

آز سیستم های دیجیتال

دکتر اجلالی

مبینا حیدری، عاطفه قندهاری، نیکا قادری
بهار ۱۴۰۳



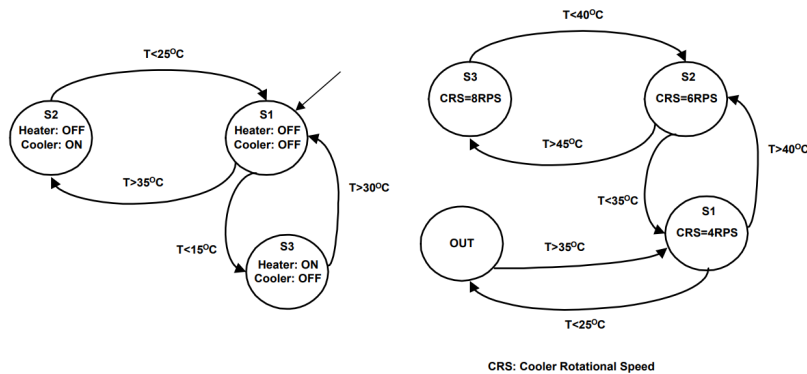
آزمایش ششم

طراحی یک انکوباتور

تاریخ گزارش: ۸ اردیبهشت ۱۴۰۳

۱ شرح آزمایش

در این آزمایش هدف بر آن است که واحد کنترل یک سیستم دیجیتال را برنامه نویسی کنیم. در واقع ورودی ها با یک حسگر دما دریافت می شوند و سپس سیستم *cooler* یا *heater* را روشن می کند. لازم به ذکر است که کولر دارای یک فن *fan* می باشد که دور موتور آن نیز با استفاده از دمای کنونی تعیین می شود. تمام حالت های این سیستم در قالب نمودار زیر آورده شده اند:



۲ مازول ها

۱.۲ AC

ساختار این مازول به صورت زیر می باشد:

```

1  `define S1 2'b01
2  `define S2 2'b10
3  `define S3 2'b11
4
5
6  module AC(clk,
7      sensor,
8      rstn,
9      cool_o,
10     heat_o);
11     input clk, rstn;
12     input signed [7:0] sensor;
13     output cool_o, heat_o;
14
15     reg [1:0] state;
16     reg cooler, heater;
17
18     assign cool_o = cooler;
19     assign heat_o = heater;
20
21     always @(posedge clk or negedge rstn) begin
22         if (!rstn) begin
23             state <= `S1;
24             cooler <= 0;
25             heater <= 0;
26         end
27         else begin
28             case (state)
29                 `S1:
30                     begin
31                         if (sensor > 35) state <= `S2;
32                         if (sensor < 15) state <= `S3;
33                     end
34                 `S2:
35                     begin
36                         if (sensor < 25) state <= `S1;
37                     end
38                 `S3:
39                     begin
40                         if (sensor > 30) state <= `S1;
41                     end
42             endcase
43         end
44     end
45
46     always @(state) begin
47         case (state)
48             `S1:
49                 begin
50                     cooler <= 0;
51                     heater <= 0;
52                 end
53             `S2:
54                 begin
55                     heater <= 0;
56                     cooler <= 1;
57                 end
58             `S3:
59                 begin
60                     heater <= 1;
61                     cooler <= 0;
62                 end
63         endcase
64     end
65 endmodule
66

```

همان طور که مشاهده می شود ابتدا با استفاده از یک کیس، حالتی که در آن هستیم با استفاده از مقدار دما مشخص می شود و سپس، دو خروجی *Heater* و *Cooler* با استفاده از آن مشخص می شوند.

۲.۲ Fan

ساختار این ماژول به صورت زیر می باشد:

```

1  `define OUT 2'b00
2  `define S1 2'b01
3  `define S2 2'b10
4  `define S3 2'b11
5
6  module Fan(clk,
7             sensor,
8             rstn,
9             CRS_o,
10            );
11      input clk, rstn;
12      input signed [7:0] sensor;
13      output [3:0] CRS_o;
14
15      reg [1:0] state;
16      reg [3:0] CRS;
17
18      assign CRS_o = CRS;
19
20      always @(posedge clk or negedge rstn) begin
21          if (!rstn)begin
22              state <= `OUT;
23              CRS <= 0;
24          end
25          else begin
26              case (state)
27                  `OUT:
28                      begin
29                          if (sensor > 35) state <= `S1;
30                      end
31                  `S1:
32                      begin
33                          if (sensor > 40) state <= `S2;
34                          if (sensor < 25) state <= `OUT;
35                      end
36                  `S2:
37                      begin
38                          if (sensor > 45) state <= `S3;
39                          if (sensor < 35) state <= `S1;
40                      end
41                  `S3:
42                      begin
43                          if (sensor < 40) state <= `S2;
44                      end
45              endcase
46          end
47      end
48  end
49
50  always @(state) begin
51      case (state)
52          `OUT:
53              begin
54                  CRS <= 0;
55              end
56          `S1:
57              begin
58                  CRS <= 4;
59              end
60          `S2:
61              begin
62                  CRS <= 6;
63              end
64          `S3:
65              begin
66                  CRS <= 8;
67              end
68      endcase
69  end
70 endmodule
71
72

```

در این ماژول نیز مانند قبلی، با توجه به دمای ورودی، ابتدا حالت کنونی سیستم را مشخص کرده و سپس بر اساس آن دور موتور را مشخص می کنیم.

۳.۲ Incubator

ماژول نهایی سیستم می باشد که ساختارش به صورت زیر است:

```

1  module Incubator (clk,
2                     sensor,
3                     rstn,
4                     heater,
5                     cooler,
6                     CRS);
7
8      input clk, rstn;
9      input signed [7:0] sensor;
10     output heater, cooler;
11     output [3:0] CRS;
12
13
14     AC ac (
15         .clk(clk),
16         .sensor(sensor),
17         .rstn(rstn),
18         .cool_o(cooler),
19         .heat_o(heater)
20     );
21
22     Fan fan (
23         .clk(clk),
24         .sensor(sensor),
25         .rstn(rstn),
26         .CRS_o(CRS)
27     );
28
29 endmodule
30

```

در این ماژول، از دو سیستمی که در بالا ساختیم دو *instance* می گیریم تا بتوان به طور همزمان خروجی ها را تحت نظر گرفت. ورودی ها توسط برد یا کد تست بنچ داده می شوند.

testbench ۴.۲

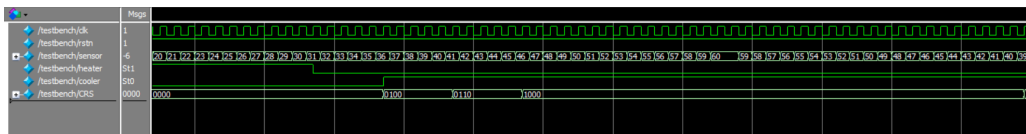
در آخر، با استفاده از تست بنچ عملکرد مدار را بررسی می کنیم:

```

1
2 `define NULL 0
3 module testbench;
4
5     parameter clk_c = 10;
6     reg clk, rstn;
7     reg signed [7:0] sensor;
8     wire heater, cooler;
9     wire [3:0] CRS;
10
11     Incubator inc (
12         .clk(clk),
13         .sensor(sensor),
14         .rstn(rstn),
15         .heater(heater),
16         .cooler(cooler),
17         .CRS(CRS)
18     );
19
20     initial begin
21         clk = 0;
22         forever clk = #(clk_c/2) ~clk;
23     end
24
25     integer i;
26     initial begin
27         rstn = 0;
28         sensor = -10;
29         #clk_c rstn = 1;
30
31         for (i=-10;i<61;i=i+1)begin
32             #clk_c sensor = i;
33         end
34         for (i=60;i>=-10;i=i-1)begin
35             #clk_c sensor = i;
36         end
37         $finish;
38     end
39
40     initial
41         $monitor($time,"ttemperature:%d, AC_state:%d, Fan_state:%d, HEAT-%b, COOL-%b, CRS-%d",sensor,inc.ac.state, inc.fan.state,heater,cooler,CRS);
42
43 endmodule

```

که نتیجه به صورت زیر می باشد:



در آخر، خروجی ترمینال نیز به صورت زیر می باشد که عملکرد درست سیستم را نشان می دهد:

```

0 temperature: -10, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 0
15 temperature: -10, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
30 temperature: -9, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
40 temperature: -8, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
50 temperature: -7, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
60 temperature: -6, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
70 temperature: -5, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
80 temperature: -4, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
90 temperature: -3, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
100 temperature: -2, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
110 temperature: -1, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
120 temperature: 0, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
130 temperature: 1, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
140 temperature: 2, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
150 temperature: 3, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
160 temperature: 4, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
170 temperature: 5, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
180 temperature: 6, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
190 temperature: 7, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
200 temperature: 8, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
210 temperature: 9, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
220 temperature: 10, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
230 temperature: 11, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
240 temperature: 12, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
250 temperature: 13, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
260 temperature: 14, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
270 temperature: 15, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
280 temperature: 16, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
290 temperature: 17, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
300 temperature: 18, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
310 temperature: 19, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
320 temperature: 20, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
330 temperature: 21, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
340 temperature: 22, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
350 temperature: 23, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
360 temperature: 24, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0
370 temperature: 25, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 0

```

```

1090 temperature: 24, AC_state=2, Fan_state=1, HEAT=0, COOL=1, CRS= 4
1095 temperature: 24, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1100 temperature: 23, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1110 temperature: 22, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1120 temperature: 21, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1130 temperature: 20, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1140 temperature: 19, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1150 temperature: 18, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1160 temperature: 17, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1170 temperature: 16, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1180 temperature: 15, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1190 temperature: 14, AC_state=1, Fan_state=0, HEAT=0, COOL=0, CRS= 6
1195 temperature: 14, AC_state=3, Fan_state=0, HEAT=1, COOL=0, CRS= 6

```