

Языки описания схем

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

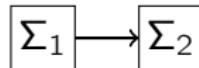
Блок К2

Кое-что ещё:
схемная реализация передатчика UART,
автоматы с таймерами

Лектор:
Подымов Владислав Васильевич
E-mail:
valdus@yandex.ru

ВМК МГУ, 2024/2025, осенний семестр

Вступление



Передача одного сообщения x по протоколу **UART** (самый простой вариант):



$$\nu = \frac{1}{T} \text{ — частота протокола}$$

В схемной реализации передачи сообщений по протоколу UART содержатся две независимые части:

- ▶ реализация **передатчика** (Σ_1)
- ▶ реализация **приёмника** (Σ_2)

Попробуем реализовать Σ_1 и Σ_2 как **синхронные схемы со сбросом**

UART: как реализовать передатчик

Рассмотрим простой вариант передатчика:

- ▶ Порты:
 - ▶ clk, rst — тактовый сигнал и асинхронный сброс
 - ▶ вход x ширины 8
 - ▶ вход $start$ ширины 1
 - ▶ выход tx ширины 1
 - ▶ $\text{Transmit Data} \xrightarrow{x?} \text{TxD} \rightarrow \text{Tx}$
- ▶ Это устоявшееся обозначение провода передачи данных по UART
- ▶ После сброса в tx выдаётся тишина (1), пока не будет прочитано значение $start = 1$
- ▶ После чтения значения $start = 1$ передатчик
 - ▶ сохраняет и выдаёт в tx сообщение x , игнорируя значения $start$, и после этого
 - ▶ сбрасывается

Попробуем придумать схему такого передатчика —
может быть, не самую лучшую, но какую-нибудь попроще

UART: как реализовать передатчик

Операционный автомат

Основное, что должен уметь делать операционный автомат с [данными](#):

- ▶ сохранять значение со входа x , и
- ▶ **последовательно** выдавать в tx биты сообщения: начинающий бит, затем биты сохранённого значения, и затем завершающий бит

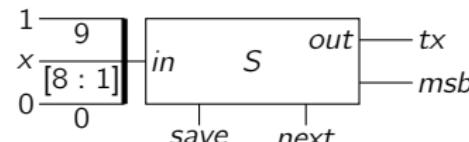
Схема, умеющая сохранять значение и последовательно выдавать его разряды, уже встречалась в практической части курса под названием [«сериализатор»](#)

UART: как реализовать передатчик

Операционный автомат

Используем в операционном автомате такой сериализатор S :

- ▶ Порты:
 - ▶ вход in ширины 10 (все биты сообщения)
 - ▶ входы $save$ и $next$ ширины 1
 - ▶ выходы out , msb ширины 1
- ▶ В сериализаторе хранятся значение v ширины 10 (сообщение) и значение i ширины 4 (номер передаваемого разряда)
- ▶ $out = v[i]$ (если $i > 9$, то $out = 1$)
- ▶ $msb = 1 \Leftrightarrow i = 9$
- ▶ Сброс \Rightarrow сохраняется значение $i = 10$
- ▶ $save = 1 \Rightarrow$ сохраняются значения $v = in$ и $i = 0$
- ▶ $save = 0$, $next = 1 \Rightarrow v$ не изменяется, i увеличивается на 1
- ▶ $save = next = 0 \Rightarrow v$ и i не изменяются

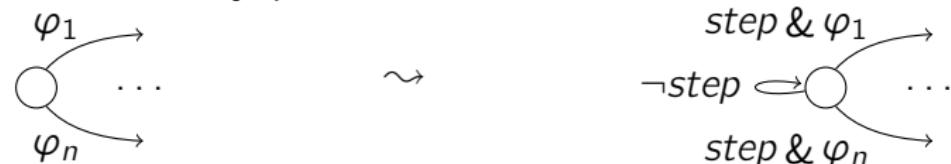


Автоматы с таймерами

Напоминание: в схеме, соответствующей автоматау (как символьному, так и «обычному»), заданные значения выходных переменных (выходной символ) выдаются ровно один такт

Иногда при разработке автоматов возникает потребность ослабить это ограничение и заставить автомат оставаться в состоянии, выдавая один и тот же символ некоторое заранее заданное число тактов

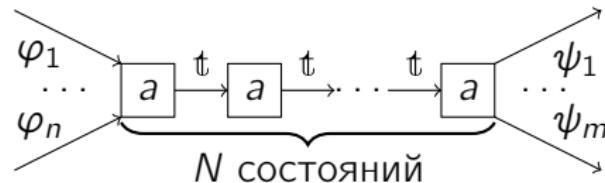
Чтобы учесть эту потребность, можно разработать автомат без **ограничения одного такта** и слегка подправить его переходы при помощи добавочного управляющего сигнала:



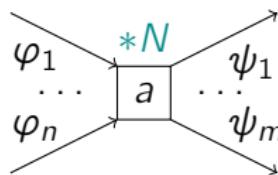
Типовая и нередко встречающаяся подсхема, реализующая такой сигнал — это **таймер**, отсчитывающий заданное число тактов. Поэтому имеет смысл обсудить, как может выглядеть типовая реализация символьного автомата, снабжённого таймерами для «растягивания» состояний на заданное число тактов.

Автоматы с таймерами

Фрагмент автомата вида



будем изображать так:

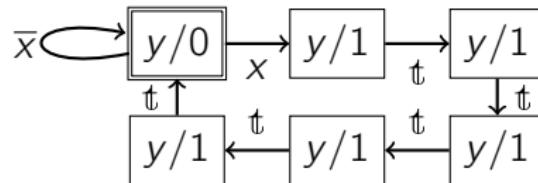


Такое сокращение можно понимать как состояние, в котором автомат должен находиться **ровно N тактов** вместо одного, после чего выполнение переходов продолжается обычным образом

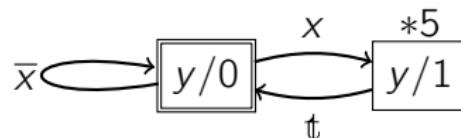
Для единообразия положим, что
по умолчанию каждому состоянию приписана метка «*1»

Автоматы с таймерами

Пример: автомат



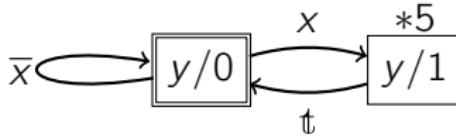
можно изобразить и так:



Нижнее изображение можно трактовать как автомат с **двумя** состояниями:

- ▶ начальное: в нём автомат находится 1 такт
- ▶ неначальное: в нём автомат находится 5 тактов

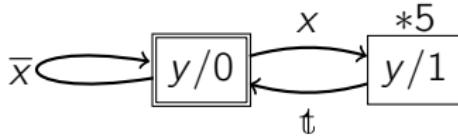
Автоматы с таймерами



Схемную реализацию такого доразмеченного автомата можно устроить так:

- ▶ Добавим в автомат один таймер, способный хранить чи́сла до $(N - 1)$ включительно для наибольшего N среди всех $\{*N\}$
- ▶ При сбросе и выполнении явно изображённого перехода в состояние с меткой $*N$ в таймере сохраняется значение $(N - 1)$
- ▶ Сохранённое значение уменьшается каждый такт, пока не достигнет ноля, и переходы автомата не выполняются
- ▶ Если в таймере сохранено значение 0 во время переднего фронта тактового сигнала, то выполняется следующий явно изображённый переход

Автоматы с таймерами



Как это может выглядеть:

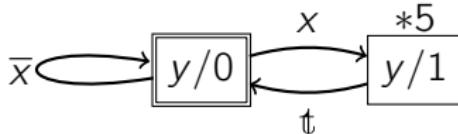
```
// Параметры и точки
localparam S_LEFT = 0, S_RIGHT = 1;
reg state; wire next_state;
reg [2:0] timer, next_timer; // Текущее значение таймера и грядущее значение (N-1)

// Регистр состояния и таймера
always @(posedge clk)
  if(rst) begin
    state <= S_LEFT;
    timer <= 0; // Сброс => сохраняем (N-1) для начального состояния
  end else if(timer == 0) begin // В таймере 0 => выполняем переход
    state <= next_state;
    timer <= next_timer; // Сохраняем новое значение (N-1)
  end else timer <= timer - 1; // В таймере не 0 => обратный отсчёт

// Функции выхода и переходов
assign y = (state == S_RIGHT);
assign next_state = ((state == S_LEFT && x) ? S_RIGHT : S_LEFT);

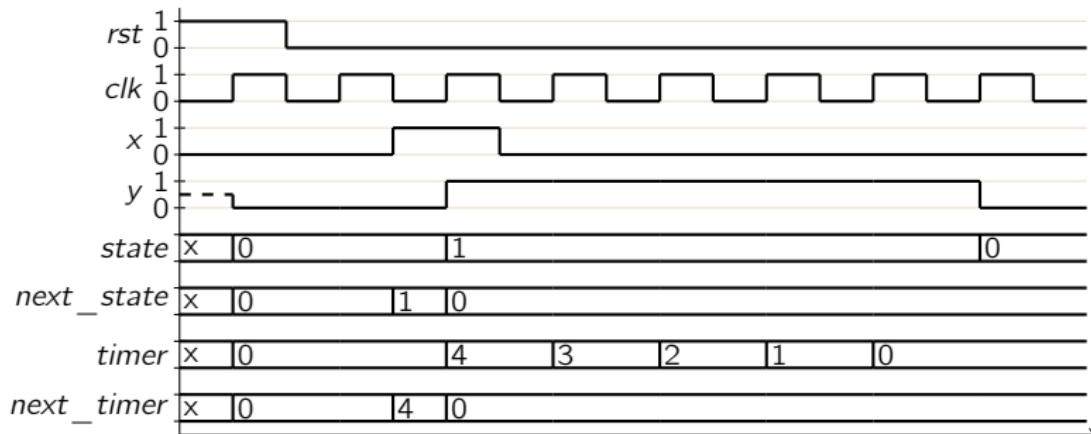
// Новое значение (N-1)
always @* begin
  next_timer = 0; // По умолчанию (N-1) - это 0
  if(next_state == S_RIGHT) next_timer = 4; // (N-1) не по умолчанию
end
```

Автоматы с таймерами



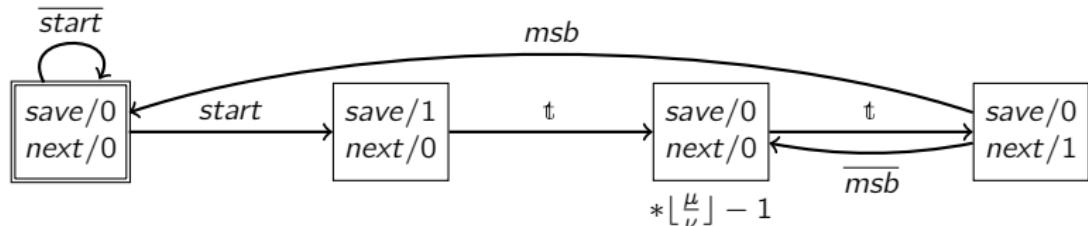
```
// Регистр состояния и таймер
always @ (posedge clk)
  if (rst) begin
    state <= S_LEFT;
    timer <= 0;
  end
  else if (timer == 0) begin
    state <= next_state;
    timer <= next_timer;
  end
  else timer <= timer - 1;
// Функции выхода и переходов
assign y = (state == S_RIGHT);
assign next_state = ((state == S_LEFT && x) ? S_RIGHT : S_LEFT);
// Новое значение (N-1)
always @* begin
  next_timer = 0;
  if (next_state == S_RIGHT) next_timer = 4;
```

Пример схемного выполнения такого автомата с таймером:



UART: как реализовать передатчик

Управляющий автомат:



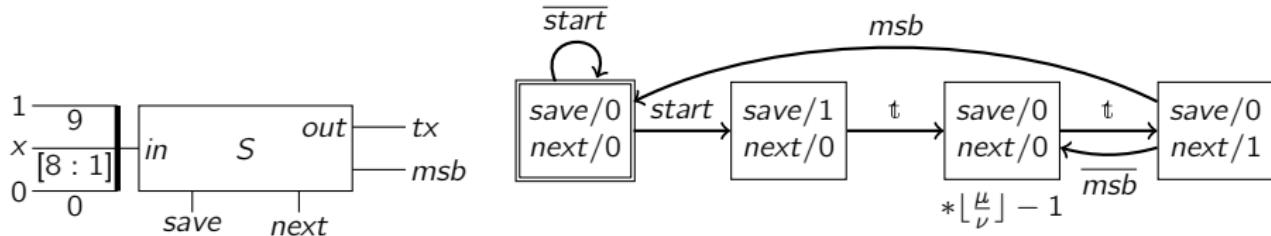
Состояния слева направо:

(μ — частота передатчика)

1. Выдаём в tx тишину, не меняем состояние сериализатора
2. Готовимся к пересылке: при переходе к следующему такту сохраняется сообщение (1×0), и в tx выдаётся 0-й разряд
 - ▶ Появился лишний такт между « $start = 1$ » и началом передачи — для простоты оставим всё как есть
3. Выдаём бит сообщения приблизительно $(T - \frac{1}{\mu})$ единиц времени
4. Последний такт выдачи бита сообщения (оставшийся период $\frac{1}{\mu}$):
 - ▶ Если выдавался последний бит значения сериализатора, то завершаем передачу
 - ▶ Иначе начинаем выдачу следующего бита

UART: как реализовать передатчик

Итог:



Эту схему можно легко адаптировать и к другим вариантам протокола:

- ▶ Частота протокола: учтена в числе $\frac{\mu}{\nu}$
- ▶ Ширина пересылаемого значения: выбрать подходящую ширину S
- ▶ Порядок пересылки разрядов:
подходящим образом соединить шину x с портом in
- ▶ Проверка корректности передачи:
расширить S требуемыми разрядами
и соединить их с требуемыми значениями
(1, сумма разрядов x , отрицание суммы разрядов x)