширины 2

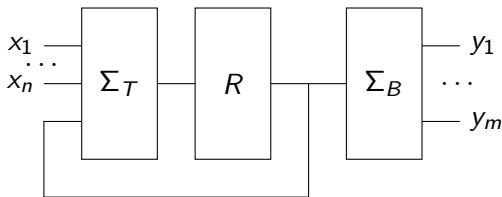
¹ Можно уточнять эти алфавиты и другими способами, но не будем вводить ненужные технические детали

Автомат \rightarrow схема: типовое устройство схемы

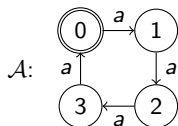
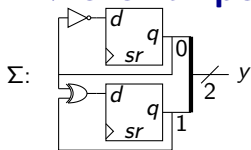


Схема, реализующая автомат *типовым способом*, содержит:

- ▶ параллельный регистр R , хранящий состояние автомата
- ▶ комбинационную схему Σ_B , реализующую функцию выхода
- ▶ комбинационную схему Σ_T , реализующую функцию переходов



Автомат \rightarrow схема: регистр состояния



Выберем произвольную ширину k регистра R , такую что $2^k \geq |Q|$

Произвольно отображим каждое состояние автомата q в состояние регистра $\varphi(q)$ так, чтобы было верно следующее:

- ▶ $\varphi(q_0) = 0$ ¹
- ▶ для остальных состояний q числа $\varphi(q)$ попарно различны и принадлежат диапазону $\{1, 2, \dots, 2^k - 1\}$

Например, для автомата \mathcal{A} можно выбрать ширину $k = 2$ и отобразить состояния так:

$$\varphi(\text{левое верхнее}) = 0$$

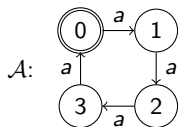
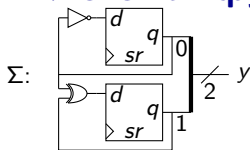
$$\varphi(\text{правое верхнее}) = 1$$

$$\varphi(\text{левое нижнее}) = 3$$

$$\varphi(\text{правое нижнее}) = 2$$

¹ Можно выбрать и любое другое число i для начального состояния: достаточно выбрать параллельный регистр, при сбросе сохраняющий это число

Автомат \rightarrow схема: функция выхода



Рассмотрим частично определённую функцию

$$B_1 : \{0, 1, \dots, 2^k - 1\} \rightarrow O,$$

заданную так: $B_1(q) = B(\varphi^{-1}(q))$

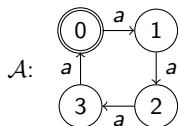
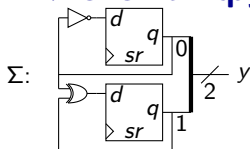
Произвольно доопределим B_1 до функции B_2

Σ_B — произвольная комбинационная схема, реализующая функцию B_2

Например, для автомата \mathcal{A}

- ▶ функция B_1 всюду определена: $B_1(q) = q$
- ▶ Σ_B — тривиальная схема, реализующая тождественную функцию

Автомат \rightarrow схема: функция переходов



Рассмотрим частично определённую функцию

$$T_1 : \{0, 1, \dots, 2^k - 1\} \times I \rightarrow \{0, 1, \dots, 2^k - 1\},$$

заданную так: $T_1(q, x) = T(\varphi^{-1}(q), x)$

Произвольно доопределим T_1 до функции T_2

Σ_T — произвольная комбинационная схема, реализующая функцию T_2

Например, для автомата \mathcal{A}

- ▶ функция T_1 всюду определена:

$$T_1(0, []) = 1$$

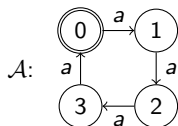
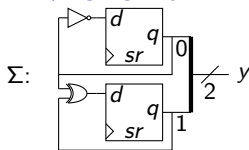
$$T_1(1, []) = 2$$

$$T_1(2, []) = 3$$

$$T_1(3, []) = 0$$

- ▶ Σ_T — любая схема, реализующая T_1 ;
например, состоящая из двух вентилях схемы Σ

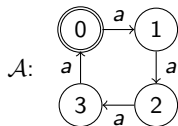
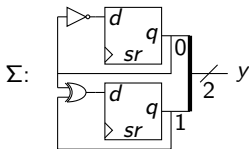
Автомат \rightarrow схема: итог



Итог: схемой, построенной по автомату обозначенным способом, реализуется поведение этого автомата
в схемной трактовке дискретного времени

В частности, автомат \mathcal{A} реализуется схемой Σ
(если два триггера Σ объединить в параллельный регистр ширины 2)

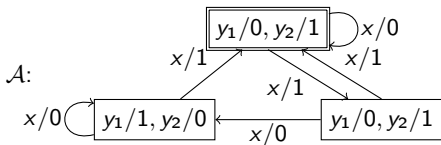
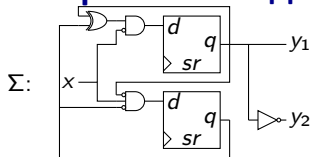
Автомат \rightarrow схема: итог



Замечание: в общем случае автомат \mathcal{A} , реализованный схемой Σ , и автомат \mathcal{A}' , соответствующий схеме Σ , — это разные автоматы:

- ▶ состояния \mathcal{A}' — числа, а состояния \mathcal{A} могут и не быть числами
- ▶ в автомате \mathcal{A}' может содержаться **строго больше** состояний, чем в автомате \mathcal{A}
 - ▶ если вдуматься во все отображения и построения, то можно легко заметить, что “лишние” состояния **недостижимы** в \mathcal{A}' из начального состояния

Пример напоследок



Автомат \mathcal{A} реализуется схемой Σ и соответствует схеме Σ

(с поправкой на только что высказанное *замечание*)

Выполнение \mathcal{A} : (состояния по часовой стрелке: q_0, q_1, q_2)

t	0	1	2	3	4	5	...
$x(t)$		0	1	0	0	1	...
$q(t)$	q_0	$\rightarrow q_0$	$\rightarrow q_1$	$\rightarrow q_2$	$\rightarrow q_2$	$\rightarrow q_0$...
$y(t)$	01	01	01	10	10	01	...

Соответствующее выполнение Σ :

