Языки описания схем

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

Блок K3

Кое-что ещё:
схемная реализация приёмника UART

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

ВМК МГУ, 2023/2024, осенний семестр

UART: как реализовать приёмник

Схема передатчика оказалась простой: всё, что она должна уметь —

- начинать передачу согласно заданному сигналу
- сохранять значение на входе в начале передачи
- поразрядно выдавать сообщение
  с заданным числом тактов на разряд

Приём сообщения устроен более сложно:

- часто́ты и фазы тактовых сигналов передатчика и приёмника независимы и
  никак не могут быть синхронизированы внутри приёмника
- сообщение должно корректно приниматься с учётом всех
  погрешностей и независимо от сочетания частот и фаз

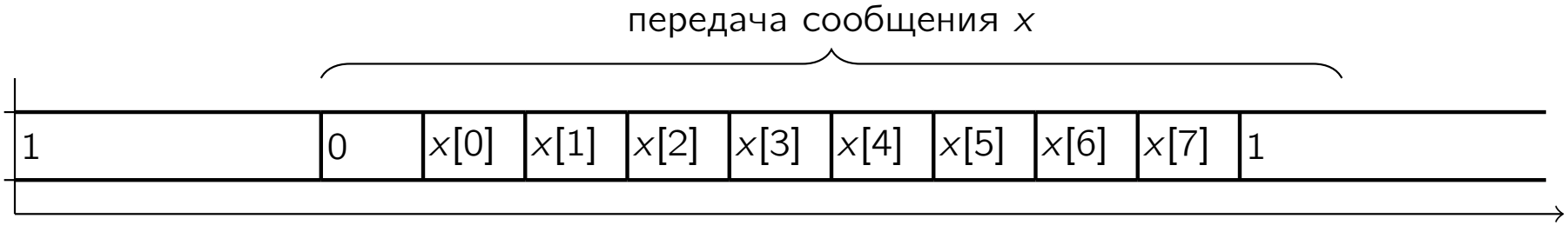
UART: как реализовать приёмник

Рассмотрим *простой* вариант приёмника:

- Порты:
  - *clk*, *rst* — тактовый сигнал и асинхронный сброс
  - выход *x* ширины 8
  - выход *busy* ширины 1
  - вход *rx* ширины 1
    - Receive Data $\xrightarrow{x?}$ RxD $\rightarrow$ Rx
      Это устоявшееся обозначение прóвода приёма данных по UART
- *busy* $= 1 \Leftrightarrow$ сообщение принимается
- После приёма сообщения и до начала следующего приёма в *x* выводится принятое число

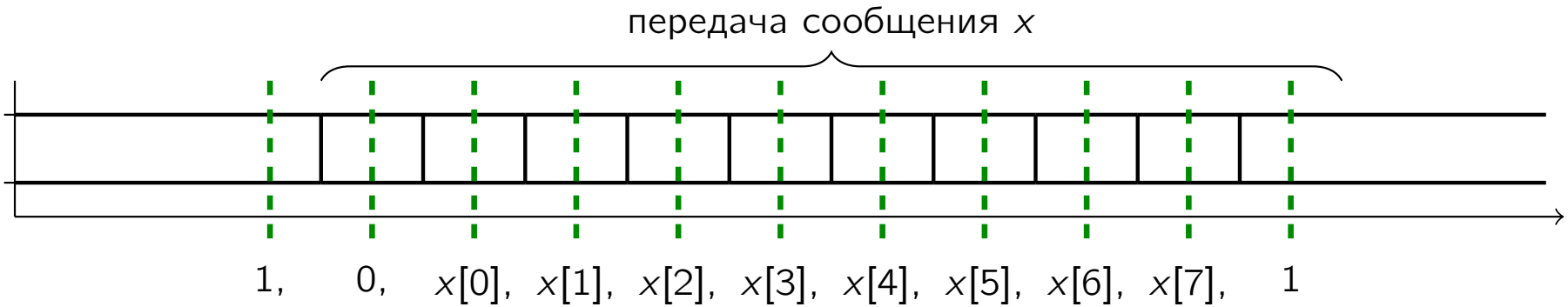
Попробуем придумать схему такого приёмника —
может быть, не самую лучшую, но какую-нибудь попроще

UART: как реализовать приёмник



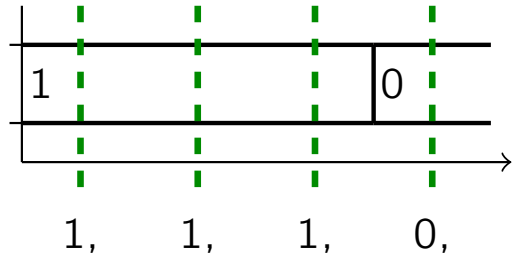
Приёмник, как и любая синхронная схема, может читать значения со входов и изменять состояние только в моменты выбранных фронтов тактового сигнала

Как следствие, в приёмнике должно выполняться подходящее семплирование (дискретизация) входа *rx*: замена непрерывного сигнала на дискретную последовательность цифровых значений этого сигнала в выбранные моменты времени



UART: как реализовать приёмник

Начало приёма сообщения



Пусть μ — частота приёмника, и $\tau = \frac{1}{\mu}$

Если приёмник считывал со входа тишину (1), и затем по очередному фронту тактового сигнала в момент t считал значение 0, то он может быть уверен в том, что

- передача сообщения началась, и
- момент начала передачи сообщения лежит в интервале $[t - \tau, t]$

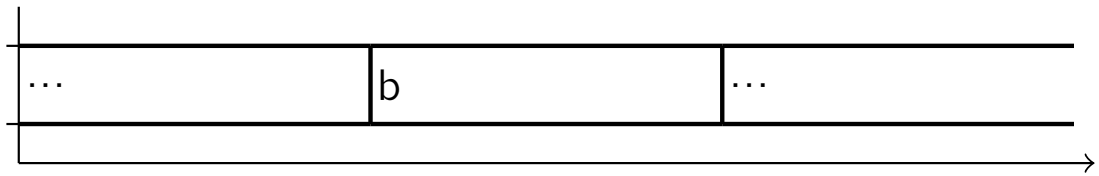
Назовём фронт, по которому считано такое значение 0, нолевым, и начнём с него отсчёт фронтов

Основная задача приёмника после нолевого фронта — «аккуратно» посчитать фронты для приёма всех битов данных

UART: как реализовать приёмник

Приём очередного бита

Рассмотрим *идеальную* пересылку одного бита сообщения (b):



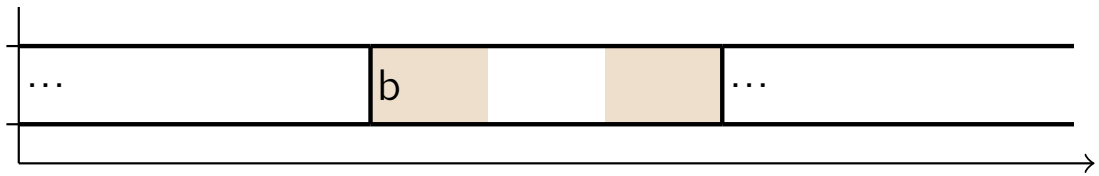
Предположим, что известно точное время t начала пересылки сообщения

Тогда можно точно вычислить *идеальное* время начала (ℓ) и конца (r) пересылки бита b, отталкиваясь от t и частоты протокола

В реальности длительность пересылки каждого бита колеблется в пределах некоторой погрешности, и погрешность может накапливаться с каждым следующим битом

UART: как реализовать приёмник

Приём очередного бита



Из-за погрешностей в интервале пересылки каждого бита появляются «серые зоны»: интервалы $[\ell, \ell + \Delta]$ и $[r - \Delta, r]$, где Δ — наибольшая возможная накопленная погрешность времени пересылки бита

Попытка считать значение текущего бита из серой зоны может привести к тому, что из-за накопленной погрешности фактически считается значение предыдущего или следующего бита

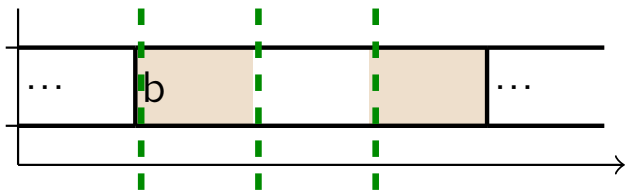
Семплирование сообщения приёмником должно быть устроено так, чтобы значение каждого бита читалось в *идеальном* интервале, но вне серой зоны

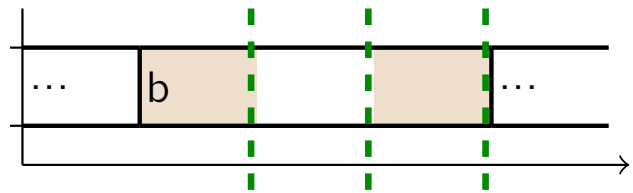
UART: как реализовать приёмник

Приём очередного бита

Положим для примера, что частота приёмника в три раза выше частоты протокола

Тогда в каждом *идеальном* интервале пересылки каждого бита содержится ровно три фронта с такими граничными случаями их расположения (в зависимости от точного времени начала передачи сообщения):





Если ширина серой зоны с каждой стороны меньше трети периода протокола, то средний фронт обязательно находится вне серой зоны

Этот средний фронт для бита $x[i]$ имеет номер $3 \cdot i + 4$

UART: как реализовать приёмник

Приём очередного бита

Немного обобщим: если частота приёмника μ в N раз больше частоты протокола ν, то фронт с номером $N \cdot (i+1) + \lfloor \frac{N}{2} \rfloor$ —

- либо самый близкий к середине интервала передачи $x[i]$, если N нечётно,
- либо один из двух фронтов, самых близких к середине этого интервала, если N чётно

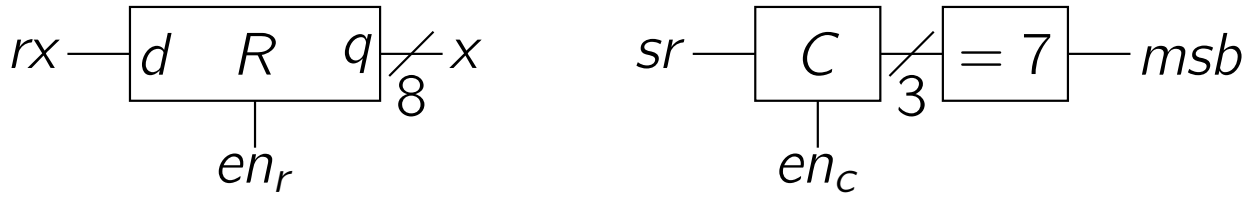
Окончательно обобщим: если μ не делится нацело на ν, то формула для номера среднего фронта бита $x[i]$ устроена сложнее, но если частота μ достаточно высока, то можно считать, что она *приблизительно* в $\lfloor \frac{\mu}{\nu} \rfloor$ раз больше частоты ν, и отнести *реальное* расхождение в погрешность

Итог: бит $x[i]$ можно семплировать по фронту с номером

$$\lfloor \tfrac{\mu}{\nu} \rfloor \cdot (i+1) + \lfloor \tfrac{\mu}{2 \cdot \nu} \rfloor$$

UART: как реализовать приёмник

Операционный автомат



R — синхронный сдвиговый регистр ширины 8 с включением:

- на выход выдаётся сохранённое значение
- $en_r = 0 \Rightarrow$ сохранённое значение не изменяется
- $en_r = 1 \Rightarrow$ сохранённое значение сдвигается на один разряд в сторону младшего бита, и в старший бит записывается текущее значение d

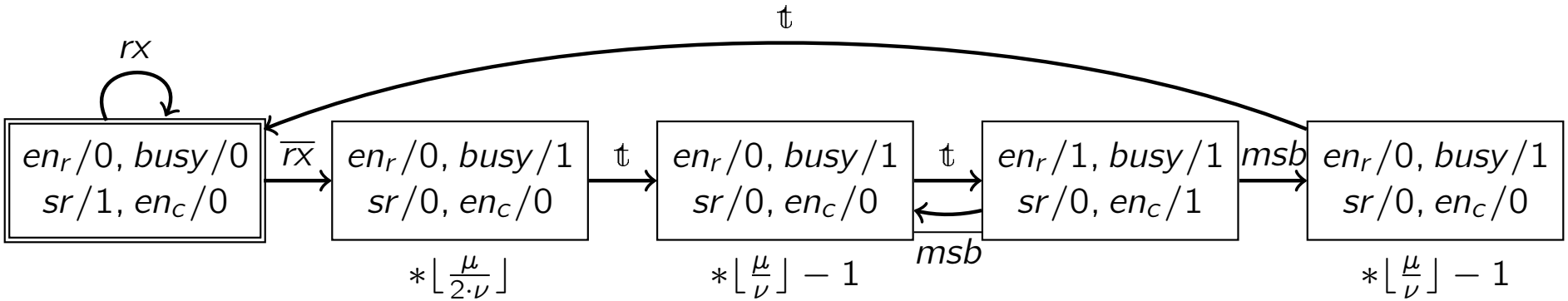
C — синхронный счётчик ширины 3, отсчитывающий число принятых разрядов данных:

- на выход выдаётся сохранённое значение
- $sr = 1 \Rightarrow$ сохраняется значеие 0
- $sr = 0$, $en_c = 1 \Rightarrow$ сохранённое значение увеличивается на 1

«$= 7$» — комбинационная схема, выход которой равен 1 $\Leftrightarrow$ вход равен 7

UART: как реализовать приёмник

Управляющий автомат

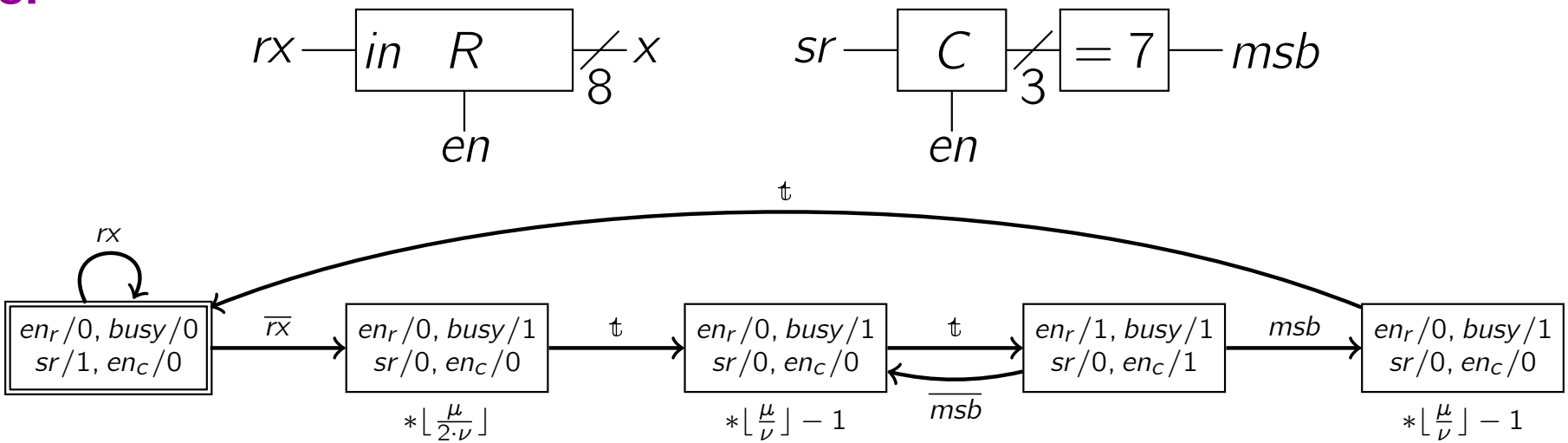


Состояния слева направо:

1. Тишина, приёма нет
2. Начался приём, ждём до среднего фронта начинающего бита
3. Ждём такта перед средним фронтом следующего бита: перед этим тактом выполняем переход
4. Следующий фронт — средний:
   - сдвигаем состояние R, увеличиваем счётчик C
   - переходим к приёму следующего бита (либо данных, либо завершающего)
5. Ждём до середины завершающего бита, чтобы избежать «ложного» начала приёма

UART: как реализовать приёмник

Итог



Эту схему можно легко адаптировать и к другим вариантам протокола:

- Частота протокола: учтена в числе $\frac{\mu}{\nu}$
- Ширина пересылаемого значения:
  поправить ширину R и C и число в подсхеме «$= M$»
- Порядок пересылки разрядов:
  подходящим образом соединить выход R с портом x
- Проверка корректности передачи:
  добавить подсхему суммирования принятых битов,
  увеличить длительность правого состояния управляющего автомата