

# SPI Slave with Single Port RAM project

Using FPGA Design Flow

By Mohamed Gamal Mansour

## Contents

1. Design Specifications.....	3
2. SPI State Diagram .....	4
3. RTL Design Code.....	5
4. Testbench Code.....	11
5. Waveform From Simulation .....	14
6. Schematic using Vivado.....	15
6.1. Sequential Encoding.....	15
6.1.1. Elaboration .....	15
6.1.2. Synthesis .....	16
6.1.3. Implementation.....	18
6.2. Gray Encoding .....	20
6.2.1. Elaboration .....	20
6.2.2. Synthesis .....	21
6.2.3. Implementation.....	23
6.3. one_hot encoding.....	25
6.3.1. Elaboration .....	25
6.3.2. Synthesis .....	26
6.3.3. Implementation.....	28
7. Bitstream Generation.....	30
8. Do File .....	30
9. Constraint File .....	30

## 1. Design Specifications

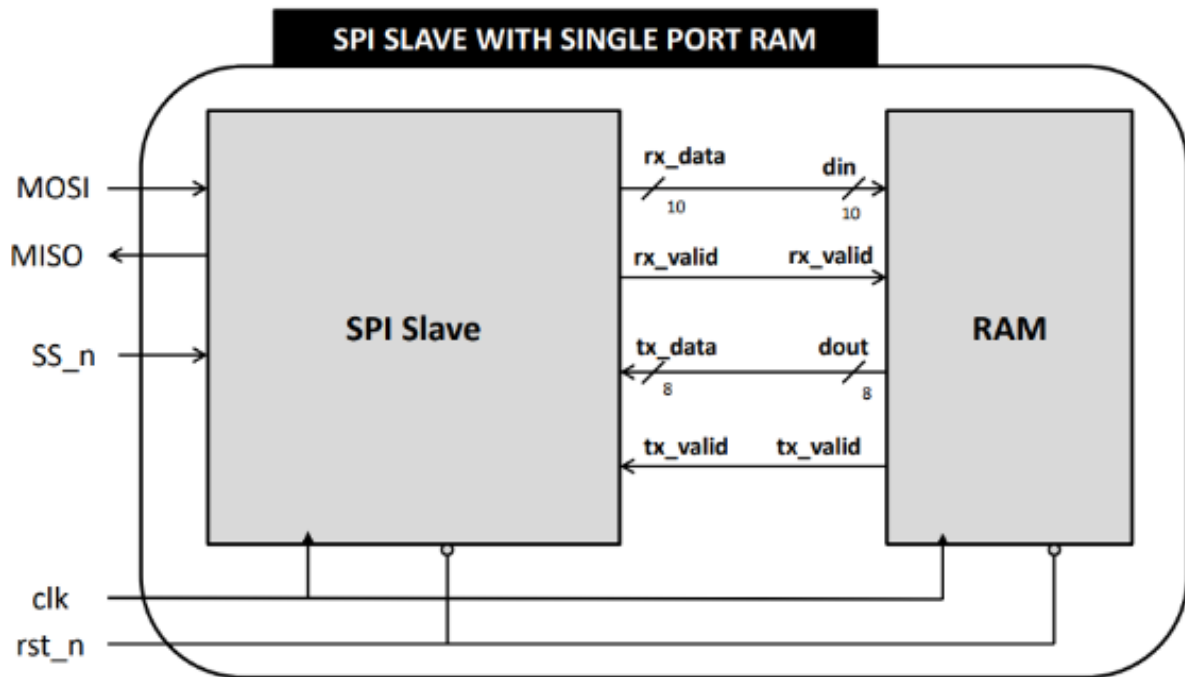


Figure 1: Block Diagram

## 2. SPI State Diagram

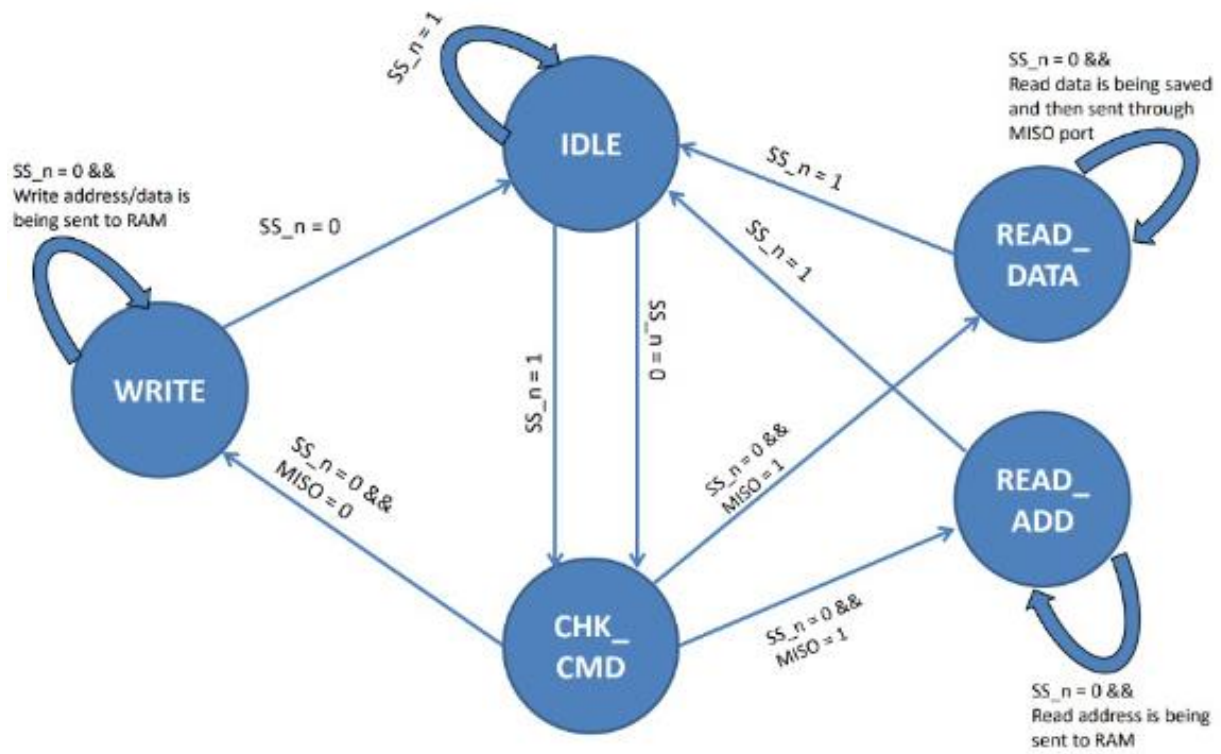


Figure 2: FSM

### 3. RTL Design Code

```
1  module SPI_Slave(MOSI, MISO, SS_n, clk, rst_n, rx_data, rx_valid, tx_data, tx_valid);
2  parameter IDLE=3'b000;
3  parameter CHK_CMD=3'b001;
4  parameter WRITE=3'b010;
5  parameter READ_ADD=3'b011;
6  parameter READ_DATA=3'b100;
7  input MOSI, SS_n, clk, rst_n, tx_valid;
8  input [7:0] tx_data;
9  output reg MISO, rx_valid;
10 output reg [9:0] rx_data;
11 //(* fsm_encoding = "sequential" *)
12 //(* fsm_encoding = "gray" *)
13 (* fsm_encoding = "one_hot" *)
14 reg [2:0] cs,ns;
15 reg [3:0] counter;
16 reg addr_received=0;
17 reg [9:0] shift_reg;
18 // state memory
19 always @(posedge clk) begin
20     if (~rst_n) begin
21         cs<=IDLE;
22     end
23     else begin
24         cs<=ns;
25     end
26 end
27
```

Figure 3-1-1: SPI Slave

```

28 //Next state
29 always@(*) begin
30     case(cs)
31         IDLE: if(SS_n)
32                 ns=IDLE;
33             else
34                 ns=CHK_CMD;
35         CHK_CMD: if(SS_n)
36                     ns=IDLE;
37                 else if(SS_n==0 && MOSI==0)
38                     ns=WRITE;
39                 else if(SS_n==0 && MOSI==1 && addr_received==0)
40                     ns=READ_ADD;
41                 else
42                     ns=READ_DATA;
43         WRITE: if(SS_n==1)
44                     ns=IDLE;
45                 else
46                     ns=WRITE;
47         READ_ADD: if(SS_n==1 )
48                     ns=IDLE;
49                 else
50                     ns=READ_ADD;
51         READ_DATA: if(SS_n==1)
52                     ns=IDLE;
53                 else
54                     ns=READ_DATA;
55         default: ns=IDLE;
56     endcase
57 end
58

```

*Figure 3-1-2: SPI Slave*

```

59 //output logic
60 always @(posedge clk) begin
61     if(~rst_n) begin
62         rx_data<=0; rx_valid<=0; MISO<=0; counter<=0; shift_reg<=0; addr_received<=0;
63     end
64     case(cs)
65     IDLE: begin
66         rx_valid<=0; counter<=0; MISO<=0;
67     end
68     CHK_CMD: begin
69         rx_valid<=0; counter<=0; shift_reg<=0;
70     end
71     WRITE: begin
72         if(counter>=0 && counter<10) begin
73             shift_reg<={shift_reg[8:0], MOSI};
74         end
75         if(counter==10) begin
76             rx_data<=shift_reg;
77             rx_valid<=1;
78         end
79         if(counter<10)
80             counter<=counter+1;
81         else
82             counter<=0;
83     end
84     READ_ADD: begin if(counter>=0 && counter <10) begin
85         shift_reg<={shift_reg[8:0], MOSI};
86     end
87     if(counter==10) begin
88         rx_data<=shift_reg;
89         rx_valid<=1;
90         addr_received<=1;
91     end
92     if(counter<10)
93         counter<=counter+1;
94     else
95         counter<=0;
96     end

```

*Figure 3-1-3: SPI Slave*

```

97     READ_DATA: begin
98         if(counter==0) begin
99             shift_reg<={shift_reg[8:0], MOSI};
100         end
101         else if (counter==1) begin
102             rx_data<={shift_reg[0],MOSI, 8'd0};
103             rx_valid<=1;
104         end
105         else if(counter>2 && counter <=10) begin
106             MISO<=tx_data[10-counter];
107         end
108         if (counter==10)
109             addr_received<=0;
110             if(counter<10)
111                 counter<=counter+1;
112             else
113                 counter<=0;
114         end
115     default: begin
116         rx_data<=0; rx_valid<=0; MISO<=0; counter<=0; shift_reg<=0; addr_received<=0;
117     end
118 endcase
119 end
120 endmodule

```

*Figure 3-1-4: SPI Slave*



```

1  module RAM(din, rx_valid, clk, rst_n, dout, tx_valid);
2  parameter MEM_DEPTH=256;
3  parameter ADDR_SIZE=8;
4  input [ADDR_SIZE+1:0] din;
5  input rx_valid, clk, rst_n;
6  output reg [ADDR_SIZE-1:0] dout;
7  output reg tx_valid;
8
9  reg [ADDR_SIZE-1:0] mem [MEM_DEPTH-1:0];
10 reg [ADDR_SIZE-1:0] wr_add, rd_add;
11
12
13 always @(posedge clk ) begin
14     if (~rst_n) begin
15         dout<=0;
16         tx_valid<=0;
17         wr_add<={ADDR_SIZE{1'b0}};
18         rd_add<={ADDR_SIZE{1'b0}};
19     end
20     else if(rx_valid) begin
21         if(din[9:8]==2'b00)
22             wr_add<=din[7:0];
23         else if(din[9:8]==2'b01)
24             mem[wr_add]<=din[7:0];
25         else if (din[9:8]==2'b10)
26             rd_add<=din[7:0];
27
28         else if (din[9:8]==2'b11) begin
29             dout<=mem[rd_add];
30             tx_valid<=1;
31         end
32     end
33     else
34         tx_valid<=0;
35 end
36
37 endmodule

```

Line 37, Column 10

Figure 3-2: RAM

```
1 module SPI_Master(clk, rst_n, MOSI, SS_n,MISO);
2   input MOSI, SS_n, clk, rst_n;
3   output MISO;
4   wire [9:0] rx_data;
5   wire [7:0] tx_data;
6   wire rx_valid, tx_valid;
7   RAM m1(rx_data, rx_valid, clk, rst_n, tx_data, tx_valid);
8   SPI_Slave spi(MOSI, MISO, SS_n, clk, rst_n, rx_data, rx_valid, tx_data, tx_valid);
9 endmodule
```

*Figure 3-3: Top Module*

#### 4. Testbench Code

```
1  module SPI_Master_tb();
2  reg MOSI, SS_n, clk, rst_n;
3  wire MISO;
4  SPI_Master spi_interface(clk, rst_n, MOSI, SS_n,MISO);
5  initial begin
6      clk=0;
7      forever
8          #1 clk=~clk;
9  end
10
11  initial begin
12  $readmemh ("mem.dat", spi_interface.m1.mem);
13  rst_n=0; MOSI=0; SS_n=1; @(negedge clk);
14  rst_n=1; @(negedge clk);
15  SS_n=0; @(negedge clk);
16  MOSI=0; @(negedge clk);
17  MOSI=0; @(negedge clk);
18  MOSI=0; @(negedge clk);
19  repeat(8) begin
20      MOSI=1;
21      @(negedge clk);
22  end
23
24  SS_n=1; MOSI=0; @(negedge clk);
25  SS_n=0; @(negedge clk);
26  MOSI=0; @(negedge clk);
27  MOSI=0; @(negedge clk);
28  MOSI=1; @(negedge clk);
29  repeat(8) begin
30      MOSI=1;
31      @(negedge clk);
32  end
33
```

Line 33, Column 1

Figure 4-1: Testbench

```

33
34 SS_n=1; @(negedge clk);
35 SS_n=0; @(negedge clk);
36 MOSI=1; @(negedge clk);
37 MOSI=1; @(negedge clk);
38 MOSI=0; @(negedge clk);
39 repeat(8) begin
40     MOSI=1;
41     @(negedge clk);
42 end
43
44 SS_n=1; MOSI=0; @(negedge clk);
45 SS_n=0; @(negedge clk);
46 MOSI=1; @(negedge clk);
47 MOSI=1; @(negedge clk);
48 MOSI=1; @(negedge clk);
49 repeat(8) begin
50     MOSI=1;
51     @(negedge clk);
52 end
53
54
55 SS_n=1; @(negedge clk);
56 SS_n=1; @(negedge clk);
57
58 SS_n=0; @(negedge clk);
59 MOSI=0; @(negedge clk);
60 MOSI=0; @(negedge clk);
61 MOSI=0; @(negedge clk);
62 repeat(8) begin
63     MOSI=$random;
64     @(negedge clk);
65 end
66

```

Line 66, Column 1

Figure 4-2: Testbench

```

65     end
66
67     SS_n=1; MOSI=0; @(negedge clk);
68     SS_n=0; @(negedge clk);
69     MOSI=0; @(negedge clk);
70     MOSI=0; @(negedge clk);
71     MOSI=1; @(negedge clk);
72     repeat(8) begin
73         MOSI=$random;
74         @(negedge clk);
75     end
76
77     SS_n=1; @(negedge clk);
78     SS_n=0; @(negedge clk);
79     MOSI=1; @(negedge clk);
80     MOSI=1; @(negedge clk);
81     MOSI=0; @(negedge clk);
82     repeat(8) begin
83         MOSI=$random;
84         @(negedge clk);
85     end
86
87     SS_n=1; MOSI=0; @(negedge clk);
88     SS_n=0; @(negedge clk);
89     MOSI=1; @(negedge clk);
90     MOSI=1; @(negedge clk);
91     MOSI=1; @(negedge clk);
92     repeat(8) begin
93         MOSI=$random;
94         @(negedge clk);
95     end
96     SS_n=0; @(negedge clk);
97     SS_n=1; @(negedge clk);
98     $stop;
99     end
100 endmodule

```

Line 100, Column 10

Figure 4-3: Testbench

## 5. Waveform From Simulation

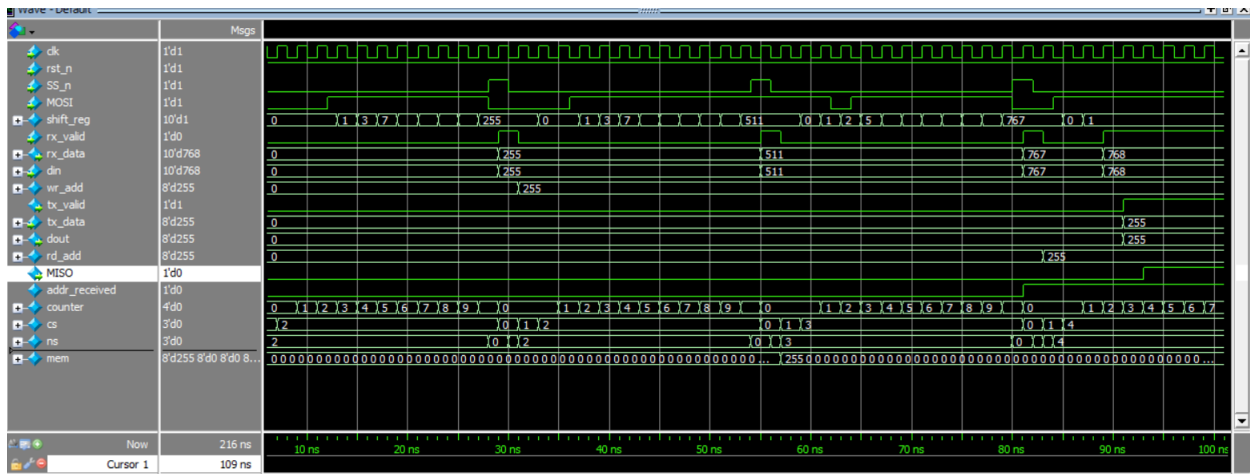


Figure 5-1: Waveform

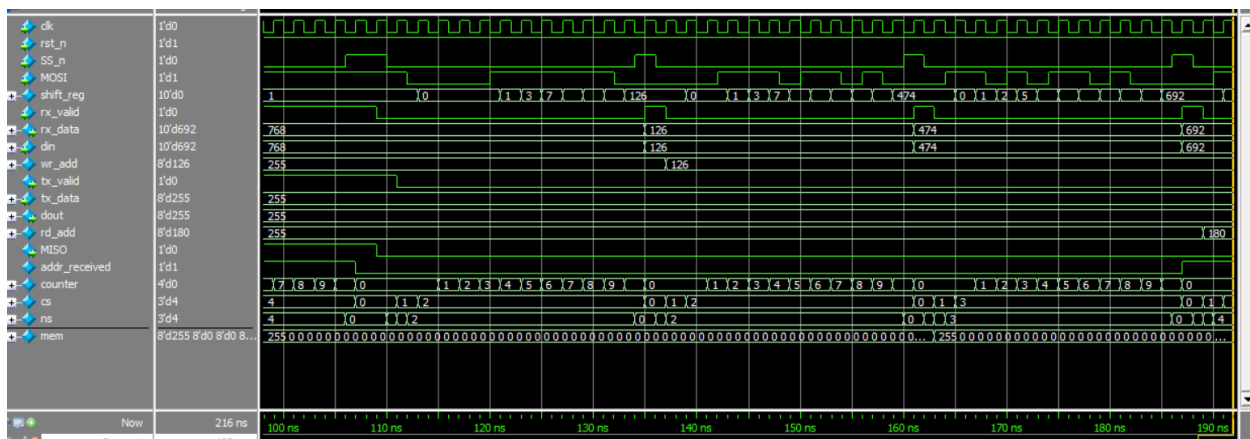


Figure 5-2: Waveform

## 6. Schematic using Vivado

### 6.1. Sequential Encoding

#### 6.1.1. Elaboration

##### 6.1.1.1. Schematic

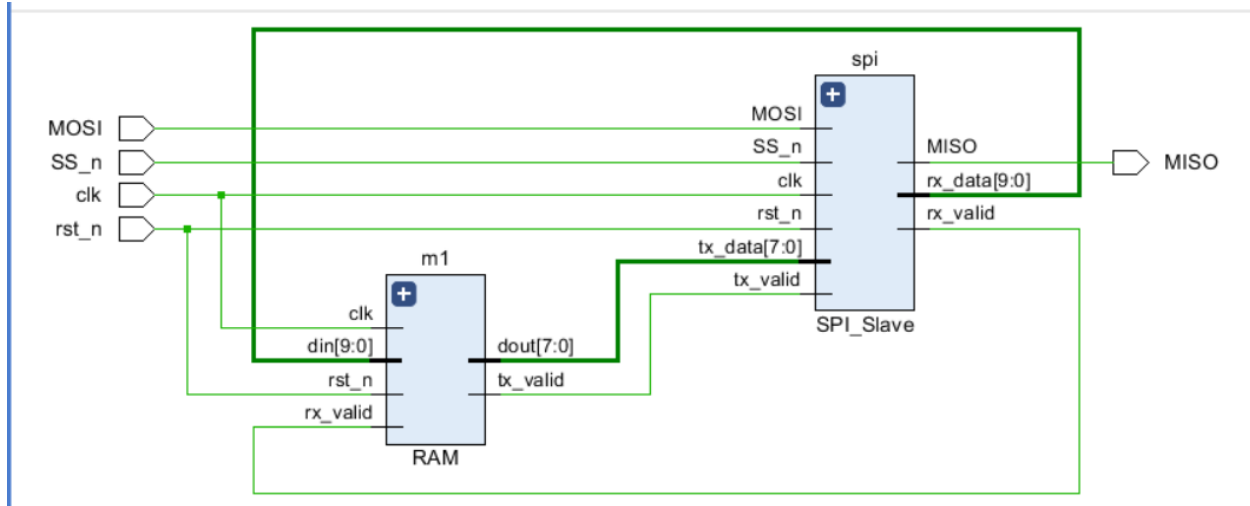


Figure 6-1-1-1: Schematic

##### 6.1.1.2. Messages' Tab

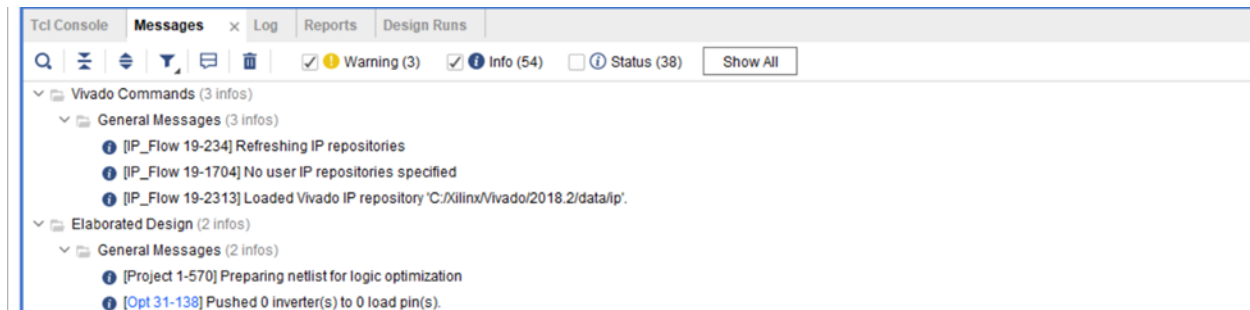


Figure 6-1-1-2: Messages' Tab

6.1.2. Synthesis

6.1.2.1. Schematic

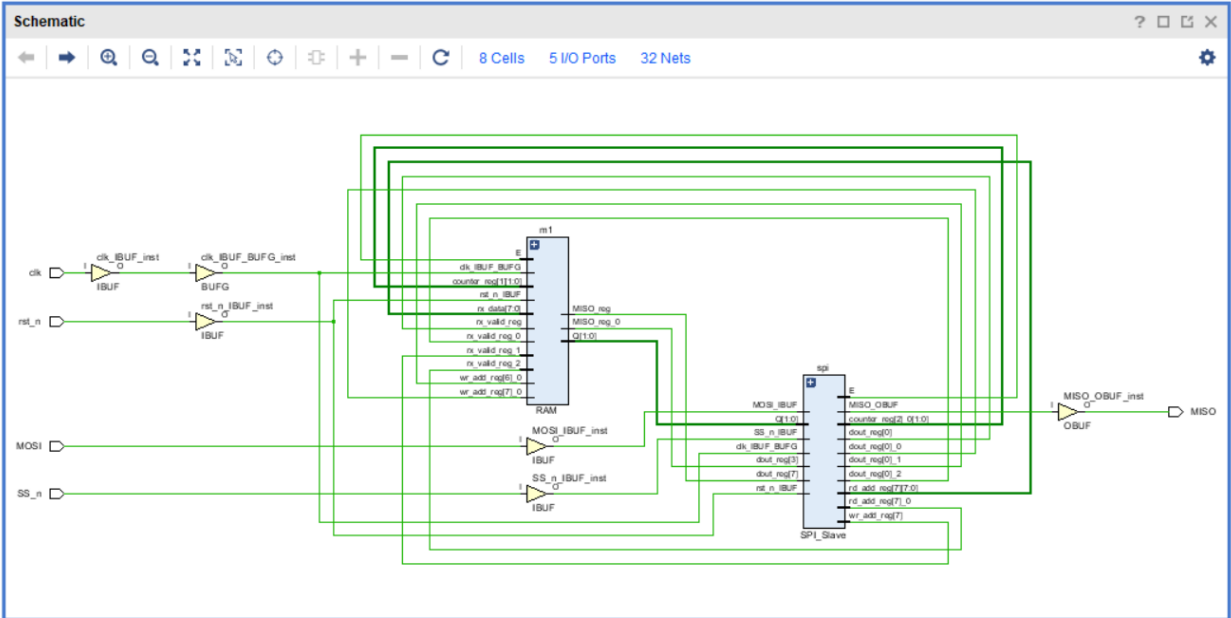


Figure 6-1-2-1: Schematic

6.1.2.2. Report

State	New Encoding	Previous Encoding
IDLE	000	000
CHK_CMD	001	001
WRITE	010	010
READ_ADD	011	011
READ_DATA	100	100

Figure 6-1-2-1: Encoding Report

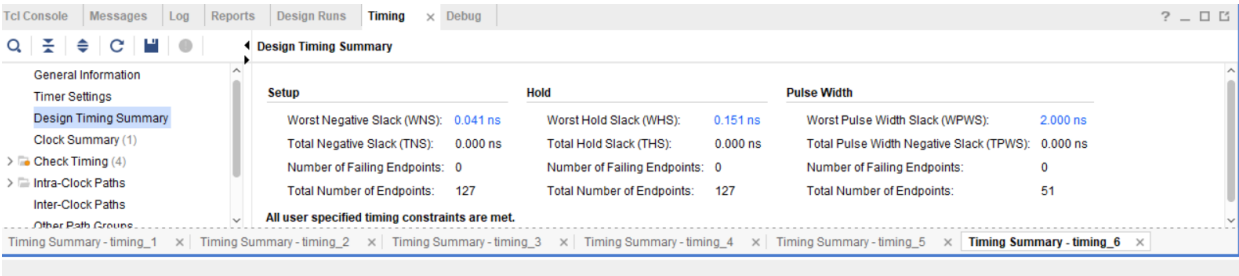


Figure 6-1-2-2: Timing Report



### 6.1.2.3. Messages' Tab

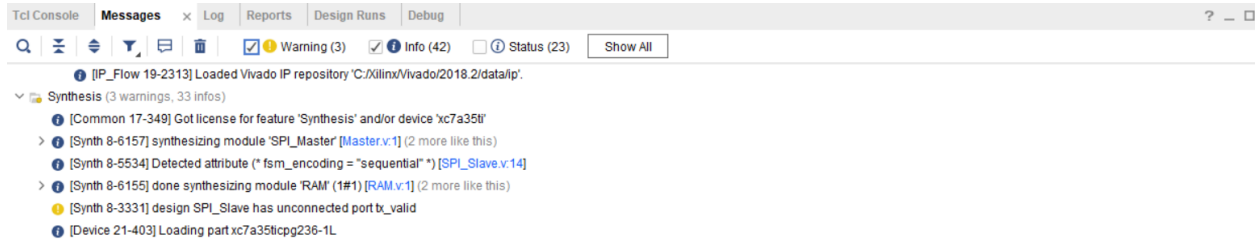


Figure 6-1-2-3: Messages' Tab

## 6.1.3. Implementation

### 6.1.3.1. FPGA Device

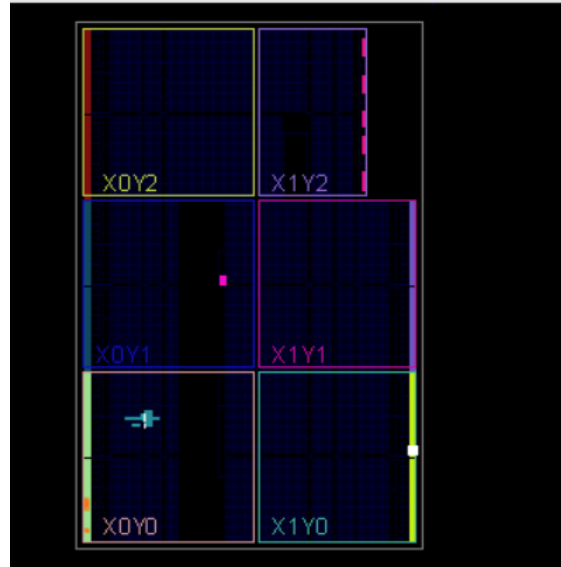


Figure 6-1-3-1: Device

### 6.1.3.2. Report

The screenshot shows the 'Utilization' report window. The left sidebar contains a hierarchy tree with 'Hierarchy' selected. The main table displays utilization data for various components.

Name	Slice LUTs (20800)	Slice Registers (41600)	Slice (8150)	LUT as Logic (20800)	LUT Flip Flop Pairs (20800)	Block RAM Tile (50)	Bonded IOB (106)	BUFGCTRL (32)
SPI_Master	47	46	16	47	19	0.5	5	1
m1 (RAM)	4	16	5	4	0	0.5	0	0
spl (SPI_Slave)	43	30	13	43	19	0	0	0

Figure 6-1-3-2-1: Utilization Report

The screenshot shows the 'Timing' report window. The left sidebar contains a hierarchy tree with 'Design Timing Summary' selected. The main table displays timing data for various components.

Setup	Hold	Pulse Width
Worst Negative Slack (WNS): 0.483 ns	Worst Hold Slack (WHS): 0.069 ns	Worst Pulse Width Slack (WPWS): 2.000 ns
Total Negative Slack (TNS): 0.000 ns	Total Hold Slack (THS): 0.000 ns	Total Pulse Width Negative Slack (TPWS): 0.000 ns
Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0
Total Number of Endpoints: 107	Total Number of Endpoints: 107	Total Number of Endpoints: 49

All user specified timing constraints are met.

Figure 6-1-3-2-2: Timing Report

### 6.1.3.3. Messages' Tab

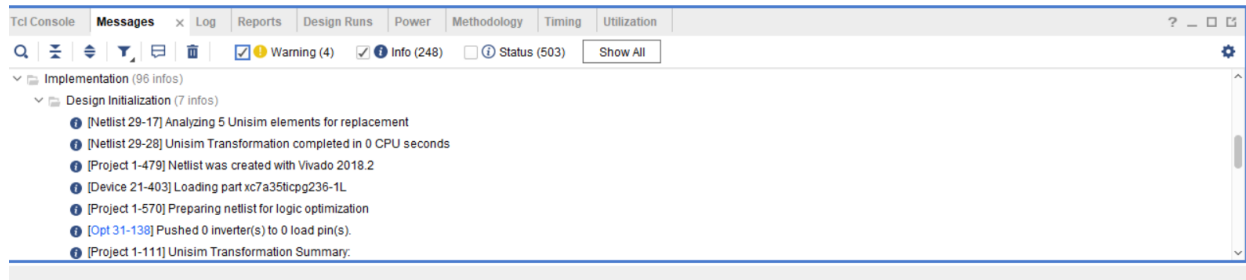


Figure 6-1-3-3: Messages' Tab

## 6.2. Gray Encoding

### 6.2.1. Elaboration

#### 6.2.1.1. Schematic

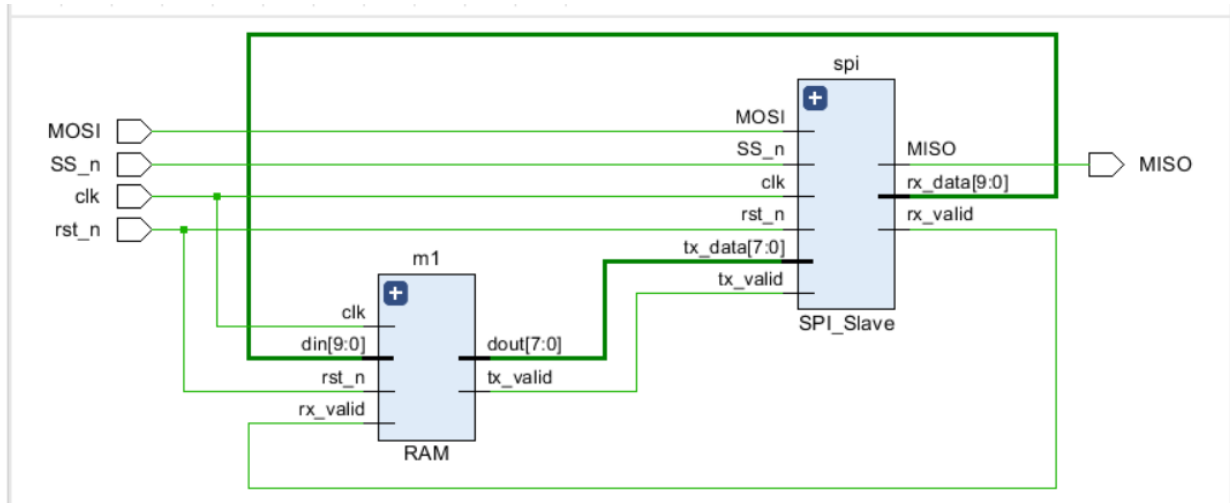


Figure 6-2-1-1: Schematic

#### 6.2.1.2. Messages' Tab

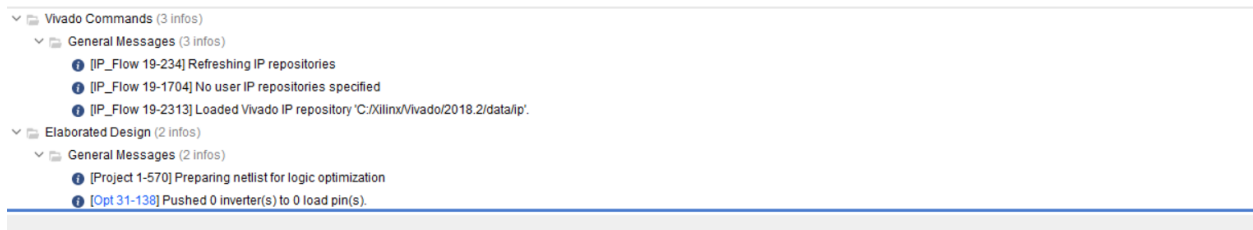


Figure 6-2-1-2: Messages' Tab

## 6.2.2. Synthesis

### 6.2.2.1. Schematic

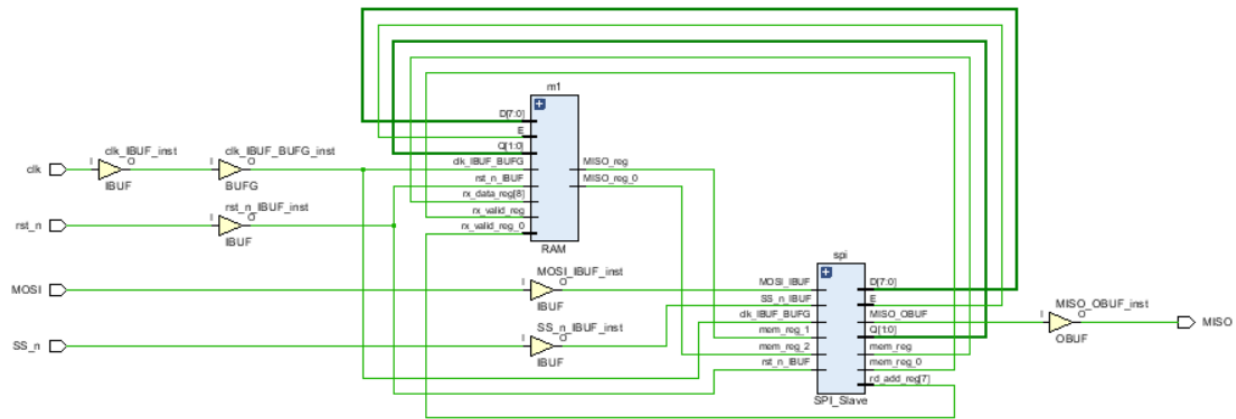


Figure 6-2-2-1: Schematic

### 6.2.2.2. Reports

State	New Encoding	Previous Encoding
IDLE	000	000
CHK_CMD	001	001
WRITE	011	010
READ_ADD	010	011
READ_DATA	111	100

INFO: [Synth 8-3354] encoded FSM with state register 'cs\_reg' using encoding 'gray' in module 'SPI\_Slave'

Figure 6-2-2-1: Encoding Report

General Information	Setup	Hold	Pulse Width
Timer Settings	Worst Negative Slack (WNS): 0.041 ns	Worst Hold Slack (WHS): 0.151 ns	Worst Pulse Width Slack (WPWS): 2.000 ns
Design Timing Summary	Total Negative Slack (TNS): 0.000 ns	Total Hold Slack (THS): 0.000 ns	Total Pulse Width Negative Slack (TPWS): 0.000 ns
Clock Summary (1)	Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0
Check Timing (4)	Total Number of Endpoints: 127	Total Number of Endpoints: 127	Total Number of Endpoints: 51
Intra-Clock Paths	All user specified timing constraints are met.		
Inter-Clock Paths			

Figure 6-2-2-2: Timing Report

### 6.2.2.3.Messages' Tab

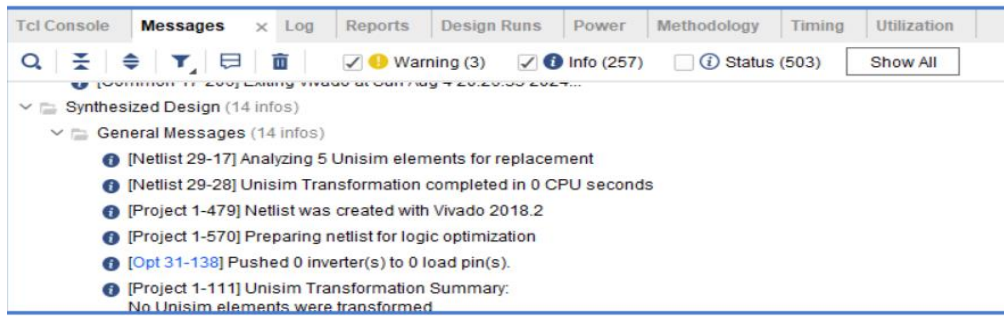


Figure 6-2-2-3: Messages' Tab

## 6.2.3. Implementation

### 6.2.3.1. FPGA Device

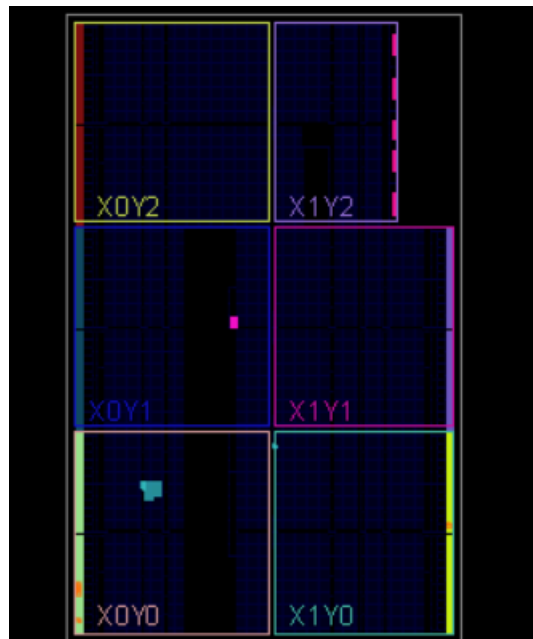


Figure 6-2-3-1: Device

### 6.2.3.2. Reports

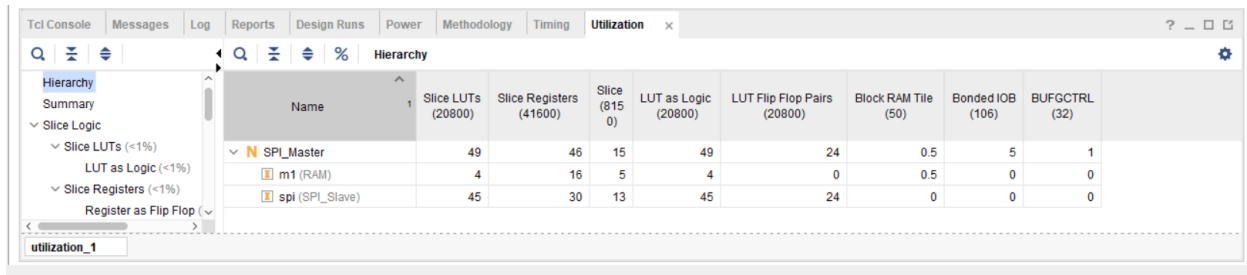


Figure 6-2-3-2-1: Utilization Report

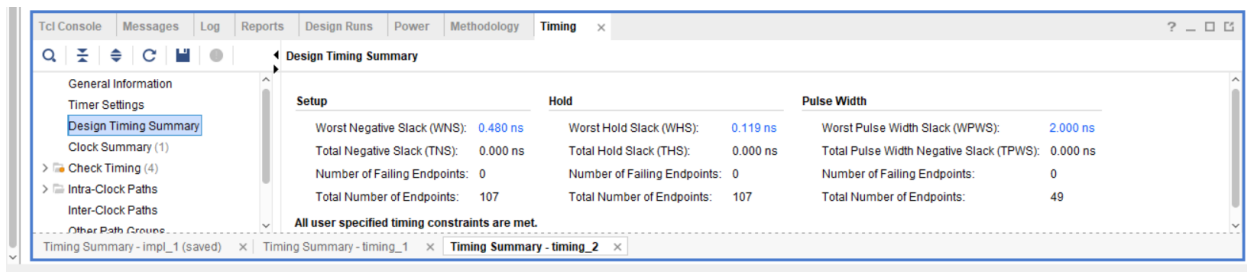


Figure 6-2-3-2-2: Timing Report

### 6.2.3.3. Messages' Tab

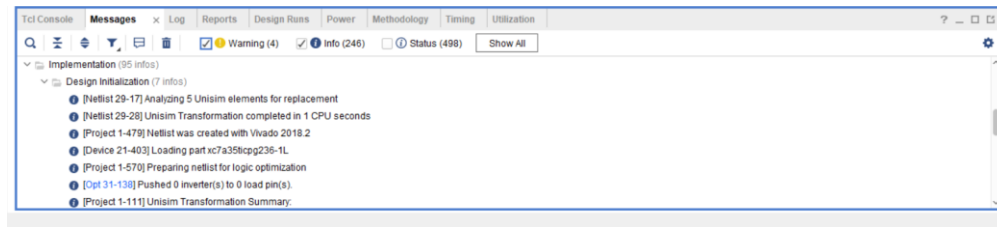


Figure 6-2-3-3: Messages' Tab



## 6.3. one\_hot encoding

### 6.3.1. Elaboration

#### 6.3.1.1. Schematic

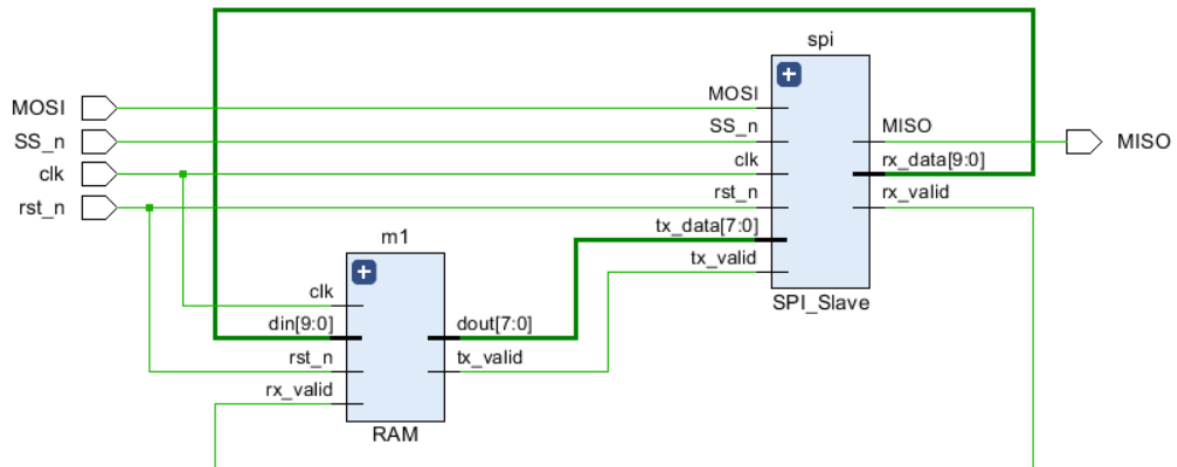


Figure 6-3-1-1: Schematic

#### 6.3.1.2. Messages' Tab

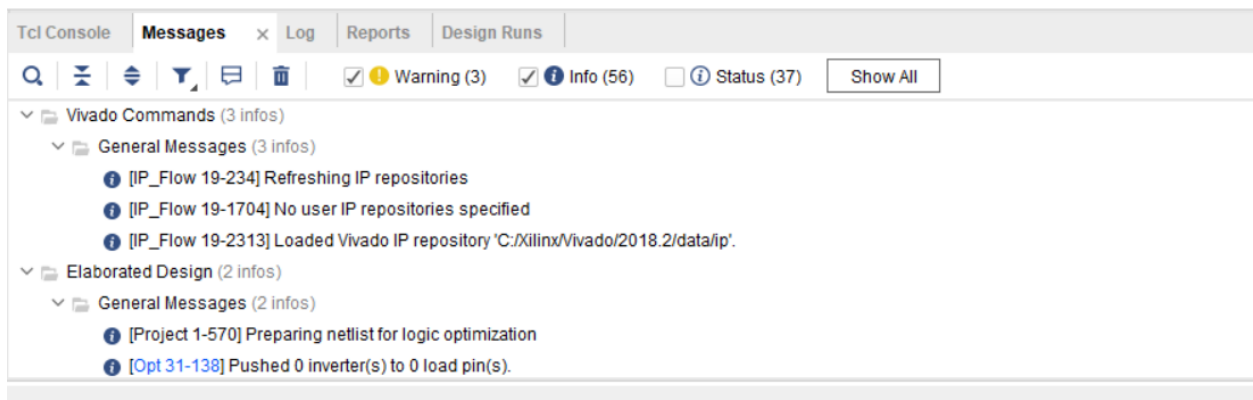


Figure 6-3-1-2: Messages' Tab

## 6.3.2. Synthesis

### 6.3.2.1. Schematic

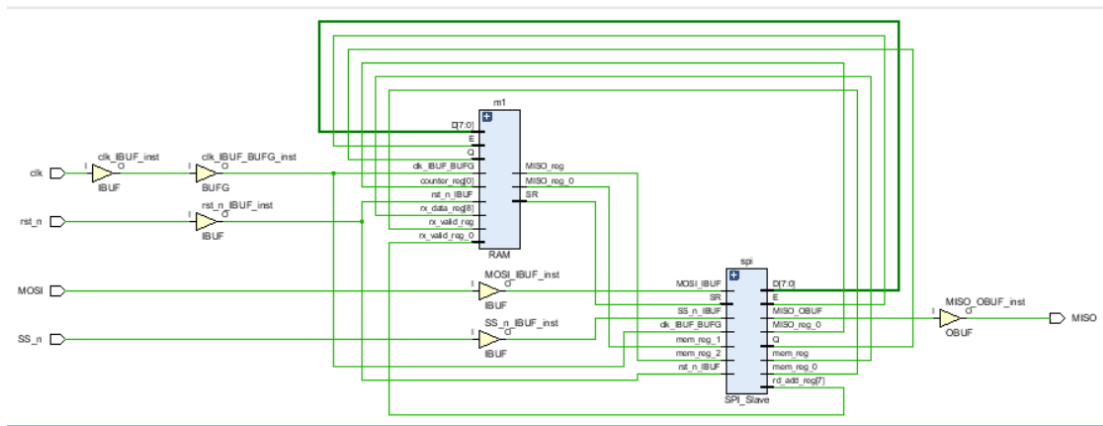


Figure 6-3-2-1: Schematic

### 6.3.2.2. Reports

State	New Encoding	Previous Encoding
IDLE	00001	000
CHK_CMD	00010	001
WRITE	00100	010
READ_ADD	01000	011
READ_DATA	10000	100

INFO: [Synth 8-3354] encoded FSM with state register 'cs\_reg' using encoding 'one-hot' in module 'SPI\_Slave'

Figure 6-3-2-2-1: Encoding Report

Tcl Console				Messages		Log		Reports		Design Runs		Timing		x		Debug		?		□		▢	
<div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div> <div><div></div><div></div><div></div><div></div><div>&lt;/</div></div>																							

Figure 6-3-2-2-2: Timing Report

### 6.3.2.3. Messages' Tab

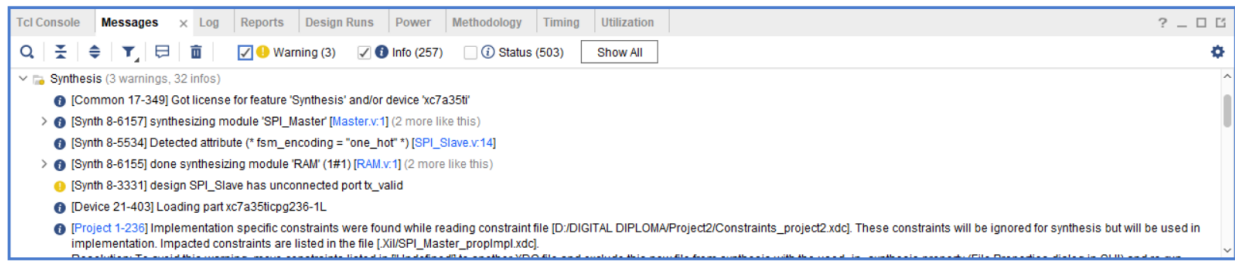


Figure 6-3-2-3: Messages' Tab

## 6.3.3. Implementation

### 6.3.3.1. FPGA Device

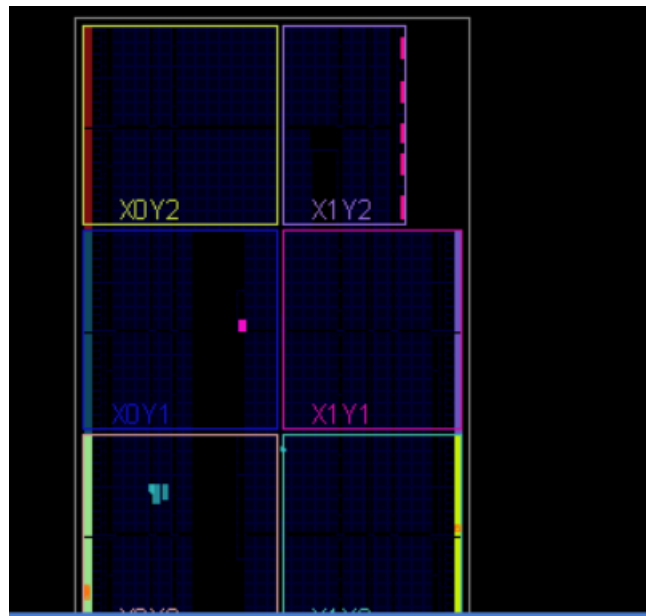


Figure 6-3-3-1: Device

### 6.3.3.2. Reports

Name	Slice LUTs (20800)	Slice Registers (41600)	Slice (8150)	LUT as Logic (20800)	LUT Flip Flop Pairs (20800)	Block RAM Tile (50)	Bonded IOB (106)	BUFGCTRL (32)
SPI_Master	55	48	18	55	23	0.5	5	1
m1 (RAM)	4	16	4	4	0	0.5	0	0
spl (SPI_Slave)	52	32	18	52	23	0	0	0

Figure 6-3-3-2-1: Utilization Report

Setup	Hold	Pulse Width
Worst Negative Slack (WNS): 0.680 ns	Worst Hold Slack (WHS): 0.048 ns	Worst Pulse Width Slack (WPWS): 2.000 ns
Total Negative Slack (TNS): 0.000 ns	Total Hold Slack (THS): 0.000 ns	Total Pulse Width Negative Slack (TPWS): 0.000 ns
Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0	Number of Failing Endpoints: 0
Total Number of Endpoints: 127	Total Number of Endpoints: 127	Total Number of Endpoints: 51

All user specified timing constraints are met.

Figure 6-3-3-2-2: Timing Report

### 6.3.3.3. Messages' Tab

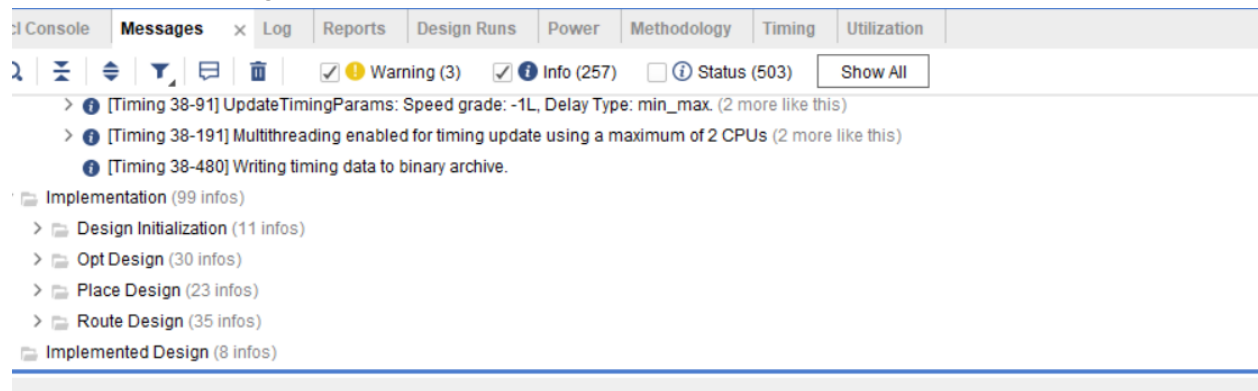


Figure 6-3-3-3: Messages' Tab

## 7. Bitstream Generation

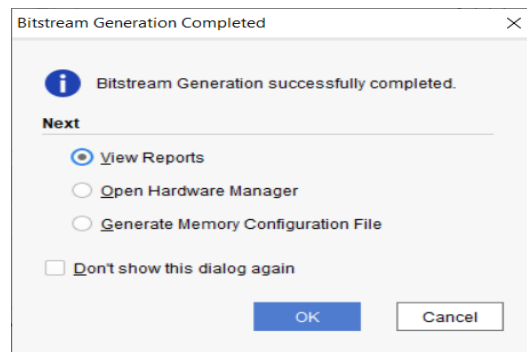


Figure 7: Bitstream Generation

## 8. Do File

```
1 vlib work
2 vlog SPI_Slave.v RAM.v Master.v Master_tb.v
3 vsim -voptargs=+acc work.SPI_Master_tb
4 add wave /spi_interface/*
5 run -all
6 #quit -sim
7
```

Figure 8: Do File

## 9. Constraint File

```
## Switches
set_property -dict {PACKAGE_PIN V17 IOSTANDARD LVCMOS33} [get_ports rst_n]
set_property -dict {PACKAGE_PIN V16 IOSTANDARD LVCMOS33} [get_ports SS_n]
set_property -dict {PACKAGE_PIN W16 IOSTANDARD LVCMOS33} [get_ports MOSI]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN W17 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[3]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN W15 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[4]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN V15 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[5]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN W14 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[6]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN W13 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[7]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN V2 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[8]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN T3 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[9]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN T2 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[10]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN R3 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[11]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN W2 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[12]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN U1 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[13]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN T1 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[14]}]
#set_property -dict { PACKAGE_PIN R2 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {sw[15]}]

## LEDs
set_property -dict {PACKAGE_PIN U16 IOSTANDARD LVCMOS33} [get_ports MISO]
set_property -dict { PACKAGE_PIN E19 IOSTANDARD LVCMOS33 } [get_ports {led[1]}]
```

Figure 9: Constraint File