
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Instituto de Ciências Exatas e Informática
Departamento de Engenharia de Computação

Relatório: Trabalho Prático 2

Registradores em VHDL

Professores: Antônio Hamilton Magalhães

Bruno Luiz Dias Alves de Castro
Rafael Ramos de Andrade

Belo Horizonte
Campus Coração Eucarístico

10 de novembro de 2024

Conteúdo

1	Introdução	3
1.1	Objetivos	3
1.1.1	Registradores	3
1.1.2	Pilhas	3
2	w_reg	4
2.1	Implementação	4
2.2	Simulação	5
3	fsr_reg	6
3.1	Implementação	6
3.2	Simulação	7
4	status_reg	8
4.1	Implementação	8
4.2	Simulação	9
5	stack	11
5.1	Implementação	11
5.2	Simulação	12
6	pc_reg	14
6.1	Implementação	14
6.2	Simulação	16
7	Conclusão	17

1 Introdução

Durante as aulas da disciplina de Sistemas Reconfiguráveis, fomos introduzidos à linguagem VHDL. VHDL (**V**HSIC **H**ardware **D**escription **L**anguage) é uma linguagem de descrição de hardware. Com ela, podemos montar circuitos lógicos de maneira totalmente textual, o que garante à linguagem uma grande vantagem ante às soluções visuais.

1.1 Objetivos

O objetivo deste segundo trabalho prático é a implementação de estruturas diversas de registradores e pilhas. Essas estruturas são cruciais na construção de circuitos complexos como controladores e processadores. Uma breve descrição de cada um é apresentada à seguir:

1.1.1 Registradores

Registradores são estruturas capazes de armazenar valores binários. São extremamente úteis na construção de circuitos, e é o que permite à ele se “lembrar” de dados relevantes.

Possuam três operações básicas: escrita, leitura e *reset*. Com o auxílio de um sinal de *clock*, mantém suas operações sincronizadas.

Pode ser usada por um processador para guardar valores entre ciclos de *clock*, ou para obter a próxima instrução à ser executada (PC). Este último é implementado no último circuito (pc_reg), juntamente com uma pilha.

1.1.2 Pilhas

Pilhas são conjuntos de registradores com duas operações básicas: *Push* (Empilhamento) e *pop* (Desempilhamento). Ao receber um sinal de *Push*, o dado na entrada da pilha é adicionado ao primeiro registrador da estrutura. O dado que estava neste registrador é então movido para o segundo, e assim por diante.

O contrário ocorre na operação de *pop*. O dado no último registrador é movido para o penúltimo, e assim por diante. O dado no primeiro registrador é então colocado para fora da pilha para ser usado.

Ambas as operações acontecem de maneira síncrona, com o auxílio de um sinal de *clock*. Um efeito interessante é que, como os dados são empilhados através de uma regra FILO (**F**irst **I**n **L**ast **O**ut), isso tem o efeito colateral de inverter a ordem dos dados que foram inseridos. Por exemplo, ao empilhar a sequência: “1”, “2” e “3”, ao desempilhar toda a pilha, observarem a sequência: “3”, “2” e “1” na saída.

2 w_reg

O registrador w_reg é um registrador simples. Possui um barramento de dados para escrita, habilitada por um sinal wr_in.

As entradas e saídas do circuito são descritas na tabela a baixo:

Nome	Tamanho	Tipo	Descrição
nrst	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>reset</i> assíncrono.
clk_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>clock</i> .
d_in	8 bits	<i>Input</i>	Entrada de dados para escrita.
wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação de escrita.
w_out	8 bits	<i>Output</i>	Saída de dados.

Tabela 1: Entradas e Saídas de fsr_reg

2.1 Implementação

O registrador w_reg foi implementado utilizando a linguagem VHDL.

O código na íntegra está abaixo:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_unsigned.all;
4 USE ieee.numeric_std.all;
5
6 ENTITY w_reg IS
7     PORT (
8         -- Inputs
9         nrst : IN STD_LOGIC;           -- Reset
10        clk_in: IN STD_LOGIC;           -- Clock
11        d_in:  IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
12        wr_en : IN STD_LOGIC;           -- Enable
13
14        -- Outputs
15        w_out : OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) -- Dados
16    );
17 END ENTITY;
18
19 ARCHITECTURE w_reg OF w_reg IS
20     SIGNAL mem_reg: STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);
21 BEGIN
22
23     PROCESS (nrst, clk_in)
24     BEGIN
25         IF nrst = '0' THEN
26             mem_reg <= "00000000";
27         ELSIF RISING_EDGE(clk_in) then
28             IF wr_en = '1' THEN
29                 mem_reg <= d_in;
30             END IF;
31         END IF;
32     END PROCESS;
33
34     w_out <= mem_reg;
35
36 END w_reg;
```

Listing 1: Código VHDL w_reg

2.2 Simulação

Nesta imagem é realizado 3 testes para verificar a funcionalidade do registrador, nos primeiros 60ns é alterado os bits da entrada de dados (d_in) para nível lógico alto, o bit de reset (nrst) que é ativo em baixa, é desativado, ou seja, nível lógico alto e o bit de ativação (wr_en) é colocado em nível lógico alto após 10ns. Assim é possível verificar a mudança na saída (w_out) com um tempo de delay de 6ns. No segundo teste a partir de 60ns até 140ns é resetado os bits da memória do registrador colocando reset em nível lógico zero, o resultado é propagada para a saída após o tempo de delay de aproximadamente 6ns. No terceiro teste foi verificados se o bit de ativação de escrita está funcionando corretamente, portanto com o bit 6 da saída em nível lógico alto esse valor será escrito apenas no tempo 160ns quando é colocado a porta de ativação do registrador em nível lógico alto e o registrador é escrito.

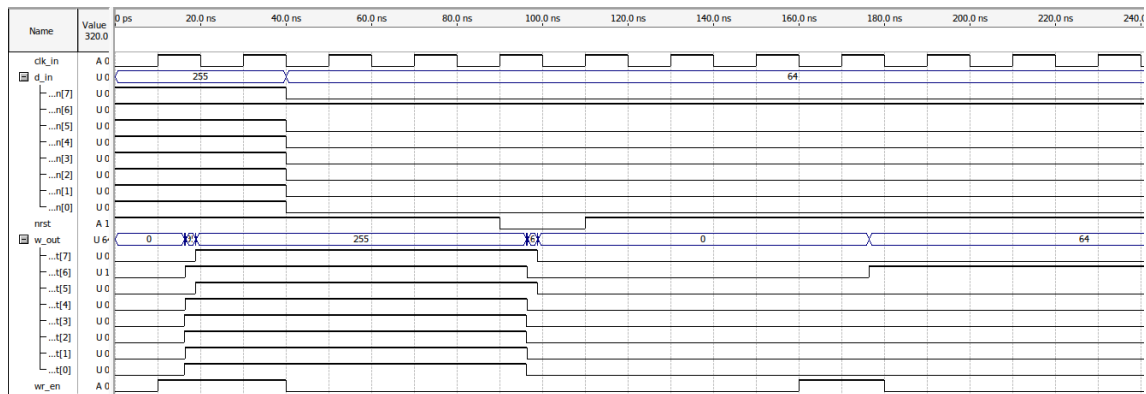


Figura 1: Simulação bloco w_reg

3 fsr_reg

O registrador FSR é um registrador semelhante ao implementado anteriormente. A principal diferença entre os dois está na presença de um sistema de endereçamento, e de duas entradas binárias independentes para habilitação da escrita e da leitura. Os requisitos são descritos na tabela abaixo.

Nome	Tamanho	Tipo	Descrição
nrst	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>reset</i> assíncrono.
clk_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>clock</i> .
abus_in	9 bit	<i>Input</i>	Entrada de endereçamento.
dbus_in	8 bits	<i>Input</i>	Entrada de dados para escrita.
wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação de escrita.
rd_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação de leitura.
dbus_out	8 bits	<i>Output</i>	Saída de dados habilitada por rd_en.

Tabela 2: Entradas e Saídas de fsr_reg

3.1 Implementação

O registrador fsr_reg foi implementado utilizando a linguagem VHDL.

O código na íntegra está abaixo:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_unsigned.all;
4 USE ieee.numeric_std.all;
5
6 ENTITY fsr_reg IS
7     PORT (
8         -- Inputs
9         nrst : IN STD_LOGIC;           -- Reset
10        clk_in: IN STD_LOGIC;          -- Clock
11        abus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(8 DOWNTO 0); -- Endereçamento
12        dbus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
13        wr_en : IN STD_LOGIC;          -- Enable escrita
14        rd_en : IN STD_LOGIC;          -- Enable leitura
15
16        -- Outputs
17        dbus_out : OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
18        fsr_out : OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0) -- Registrador
19    );
20 END ENTITY;
21
22 ARCHITECTURE fsr_reg OF fsr_reg IS
23     SIGNAL mem_reg: STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);
24 BEGIN
25     PROCESS (nrst, clk_in, mem_reg, abus_in, dbus_in)
26     BEGIN
27         IF nrst = '0' THEN
28             mem_reg <= "00000000";
29         ELSIF abus_in(6 DOWNTO 0) = "0000100" THEN
30             IF RISING_EDGE(clk_in) THEN
31                 IF wr_en = '1' THEN
32                     mem_reg <= dbus_in;
33                 END IF;
34             END IF;
35         END IF;
36     END PROCESS;
37
38     dbus_out <= mem_reg WHEN rd_en = '1' ELSE "ZZZZZZZZ";
39     fsr_out <= mem_reg;
40 END fsr_reg;
```

Listing 2: Código VHDL fsr_reg

3.2 Simulação

Para testar nosso código VHDL e certificar-nos de que nosso circuito funciona de maneira esperada, simulamos alguns casos de testes utilizando o software Quatus II.

Os testes realizados foram os seguintes:

1. Escrita com endereçamento incorreto (diferente de XX0000100).

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out em alta impedância;
- fsr_out sem alteração;

2. Leitura habilitada e escrita desabilitada.

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out = frs_out = último valor escrito;

3. Leitura desabilitada e escrita habilitada.

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out em alta impedância;
- frs_out = dbus_in;

4. *Reset* com leitura habilitada.

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out = frs_out = “0b00000000”;

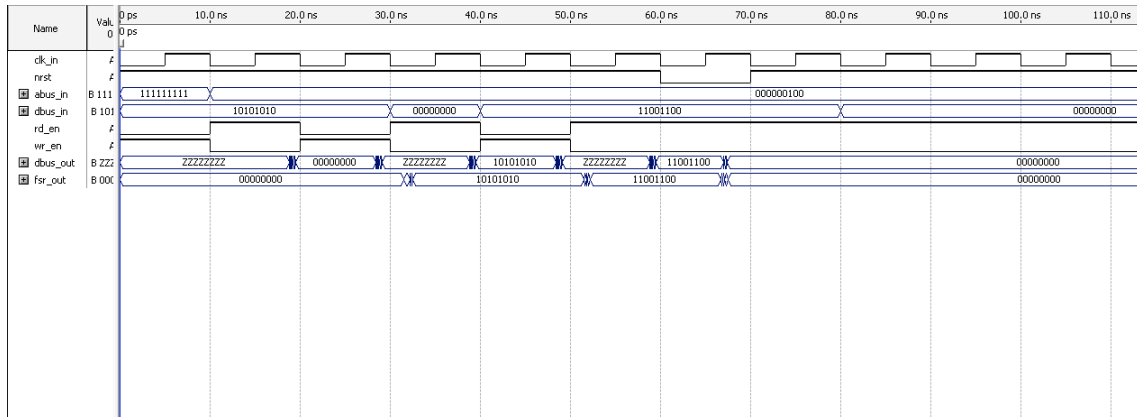


Figura 2: Simulação fsr_reg

4 status_reg

O status é um registrador semelhante ao implementado anteriormente. A diferença esta na presença de sinais de entrada e saída para controlar bits específicos. Assim como o anterior, existe um sistema de endereçamento que deve ser conferido para alterar o registrador.

As entradas e saídas do circuito são descritas na tabela a baixo:

Nome	Tamanho	Tipo	Descrição
nrst	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>reset</i> assíncrono.
clk_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>clock</i> .
abus_in	9 bit	<i>Input</i>	Entrada de endereçamento.
dbus_in	8 bits	<i>Input</i>	Entrada de dados para escrita.
wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação de escrita.
rd_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação de leitura.
z_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de dado para escrita no bit 2 do registrador.
dc_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de dado para escrita no bit 1 do registrador.
c_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de dado para escrita no bit 0 do registrador.
z_wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada para habilitação da escrita no bit 2 do registrador.
dc_wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada para habilitação da escrita no bit 1 do registrador.
c_wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada para habilitação da escrita no bit 0 do registrador.
dbus_out	8 bits	<i>Output</i>	Saída de dados hailitada por rd_en.
irp_out	1 bit	<i>Output</i>	Saída correspondente ao bit 7 do registrador.
rp_out	2 bits	<i>Output</i>	Saída correspondente aos bits 6 e 5 do registrador.
z_out	1 bit	<i>Output</i>	Saída correspondente ao bit 2 do registrador.
dc_out	1 bit	<i>Output</i>	Saída correspondente ao bit 1 do registrador.
c_out	1 bit	<i>Output</i>	Saída correspondente ao bit 0 do registrador.

Tabela 3: Entradas e Saídas de status_reg

4.1 Implementação

O status_reg foi implementado utilizando a linguagem VHDL.

O código na íntegra está abaixo:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_unsigned.all;
4 USE ieee.numeric_std.all;
5
6 ENTITY status_reg IS
7     PORT (
8         -- Inputs
9         nrst: IN STD_LOGIC;                -- Reset
10        clk_in: IN STD_LOGIC;              -- Clock
11        abus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(8 DOWNTO 0); -- Endereçamento
12        dbus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
13        wr_en: IN STD_LOGIC;              -- Enable escrita
14        rd_en: IN STD_LOGIC;              -- Enable leitura
15        z_in: IN STD_LOGIC;               -- Dados bit 2
16        dc_in: IN STD_LOGIC;              -- Dados bit 1
17        c_in: IN STD_LOGIC;               -- Dados bit 0
18        z_wr_en: IN STD_LOGIC;            -- Enable escrita bit 2
19        dc_wr_en: IN STD_LOGIC;           -- Enable escrita bit 1
20        c_wr_en: IN STD_LOGIC;           -- Enable escrita bit 0
21
22        -- Outputs
23        dbus_out: OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
24        irp_out: OUT STD_LOGIC;             -- Dados bit 7
25        rp_out: OUT STD_LOGIC_VECTOR(1 DOWNTO 0); -- Dados bit 6 e 5
```



```

26     z_out: OUT STD_LOGIC;           -- Dados bit 2
27     dc_out: OUT STD_LOGIC;         -- Dados bit 1
28     c_out: OUT STD_LOGIC           -- Dados bit 0
29 );
30 END ENTITY;
31
32 ARCHITECTURE status_reg OF status_reg IS
33     SIGNAL mem_reg: STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);
34 BEGIN
35     PROCESS(nrst, clk_in, mem_reg, wr_en, z_in, dc_in, c_in)
36     BEGIN
37         IF nrst = '0' THEN
38             mem_reg <= "00000000";
39         ELSIF RISING_EDGE(clk_in) THEN
40             IF wr_en = '1' AND abus_in(6 DOWNT0 0) = "0000011" THEN
41                 mem_reg <= dbus_in;
42             END IF;
43             IF z_wr_en = '1' THEN
44                 mem_reg(2) <= z_in;
45             END IF;
46             IF dc_wr_en = '1' THEN
47                 mem_reg(1) <= dc_in;
48             END IF;
49             IF c_wr_en = '1' THEN
50                 mem_reg(0) <= c_in;
51             END IF;
52         END IF;
53     END PROCESS;
54
55     dbus_out <= mem_reg WHEN rd_en = '1' AND abus_in(6 DOWNT0 0) = "0000011" ELSE "ZZZZZZZZ";
56     irp_out <= mem_reg(7);
57     rp_out <= mem_reg(6 DOWNT0 5);
58     z_out <= mem_reg(2);
59     dc_out <= mem_reg(1);
60     c_out <= mem_reg(0);
61 END status_reg;

```

Listing 3: Código VHDL status_reg

4.2 Simulação

Para testar nosso código VHDL e certificar-nos de que nosso circuito funciona de maneira esperada, simulamos alguns casos de testes utilizando o software Quatus II.

Os testes realizados foram os seguintes:

1. Escrita com endereçamento incorreto (diferente de “0bXX0000011”).

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out em alta impedância;
- rp_out = “0b00”
- irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b0”

2. Leitura desabilitada e escrita habilitada;

- dbus_in = “0b01011000”.
- z_in = dc_in = c_in = 1;
- z_wr_en = dc_wr_en = c_wr_en = 0;

- **Comportamento esperado:**

- dbus_out em alta impedância;
- rp_out = “10b”
- irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b0”

3. Leitura habilitada e escrita desabilitada.

- Valor salvo = “0b01011000”.
- **Comportamento esperado:**
 - dbus_out = “0b01011000”;
 - rp_out = “10b”
 - irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b0”

4. Leitura desabilitada e escrita habilitada;

- dbus_in = “0b10100000”.
- z_in = dc_in = c_in = 1;
- z_wr_en = dc_wr_en = c_wr_en = 1;
- **Comportamento esperado:**
 - dbus_out em alta impedância;
 - rp_out = “01b”
 - irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b1”

5. Leitura habilitada e escrita desabilitada.

- Valor salvo = “0b10100111”.
- **Comportamento esperado:**
 - dbus_out = “0b10100111”;
 - rp_out = “10b”
 - irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b1”

6. *Reset* com leitura habilitada.

- **Comportamento esperado:**
 - dbus_out = “0b00000000”;
 - rp_out = “00b”
 - irp_out = z_out = dc_out = c_out = “0b0”

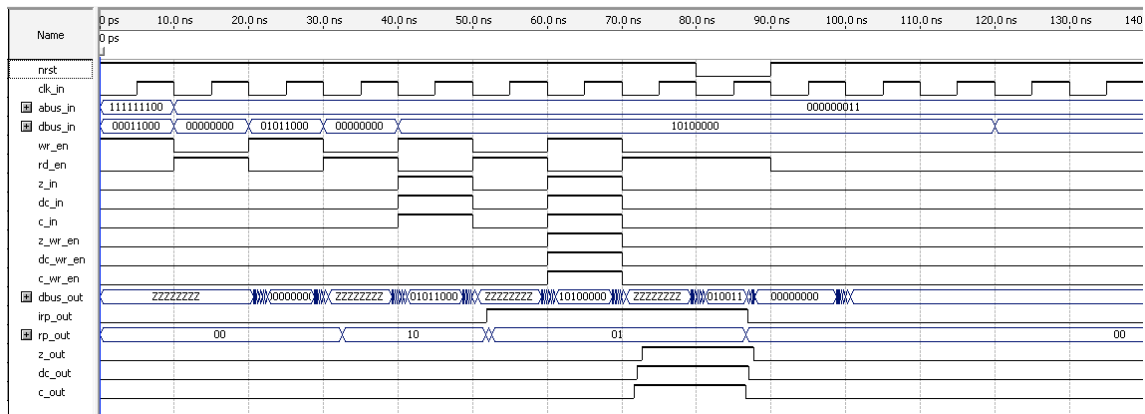


Figura 3: Simulação status_reg

5 stack

O bloco **stack** é um conjunto de 8 registradores de 13 bits. As operações de *push* e *pop* adicionam e removem dados da pilha, respectivamente.

As entradas e saídas deste bloco estão descritas na tabela abaixo:

Nome	Tamanho	Tipo	Descrição
nrst	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>reset</i> assíncrono.
clk_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>clock</i> .
stack_in	13 bit	<i>Input</i>	Entrada de dados para a pilha.
stack_push	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para colocar valores na pilha.
stack_pop	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para retirar valores da pilha.
stack_out	13 bits	<i>Output</i>	Saída correspondente à primeira posição da pilha.

Tabela 4: Entradas e Saídas do bloco stack

5.1 Implementação

O bloco stack foi implementado utilizando a linguagem VHDL.

O código na íntegra está abaixo:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_unsigned.all;
4 USE ieee.numeric_std.all;
5
6 ENTITY stack IS
7     PORT (
8         -- Inputs
9         nrst: IN STD_LOGIC;                -- Reset
10        clk_in: IN STD_LOGIC;               -- Clock
11        stack_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0); -- Dados
12        stack_push: IN STD_LOGIC;          -- Enable push op
13        stack_pop: IN STD_LOGIC;           -- Enable pop op
14
15        -- Outputs
16        stack_out: OUT STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0) -- Stack output
17    );
18 END ENTITY;
19
20 ARCHITECTURE stack OF stack IS
21     SIGNAL mem_reg1, mem_reg2, mem_reg3, mem_reg4, mem_reg5, mem_reg6, mem_reg7, mem_reg8 :
22     STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0);
23 BEGIN
24     PROCESS(nrst, clk_in, stack_push, stack_pop)
25     BEGIN
26         IF nrst = '0' THEN
27             mem_reg1 <= "0000000000000";
28             mem_reg2 <= "0000000000000";
29             mem_reg3 <= "0000000000000";
30             mem_reg4 <= "0000000000000";
31             mem_reg5 <= "0000000000000";
32             mem_reg6 <= "0000000000000";
33             mem_reg7 <= "0000000000000";
34             mem_reg8 <= "0000000000000";
35         ELSIF RISING_EDGE(clk_in) THEN
36             stack_out <= "0000000000000";
37             IF stack_pop = '1' THEN
38                 stack_out <= mem_reg1;
39                 mem_reg1 <= mem_reg2;
40                 mem_reg2 <= mem_reg3;
41                 mem_reg3 <= mem_reg4;
42                 mem_reg4 <= mem_reg5;
```

```

42         mem_reg5 <= mem_reg6;
43         mem_reg6 <= mem_reg7;
44         mem_reg7 <= mem_reg8;
45         mem_reg8 <= "000000000000";
46     ELSIF stack_push = '1' THEN
47         mem_reg8 <= mem_reg7;
48         mem_reg7 <= mem_reg6;
49         mem_reg6 <= mem_reg5;
50         mem_reg5 <= mem_reg4;
51         mem_reg4 <= mem_reg3;
52         mem_reg3 <= mem_reg2;
53         mem_reg2 <= mem_reg1;
54         mem_reg1 <= stack_in;
55     END IF;
56 END IF;
57 END PROCESS;
58 END stack;

```

Listing 4: Código VHDL stack

5.2 Simulação

Para testar nosso código VHDL e certificar-nos de que nosso circuito funciona de maneira esperada, simulamos alguns casos de testes utilizando o software Quatus II.

Os testes realizados foram os seguintes:

1. *Push* até pilha cheia.

- stack_in: Sequência de “0” à “7”;
- stack_push = “1”;
- stack_pop = “0”;
- **Comportamento esperado:**
 - stack_out = “0”;

2. *Pop* até pilha vazia.

- stack_push = “0”;
- stack_pop = “1”;
- **Comportamento esperado:**
 - stack_out = Sequência de “7” à “0”;

3. *Push* até *Stack Overflow*.

- stack_in: Sequência de “0” à “9”;
- stack_push = “1”;
- stack_pop = “0”;
- **Comportamento esperado:**
 - stack_out = “0”;

4. *Pop* até *Stack Underflow*.

- stack: Sequência de “9” à “2”;
- stack_push = “0”;
- stack_pop = “1”;
- **Comportamento esperado:**
 - stack_out = Sequência de “9” à “2”, depois, “0”;

5. *Push* e *Pop* simultâneo.

- stack: “1”;
- stack_push = “1”;
- stack_pop = “1”;
- **Comportamento esperado:**
 - Preferência do *pop*.
 - stack_out = “1”, depois, “0”;

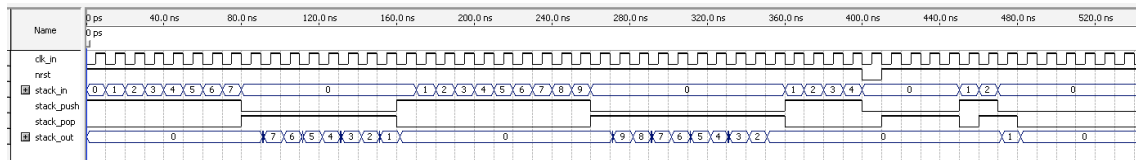


Figura 4: Simulação bloco stack

6 pc_reg

O bloco pc_reg controla o registrados pc de um processador. Possui operações para incremento de endereço, *load*, *reset* e escrita, bem como operações de *push* e *pop* adicionam e removem o valor corrente de pc à uma pilha pilha.

As entradas e saídas deste bloco estão descritas na tabela abaixo:

Nome	Tamanho	Tipo	Descrição
nrst	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>reset</i> assíncrono.
clk_in	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de <i>clock</i> .
aadr_in	11 bits	<i>Input</i>	Entrada de dados para carga no registrador PC.
abus_in	9 bits	<i>Input</i>	Entrada de endereçamento para PCL e para o registrador PCLATH.
dbus_in	8 bits	<i>Input</i>	Entrada de dados para escrita em PCL e PCLATH.
inc_pc	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para incremento.
load_pc	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para carga.
wr_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para escrita nos registradores.
rd_en	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para leitura dos registradores.
stack_push	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para colocar valores na pilha.
stack_pop	1 bit	<i>Input</i>	Entrada de habilitação para retirar valores da pilha.
nextpc_out	13 bits	<i>Output</i>	Saída do valor a ser carregado no contador.
dbus_out	8 bits	<i>Output</i>	Saída de dados lidos com endereçamento por abus_in.

Tabela 5: Entradas e Saídas do bloco pc_reg

6.1 Implementação

O bloco pc_reg foi implementado utilizando a linguagem VHDL.

O código na íntegra está abaixo:

```
1 LIBRARY ieee;
2 USE ieee.std_logic_1164.all;
3 USE ieee.std_logic_unsigned.all;
4 USE ieee.numeric_std.all;
5
6 ENTITY pc_reg IS
7     PORT (
8         -- Inputs
9         nrst: IN STD_LOGIC;                -- Reset
10        clk_in: IN STD_LOGIC;               -- Clock
11        aadr_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(10 DOWNTO 0); -- Dados
12        abus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(8 DOWNTO 0); -- Endereçamento PCL e PCLATH
13        dbus_in: IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados PCL e PCLATH
14        inc_pc: IN STD_LOGIC;               -- Enable incremento.
15        load_pc: IN STD_LOGIC;              -- Enable carga.
16        wr_en: IN STD_LOGIC;                -- Enable escrita.
17        rd_en: IN STD_LOGIC;                -- Enable leitura.
18        stack_push: IN STD_LOGIC;           -- Enable push op
19        stack_pop: IN STD_LOGIC;            -- Enable pop op
20
21        -- Outputs
22        nextpc_out: OUT STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0); -- Contador
23        dbus_out: OUT STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0); -- Dados
24    );
25 END ENTITY;
26
27 ARCHITECTURE pc_reg OF pc_reg IS
28     SIGNAL stack_reg1, stack_reg2, stack_reg3, stack_reg4, stack_reg5, stack_reg6, stack_reg7,
29     stack_reg8 : STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0);
30     SIGNAL stack_popped: STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0);
31     SIGNAL pc: STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0);
```

```

31     SIGNAL lath_pc: STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);
32     SIGNAL nextpc: STD_LOGIC_VECTOR(12 DOWNTO 0);
33 BEGIN
34
35     -- Stack
36     PROCESS(nrst, clk_in, stack_push, stack_pop, stack_popped)
37     BEGIN
38         IF nrst = '0' THEN
39             stack_reg1 <= "000000000000";
40             stack_reg2 <= "000000000000";
41             stack_reg3 <= "000000000000";
42             stack_reg4 <= "000000000000";
43             stack_reg5 <= "000000000000";
44             stack_reg6 <= "000000000000";
45             stack_reg7 <= "000000000000";
46             stack_reg8 <= "000000000000";
47         ELSIF RISING_EDGE(clk_in) THEN
48             IF stack_pop = '1' THEN
49                 stack_popped <= stack_reg1;
50                 stack_reg1 <= stack_reg2;
51                 stack_reg2 <= stack_reg3;
52                 stack_reg3 <= stack_reg4;
53                 stack_reg4 <= stack_reg5;
54                 stack_reg5 <= stack_reg6;
55                 stack_reg6 <= stack_reg7;
56                 stack_reg7 <= stack_reg8;
57                 stack_reg8 <= "000000000000";
58             ELSIF stack_push = '1' THEN
59                 stack_reg8 <= stack_reg7;
60                 stack_reg7 <= stack_reg6;
61                 stack_reg6 <= stack_reg5;
62                 stack_reg5 <= stack_reg4;
63                 stack_reg4 <= stack_reg3;
64                 stack_reg3 <= stack_reg2;
65                 stack_reg2 <= stack_reg1;
66                 stack_reg1 <= pc;
67             END IF;
68         END IF;
69     END PROCESS;
70
71     -- logica combinacional para nextpc
72     PROCESS(stack_pop, inc_pc, load_pc, wr_en, abus_in, pc, addr_in, lath_pc, stack_popped,
73     dbus_in)
74     BEGIN
75         IF stack_pop = '1' THEN
76             nextpc <= stack_popped;
77         ELSIF inc_pc = '1' THEN
78             nextpc <= pc + 1;
79         ELSIF load_pc = '1' THEN
80             nextpc(10 DOWNTO 0) <= addr_in;
81             nextpc(12 DOWNTO 11) <= lath_pc(4 DOWNTO 3);
82         ELSIF wr_en = '1' AND abus_in(6 DOWNTO 0) = "0000010" THEN
83             nextpc <= lath_pc(4 DOWNTO 0) & dbus_in;
84         ELSE
85             nextpc <= pc;
86         END IF;
87
88         nextpc_out <= nextpc;
89     END PROCESS;
90
91     -- logica secuencial para PC_reg
92     PROCESS(clk_in, nrst, pc, nextpc)
93     BEGIN
94         IF RISING_EDGE(clk_in) THEN
95             pc <= nextpc;
96         END IF;
97
98         IF nrst = '0' THEN
99             pc <= "000000000000";
100         END IF;
101     END PROCESS;
102
103     -- logica secuencial para PCLATH
104     PROCESS(clk_in, nrst, wr_en, abus_in)
105     BEGIN
106         IF RISING_EDGE(clk_in) THEN

```

```

106         IF wr_en = '1' AND abus_in(6 DOWNT0 0) = "0001010" THEN
107             lath_pc <= dbus_in;
108         END IF;
109     END IF;
110
111     IF nrst = '0' THEN
112         lath_pc <= "00000000";
113     END IF;
114 END PROCESS;
115
116 -- logica combinacional para dbus_out
117 PROCESS(clk_in, rd_en, abus_in, lath_pc, pc)
118 BEGIN
119     IF abus_in(6 DOWNT0 0) = "0001010" AND rd_en = '1' THEN
120         dbus_out <= lath_pc(7 DOWNT0 0);
121     ELSIF abus_in(6 DOWNT0 0) = "0000010" AND rd_en = '1' THEN
122         dbus_out <= pc(7 DOWNT0 0);
123     ELSE
124         dbus_out <= "ZZZZZZZZ";
125     END IF;
126 END PROCESS;
127
128 END pc_reg;

```

Listing 5: Código VHDL pc_reg

6.2 Simulação

Para testar nosso código VHDL e certificar-nos de que nosso circuito funciona de maneira esperada, simulamos alguns casos de testes utilizando o software Quatus II.

Os testes realizados foram os seguintes:

1. Incremento de PC (4x).

- inc_pc: *High* (4x);
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: Sequência de “0x1” à “0x4”;
 - dbus_out: Alta impedância;

2. *Reset* do PC.

- nrst: *High*;
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: “0x00”;
 - dbus_out: Alta impedância;

3. Empilhamento e Desempilhamento de PC (“0x0” e “0x2”).

- stack_push: *High* (2x) e *low* (2x);
- stack_pop: *Low* (2x) e *high* (2x);
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: “0x02” e “0x00”, nesta ordem;
 - dbus_out: Alta impedância;

4. Escrita e leitura de PCL (“0x0” e “0x2”).

- abus_in: “0x002”;
- dbus_in: “0x0A”
- wr_en: *High* na escrita. *low* na leitura;

- rd_en: *Low* na escrita. *high* na leitura;
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: “0x?0A”;
 - dbus_out: “0x0A”;

5. Carregamento de endereço.

- addr_in: “0x3AB”;
- load_pc: *High*;
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: “0x3AB”;
 - dbus_out: Alta impedância;

6. Escrita e leitura de PCLATH (“0x0” e “0x2”).

- abus_in: “0x00A”;
- dbus_in: “0x18”;
- wr_en: *High* na escrita. *low* na leitura;
- rd_en: *Low* na escrita. *high* na leitura;
- **Comportamento esperado:**
 - nextpc_out: “0x?18”;
 - dbus_out: “0x0A”;

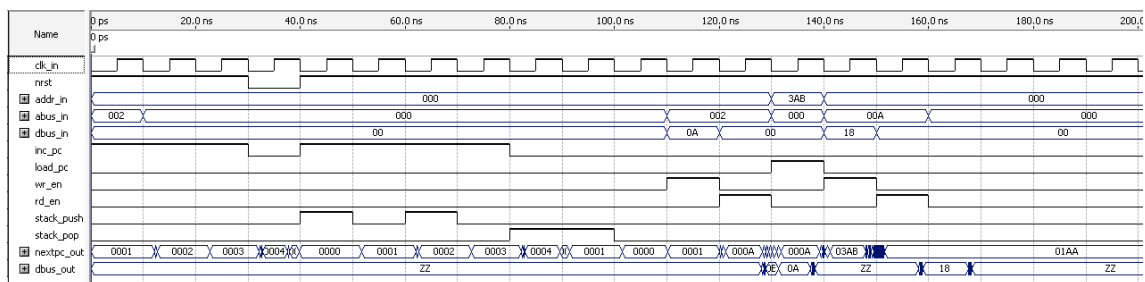


Figura 5: Simulação bloco pc_reg

7 Conclusão

A implementação de registradores através de linguagens de descrição de hardware, como a VHDL, são maneiras poderosas de construir circuitos computacionais de maneira menos complexa e mais rápida.

Apesar de parecerem “simples” à primeira vista, sua implementação possuem nuances que exigem a atenção do engenheiro, e testes exaustivos para certificar que funcionam como deveriam.

Neste trabalho prático, aprendemos como construir registradores e pilhas para auxiliar a construção de nossos circuitos computacionais, utilizando conhecimentos da prática anterior e novas técnicas, como a utilização do “PROCESS”, que permite a execução de trechos sequenciais no nosso circuito, e a utilização do *clock*, que permite a sincronização de rotinas no nosso circuito.

Com os circuitos implementados, estamos mais confiantes nas nossas capacidades, e estamos um passo mais perto de implementar circuitos mais complexos como controladores e processadores.