

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### ПЛАН

По дисциплине: Разработка ПО для встроенных систем

Тема занятия: Анализ и синтез триггера

Цель занятия: изучение RS и D-триггера

Количество часов: 2

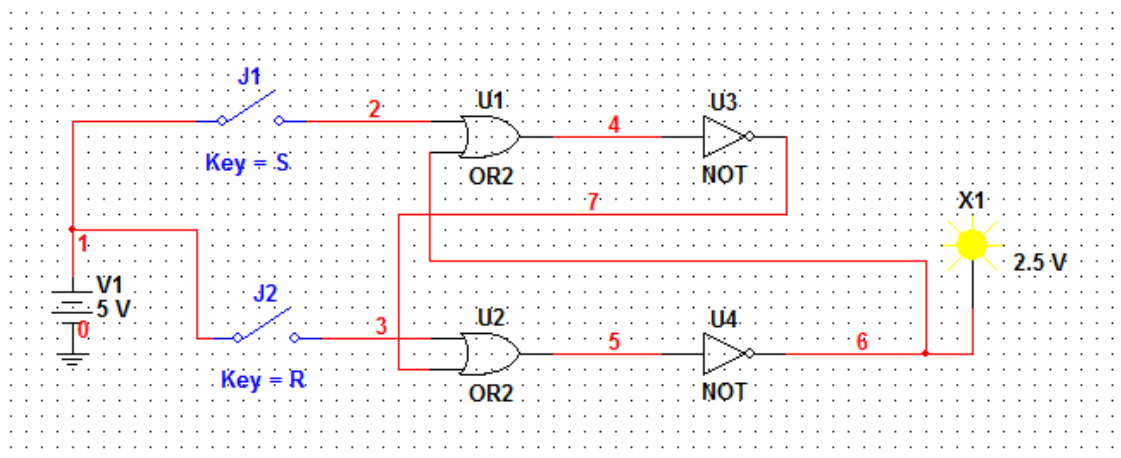
### Содержание работы

Логические элементы AND, OR и NOT, являются базовыми элементами для построения сложных логических схем. Такие схемы называются составными.

Ниже мы рассмотрим триггеры, построенные из логических элементов. Триггером называется электронная схема, которая может принимать два устойчивых состояния 0 или 1 (на выходе) при подаче коротких импульсов на вход (входы). Устойчивое состояние триггера может сохраняться сколь угодно долго. Триггеры используются как элементы оперативной памяти или как делители частоты входных сигналов.

### RS триггер

Аббревиатура RS означает, что триггер переключается из одного состояния в другое (0 или 1 на выходе) при подаче на его входы кратковременных импульсов. Вход R - reset (сброс) предназначен для установки триггера в исходное состояние, когда на выходе присутствует 0. Вход S - set (установка) получив кратковременный импульс, устанавливает триггер в состояние 1 на выходе. В простейшем случае такой триггер состоит из двух двухвходовых элементов ИЛИ и двух элементов НЕ. Для исследования свойств RS триггера следует собрать схему, показанную на рисунке.

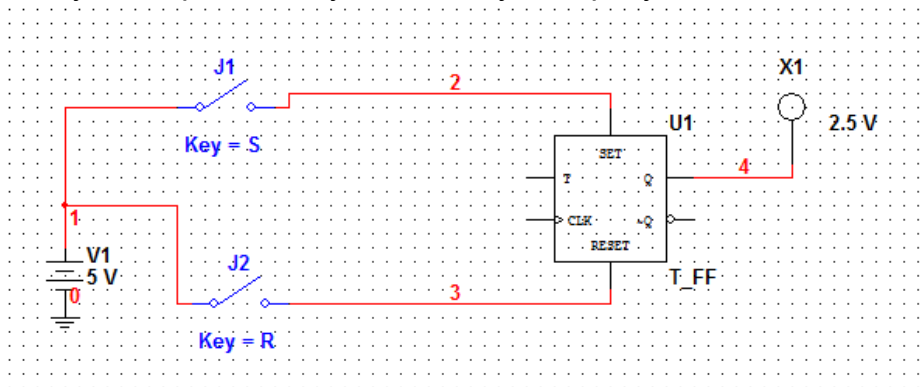


Верхнему переключателю следует присвоить "горячую клавишу" S, а нижнему клавишу R. При первом включении схемы, индикатор будет мигать. Это связано с тем, что входы и выходы логических элементов связаны между собой. Если проследить логику работы данной схемы (смотрите предыдущий раздел), то будет очевидно, что на выходах инверторов постоянно меняется состояние 0, 1, 0, 1 : и так далее, то есть при включении схемы возникает неоднозначность состояния.

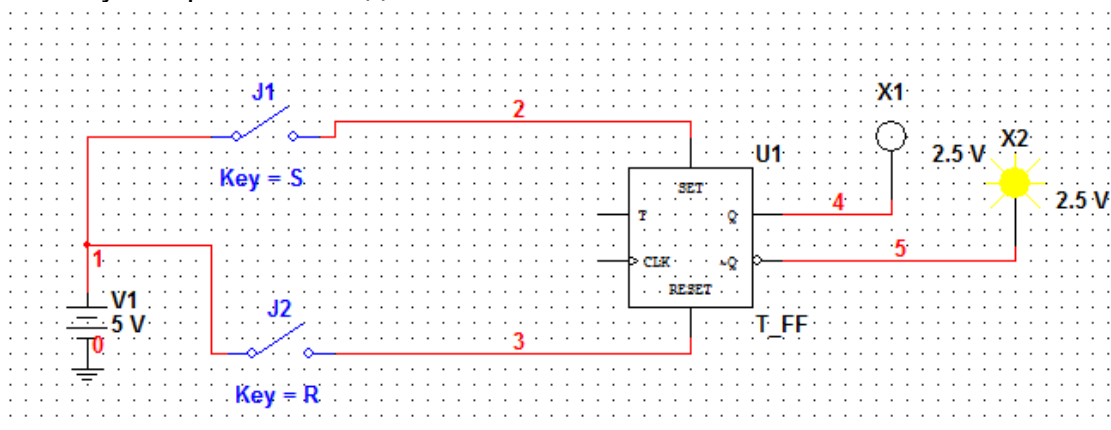
Для того чтобы установить схему в исходное состояние, предназначен переключатель R (Reset). Следует включить и тут же выключить этот переключатель, дважды нажав клавишу R. Схема установилась в устойчивое состояние, и индикатор погас. В вычислительной технике всем известна кнопка Reset на компьютере, которая и выполняет функции установки системы в исходное состояние. Попробуем переключить триггер в другое состояние (состояние 1). Для этого следует включить и выключить переключатель S.

Индикатор загорится, и будет гореть даже при выключенном переключателе S. Триггер перешёл в устойчивое состояние 1.

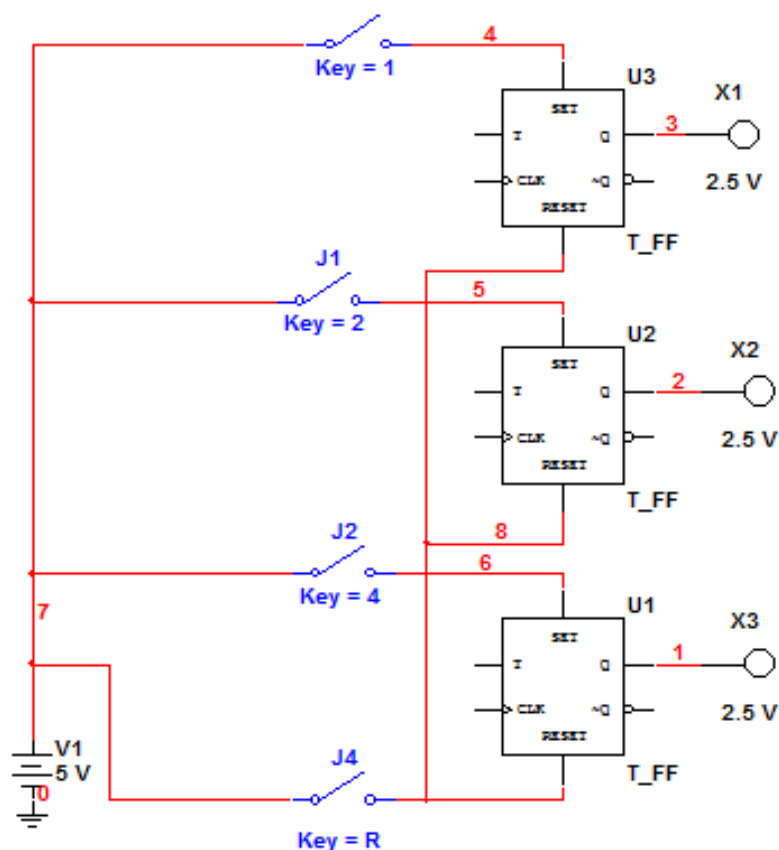
Для того чтобы не проектировать схемы с использованием триггеров, собирая их из логических элементов, в электротехнике предусмотрены интегральные схемы, которые выполняют функции различных триггеров. Причём, в этих схемах уже предусмотрены дополнительные элементы, которые устраняют неоднозначности при работе триггера. Рассмотрим включение типового RS триггера. Для этого следует собрать схему, показанную на рисунке.



При включении питания индикатор не горит, в схеме триггера предусмотрен автоматический сброс при включении питания. Включим и выключим переключатель S, индикатор загорелся и схема находится в устойчивом состоянии, приняв значение 1. Для переключения в состояние 0, следует включить и выключить переключатель R. У триггера, кроме прямого выхода (который на схемах обозначается буквой Q, сеть ещё дополнительный инверсный выход (обозначается Q с чертой), на котором сигнал противоположен по значению сигналу на прямом выходе.

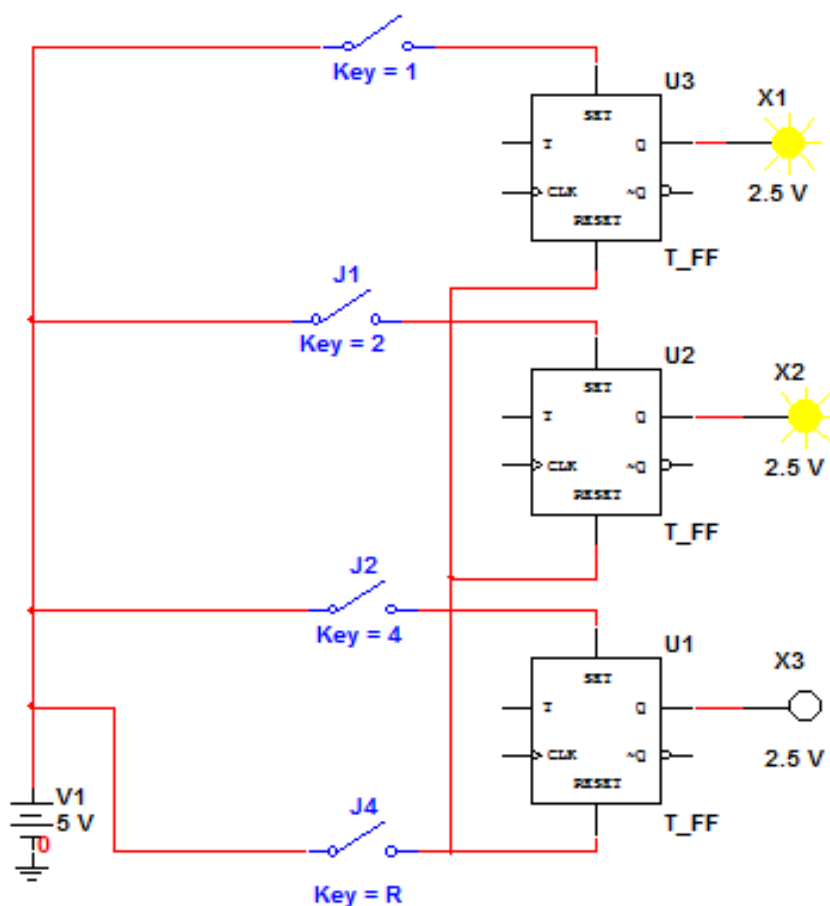


Рассмотрим на примере, как сделать запоминающее устройство, которое будет хранить числа в двоичном коде. Для этого следует собрать схему, показанную на рисунке.



Суть хранения чисел в памяти состоит в том, что бы записать в определённый триггер значение 0 или 1. У нас на схеме три триггера. Верхний триггер будет соответствовать младшему разряду двоичного числа, а нижний - старшему разряду. Пользуясь двоичной кодировкой чисел, мы можем записать максимальное десятичное число  $1 + 2 + 4 = 7$ . Увеличивая число триггеров, можно создавать ячейки памяти с большим объёмом хранения цифровой информации. Например, современный компьютер содержит модули памяти, состоящие из ячеек по 64 триггера (64 Бит).

Переключатели следует настроить на переключение, так как показано на рисунке - 1, 2, 4. Переключатель R - общий сброс для всех триггеров. Например, если мы хотим записать число 5, то нужно подать импульсы на триггеры через переключатели 1 и 4. Если хотим записать другое число, например 3, то нужно подать импульс Сброс (R) и подать импульсы через переключатели 1 и 2 (смотрите рисунок).



Условия работы триггера

Входы			Выход	
R	S	$q_t$	Состояние $q_{t+1}$	Режим
0	0	0	0	Хранение
0	0	1	1	Хранение
1	0	0	0	Установка 0
1	0	1	0	Установка 0
0	1	0	1	Установка 1
0	1	1	1	Установка 1
1	1	0	?	Запрещенное состояние
1	1	1	?	Запрещенное состояние

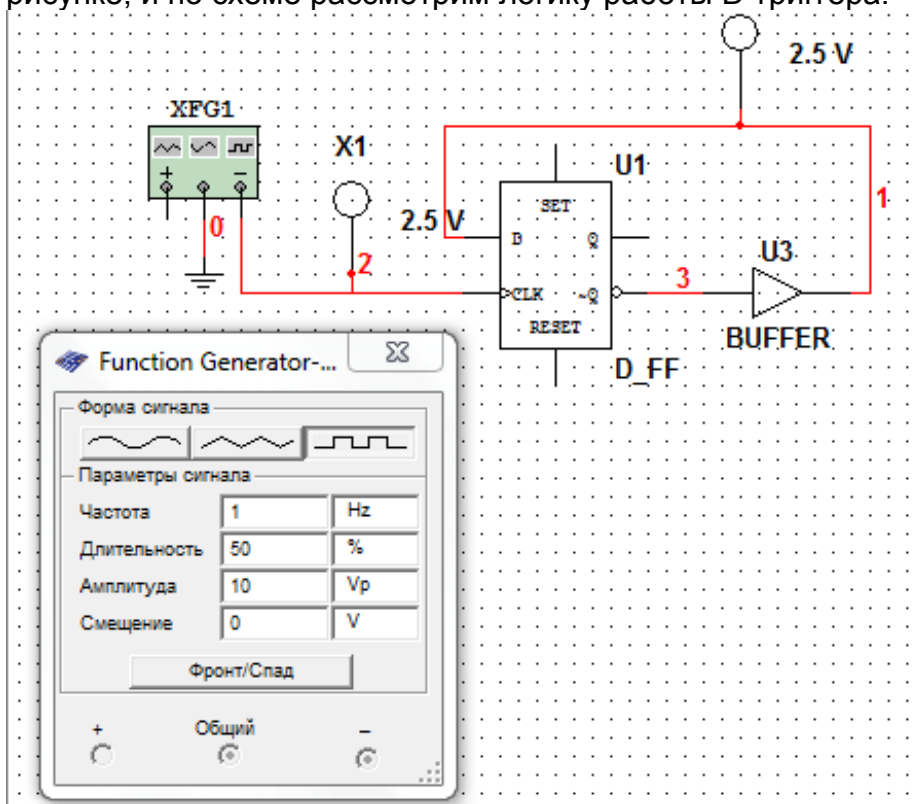
Прописные буквы в названиях триггеров обозначают:

- R (Reset — сброс) — вход установки триггера в нулевое состояние,  $Q = 0$
- S (Set — установка) — вход установки триггера в единичное состояние,  $Q = 1$
- T (Toggle — релаксатор) — счетный вход триггера
- J (Jerk — внезапное включение) — вход установки JK-триггера в единичное состояние,  $Q = 1$
- K (Kill — внезапное выключение) —  $Q = 0$

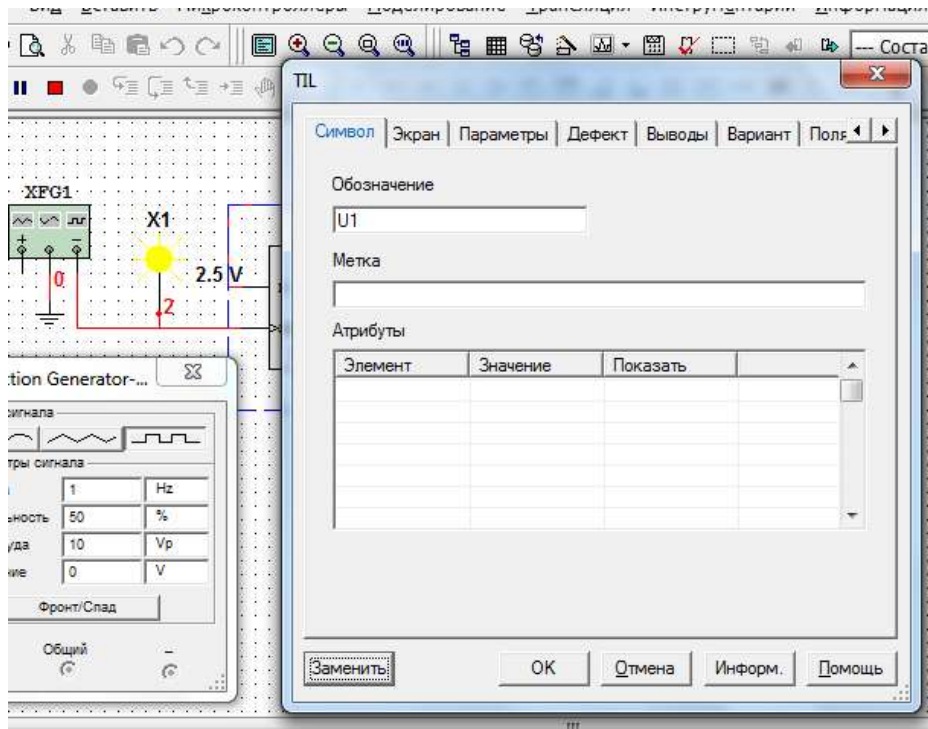
- D (Delay — задержка) — вход установки триггера в единичное или нулевое состояние на время, равное одному такту
- C (Clock — часы) — вход синхронизирующих тактовых импульсов

## D триггер

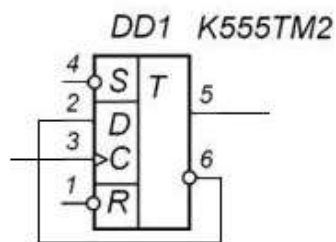
Часто, в реальных электронных приборах требуются триггеры, которые изменяют своё состояние при подаче импульсов на один вход. В этом случае триггер работает по следующей схеме: первый импульс устанавливает триггер в 1, следующий импульс устанавливает триггер в 0, следующий импульс устанавливает в 1 и так далее. Очевидно, что частота повторения импульсов на выходе триггера в два раза ниже частоты на входе, то есть, такой триггер можно использовать для деления частоты пополам. Создадим схему, показанную на рисунке, и по схеме рассмотрим логику работы D триггера.



Присваивать обозначения элементам схемы можно нажав правую кнопку мыши и выбрав в локальном меню Component Properties: На панели настроек элемента, в поле Label, следует ввести обозначение элемента.

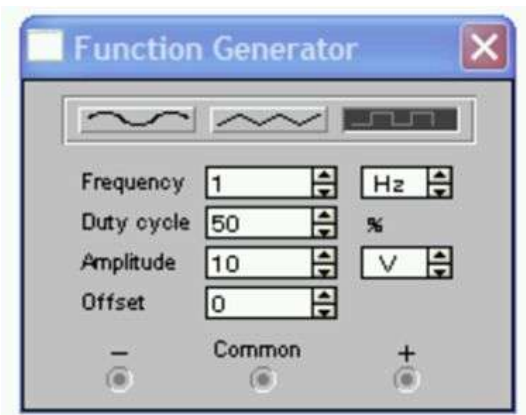


Сам D триггер (на схеме обозначен как D\_FF), имеет два входа D и C. Вход C предназначен для приёма последовательности импульсов (тактовый вход), а вход D определяет в какое состояние должен переключиться триггер - если на входе 1,



Реальный D триггер

то при очередном импульсе на входе C триггер переключится в состояние 1, а если на входе D состояние 0, то при очередном импульсе на входе C триггер переключится в состояние 0. Для того чтобы триггер мог работать в динамическом режиме, нужно соединить инверсный выход триггера с входом D. Так как мы работаем с идеальными моделями триггеров, то непосредственно соединить выход со входом нельзя и нужно использовать буфер - на схеме элемент BUFFER. В реальных электронных триггерах допускается прямое соединение входа и выхода.

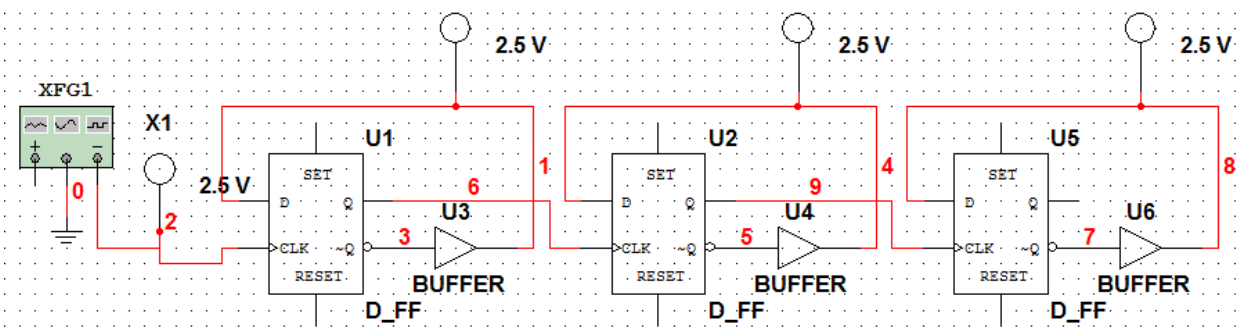


Рассмотрим остальные элементы нашей схемы. Функциональный генератор предназначен для подачи прямоугольных импульсов на вход C триггера. По умолчанию функциональный генератор настроен на генерацию синусоидальных сигналов, поэтому нужно произвести его настройку. Следует двойным щелчком мыши развернуть панель генератора и нажать кнопку прямоугольных импульсов.

Поле Frequency (частота), задаёт частоту следования импульсов. Частоту можно оставить 1 герц (одно колебание в секунду). Поле Duty cycle (скважность импульсов), задаёт длительность импульса (в процентах) от длины периода импульса (можно оставить 50%). Поле Amplitude (амплитуда), задаёт амплитуду импульса (это значение можно не менять, хотя

стандартная амплитуда цифрового сигнала считается 5 вольт). Вывод со значком + является сигнальным выходом, он подключается ко входу С триггера, а вывод Common следует заземлить.

Итак, схема собрана, следует её включить и убедиться, что индикатор на входе триггера мигает в два раза чаще, чем индикатор, подключенный к выходу триггера. Собрав цепочку из таких триггеров можно делить частоту на 2, 4, 8, 16, 32 и так далее раз. Например, цепочка из 2 триггеров делит частоту на 4, а из трёх триггеров на 8. Добавим в схему ещё два триггера и убедимся, что это именно так.



Для чего это нужно? В технике деление частоты используется для задания высокой точности частоты следования импульсов, например в электронных часах. Так, типовые кварцевые часы имеют высокую точность хода благодаря применению генератора импульсов с кварцевой стабилизацией частоты. Частота генератора равна 32768 герц. Эта частота делится цепочкой из 15 триггеров на 32768, то есть на выходе цепочки получаются импульсы, следующие с частотой 1 импульс в секунду. Эти импульсы перемещают секундную стрелку часов на одно деление. Предположим, что по каким либо причинам частота генератора немного изменилась (температурные факторы, нестабильность кварцевого резонатора и тому подобное) и стала равной не 32768 герц, а 32800 герц. Разделим эту частоту на делительный коэффициент триггеров, который равен 32768,  $32800 / 32768 = 1,000977$ . То есть, мы видим, что частота управления секундной стрелкой изменилась всего на 0,000977 секунды. За счёт этого достигается высокая точность хода часов.

Так же делители частоты используются для создания всевозможных таймеров, электронных часов с цифровой индикацией и тому подобное.

*D-триггер* имеет один информационный вход *D* (*data* – данные) и один счетный вход *C*. Информация с входа *D* записывается в триггер по положительному перепаду импульса на счетном входе и сохраняется до следующего положительного перепада. Кроме счетного *C* и информационного *D* входов, у триггера есть два асинхронных установочных входа *R* и *S*. Установочные входы приоритетные. Активный уровень сигнала на входе *S* устанавливает триггер в состояние единица ( $Q=1$ ), а на входе *R* в состояние ноль ( $Q=0$ ), независимо от сигналов на остальных входах.

Условное обозначение *D*-триггера с диаграммами входных и выходных сигналов приведено на рис. 29.

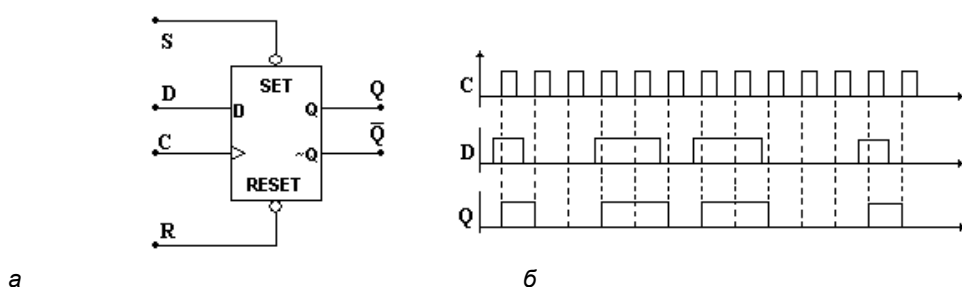


Рис. 29. *D*-триггер: а – условное обозначение; б – временные диаграммы

**Задание**

1. Собрать электрическую схему, представляющую RS-триггер. Предоставить скриншот схемы.
2. Собрать схему, используя готовый RS-триггер. Предоставить скриншот схемы.
3. Закодировать с помощью RS-триггера, содержащего 4 триггера, число 14. Предоставить скриншот схемы.
4. Собрать схему, используя готовый D-триггер. Предоставить скриншот схемы.
5. Уменьшить частоту мигания выходного индикатора в 4 раза, используя D-триггеры. Предоставить скриншот схемы.
6. Подписать все схемы.