

## Laboratório de Sistemas Digitais

### Trabalho Prático nº 6

#### Modelação em VHDL e implementação de registos e módulos combinatórios de deslocamento

##### Objetivos

- Modelação em VHDL, simulação, implementação em FPGA e teste de circuitos combinatórios e sequenciais elementares de deslocamento e rotação.

##### Sumário

Um bloco funcional de deslocamento permite deslocar um vetor um certo número de *bits*. O deslocamento pode efetuar-se no sentido do *bit* mais significativo (*Most Significant bit* – MSb) – à esquerda – ou no sentido do *bit* menos significativo (*Least Significant bit* – LSb) – à direita. Um bloco deste tipo pode ser realizado de forma puramente combinatória; neste caso, a saída corresponde ao deslocamento de um vetor colocado à entrada. Pode também ser realizado por um circuito sequencial; neste caso, a saída é deslocada relativamente ao seu próprio valor no anterior ciclo de relógio. Quando o vetor é interpretado como uma quantidade numérica inteira (com ou sem sinal), um deslocamento de  $n$  bits à esquerda realiza uma operação de multiplicação por  $2^n$ ; um deslocamento de  $n$  bits à direita realiza uma operação de divisão por  $2^n$ . No caso da multiplicação, pressupõe-se que os *bits* acrescentados à direita são '0'. No caso da divisão, pressupõe-se que os *bits* acrescentados à esquerda replicam o MSb original (para quantidades em complemento para dois), ou são '0' (para quantidades representadas como inteiros positivos – sem sinal).

Este trabalho prático está dividido em três partes. Na primeira, é implementado um bloco de deslocamento sequencial (*shift-register*) do tipo *serial in / parallel out* com dimensão parametrizável. A segunda parte é dedicada à descrição comportamental e implementação de um *shift-register* genérico, com *parallel load*, capaz de efetuar operações de deslocamento e rotação à esquerda e à direita, e suportando igualmente o deslocamento aritmético à direita e à esquerda. A terceira parte é dedicada à implementação de módulos combinatórios de deslocamento.

##### Parte I

1. Crie um novo projeto para a FPGA Cyclone IV EP4CE115F29C7. Poderá designar o projeto e a entidade *top-level* como "ShiftRegister\_Demo".

2. Descreva em VHDL um *shift register* de 4 bits com deslocamento à esquerda, de acordo com a interface representada na Figura 1. Guarde o seu código num ficheiro com o nome "ShiftRegister4.vhd".

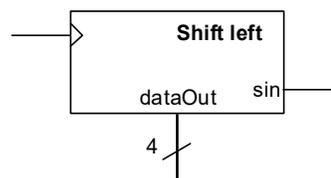


Figura 1 – Interface do módulo "ShiftRegister4".

3. Efetue a simulação do componente modelado.

4. Copie o ficheiro "ShiftRegister4.vhd" para "ShiftRegisterN.vhd" e altere-o de modo a que a dimensão do *shift register* seja parametrizável, definida com uma constante genérica "size" a fixar aquando da instanciação do registo. Por omissão, "size" poderá assumir o valor 4.

5. Crie um novo ficheiro VHDL, chamado "ShiftRegister\_Demo.vhd", que instancie o *shift register* parametrizável com uma dimensão de 8. Para tal, deve atribuir esse valor à constante genérica "size" usando a construção **generic map**. Ligue a entrada "clk" à saída de um divisor de frequência que gere um relógio com a frequência de 1Hz e as restantes entradas a interruptores; ligue as saídas a LED. O divisor de frequência pode ser baseado na instanciação do módulo apresentado na Figura 2, ligando a entrada "clkIn" ao pino "CLOCK\_50" da FPGA e atribuindo um valor adequado à constante "divFactor".

6. Efetue a síntese e implementação do projeto, programe a FPGA e teste o funcionamento do componente.

```

library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;
use IEEE.NUMERIC_STD.all;

entity ClkDividerN is
    generic(divFactor : positive := 10);
    port(clkIn      : in  std_logic;
         clkOut     : out std_logic);
end ClkDividerN;

architecture Behavioral of ClkDividerN is

    subtype TCounter is natural range 0 to divFactor - 1;
    signal s_divCounter : TCounter := 0;

begin
    assert(divFactor >= 2);

    process(clkIn)
    begin
        if (rising_edge(clkIn)) then
            if (s_divCounter >= (divFactor - 1)) then
                clkOut <= '0';
                s_divCounter <= 0;
            else
                if (s_divCounter = (divFactor / 2 - 1)) then
                    clkOut <= '1';
                end if;
                s_divCounter <= s_divCounter + 1;
            end if;
        end if;
    end process;
end Behavioral;

```

Figura 2 -Descrição em VHDL de um divisor de frequência parametrizável.

[TPC] Copie o ficheiro "ShiftRegisterN.vhd" para o ficheiro "ShiftRegisterLoadN.vhd" e altere-o de modo a modelar um *shift register* de *N bits* com entradas de carregamento paralelo, de acordo com o bloco lógico da Figura 3, em que as entradas de "reset" e "load" são síncronas. Efetue a simulação, instanciação, implementação e teste do novo componente.

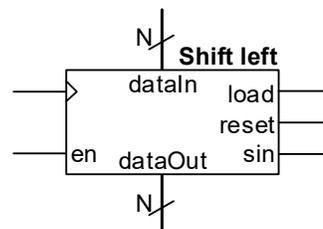


Figura 3 – Interface do módulo "ShiftRegisterLoadN".

## Parte II

1. Crie um projeto para a FPGA Cyclone IV EP4CE115F29C7. Poderá designar o projeto e a entidade *top-level* como “SeqShiftUnit\_Demo”.

2. Dentro deste projeto crie um novo ficheiro VHDL com o nome “SeqShiftUnit.vhd” e transcreva para este ficheiro o código que se apresenta na Figura 4. Complete-o de forma que, para além do *parallel load*, possa efectuar as seguintes operações:

- *shift left/right* lógico
- *shift left/right* aritmético
- *rotate left/right*

```
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.all;

entity SeqShiftUnit is
    port(clk      : in  std_logic;
          dataIn  : in  std_logic_vector(7 downto 0);
          siLeft  : in  std_logic;
          siRight : in  std_logic;
          loadEn  : in  std_logic;
          rotate  : in  std_logic;
          dirLeft : in  std_logic;
          shArith : in  std_logic;
          dataOut : out std_logic_vector(7 downto 0));
end SeqShiftUnit;

architecture Behavioral of SeqShiftUnit is
    signal s_shiftReg : std_logic_vector(7 downto 0);
begin
    process(clk)
    begin
        if (falling_edge(clk)) then
            if (loadEn = '1') then
                s_shiftReg <= dataIn;

            elsif (rotate = '1') then
                if (dirLeft = '1') then
                    s_shiftReg <= s_shiftReg(6 downto 0) & s_shiftReg(7);
                else
                    s_shiftReg <= s_shiftReg(0) & s_shiftReg(7 downto 1);
                end if;

            elsif (shArith = '1') then
                --
                -- Complete o código aqui
                --
            end if;
        end if;
    end process;

    dataOut <= s_shiftReg;
end Behavioral;
```

Figura 4 – Esqueleto da descrição em VHDL do módulo “SeqShiftUnit”.

NOTA: "siLeft" e "siRight" são as entradas série para os *shifts* lógicos à esquerda e à direita, respetivamente (ver tabela do lado). Relembre a matéria de ISDig e das aulas TP de LSD, e anote no seu *log book* uma breve descrição funcional de cada uma das operações indicadas neste ponto.

Shift	À Esquerda	À Direita
Lógico	Entra "siLeft" do lado direito	Entra "siRight" do lado esquerdo
Aritmético	Entra '0' do lado direito	Entra (replica) MSb do lado esquerdo

3. Sintetize o circuito criado, verifique a sua correção sintática e efetue a simulação do componente modelado.

4. Crie um novo ficheiro, chamado "SeqShiftUnit\_Demo.bdf", para instanciar de forma gráfica o *shift register* que descreveu. Ligue a entrada "clk" à saída do divisor de frequência que usou na *Parte I*, as restantes entradas a interruptores e as saídas a LED à sua escolha. Teste o funcionamento do circuito na sua placa de desenvolvimento.

### Parte III

1. Crie um projeto para a FPGA Cyclone IV EP4CE115F29C7. Poderá designar o projeto e a entidade *top-level* como "CombShiftUnit\_Demo".

2. Dentro deste projeto, crie um novo ficheiro VHDL com o nome "CombShiftUnit.vhd".

3. Escreva o código necessário para instanciar um módulo de deslocamento **combinatório** de 8 bits, capaz de efetuar o mesmo tipo de operações que o *shift register* da *Parte II*.

NOTA: utilize as seguintes funções, definidas na *package NUMERIC\_STD* da biblioteca **IEEE**, para realizar as operações de deslocamento e rotação de forma combinatória:

#### Deslocamentos lógicos

```
function SHIFT_LEFT (ARG: UNSIGNED; COUNT: NATURAL) return UNSIGNED;
function SHIFT_RIGHT (ARG: UNSIGNED; COUNT: NATURAL) return UNSIGNED;
```

#### Deslocamentos aritméticos

```
function SHIFT_LEFT (ARG: SIGNED; COUNT: NATURAL) return SIGNED;
function SHIFT_RIGHT (ARG: SIGNED; COUNT: NATURAL) return SIGNED;
```

#### Rotações

```
function ROTATE_LEFT (ARG: UNSIGNED; COUNT: NATURAL) return UNSIGNED;
function ROTATE_RIGHT (ARG: UNSIGNED; COUNT: NATURAL) return UNSIGNED;
```

4. Sintetize o circuito criado, verifique a sua correção sintática e efetue a simulação do componente modelado.

5. Crie um novo ficheiro VHDL, chamado "CombShiftUnit\_Demo.vhd", onde deverá instanciar o *shifter* anteriormente modelado e associar os respetivos portos aos seguintes pinos concretos da FPGA do *kit* de desenvolvimento:

```
dataIn->SW[7..0]      rotate->KEY[0]      dirLeft->KEY[1]
shArith->KEY[2]      shAmount->SW[17:15]  dataOut->LEDR[7:0]
```

6. Efetue a síntese e compilação do projeto, programe a FPGA e teste o funcionamento do componente.