

Laboratório de Sistemas Digitais

Aula Teórico-Prática 6

Ano Letivo 2024/25

Resumo dos estilos de codificação
adequados à síntese

Precauções fundamentais de projeto:
sincronização de entradas, *bouncing* de
contatos mecânicos, estrutura de um
projeto típico

Conteúdo

- Sistematização da estrutura típica de processos relativos a circuitos combinatórios e sequenciais
 - Templates e estilos de codificação recomendados
 - Regras fundamentais e boas práticas
- Precauções fundamentais de projeto:
 - Sincronização de entradas
 - *Debouncing*
 - Estrutura de um projeto típico

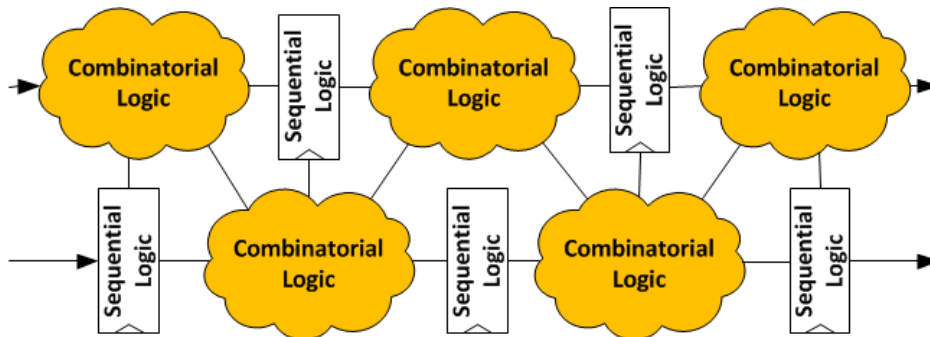
Estrutura Típica de Processos Combinatórios

Estrutura geral:

```
process (<lista de sensibilidade  
        com todas as entradas do  
        processo>)  
begin  
    <atribuições a sinais/portos -  
    saídas devem especificadas para  
    todas as combinações dos vetores  
    de entrada - mesmo que sejam  
    don't care (para evitar latches)>  
end process;
```

Exemplo (Codificador de prioridade 4→2):

```
process (decodIn)  
begin  
    if (decodIn(3) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "11";  
    elsif (decodIn(2) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "10";  
    elsif (decodIn(1) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "01";  
    elsif (decodIn(0) = '1') then  
        validOut <= '1';  
        encodOut <= "00";  
    else  
        validOut <= '0';  
        encodOut <= "--";  
    end if;  
end process;
```



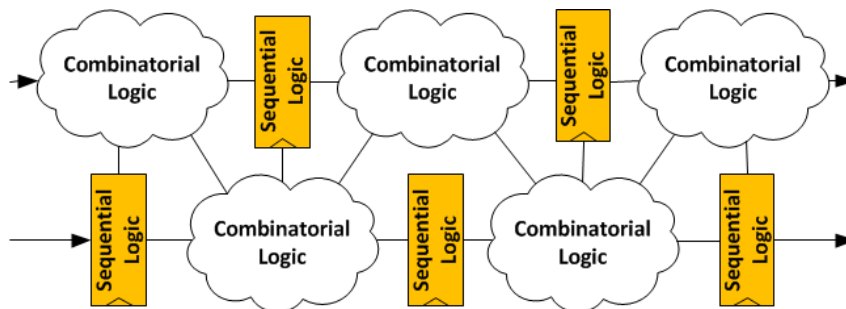
Estrutura Típica de Processos Sequenciais

Estrutura Geral:

```
process(<lista de sensibilidade  
      com sinais de clock e  
      set/reset assíncronos>  
begin  
  <teste de sinais assíncronos>  
  <atribuições assíncronas>  
  <teste do flanco ativo do clock>  
  <teste de sinais síncronos >  
  <atribuições síncronas>  
end process;
```

Exemplo (contador binário up/down com enable e reset síncrono):

```
process(clk)  
begin  
  if (rising_edge(clk)) then  
    if (reset = '1') then  
      s_cnt <= (others => '0');  
    elsif (enable = '1') then  
      if (up = '1') then  
        s_cnt <= s_cnt + 1;  
      else  
        s_cnt <= s_cnt - 1;  
      end if;  
    end if;  
  end if;  
end process;
```



Saídas não Completamente Especificadas (Inferência de Latches)

- Quando o valor de um sinal/porto não é especificado para um ou mais conjuntos de entradas
 - A ferramenta de síntese infere que esse sinal/porto deve corresponder à saída de um elemento de memória (porquê?)
 - Flip-flop
 - Latch
- Latches* são pouco usados, MAS são frequentemente inferidos devido a “descrições combinatórias incompletas NÃO pretendidas”

Se a linha `encodOut<="--"` for removida, o sinal `encodOut` não está especificado para `decodIn="0000"`, levando a ferramenta de síntese a inferir uma *latch* para este sinal!!!

Exemplo: Codificador de prioridade 4→2

```
process (decodIn)
begin
    if (decodIn(3) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "11";
    elsif (decodIn(2) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "10";
    elsif (decodIn(1) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "01";
    elsif (decodIn(0) = '1') then
        validOut <= '1';
        encodOut <= "00";
    else
        validOut <= '0';
        encodOut <= "--";
    end if;
end process;
```

Múltiplas Atribuições a Sinais/Portos no Caminho de Execução de um Processo

- Boa prática
 - Realizar apenas uma atribuição a um sinal/porto ao longo do caminho de execução de um processo
- No entanto, se forem realizadas múltiplas atribuições, segundo a semântica de VHDL, prevalece a última
 - Utilizar esta facilidade para tornar o código mais compacto e se não afetar a legibilidade

Exemplo com o codificador de prioridade 4→2:

```
process (decodIn)
begin
    validOut <= '1';

    if (decodIn(3) = '1') then
        encodOut <= "11";
    elsif (decodIn(2) = '1') then
        encodOut <= "10";
    elsif (decodIn(1) = '1') then
        encodOut <= "01";
    elsif (decodIn(0) = '1') then
        encodOut <= "00";
    else
        validOut <= '0';
        encodOut <= "--";
    end if;
end process;
```

Sobre as Atribuições a Sinais/Portos

- Um sinal pode corresponder à saída de um componente combinatório ou sequencial (tudo depende da forma como for feita a atribuição)

```
process(enable, dataIn)
begin
    if (enable = '1') then
        dataOut <= dataIn;
    end if;
end process;
```

Sequencial (latch)

```
process(sel, dataIn0, dataIn1)
begin
    if (sel = '0') then
        dataOut <= dataIn0;
    else
        dataOut <= dataIn1;
    end if;
end process;
```

Combinatório (mux)

```
process(clk)
begin
    if (rising_edge(clk)) then
        dataOut <= dataIn;
    end if;
end process;
```

Sequencial (flip-flop)

Erro “Multiple Drivers” / “Multisource”

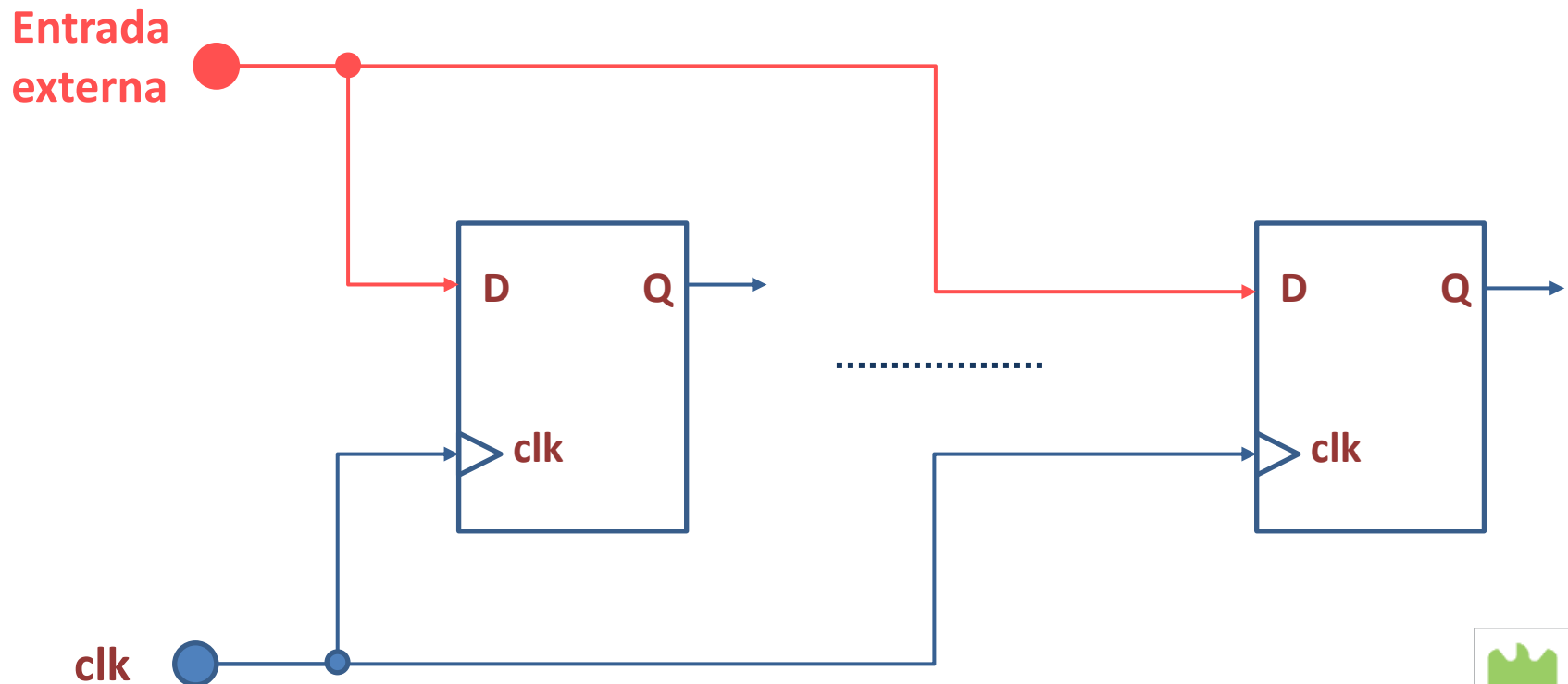
- Em geral, apenas um processo/módulo pode controlar (*to drive*) um sinal/porto de saída
 - Não fazer atribuições a um dado sinal/porto em mais do que processo/atribuição concorrente **e/ou**
 - Não ligar um sinal/porto a mais do que um porto de saída
 - Exceção: sinais com múltiplos *drivers* com capacidade *tri-state* (alta impedância) – a abordar mais tarde...

Exemplo de erros de “multiple / conflict drivers / multisource”:

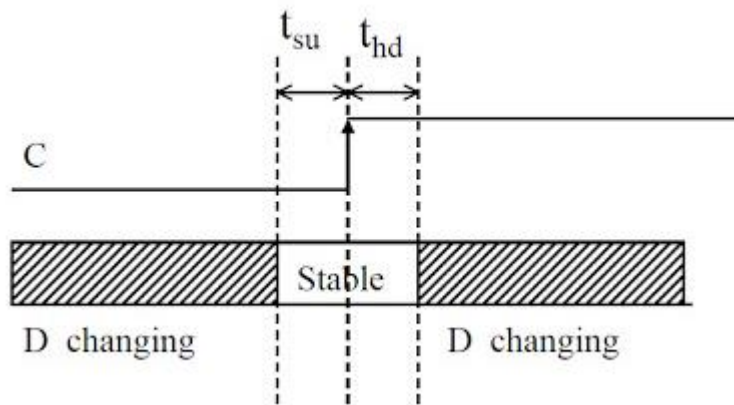
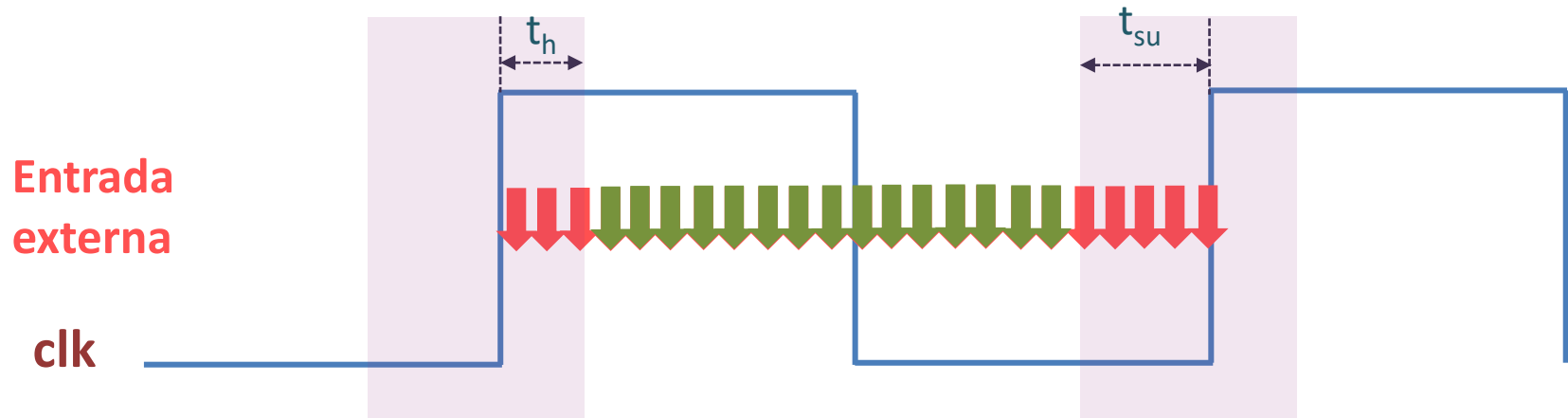
```
p1 : process(...)
begin
    ...
    dataOut <= ...;
    ...
end process;
...
p2 : process(...)
begin
    ...
    dataOut <= ...;
    ...
end process;
...
dataOut <= ...;
...
dataOut <= ...;
...
    port map(... => dataOut);
...
    port map(... => dataOut);
```


Entradas Assíncronas

- Circuitos controlados por um sinal de *clock* são circuitos **síncronos**
- Circuitos síncronos podem ter entradas **assíncronas**



Sinais Assíncronos

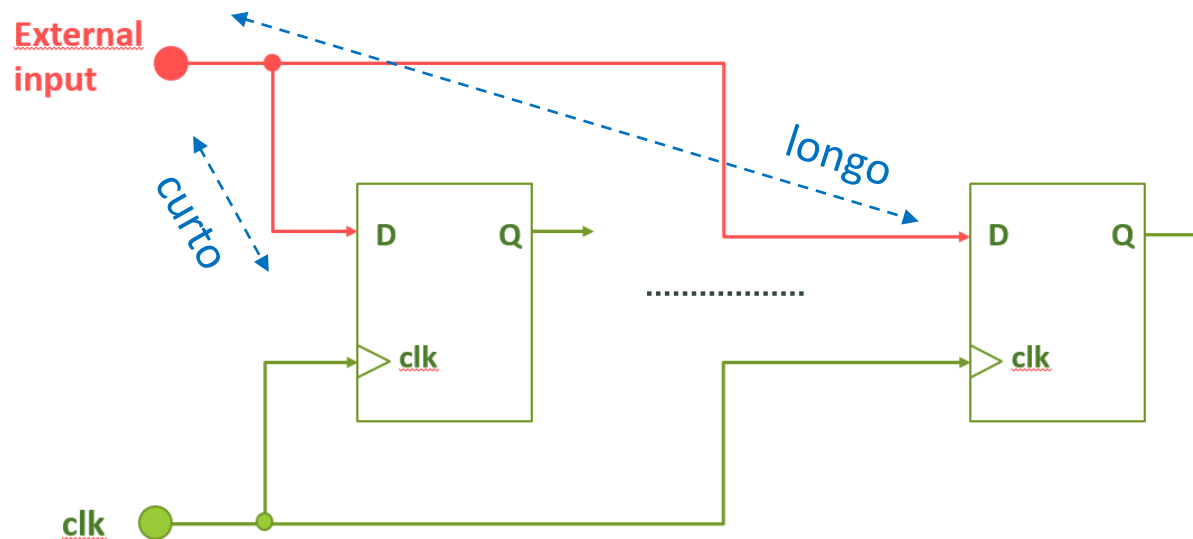


Problema de metaestabilidade:

- Ocorre quando entradas comutam perto do flanco ativo de *clock*
- Nem todas as transições que violam t_{su} e t_h resultam em metaestabilidade

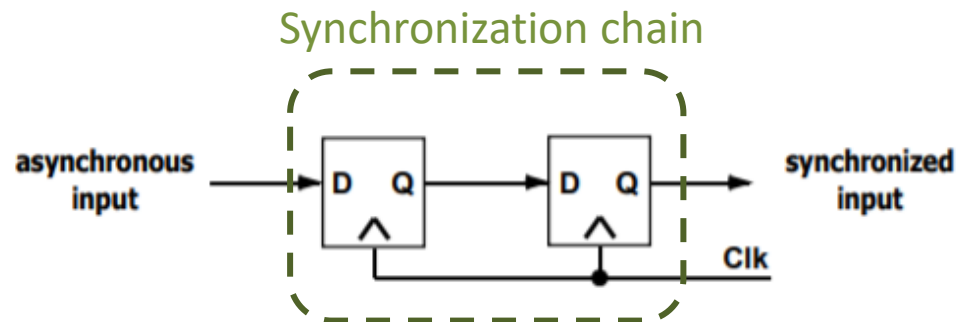
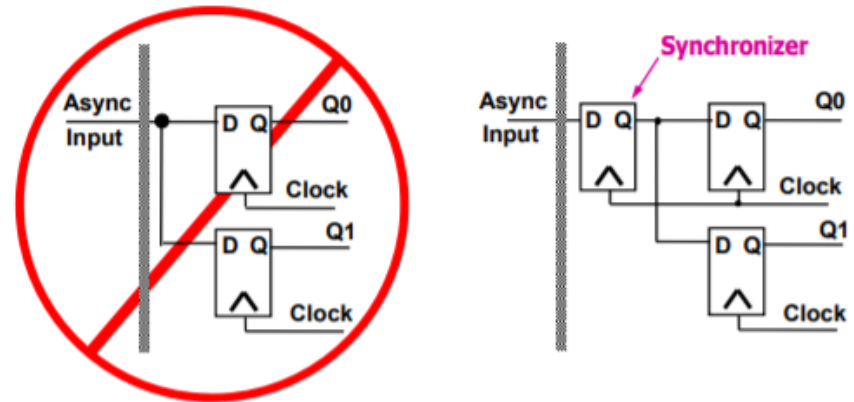
Entradas Assíncronas

- Pequenas diferenças de atraso significam que os registros podem discordar no valor de entrada
- Problema de “valor inconsistente”:
 - Dois caminhos da entrada para dois registos diferentes:



Solução do Problema

- Nunca usar diretamente entradas assíncronas => **sincronizá-las**
- A probabilidade de falha nunca pode ser nula!
- Para minimizar falhas, utilizar uma cascata de 2 ou mais **registos-sincronizadores**

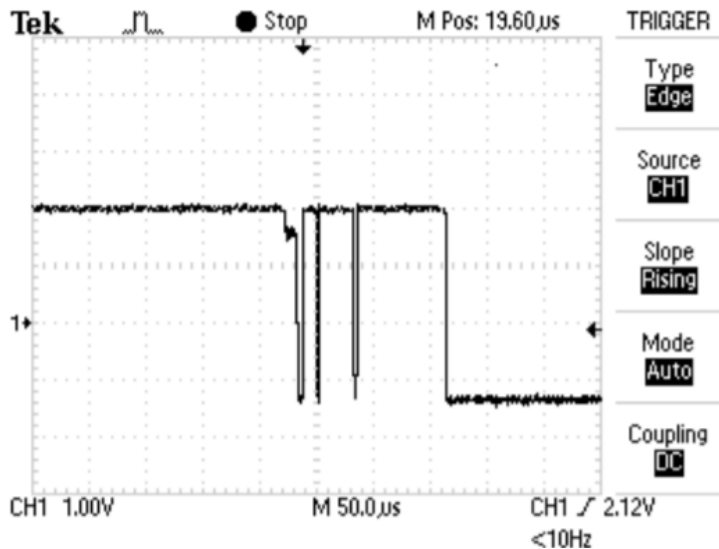


Exemplo

- Exemplo (em VHDL e assumindo que o *clock* do sistema é o **CLOCK_50**):

```
process (CLOCK_50)
begin
    if (rising_edge (CLOCK_50)) then
        s_key <= not KEY;
        s_sw  <= SW;
    end if;
end process;
```

Bouncing de Contatos Mecânicos

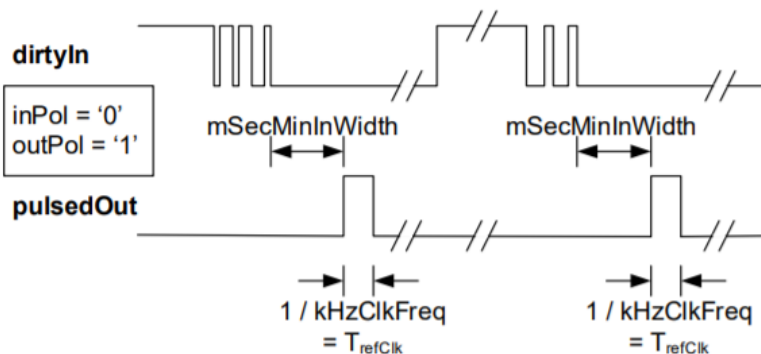


E-learning:

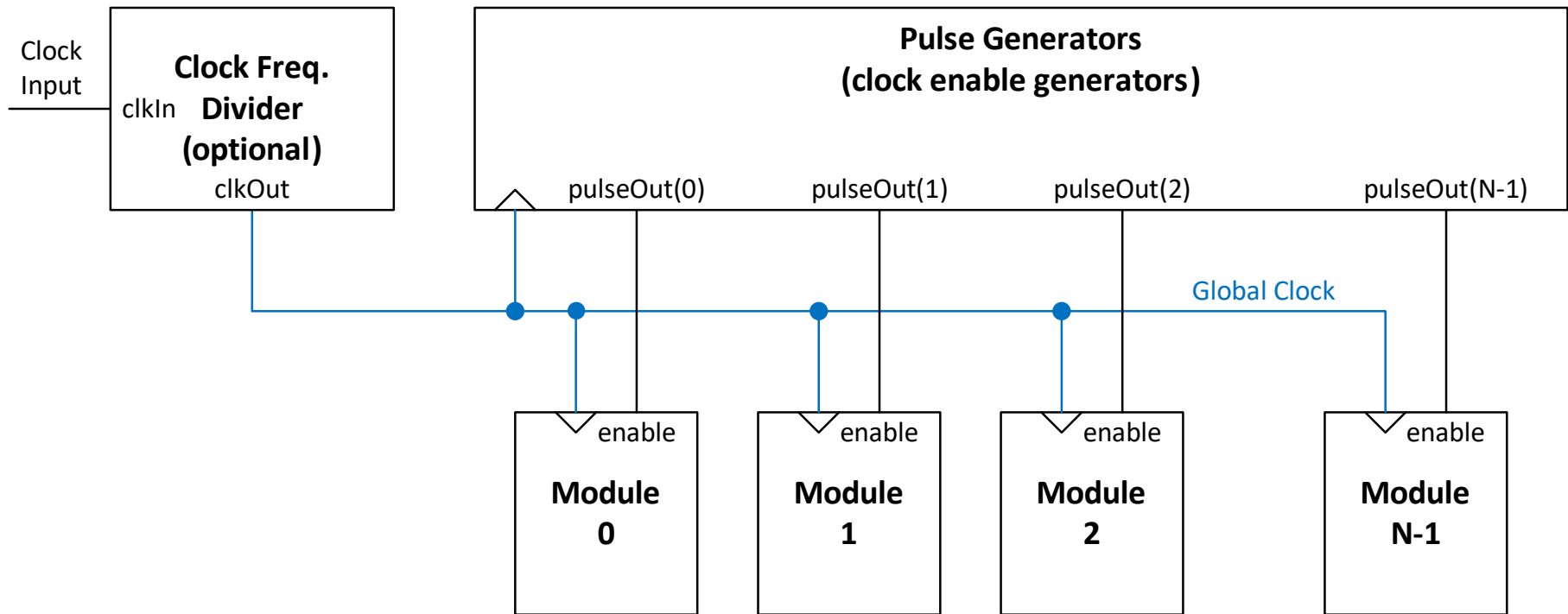
```
entity DebounceUnit is
    generic(kHzClkFreq      : positive := 50000;
            mSecMinInWidth : positive := 100;
            inPolarity      : std_logic := '0';
            outPolarity     : std_logic := '1');
    port(refClk      : in  std_logic;
         dirtyIn     : in  std_logic;
         pulsedOut   : out std_logic);
end DebounceUnit;
```

debounce_KEY0:

```
entity work.DebounceUnit(Behavioral)
    generic map (kHzClkFreq => 50_000,
                 mSecMinInWidth => 100,
                 inPolarity => '0',
                 outPolarity => '1')
    port map(refClk => CLOCK_50,
             dirtyIn => KEY(0),
             pulsedOut => s_startStop);
```



Estrutura Típica de um Projeto



Exemplo de um Gerador de Pulsos Curtos (de sinais *enable*)

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;

entity pulse_gen is
    generic (MAX : positive := 50_000_000);
    port ( clk : in STD_LOGIC;
          reset : in STD_LOGIC;
          pulse : out STD_LOGIC);
end pulse_gen;

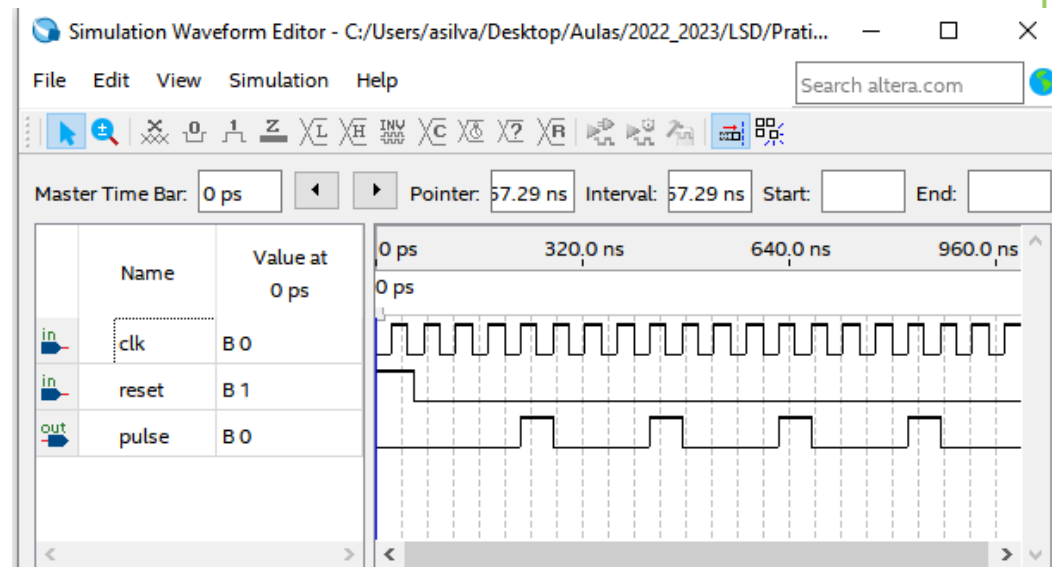
architecture Behavioral of pulse_gen is
    signal s_cnt : natural range 0 to MAX-1;
begin

    process(clk)
    begin
        if (rising_edge(clk)) then
            pulse <= '0';
            if (reset = '1') then
                s_cnt <= 0;
            else
                s_cnt <= s_cnt + 1;
                if (s_cnt = MAX-1) then
                    s_cnt <= 0;
                    pulse <= '1';
                end if;
            end if;
        end if;
    end process;

end Behavioral;
```

Qual é largura do pulso positivo na saída pulse?

Qual é frequência de saída pulse?



Exemplo de um Gerador de Pulsos Largos (para *blinking*)

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;

entity blink_gen is
    generic(NUMBER_STEPS : positive := 25_000_000);
    port ( clk      : in STD_LOGIC;
          reset     : in STD_LOGIC;
          blink     : out STD_LOGIC);
end blink_gen;

architecture Behavioral of blink_gen is
    signal s_counter : natural range 0 to NUMBER_STEPS-1;
begin

    count_proc: process(clk)
    begin
        if rising_edge(clk) then
            if (reset = '1') or (s_counter >= NUMBER_STEPS-1) then
                s_counter <= 0;
            else
                s_counter <= s_counter + 1;
            end if;
        end if;
    end process;

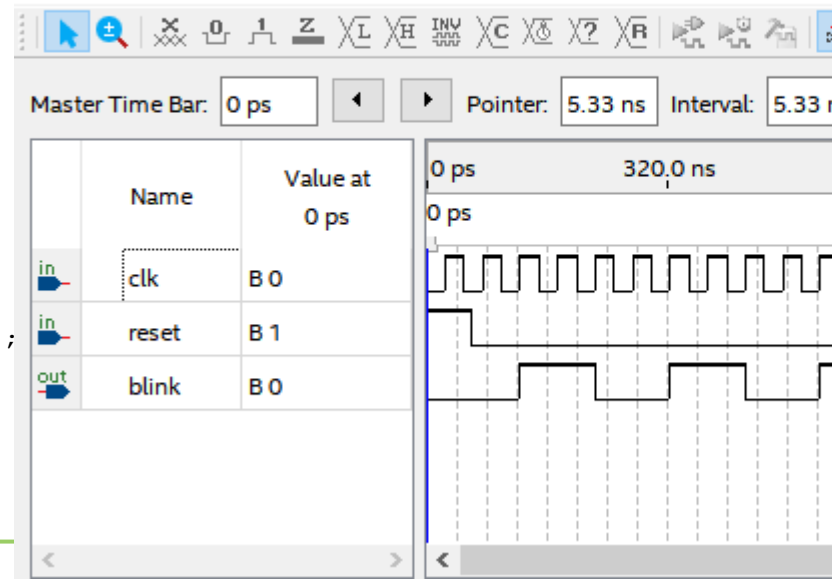
    blink <= '1' when s_counter >= (NUMBER_STEPS/2) else '0';
end Behavioral;
```

Qual é largura do pulso na saída `blink`?

Qual é frequência de saída `blink`?

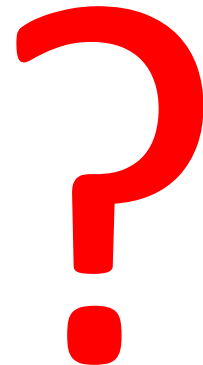
Simulation Waveform Editor - C:/Users/asilva/Desktop/Aulas/2022_2023/

File Edit View Simulation Help



Discussão de Estrutura de um Projeto

- Pretende-se construir um contador **crescente módulo 12**, cujo valor é visualizado em 4 LEDs e em displays de 7 segmentos (em decimal)
- O contador **deve contar uma vez por segundo**
- O valor nos **displays é mostrado** de modo contínuo e **pode ser desligado** por um **SW**
- O valor nos LEDs deve sempre **pisca 4 vezes por segundo**
- **Os LEDs verdes devem estar todos ligados.**
- **Todos os blocos devem funcionar à frequência de 50MHz**
- **O reset síncrono deve ser efetuado por um Key.**
- **Top level de ser implementado em VHDL.**
- **Esboce um diagrama de blocos**



Comentários Finais

- No final desta aula e do trabalho prático 6 de LSD, deverá ser capaz de:
 - Usar (ainda melhor) um subconjunto das construções de VHDL juntamente com estilos de codificação adequados para simulação e implementação
 - Sincronizar todas as entradas assíncronas
 - Resolver o problema de *bouncing* de contatos mecânicos
 - Construir corretamente projetos de um único domínio de relógio