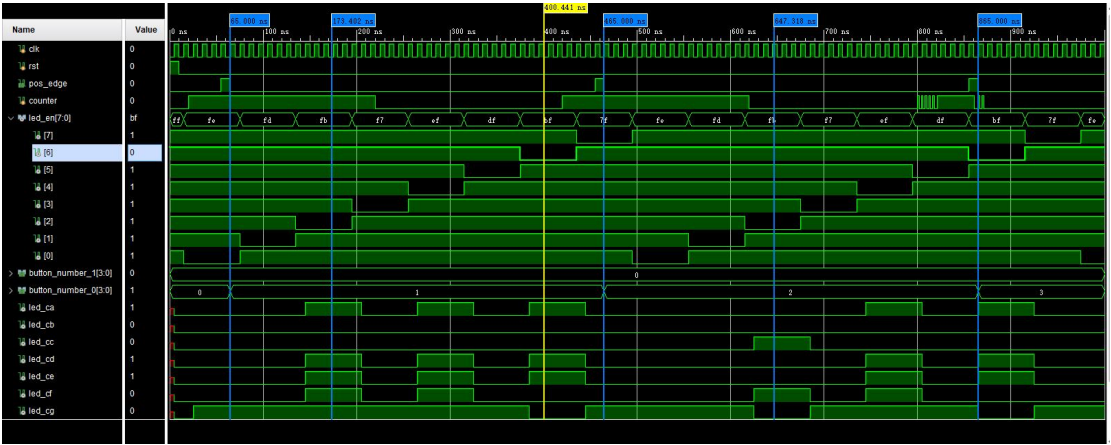
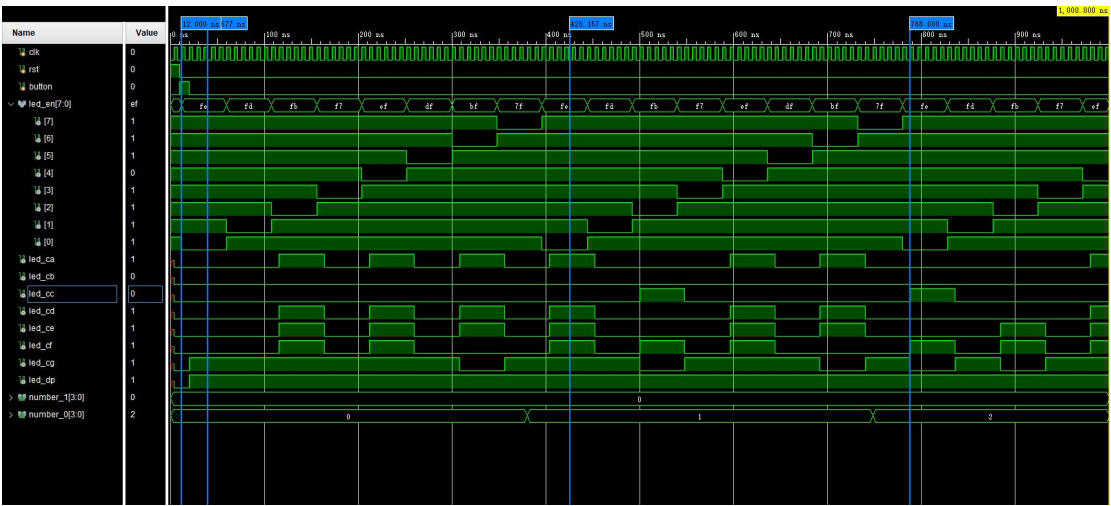


数码管控制器 (led_display_ctrl)

1. 仿真波形如下：



上图仿真按键计数功能，以及消抖和上升沿检测。



上图仿真 0-20 的计数器功能。

信号说明：时钟信号 clk, 异步复位信号 rst, 按键 S3 计数按钮 counter, 0 到 20 的计数器启动信号 button, 数码管选位使能信号 led_en, 数码管选段使能信号 led_ca、led_cb、led_cc、led_cd、led_ce、led_cf、led_cg 和 led_dp。button_number_1 和 button_number_0 为按按键的次数的十位和个位，pos_edge 为 counter 信号经消抖的上升沿检测信号，

number_1 和 number_0 为 0 到 20 计数器的显示内容的十位数和个位数。

由于功能较多，分两张波形分析完成。

对波形图 1 分析如下：

(1) 由波形图可以看出，led_en 的信号按周期变化，led_ca 至 led_dp 随之同步变化，说明数码管各个位轮流工作，显示不同数字；

(2) counter 有几次触发，counter=1 的时间较长，但是 pos_edge 只触发一次，因此波形检测功能正常；

(3) 65ns 上升沿前一段时间，counter 信号由 0 置 1，经一段时间，pos_edge 更新为 1，并在 65ns 时的上升沿，由于 pos_edge 为 1，button_number_0 增加了 1，说明按键计数触发一次，计数增加了 1；

(4) 按键计数显示对应的数码管显示为 led_en[2]，173ns 时，led_en[2] 有效，此时按键次数计数值为 1，对应的选段使能由 a 至 g 为‘1001111’，显示 1，符合要求；

(5) 465ns 时，上升沿检测再次为 1，此刻计数值 button_number_0 增加至 2，此后对应的显示在 647ns 时，对应的选段使能由 a 至 g 为‘0010010’，显示 2，符合要求。因此，实现了按键计数显示的功能；

(6) 865ns 时，counter 信号模拟了一次抖动输入。可以看出，此次输入，pos_edge 只检测到一次，因此，counter 信号实现了消抖功能。

对波形图 2 分析如下：

(1) 0ns 起，rst 置为 1，对所有信号复位，之后置为 0；

(2) 12ns 时的上升沿，由于 button = 1，rst=0，计数器开始启动工作。

此后 number_0 从 0 增加到 1，从 1 增加到 2，实现了计数器的自增；

(3) number_0 对应的显示为 led_en[0]。led_en[0] 第一次有效时，number_0 为 0，输出的选段使能信号为 ‘00000011’，显示的是 0，符合预期；

(4) 426ns 时，led_en[0] 有效，此时 number_0 为 1，输出的选段使能 ‘10011111’，显示的是 1，符合预期；

(5) 788ns 时，led_en[0] 有效，此时 number_0 为 2，输出的选段使能 ‘00100101’，显示的是 2，符合预期。因此，0 到 20 计数器的功能正常。

此外，led_en[7]至 led_en[4]分别有效时对应班级、学号数据：

(2) 当 led_en[7] 有效，对应的选段使能 {led_ca、led_cb、led_cc、led_cd、led_ce、led_cf、led_cg、led_dp} 为 ‘00000011’，显示的是 0，符合预期；

(3) 当 led_en[6] 有效，对应的选段使能 {led_ca、led_cb、led_cc、led_cd、led_ce、led_cf、led_cg、led_dp} 为 ‘10011001’，显示的是 4，符合预期；

(4) 当 led_en[5] 有效，对应的选段使能 {led_ca、led_cb、led_cc、led_cd、led_ce、led_cf、led_cg、led_dp} 为 ‘00000011’，显示的是 0，符合预期；

(5) 当 led_en[4] 有效，对应的选段使能 {led_ca、led_cb、led_cc、led_cd、led_ce、led_cf、led_cg、led_dp} 为 ‘10011111’，显示的是 1，符合预期。

综上，该数码管控制器正确实现了功能。

2. RTL Analysis

