

4. 数字时钟实验例程

4.1 MES22GP 开发板简介

MES22GP 扩展底板提供了一个四位八段的共阳极数码管。（详情请查看“MES22GP 开发板硬件使用手册”）。

4.2实验目的

- 设计一个具有计时功能和校时功能的数字时钟。
- 数码管显示小时和分钟，秒钟用 LED 闪烁标识。
- 三个按键用于时钟校准。
- KEY1 用于切换正常计时，校准小时和分钟
- KEY2 用于时钟的“+”
- KEY3 用于时钟的“-”
- 校准相应的刻度，该数码管闪烁。

4.3 实验原理

从上述的实验要求分析可得到此数字钟我们实现过程中要注意两个功能点：

- 1、计时显示功能：LED 闪烁显示秒钟读秒，数码管右侧两位显示分钟计时，数码管左侧两位显示时钟计时；

此功能的实现由两个细节功能实现：①1S 计时控制，与前面的实验中需要计时功能模块实现方式一致，注意此处计时的周期为 1S 即可；②计时过程中进位控制；进位控制有四处需要进位：

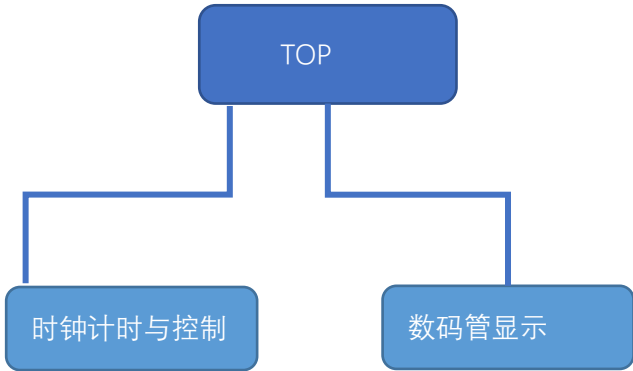
秒 ⇄ 分	LED 灯亮灭一次计数为 1，亮灭的一个周期为 1S, 当 LED 亮灭 60 次时分钟计数个位加 1；
分 _{个位} ⇄ 分 _{十位}	当个位计数到 9 时，秒到分再次进位时，十位需要加一，个位置位为 0；
分 ⇄ 时	1 小时=60 分钟；当分钟计时为 59，并且秒到分再次进位时，时钟计数个位加 1；分钟计数置位为 0；

时 _{个位} ⇄ 时 _{十位}	显示为 24 小时制，当时钟计数十位小于 2 时，时钟个位个位计数到 9 时，分到时再次进位时，十位加 1；
24 小时计满时归零	当时钟计数十位等于 2 时，时钟个位个位计数到 3 时，分到时再次进位时，时，分，秒三部分计数均归零；

2、计时校准功能：通过对应按键控制调整分钟计时与时钟计时，调整的过程中对应位需要闪烁；

此项功能中注意两点：①调整对应位是，数码管该位进行闪烁；②调整时注意进位；
基于上述分析我们将项目分成两个部分：

- 1. 时钟计时与控制。
- 2. 数码管显示控制。



4. 4 实验源码设计

4. 4. 1文件头设计

输入输出信号如下表：

信号	位宽	方向	描述
clk	1	输入	外部输入时钟，MES22GP 板卡输入时钟为 50MHz
key	3	输入	时钟校准信号输入（轻触按键）
led	1	输出	时钟秒钟跳动显示（LED 灯闪烁一次，为 1S）
smg	8	输出	数码管段选输出
dig	4	输出	数码管位选输出

```
1  `timescale 1ns / 1ps
2  `define UD #1
3  module top_watch
4  (
5      input      clk,
6      input [2:0] key,
7      output     led,
8      output [3:0] dig,
9      output [7:0] smg
10 );
11
12     parameter CLK_FRE = 26'd50_000_000;
13
```

```

14  /*=====
15      复位信号的产生
16  =====*/
17  reg [4:0] rstn_cnt=0;
18  always @(posedge clk)
19  begin
20      if(rstn_cnt==5'h1f)
21          rstn_cnt <= `UD rstn_cnt;
22      else
23          rstn_cnt <= `UD rstn_cnt + 1'b1;
24  end
25
26  wire rstn;
27  assign rstn = rstn_cnt[4];
28  /*=====
29      数字时钟的产生和控制
30  =====*/
31  wire [3:0] hour_h, hour_l, minutes_h, minutes_l;
32  wire [2:0] dig_ctl;
33  watch_data_gen #(
34      .CLK_FRE      ( CLK_FRE )//parameter CLK_FRE=26'd12_000_000
35  ) u_watch_data_gen
36  (
37      .clk           ( clk           ), //input clk,
38      .rstn          ( rstn          ), //input rstn,
39      .key           ( key           ), //input [2:0]key,
40      .hour_h_o      ( hour_h        ), //output reg [3:0]hour_h_o,
41      .hour_l_o      ( hour_l        ), //output reg [3:0]hour_l_o,
42      .minutes_h_o   ( minutes_h     ), //output reg [3:0]minutes_h_o,
43      .minutes_l_o   ( minutes_l     ), //output reg [3:0]minutes_l_o,
44      .second_led    ( led           ), //output reg second_led,
45      .state_flag    ( dig_ctl       ) //output reg [2:0]state_flag
46  );
47
48  display_ctl #(
49      .CLK_FRE      ( CLK_FRE )//parameter CLK_FRE = 26'd12_000_000
50  )
51  (
52      .clk           ( clk           ),//input clk,
53      .dig_ctl       ( dig_ctl       ),//input [2:0] dig_ctl,
54      .hour_h        ( hour_h        ),//input [3:0] hour_h,
55      .hour_l        ( hour_l        ),//input [3:0] hour_l,
56      .minutes_h     ( minutes_h     ),//input [3:0] minutes_h,
57      .minutes_l     ( minutes_l     ),//input [3:0] minutes_l,
58      .sec_en        ( led           ),//input sec_en,
59
60      .dig           ( dig           ),//output reg [3:0] dig,
61      .smg           ( smg           ) //output reg [7:0] smg
62  );
63
64  endmodule
65

```

4. 4. 2时钟计时与控制模块设计

4. 4. 2. 1计时控制顶层设计

在此模块中我们要实现前面描述的两个主要的功能点：计时与控制；

输入输出信号如下表：

信号	位宽	方向	描述
clk	1	输入	外部输入时钟，MES22GP 板卡输入时钟为 50MHz
rstn	1	输入	外部输入复位信号，
key	3	输入	时钟校准信号输入（轻触按键）
hour_h_o	4	输出	时钟高位计数
hour_l_o	4	输出	时钟低位计数
minutes_h_o	4	输出	分钟高位计数
minutes_l_o	4	输出	分钟低位计数
second_led	1	输出	时钟秒钟跳动显示（LED 灯闪烁一次，为 1S）
state_flag	3	输出	数码管段选输出

Module 设计的关键点如下（完整 module 查看源文件）：

1、时钟校准控制（分钟低位示例，其他为调整类似，进位值需要注意变化）

```

1      always @(posedge clk)
2      begin
3          if(key_cnt!=3'd1)                //校准前将分钟低位和输出值保持一致
4              minutes_l_fix <= `UD minutes_l;
5          else if(key_cnt==3'd1)           //当处于分钟低位校准状态时，执行对应调整
6              begin
7                  if(up_pluse)              //按下"+"按键,校准数值加 1;
8                      begin
9                          if(minutes_l_fix == 4'd9)//若此时校准值已经为 9 时，则校准值变为 0
10                             minutes_l_fix <= `UD 4'd0; //"+"
11                      end
12                      minutes_l_fix <= `UD minutes_l_fix + 1'b1; //"+"
13                  end
14                  else if(down_pluse)      //按下 "-" 按键,校准数值减 1;
15                      begin
16                          if(minutes_l_fix == 4'd0)//若此时校准值已经为 0 时，则校准值变为 9
17                             minutes_l_fix <= `UD 4'd9;
18                      end
19                      minutes_l_fix <= `UD minutes_l_fix - 1'b1;
20                  end
21                  else
22                      minutes_l_fix <= `UD minutes_l_fix;
23              end
24          else
25              minutes_l_fix <= `UD minutes_l_fix;
26      end
    
```

2、时钟进位控制（分钟低位为例，前一级进位信号触发累加，自身进位信号触发归零）

```

1    wire min_l_carry;
2    assign min_l_carry = (sec_carry == 1'b1) && (minutes_l==4'd9);
3    //minutes_l gen
4    always @(posedge clk)
5    begin
6        if(!rstn)//初始值为0
7            minutes_l <= `UD 4'd0;
8        else if(key_cnt==3'd1)//校准时，分钟低位为校准值
9            minutes_l <= `UD minutes_l_fix;
10       else if(min_l_carry) //9分59秒产生进位，低位赋值为0
11           minutes_l <= `UD 4'd0;
12       else if(sec_carry) //60秒产生分钟的低位进位
13           minutes_l <= `UD minutes_l +1'b1;
14    end
15

```

4.4.2.2 按键控制模块设计

按键控制模块功能主要是接收按键输入信号触发对时钟计数进行校准调整；通过 KEY1 调整校准位，KEY2 控制加，KEY3 控制减；module 关键点如下（key_out 为按键消抖输出）：

```

1    /*=====
2        //key[0] -> k1 ;用于校准标记 key_cnt = 3'd0 用于正常显示；
3        key_cnt = 3'd1 用于分钟低位校准； 3'd2 用于分钟高位校准；
4        key_cnt = 3'd3 用于时钟低位校准； 3'd4 用于时钟高位校准；
5    =====*/
6    reg [2:0]key_out_reg=3'd0;
7    always @(posedge clk)
8    begin
9        key_out_reg <= `UD key_out;
10    end
11
12    reg [2:0]key_cnt=3'd0;
13    always @(posedge clk)
14    begin
15        if(key_cnt==3'd4 && (!key_out[0] && key_out_reg[0]))
16            key_cnt <= `UD 3'd0;
17        else if(!key_out[0] && key_out_reg[0])
18            key_cnt <= `UD key_cnt + 1'b1;
19    end
20
21    assign dig_ctl = key_cnt; //输出到其他模块
22    /*=====
23        key[1] 用于"+"; key[2] 用"-
24    =====*/
25    always @(posedge clk)
26    begin
27        up_pluse <= `UD !key_out[1] && key_out_reg[1];
28        down_pluse <= `UD !key_out[2] && key_out_reg[2];
29    end
30

```

4. 4. 3 数码管显示模块设计

数码管显示模块相比前一个实验需要增加一个功能: 当进入校准模式时数码管的校准位需要进行闪烁, 故而引入一个 1S 的周期信号, 在 1S 时间内 0.5s 正常点亮, 0.5s 不点亮使得数码管闪烁; 闪烁对应位需要引入按键控制输出的 dig_ctl 信号 (前面代码中有描述);

闪烁控制的模块设计如下:

```

1  always @(*)
2  begin
3      case(control_dig) // control_dig 为按键控制的校准位信号, 对应按键部分的 dig_ctl
4          4'd0: //正常显示
5              case(sel)
6                  2'd0:dig = 4'b0001;
7                  2'd1:dig = 4'b0010;
8                  2'd2:dig = 4'b0100;
9                  2'd3:dig = 4'b1000;
10                 default:dig = 4'b0000;
11             endcase
12          4'd4: //时钟高位校准
13              case(sel) // sec_en 为 1s 周期、50%占空比的方波
14                  2'd0:begin if(sec_en) dig = 4'b0001 ;else dig = 4'b0000; end
15                  2'd1:dig = 4'b0010;
16                  2'd2:dig = 4'b0100;
17                  2'd3:dig = 4'b1000;
18                  default:dig = 4'b0000;
19              endcase
20          4'd3: //时钟低位校准
21              case(sel)
22                  2'd0:dig = 4'b0001);
23                  2'd1:begin if(sec_en) dig = 4'b0010 ;else dig = 4'b0000; end
24                  2'd2:dig = 4'b0100;
25                  2'd3:dig = 4'b1000;
26                  default:dig = 4'b0000;
27              endcase
28          4'd2: //分钟高位校准
29              case(sel)
30                  2'd0:dig = 4'b0001;
31                  2'd1:dig = 4'b0010;
32                  2'd2:begin if(sec_en) dig = 4'b0100 ;else dig = 4'b0000; end
33                  2'd3:dig = 4'b1000;
34                  default:dig = 4'b0000;
35              endcase
36          4'd1: //分钟低位校准
37              case(sel)
38                  2'd0:dig = 4'b0001;
39                  2'd1:dig = 4'b0010;
40                  2'd2:dig = 4'b0100;
41                  2'd3:begin if(sec_en) dig = 4'b1000 ;else dig = 4'b0000; end
42                  default:dig = 4'b0000;
43              endcase
44          default:dig = 4'b0000;
45      endcase

```

4. 5实验现象

加载后的显示结果为: 数码管显示从 00: 00 开始, LED1 闪烁 (1 次/s);

按轻触按键 KEY1, 进入校准模式, 第一次按下 KEY1, 进入分钟低位计数校准调节, 之后再次按下 KEY1, 校准位将会往左移动 1 位, 直到校准位为时钟计数高位时, 按下 KEY1 将推出校准模式, 进入正常计数模式;

在校准模式中按下轻触按键 KEY2 一次, 对应校准位加 1, 在可计数的最大值时会归 0;

在校准模式中按下轻触按键 KEY3 一次, 对应校准位减 1, 在减到 0 时会置位为可计数的最大值;