

Язык VHDL. Типы данных.

Типы данных: Boolean, Integer, STD_LOGIC и др.

Тип данных Boolean имеет 2 состояния: 0 - ноль, 1 - единица.

Один из основных типов STD_LOGIC имеет 9 состояний:

0 - ноль, 1 - единица, Z - третье состояние,

X - неопределенное состояние и др.

Алфавит языка VHDL

A, B, , Z, a, b, , z, 0, 1, , 9, _ .

Прописные и строчные буквы не различаются.

Признаком комментария являются два символа тире («--»).

Логические операторы

AND, OR, NAND, NOR, XOR, NOT.

Оператор конкатенации (объединения) - &.

Объекты языка VHDL

`constant` (константа), `variable` (переменная), `signal` (сигнал).

Декларация константы:

```
constant MAX1 : integer := 10;
```

Декларация сигнала:

```
signal x1: std_logic;
```

```
signal ct: std_logic_vector(3 downto 0):=x"0";
```

Для указания системы счисления для констант могут быть применены спецификаторы:

- В – двоичная система счисления, например `b"0011"`
- О – восьмеричная система счисления, например `O"3760"`
- Н – шестнадцатеричная система, например `h"f6a0"`.

Операторы языка VHDL

Последовательные операторы: if, case и др.

Параллельные операторы: process и др.

Оператор присваивания:

```
x1 <= '1';
```

оператор: if

```
if r = '1' then -- пример 1
    ct <= 0;    -- r = 1
elsif e = '1' then
    ct <= ct + 1; -- r = 0, e = 1
else
    ct <= ct;   -- r = 0, e = 0
end if;
```

```
if e='1' then -- пример 2
    ct <= ct+1;
end if;
```

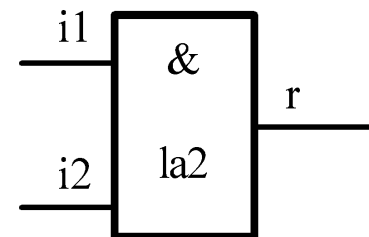
```
if e='1' then -- пример 3
    ct <= ct+1;
else
    ct <= ct;
end if;
```

Схема вентиля на языке VHDL

```
library IEEE;    -- библиотеки
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity la2 is -- внешние контакты
  Port (i1: in std_logic;
        i2: in std_logic;
        r: out std_logic);
end la2;

Architecture Behavioral of la2 is -- внутренние схемы
begin
  r <= i1 and i2;    -- оператор присваивания
end Behavioral;
```



Вентиль 2И

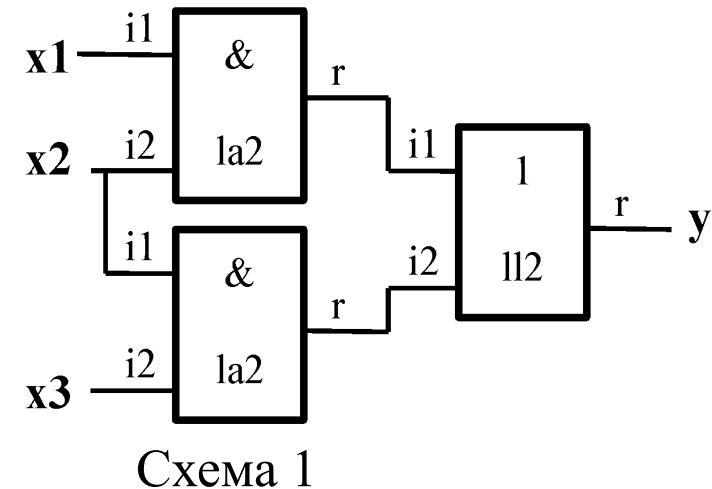
Комбинационная схема на языке VHDL

Потоковое описание

```
library IEEE;      -- библиотеки
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity p02 is -- внешние контакты
  Port (x1: in std_logic;
        x2: in std_logic;
        x3: in std_logic;
        y: out std_logic);
end p02;

Architecture Behavioral of p02 is -- внутренние схемы
  -- и связи (тело)
  y <= (x1 and x2) or (x2 and x3);
end Behavioral;
```



Структурное описание, главный модуль.

```
library IEEE;  
...  
entity sh2 is  
  Port (x1,x2,x3:in std_logic;  
        y : out std_logic);  
end sh2;
```

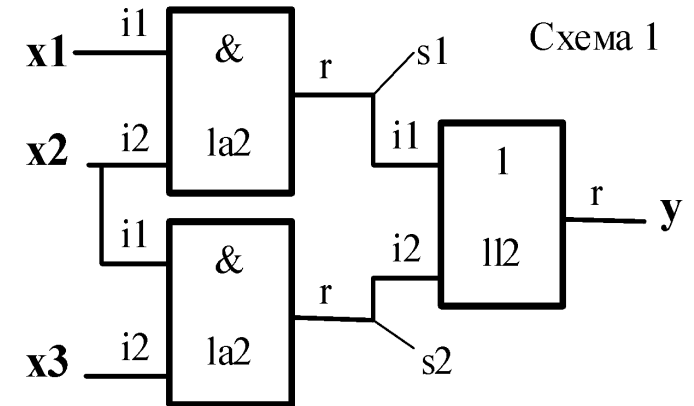
```
architecture Structura of sh2 is
```

```
  component la2 port      -- декларация компонента la2  
    (i1,i2: in std_logic; r: out std_logic);
```

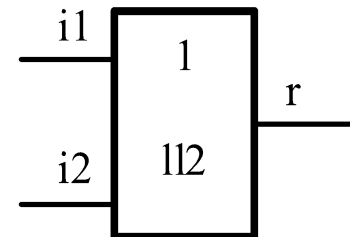
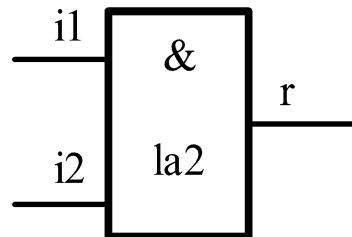
```
end component;
```

```
  component ll2 port      -- декларация компонента ll2  
    (i1,i2: in std_logic; r: out std_logic);
```

```
end component; -- продолжение на следующем слайде.
```



КОМПОНЕНТЫ:



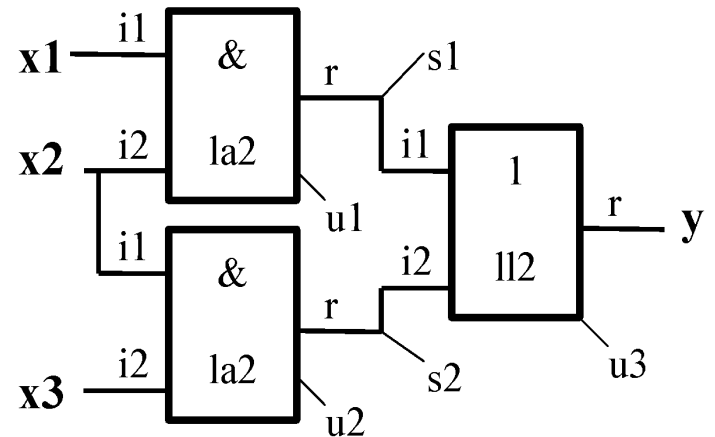
Структурное описание, продолжение

```
signal S1, S2 : std_logic;  
begin  
  u1: la2 port map (x1, x2, S1);  
  u2: la2 port map (x2, x3, S2);  
  u3: ll2 port map (s1, s2, y);  
end Structura;
```

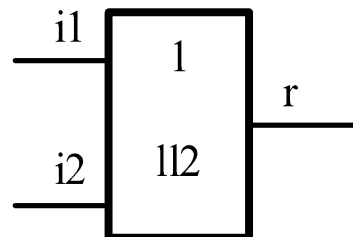
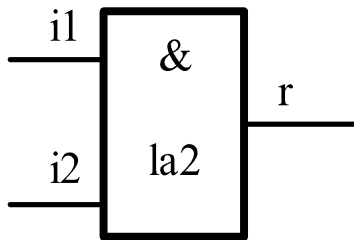
-- la2, ll2 - тип компонента,
-- u1, u2, u3 - имена узлов
-- на схеме.

-- конкретизация

-- компонентов



Компоненты



Вентиль 2И

Вентиль 2ИЛИ

Схема 1

Структурное и потоковое описание

```
library IEEE;    -- структурное и
...             -- потоковое описание
entity sh2 is    -- в одном модуле
  Port (x1,x2,x3:in std_logic;
        y : out std_logic);
end sh2;
```

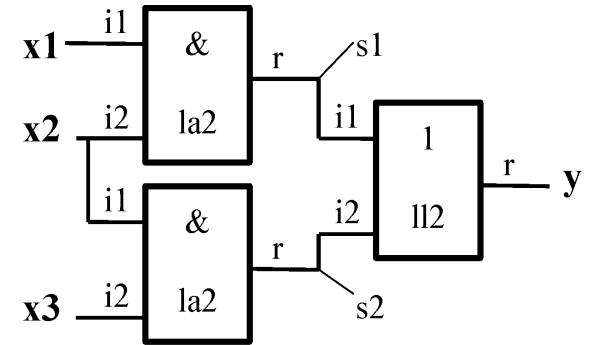
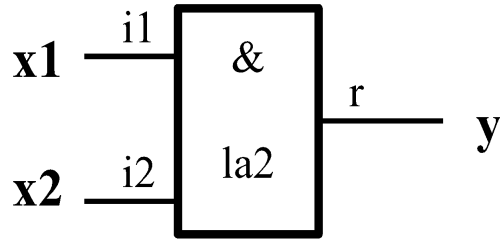


Схема 1

```
architecture Structura of sh2 is
  component la2 port    -- декларация компонента la2
    (i1,i2: in std_logic; r: out std_logic);
  end component;
```

```
signal S1, S2 : std_logic;
begin
  u1: la2 port map(x1,x2,S1);
  u2: la2 port map(x2,x3,S2);
  y <= S1 or S2;
end Structura;
```

Способы встраивания компонента



la2 - компонент
i1, i2, r - контакты (порты)
x1, x2, y - сигналы

```
--декларация компонента
entity la2 is
    Port (i1:in std_logic;
          i2:in std_logic;
          r:out std_logic);
end la2;
```

Два способа встраивания (конкретизация компонента)

1. Позиционный принцип сопоставления контактов
(портов) компонентов и сигналов:

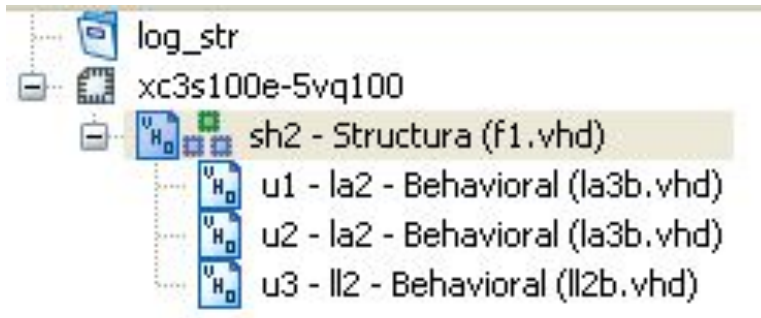
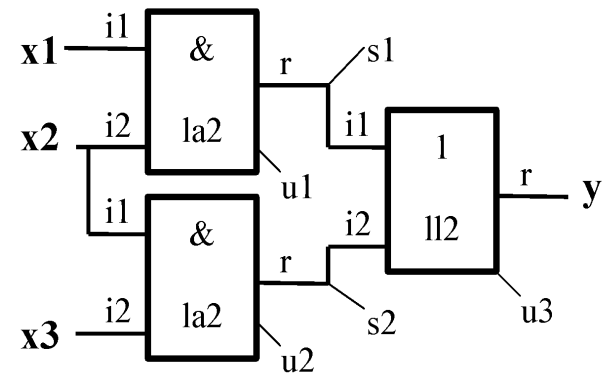
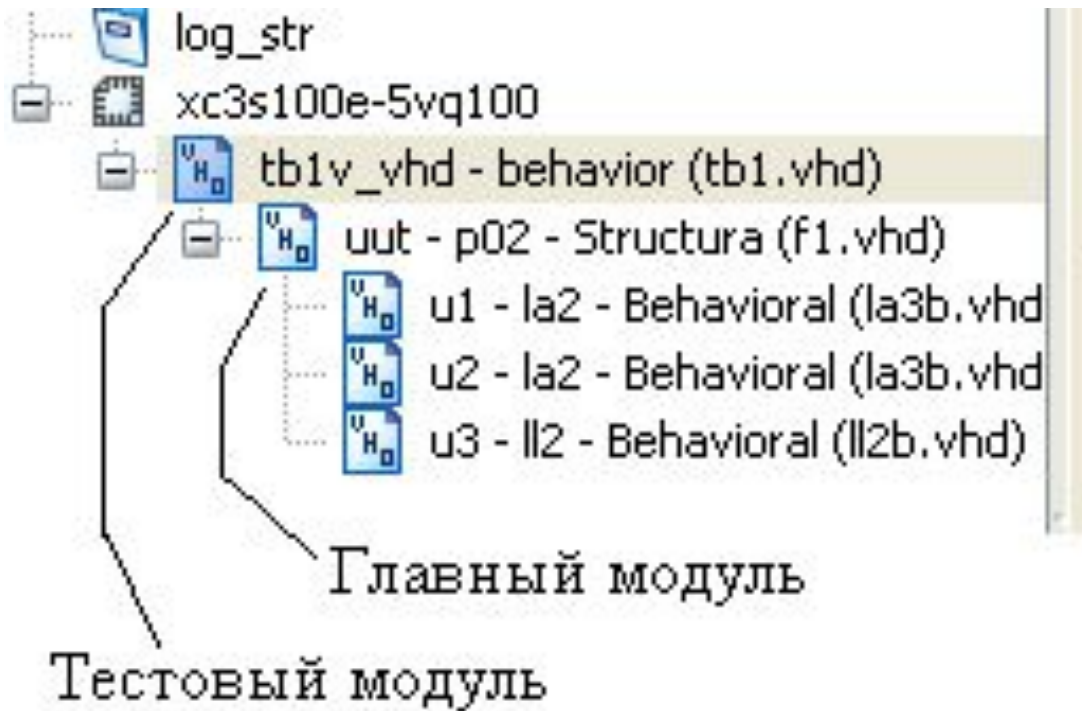
```
la2 port map (x1, x2, y); -- Пример
```

2. Ключевой принцип:

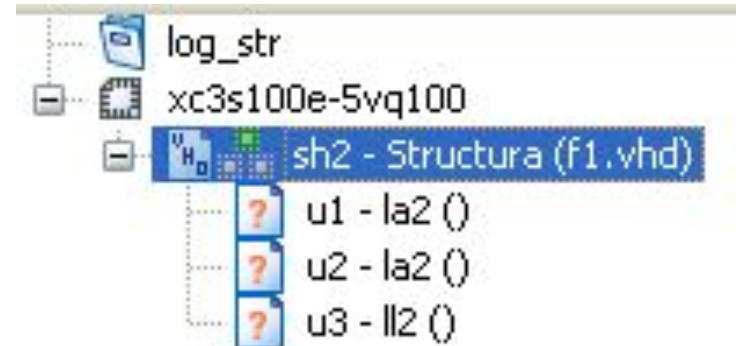
имя контакта (порта) => сигнал

```
la2 port map (i1=>x1, i2=>x2, r=>y); -- Пример
```

Иерархия файлов в проекте



Проект без тестового модуля



Проект без компонентов

Входные сигналы

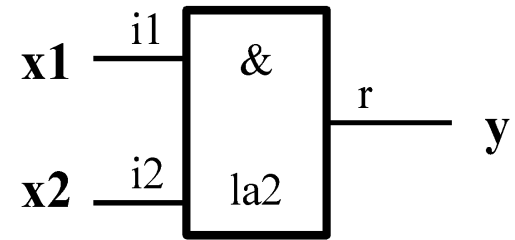
Тестовый модуль формирует входные сигналы для проверки тестируемого модуля

Входные сигналы задаются 2 способами:

1. Графически (файл *.tbw).
2. Текстовым файлом.

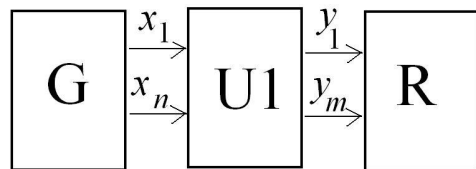
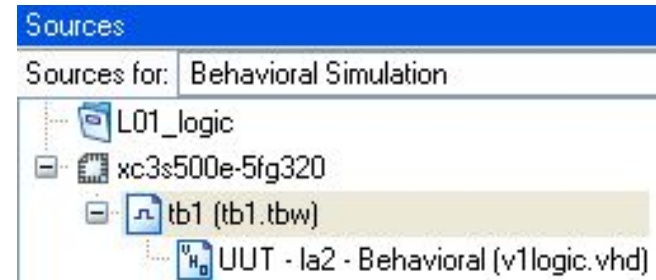


$i1, i2, r$ – контакты модуля la2;
 $x1, x2, y$ – внешние сигналы на контактах.



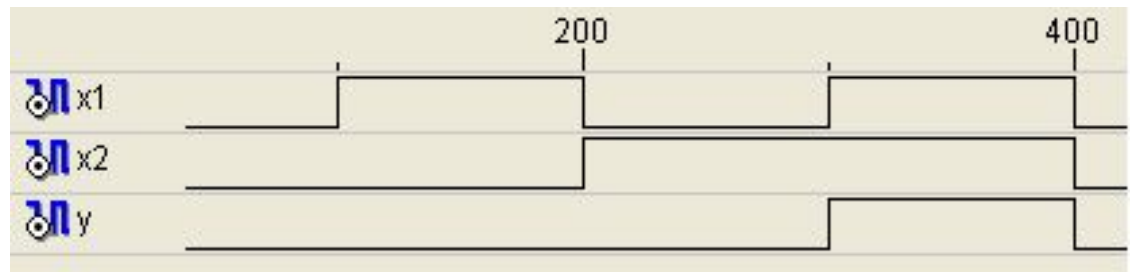
Вентиль 2И

Структура проекта



$U1$ - настраиваемая схема
 G - генератор тестовых сигналов
 R - регистратор
 $x_1 \dots x_n$ - тестовые сигналы
 $y_1 \dots y_m$ - выходы $U1$

Результат моделирования



Тестовый модуль на языке VHDL

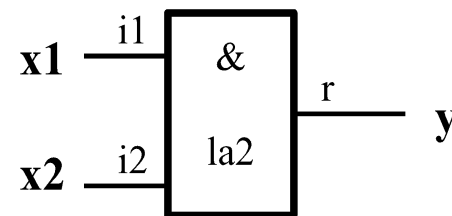
```
LIBRARY ieee;      -- библиотеки
USE ieee.std_logic_1164.ALL;
USE ieee.std_logic_unsigned.all;
USE ieee.numeric_std.ALL;

ENTITY tb1v_vhd IS -- внешние связи
END tb1v_vhd;     -- отсутствуют

Architecture behavior OF tb1v_vhd IS
-- Component Declaration ..
COMPONENT la2 -- тестируемый модуль
PORT( i1 : IN std_logic;
      i2 : IN std_logic;
      r : OUT std_logic
      );
END COMPONENT;

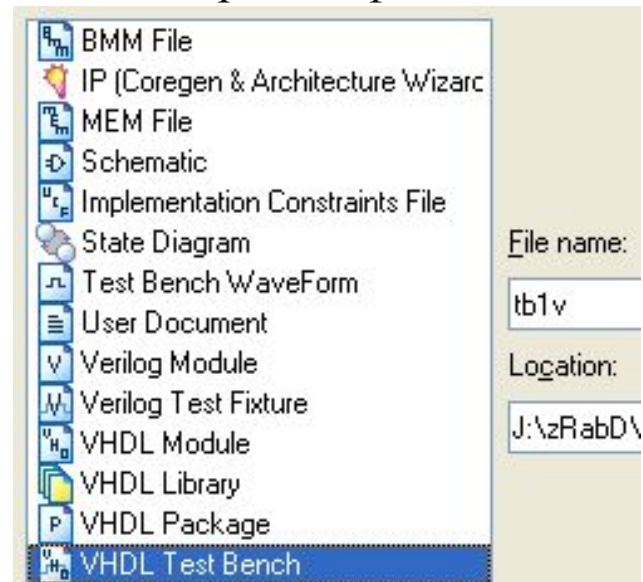
SIGNAL x1 : std_logic := '0';
SIGNAL x2 : std_logic := '0';
SIGNAL y : std_logic;
```

Тестовый модуль формирует входные сигналы



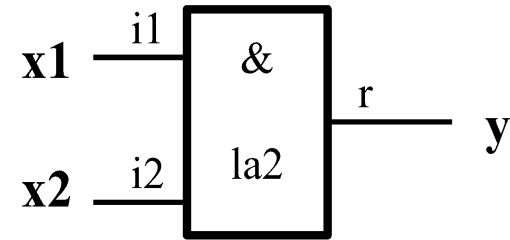
Тестируемый модуль, вентиль 2И

Выбор типа файла



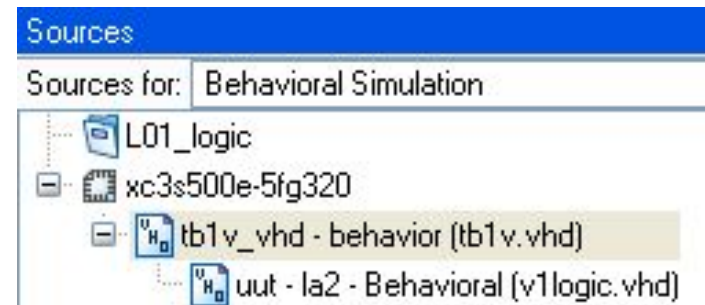
Тестовый модуль (продолжение)

```
BEGIN
-- Instantiate the Unit ...
  uut: la2 PORT MAP(
    i1 => x1,
    i2 => x2,
    r => y
  );
tb : PROCESS
BEGIN
  wait for 100 ns;
  x1 <= '1';           -- t=100
  wait for 100 ns; -- t=200
  x1 <= '0'; x2 <= '1';
  wait for 100 ns;
  x1 <= '1';           -- t=300
  wait; -- wait forever
END PROCESS;
END;
```

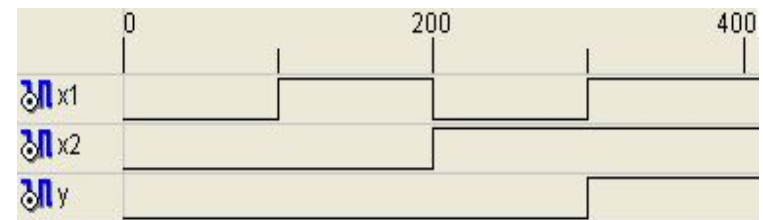


Тестируемый модуль, вентиль 2И

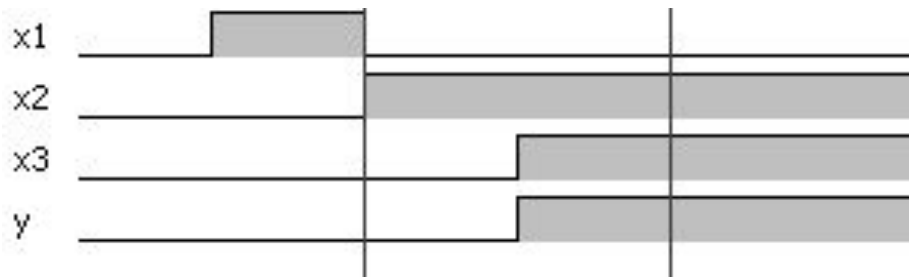
Структура проекта



Результат моделирования



Результат моделирования



Внешние сигналы

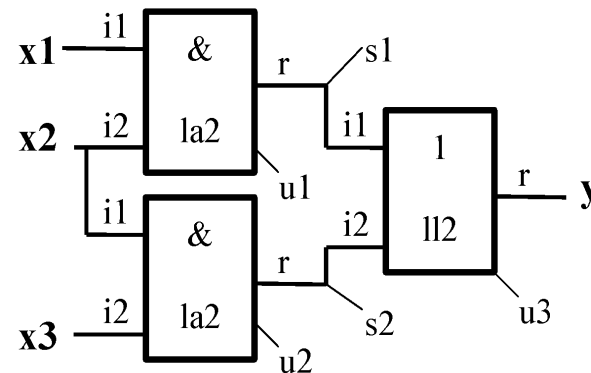
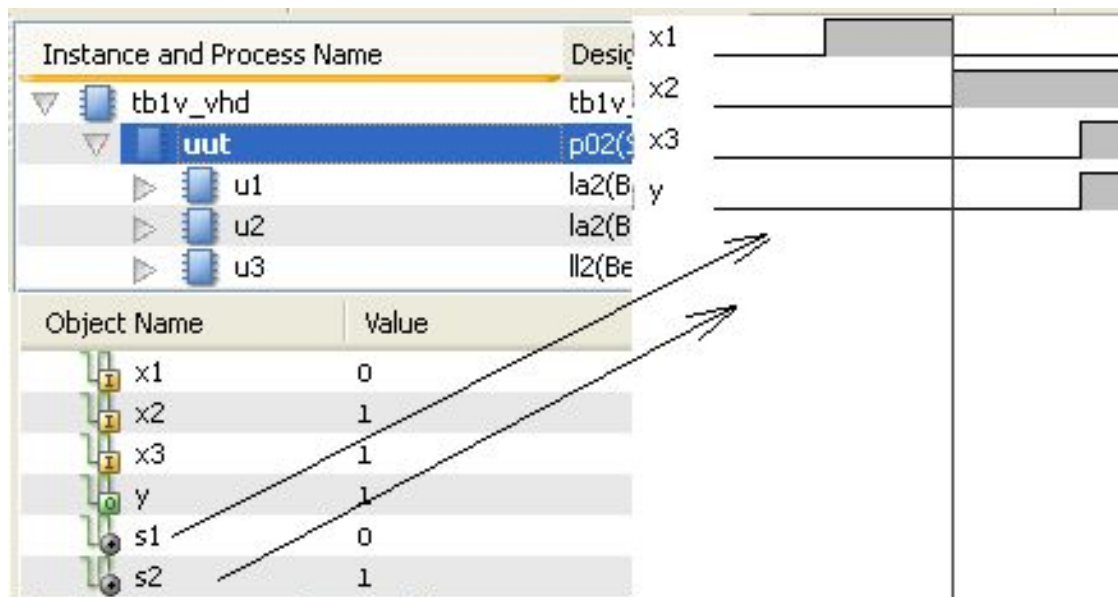


Схема 1



- 1 – подготовка к новому запуску,
- 2 – запуск моделирования длительностью 1000 нс

Добавление внутренних сигналов S1 и S2

Комбинационные и последовательные узлы.

Комбинационные узлы:

схемы на логических элементах, мультиплексоры, дешифраторы и другие узлы, не содержащие триггеров.

Последовательные узлы:

триггеры, регистры, счетчики и другие узлы, содержащие триггеры.

В описании на VHDL последовательные узлы содержат:

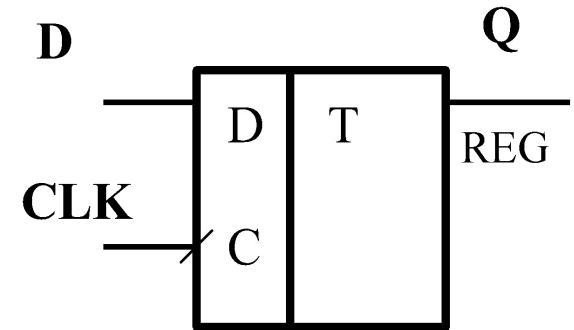
```
process (CLK) begin                -- CLK - синхросигнал
  if CLK'event and CLK='1' then -- передний фронт CLK
    . . .                          -- операторы присваивания
    . . .                          -- и другие операторы
  end if;
end process;
```


Схема D-триггера на языке VHDL

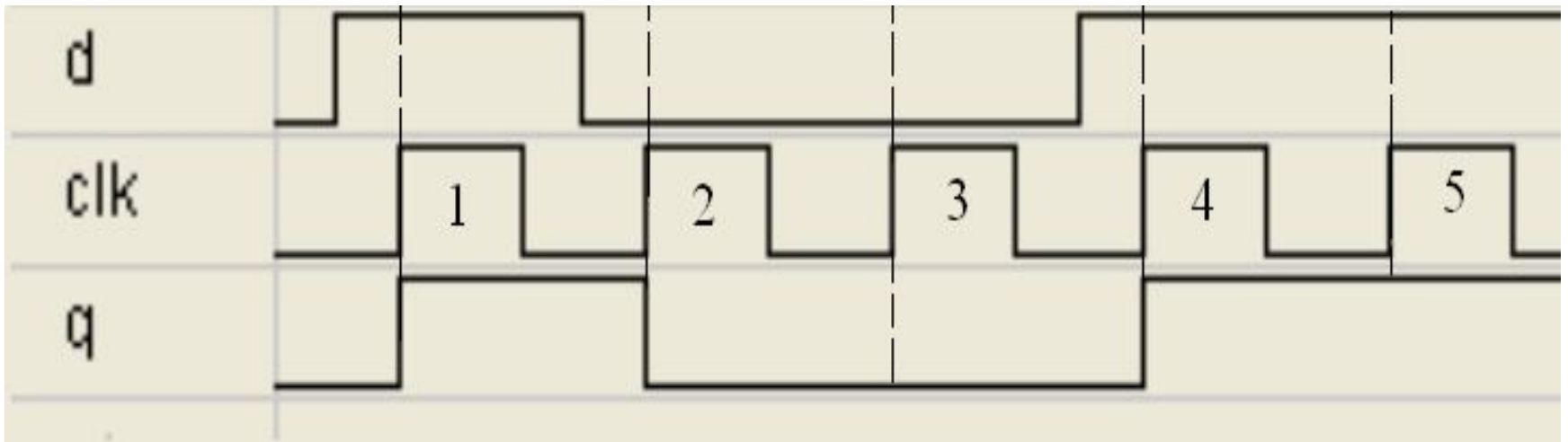
```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity rg1 is      -- ВНЕШН. СВЯЗИ
  Port (D: in std_logic;
        CLK: in std_logic; Q: out std_logic);
end rg1;

architecture Behavioral of rg1 is -- внутренние
  signal REG: std_logic := '0';    -- схемы
begin                               -- и связи (тело)
  process (CLK) begin
    if CLK'event and CLK='1' then -- синхросигнал
      REG <= D;                    -- оператор присваивания
    end if;
  end process;
  Q <= REG;                         -- оператор присваивания
end Behavioral; -- наличие сигнала REG не обязательно
```



Результат работы



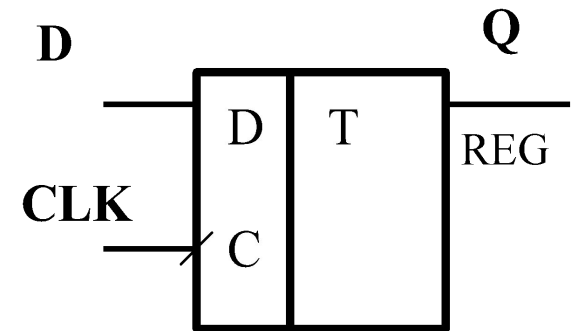
$q \square d$ в момент переключения clk из 0 в 1

Тестовый модуль для D-триггера (ч.1)

```
library IEEE;    -- тестовый модуль для D-триггера
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;

entity tb1_vhd is    -- внешние связи отсутствуют
end tb1_vhd;

architecture behavior of tb1_vhd is    -- декларация
    component rg1 PORT(D: in std_logic; -- компонента
        CLK : in std_logic;
        Q  : out std_logic
    );
end component;
signal D :    std_logic := '0';
signal CLK : std_logic := '0';
signal Q :    std_logic;
```

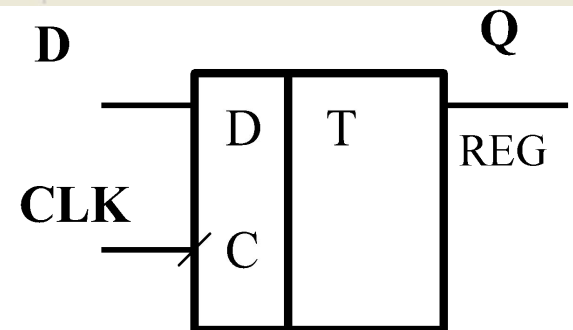
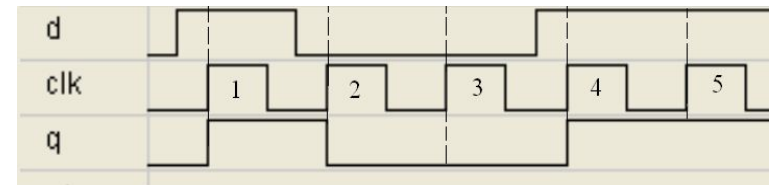


Тестовый модуль для D-триггера (ч.2)

```
begin
```

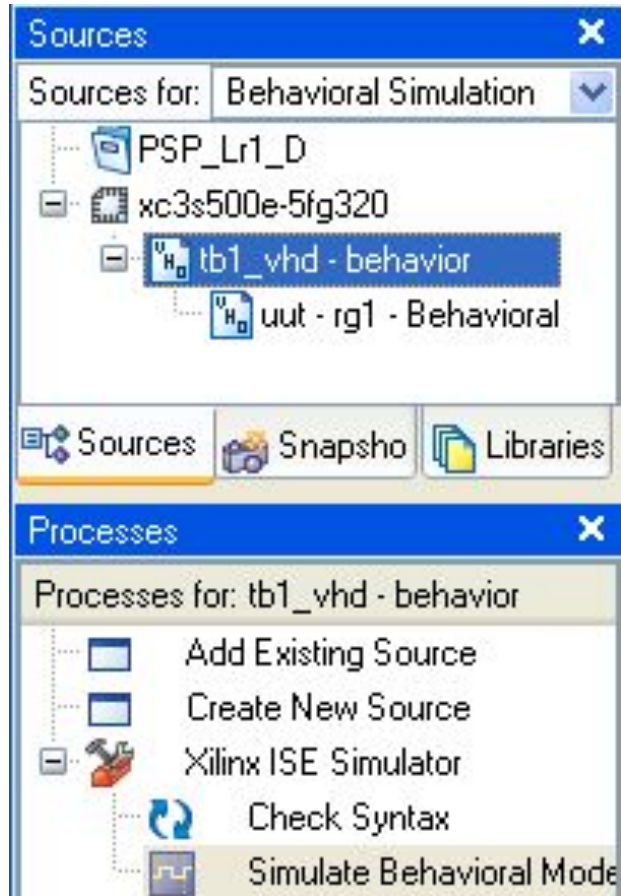
```
  uut: rg1 port map( D => D, CLK => CLK, Q => Q);  
  -- процессы clk_ и tb1 - параллельные операторы  
  clk_process :process begin  
    clk <= '0';  
    wait for 10 ns;  
    clk <= '1';  
    wait for 10 ns;  
  end process;
```

```
  tb1 : process begin  
    wait for 5 ns;  
    D <= '1'; wait for 20 ns;  
    D <= '0'; wait for 40 ns;  
    D <= '1'; wait for 20 ns;  
    wait; -- will wait forever  
  end process;  
end;
```



Иерархия файлов в проекте

Моделирование



Реализация

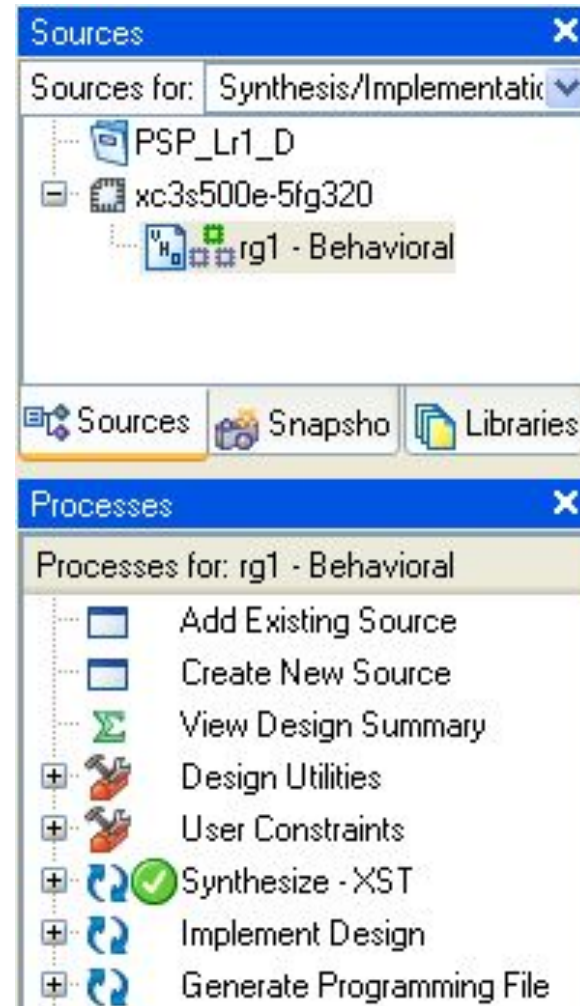
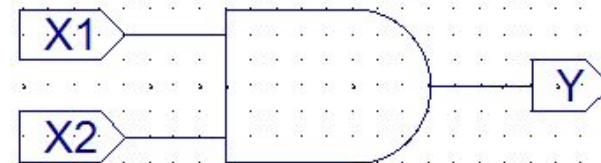


Схема вентиля на языке VHDL

```
library IEEE; -- библиотеки
. . . .
entity la2 is -- внешн.связи
  Port (x1: in std_logic;
        x2: in std_logic;
        y: out std_logic);
end la2;
```

```
Architecture Behav of la2 is
begin
  y <= x1 and x2;
end Behavioral;
```



X1, X2 – входные сигналы.
Y – выходной сигнал,
 $Y = X1 \& X2$.

Результаты моделирования не привязаны к синхросигналу

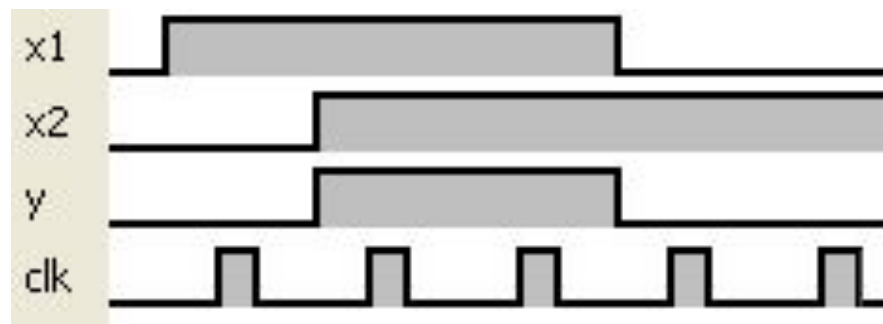
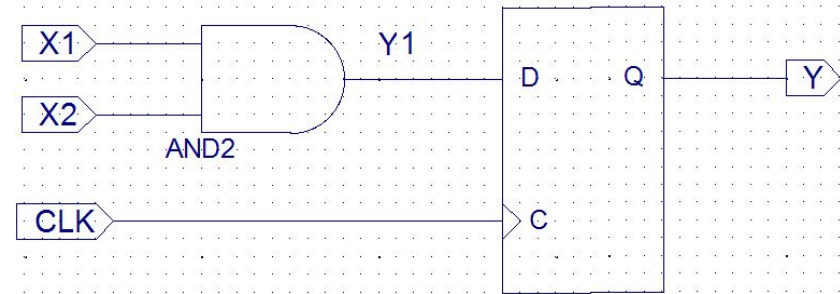


Схема вентиля с триггером на выходе

```
library IEEE; -- библиотеки
. . .
entity la2 is -- внешн.связи
Port (x1,x1: in std_logic;
      clk: in std_logic;
      y: out std_logic);
end la2;
Architecture B1 of la2 is
begin --
process (CLK) begin
  if CLK'event and CLK='1'
  then -- синхросигнал
    y <= i1 and i2;
  end if;
end process;
end Behavioral;
```

```
Architecture Behav of la2 is
begin -- без триггера
  y <= x1 and x2;
end Behavioral;
```



X1, X2 – входные сигналы.
clk – синхросигнал
Y – выходной сигнал,
 $Y=X1\&X2$.

Результаты моделирования,
выходной сигнал Y
“привязан” к синхросигналу CLK

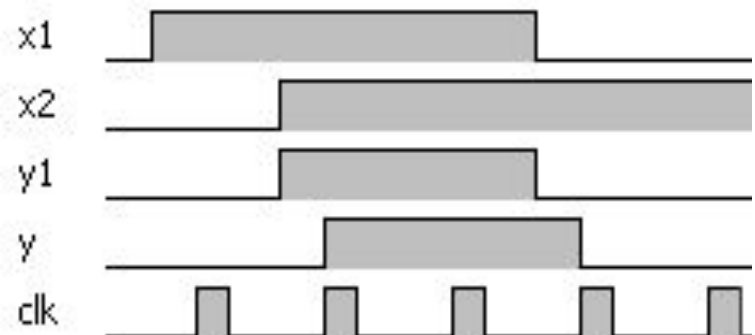
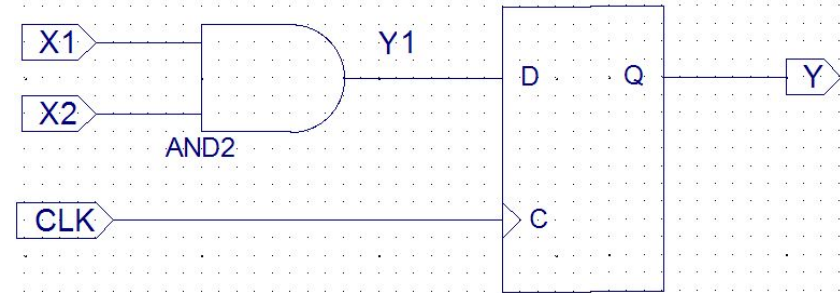


Схема вентиля с триггером на выходе (в.2)

```
library IEEE; -- библиотеки
. . .

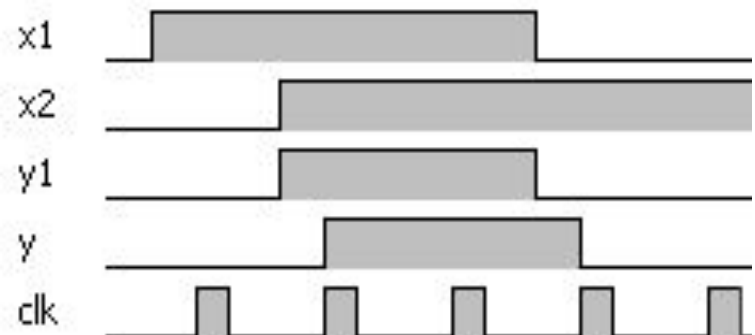
entity la2 is -- внешн.связи
Port (x1,x1: in std_logic;
      clk: in std_logic;
      y: out std_logic);
end la2;

Architecture B1 of la2 is
signal y1: std_logic:='0';
begin
process (CLK) begin
  if CLK'event and CLK='1'
  then
    y <= y1;
  end if;
end process;
y1 <= i1 and i2;
end Behavioral;
```



X1, X2 – входные сигналы.
clk – синхросигнал
Y – выходной сигнал,
 $Y=X1\&X2$.

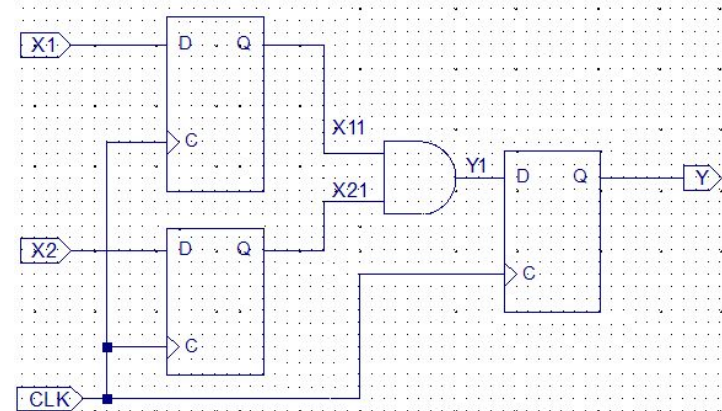
Результаты моделирования,
выходной сигнал Y
“привязан” к синхросигналу CLK



Вентиль с триггерами на входах и выходе

```
library IEEE;  
.  
.  
.  
entity la2 is  
Port (x1,x1: in std_logic;  
      clk: in std_logic;  
      y: out std_logic);  
end la2;
```

```
Architecture B1 of la2 is  
signal x11,x21:std_logic;  
begin  
process (CLK) begin  
  if CLK'event and CLK='1'  
  then  
    x11 <= x1;  
    x21 <= x2;  
    y <= x11 and x21;  
  end if;  
end process;  
end Behavioral;
```



x1, x2 – входные сигналы.
Y – выходной сигнал.
x11,x21 – внутренние сигналы.

Результаты моделирования,
Сигнал x11, x21 и y “привязаны” к синхросигналу CLK

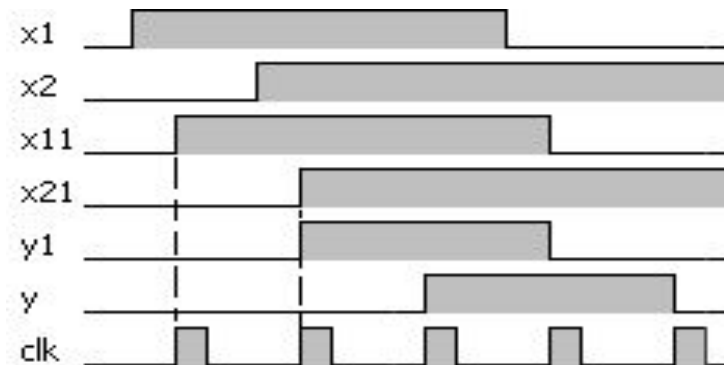
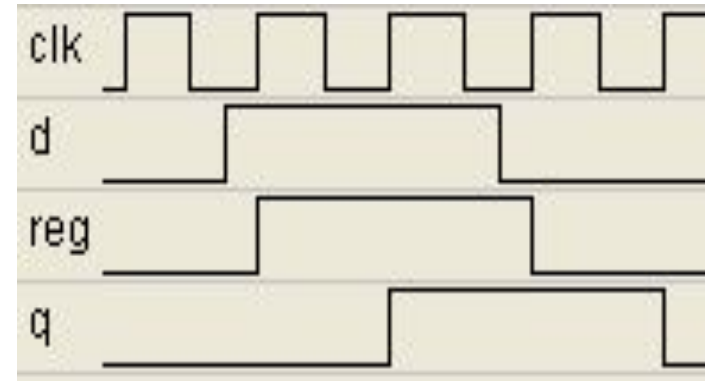
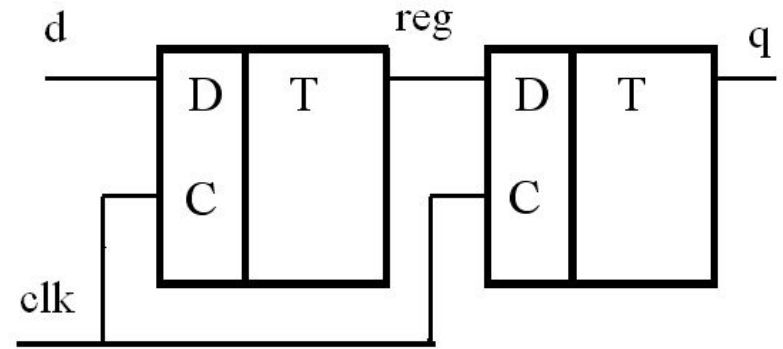


Схема задержки на языке VHDL

```
library IEEE;  
    . . .  
entity r1 is  
    Port (d, clk: in std_logic;  
          q:out std_logic);  
end r1;  
  
architecture Behavioral of r1 is  
    signal reg: std_logic:='0';  
begin  
    process (clk) begin  
        if clk'event and clk='1' then  
            reg <= d;  
            q <= reg;  
        end if;  
    end process;  
end Behavioral;
```



Если поменять местами `reg <= d` и `q <= reg`, результат не изменится

Векторные операции.

Векторные сигналы – многоразрядные сигналы, применяются в многоразрядных схемах (регистры, счетчики, сумматоры и др)

Декларация векторного сигнала:

```
signal ct: std_logic_vector(3 downto 0);  
           -- декларируются 4 сигнала: ct(3) ct(2) ct(1) ct(0)  
signal rg: std_logic_vector(3 downto 0);  
           -- декларируются 4 сигнала: rg(3) rg(2) rg(1) rg(0)  
signal v1: std_logic_vector(0 to 2);  
           -- декларируются 3 сигнала: v1(0) v1(1) v1(2)
```

Операции с векторным сигналом:

```
ct <="0000"; ct <=x"0";  
ct <="0010"; ct <=x"2";
```

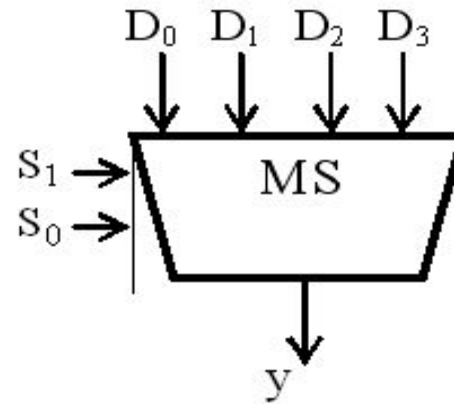
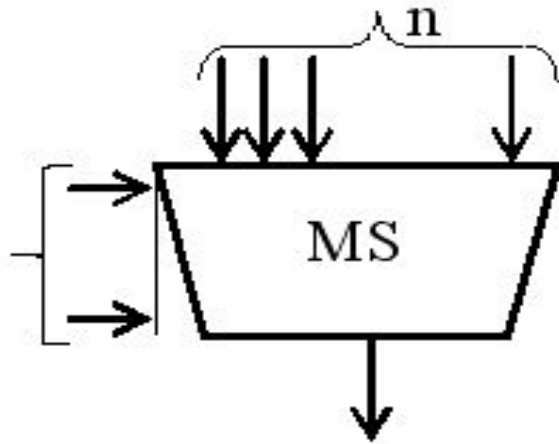
Сдвиг влево:

```
rg <= rg(2 downto 0) & '0';    -- rg(2) rg(1) rg(0) 0
```

Декларация выходного векторного сигнала:

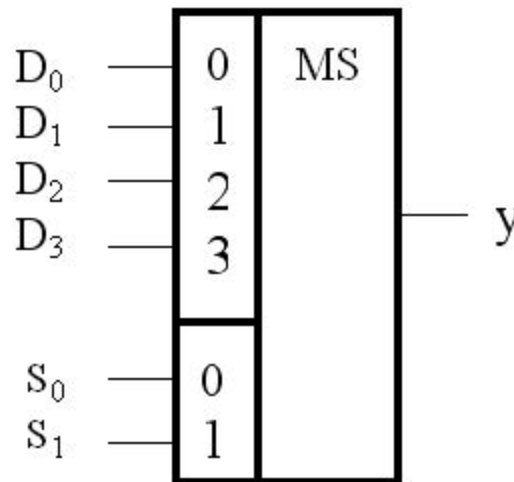
```
DOUT : out std_logic_vector(3 downto 0)
```

Мультиплексоры, методы реализации



S_1	S_0	y
0	0	$y=D_0$
0	1	$y=D_1$
1	0	$y=D_2$
1	1	$y=D_3$

Одноразрядный мультиплексор



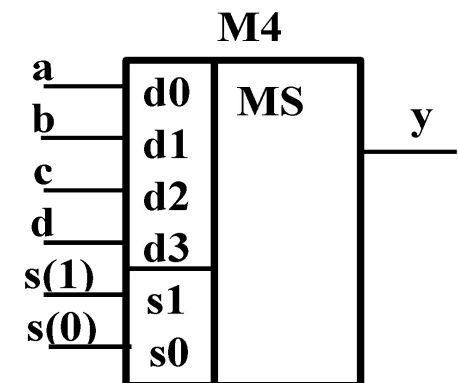
S – двухразрядный векторный сигнал

Мультиплексор (операторы if, process)

```
library IEEE;  
entity M4 is  
    Port ( a,b,c,d : in  STD_LOGIC;  
          s : in  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);  
          y : out  STD_LOGIC);  
end M4;      -- s – двухразрядный векторный сигнал
```

```
architecture Behavioral of M4 is  
begin  
    mux4a:process (a,b,c,d,s) begin  
        if s="00" then  
            y <=a;  
        elsif s="01" then    y <= b;  
        elsif s="10" then    y <= c;  
        else                y <= d;  
        end if;  
    end process mux4a;  
end Behavioral;
```

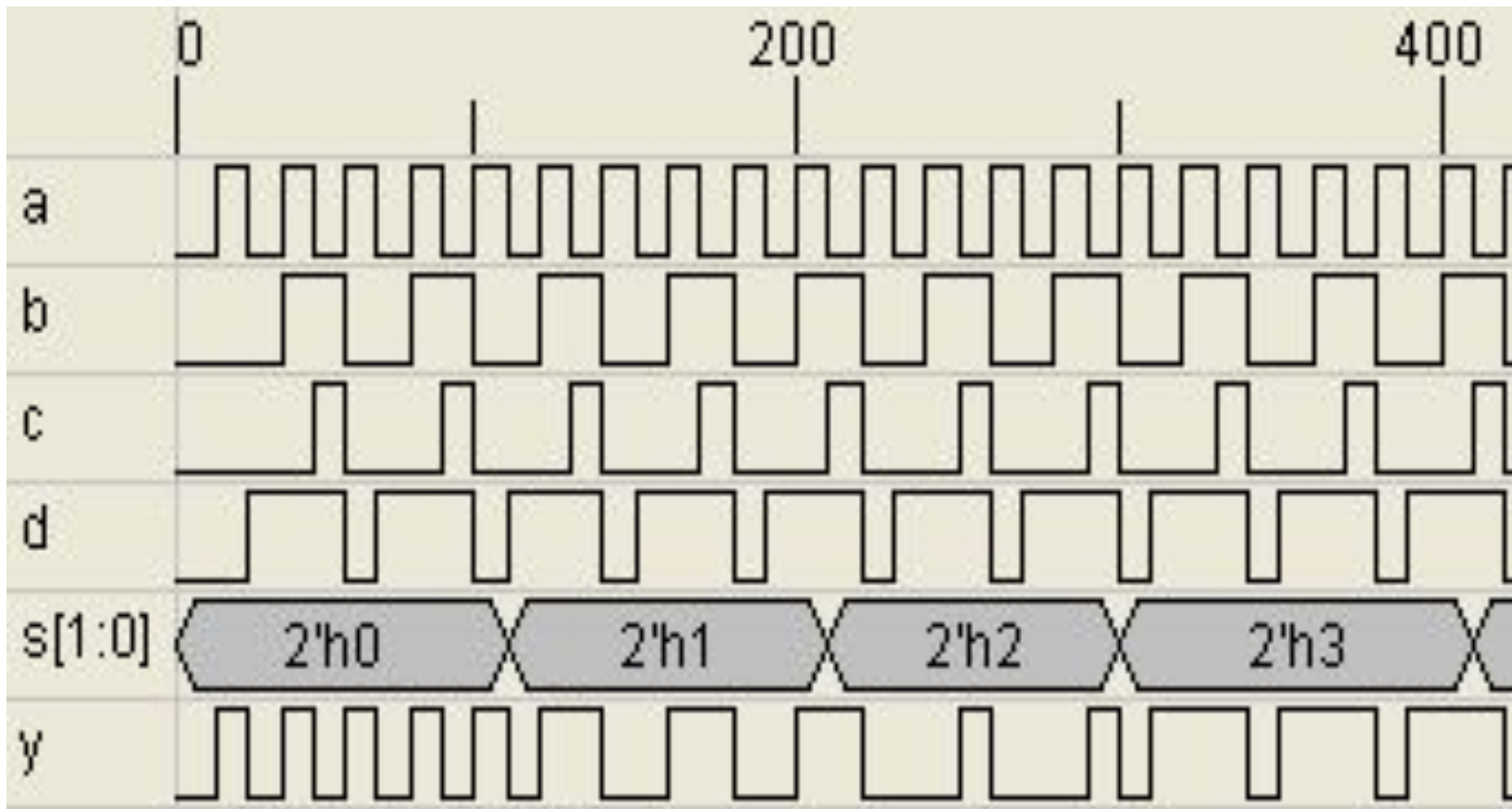
s_1	s_0	y	
0	0	$y=D_0$	a
0	1	$y=D_1$	b
1	0	$y=D_2$	c
1	1	$y=D_3$	d



Работа мультиплексора

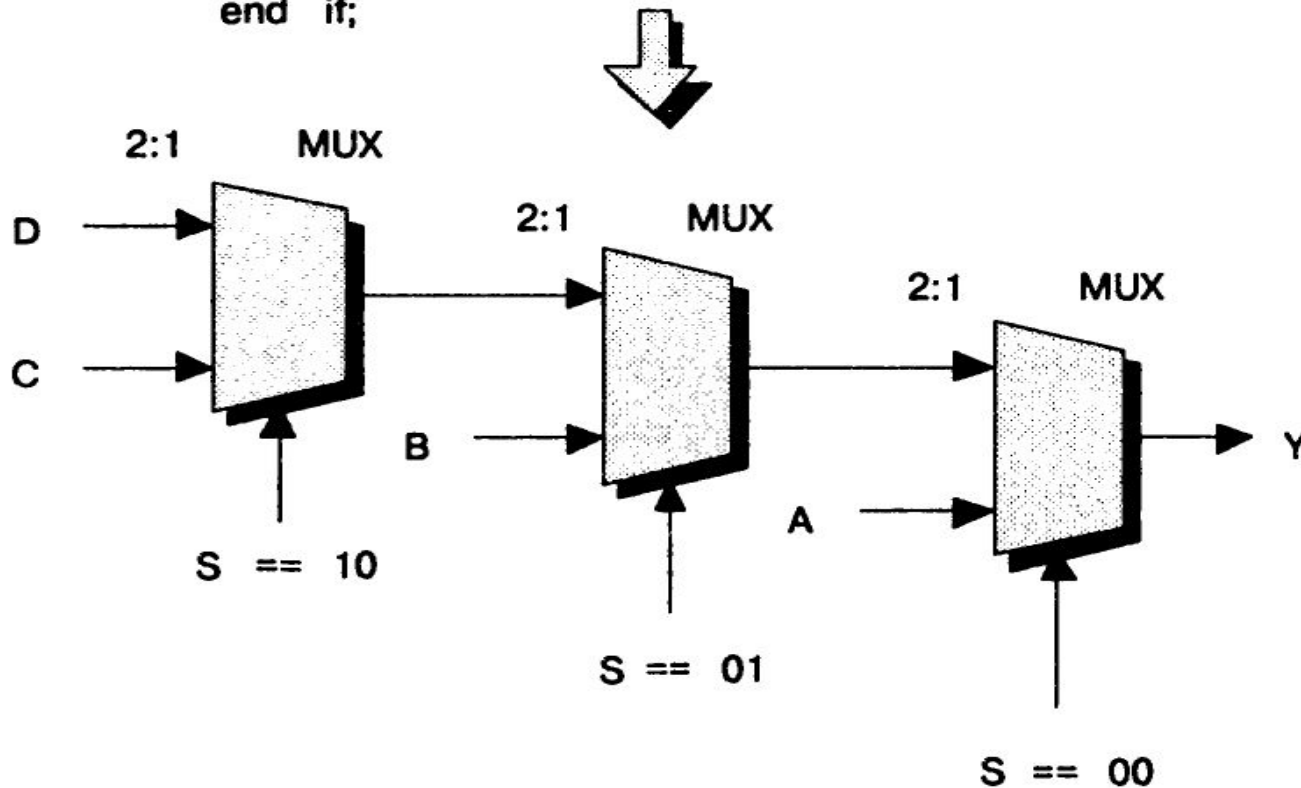
при $s="00"$ $y = a$
при $s="01"$ $y = b$
при $s="10"$ $y = c$
при $s="11"$ $y = d$

```
mux4a:process(a,b,c,d,s)
begin
  if s="00" then
    y <=a;
  elsif s="01" then y <=b;
  elsif s="10" then y <=c;
  else y <=d;
  end if;
end process mux4a;
```



Использование IF

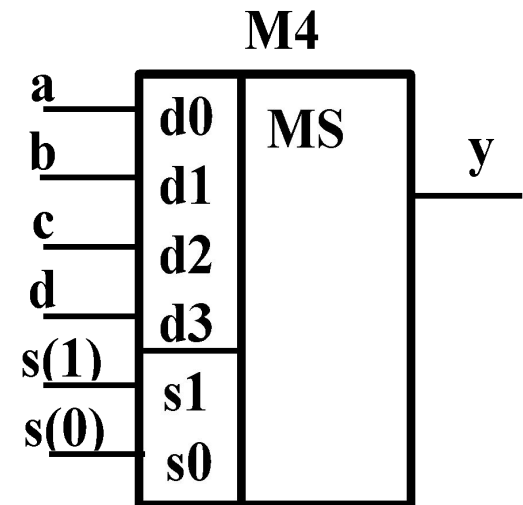
```
if      S == 00" then Y = A;  
elseif S == 01" then Y = B;  
elseif S == 10" then Y = C;  
else  
end if;
```



Задержка 3 элемента

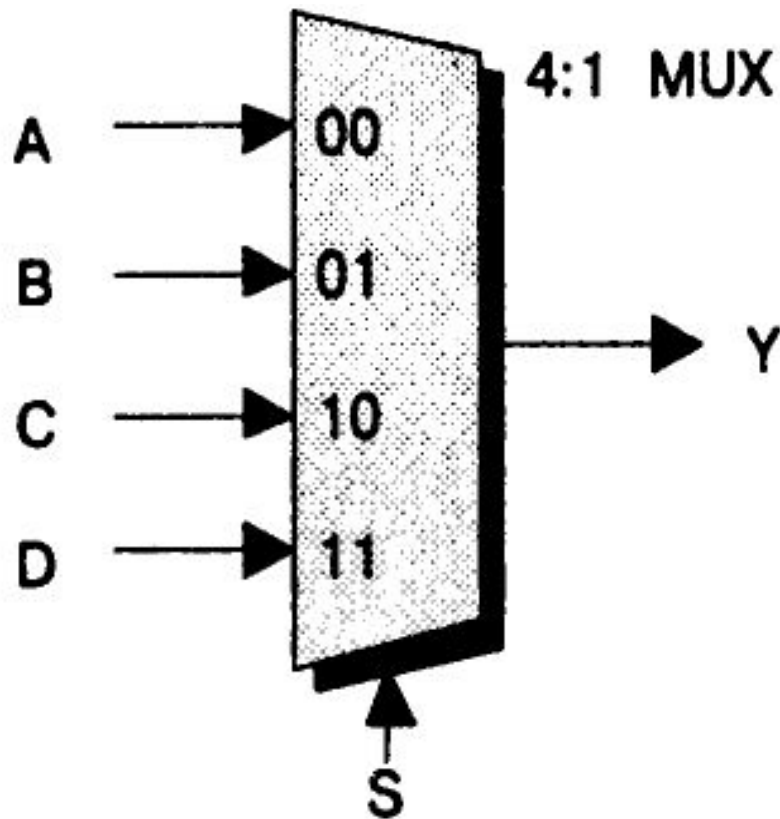
Мультиплексор, использование case

```
library IEEE;
entity M4 is
    Port ( a,b,c,d : in  STD_LOGIC;
          s : in  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);
          y : out  STD_LOGIC);
end M4;
architecture Behavioral of M4 is
begin
    mux4a:process (a,b,c,d,s) begin
        case s is
            when "00" => y <= a;
            when "01" => y <= b;
            when "10" => y <= c;
            when others => y <= d;
        end case;
    end process mux4a;
end Behavioral;
```



Мультиплексор, использование case

```
case S of
  00": Y = A;
  01": Y = B;
  10": Y = C;
otherwise: Y = D;
end case;
```



Задержка 1 элемент

Мультиплексор, оператор when

```
library IEEE;  
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;  
use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;  
use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
```

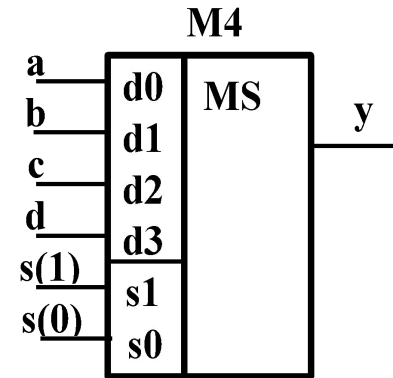
```
entity M4 is  
    Port ( a, b, c, d : in  STD_LOGIC;  
          s : in  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);  
          y : out  STD_LOGIC);  
end M4;
```

```
architecture Behavioral of M4 is
```

```
begin
```

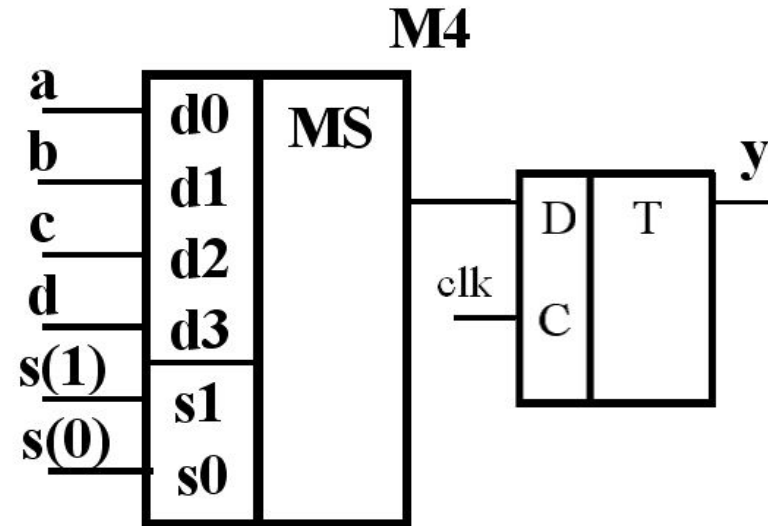
```
y <=  a when s="00"  -- может использоваться  
     else b when s="01" -- без оператора process  
     else c when s="10"  
     else d;
```

```
end Behavioral;
```

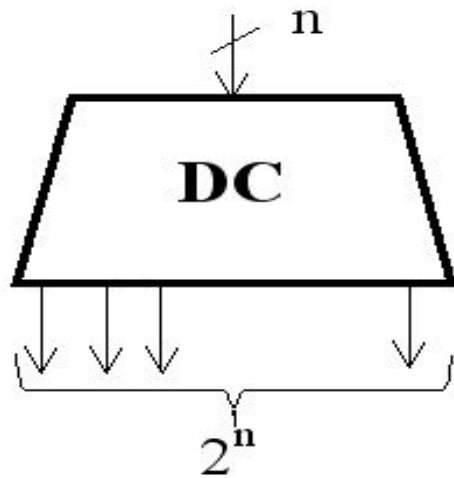


Мультиплексор с триггером на выходе

```
entity M4 is Port (clk, a, b, c, d :in  STD_LOGIC;  
                  s : in  STD_LOGIC_VECTOR (1 downto 0);  
                  y : out  STD_LOGIC);  
end M4;    -- операторы библиотек не показаны  
architecture Behavioral of M4 is  
begin  
process (clk) begin  
  if clk='1' and clk'event then  
    case s is  
    when "00" => y <= a;  
    when "01" => y <= b;  
    when "10" => y <= c;  
    when others => y <= d;  
    end case;  
  end if;  
end process;  
end Behavioral;
```

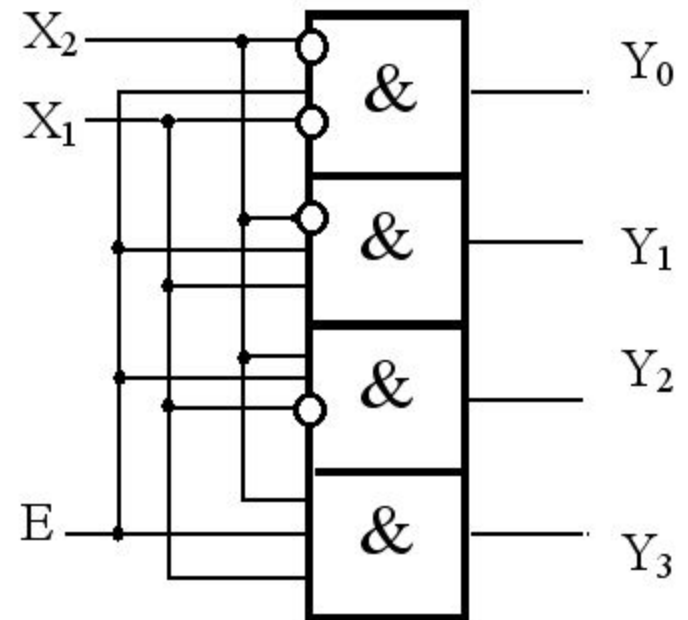
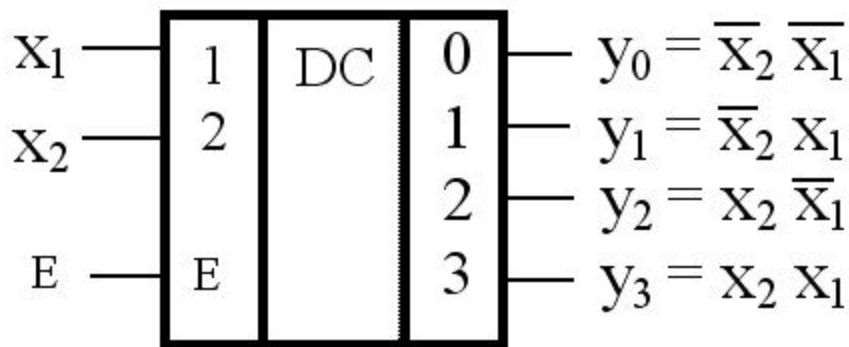


Дешифратор



Дешифратор на 2 входа

N	X ₂	X ₁	Y ₀	Y ₁	Y ₂	Y ₃
0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0
2	1	0	0	0	1	0
3	1	1	0	0	0	1



Триггерная схема

```
entity dtg2 is
  Port ( d0, clk : in  STD_LOGIC;
         d1, d2 : out STD_LOGIC);
end dtg2;
```

```
architecture Behavioral of dtg2 is
  signal d1a: std_logic:='0';
```

```
begin
```

```
  process (clk) begin
```

```
    if clk='1' and clk'event then
```

```
      d1a <= d0;
```

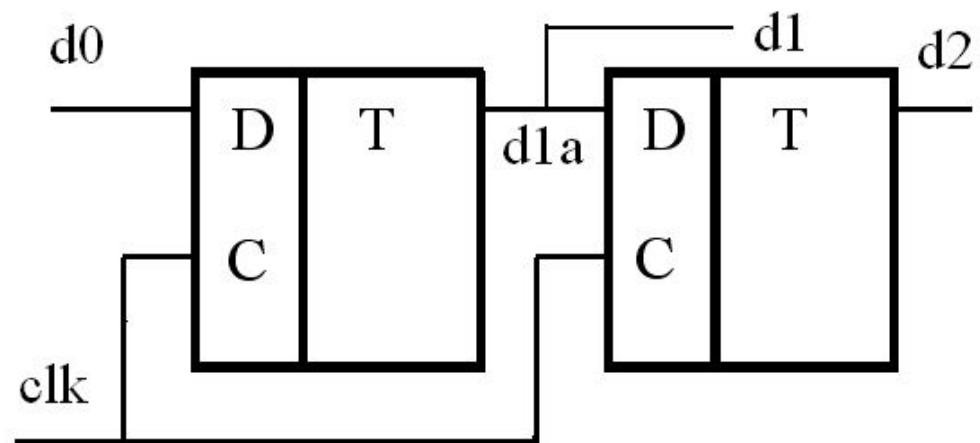
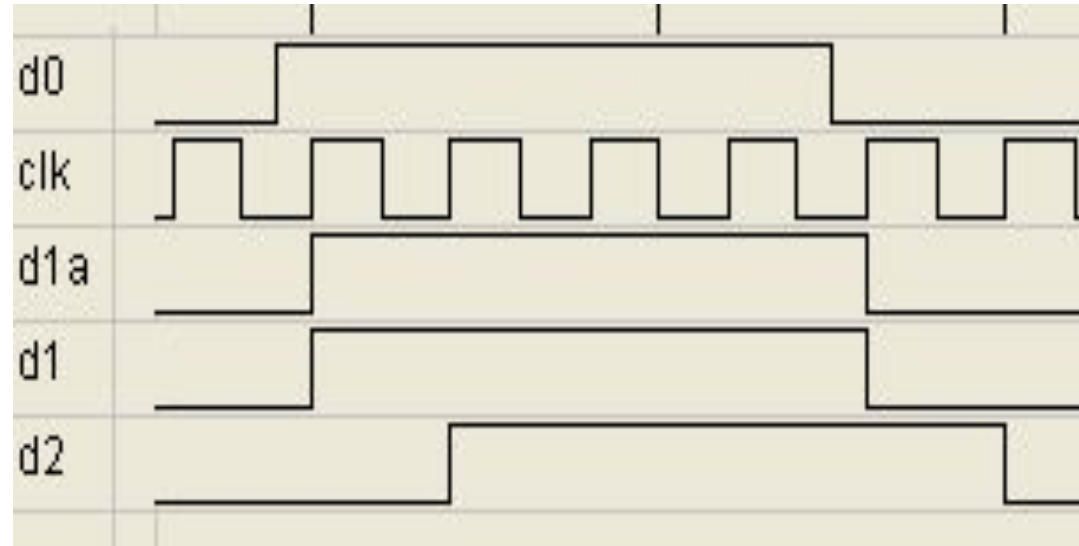
```
      d2 <= d1a;
```

```
    end if;
```

```
  end process;
```

```
  d1 <= d1a;
```

```
end Behavioral;
```



Формирователь

Описание на
языке VHDL

```
entity f2a is
```

```
  Port ( d, clk : in  STD_LOGIC;  
        q : out  STD_LOGIC);
```

```
end f2a;
```

```
architecture Behavioral of f2a is
```

```
  signal z1,z2: std_logic:= '0';
```

```
begin
```

```
  process (clk) begin
```

```
    if clk='1' and clk'event then
```

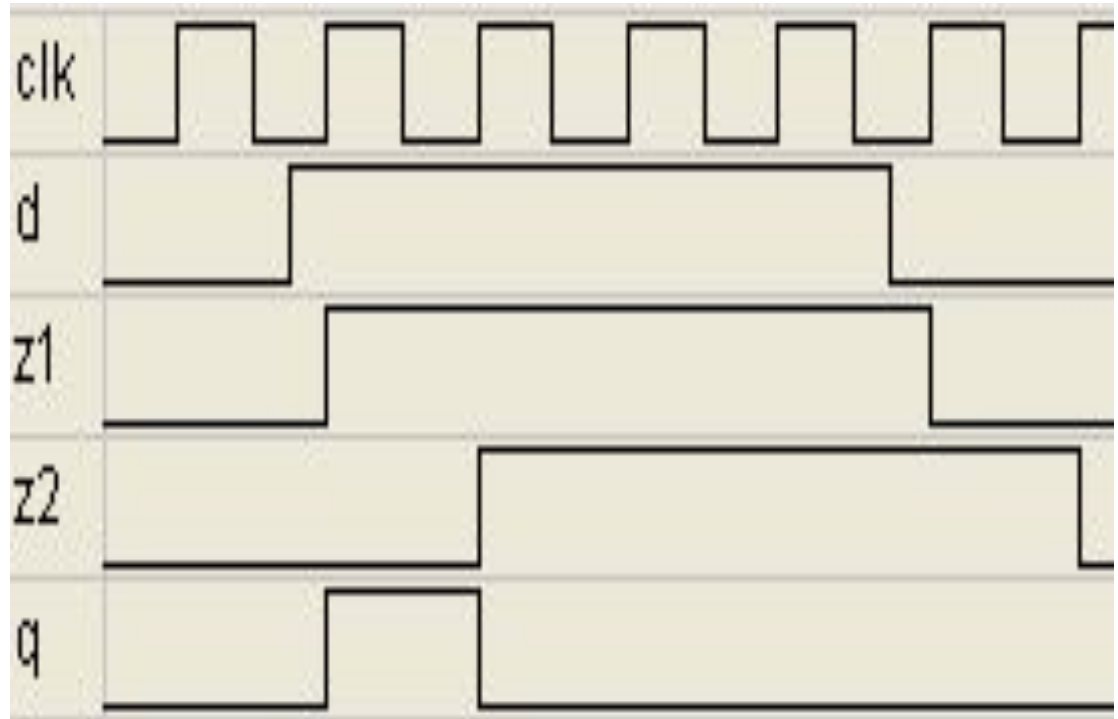
```
      z1 <= d;  z2 <= z1;
```

```
    end if;
```

```
  end process;
```

```
  q <= ( z1 and (not z2) );
```

```
end Behavioral;
```



Временная диаграмма работы
формирователя,
d – вход, q – выход,
z1, z2 – внутренние сигналы

Схема формирователя

Описание на
языке VHDL

entity f2a is

```
Port ( d, clk : in STD_LOGIC;  
      q : out STD_LOGIC);
```

end f2a;

architecture Behavioral of f2a is

```
signal z1,z2: std_logic:= '0';
```

```
begin
```

```
process (clk) begin
```

```
if clk='1' and clk'event then
```

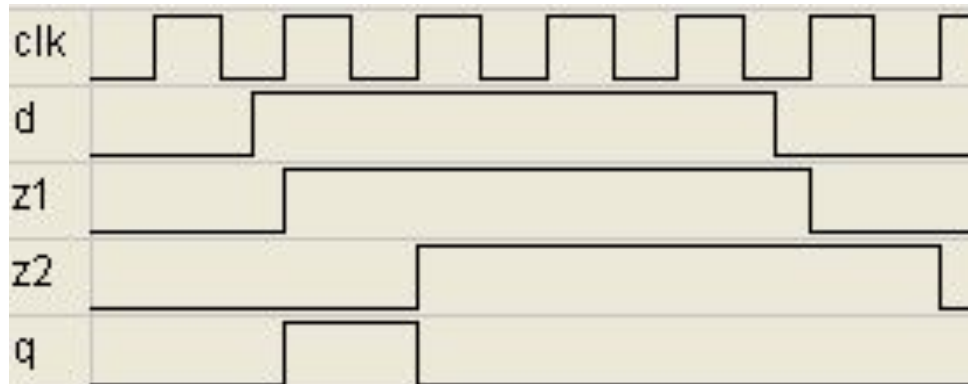
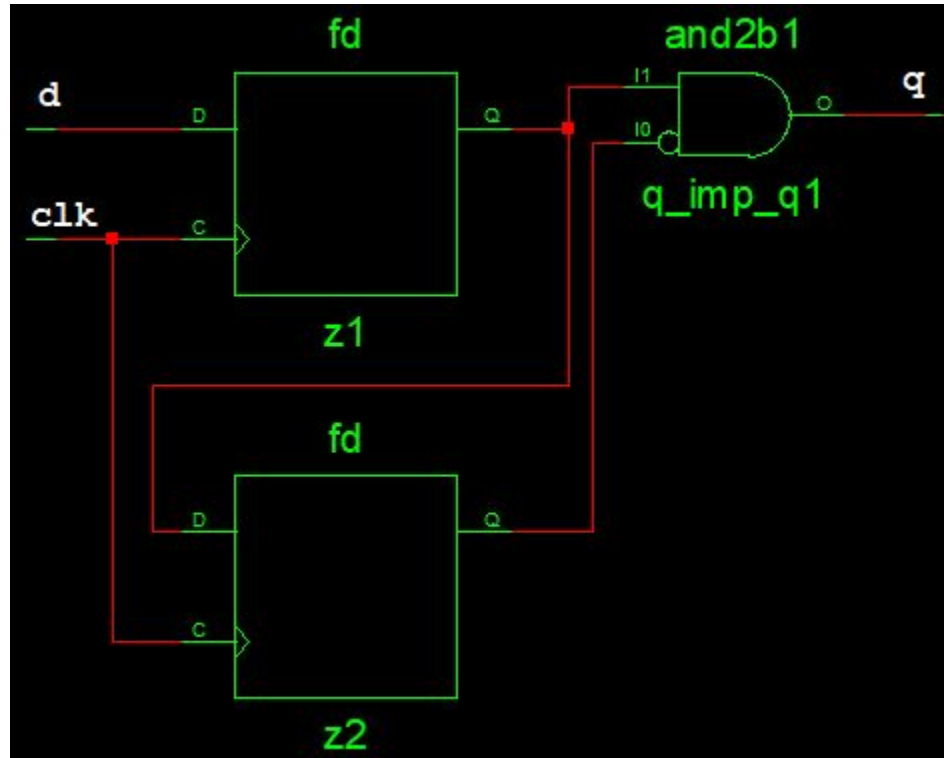
```
z1 <= d; z2 <= z1;
```

```
end if;
```

```
end process;
```

```
q <= ( z1 and (not z2) );
```

```
end Behavioral;
```



THE END