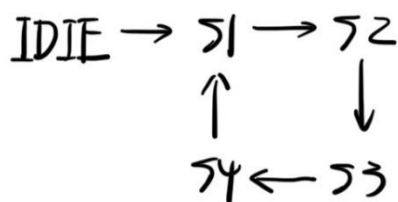


列扫描信号状态机:

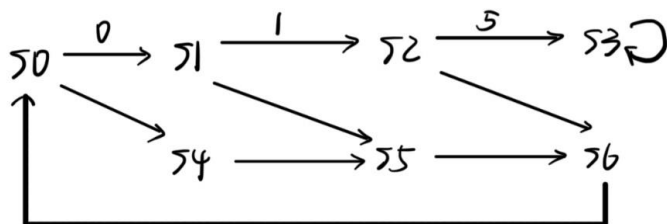
列扫描信号状态机共有 5 个状态，分别为 IDLE, S1, S2, S3, S4。IDLE 为初始态，S1 为选中第一列，S2 为选中第二列，S3 为选中第三列，S4 为选中第四列。状态转移图如下：



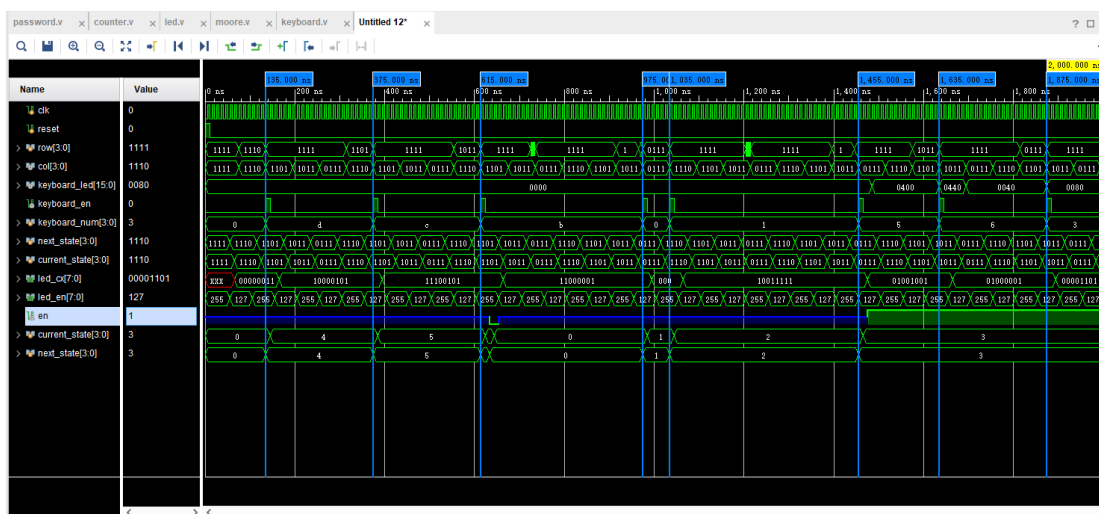
在一定数量的时钟周期后，该状态机会自动转移到下个状态并输出列扫描信号。

密码锁状态机:

密码锁状态机共有 7 个状态，分别为 S0，S1，S2，S3，S4，S5，S6。S0 为初始态，表示没有按键输入，S1 为输入一位正确状态，表示第一位密码正确；S2 为输入二位正确状态，表示两位密码均正确；S3 为输入三位正确状态，表示三位密码均正确；S4 为输入一位错误状态，表示第一位密码错误；S5 为输入二位错误状态，表示输入两位密码均错误；S6 为输入三位错误状态，表示输入三位密码均错误。



在输入为 0、1、5 时，分别向 S1、S2、S3 状态转移，最终保持在 S3 状态，否则就会进入其他状态，并最终由 S6 回到 S0 状态。



波形分析:

其中 clk 为时钟信号，row 为行扫描信号，col 为列扫描信号，keyboard_led 为 led 灯控制信号，keyboard en 为按键被按下的反应信号，keyboard num 下的 current state 和 next state

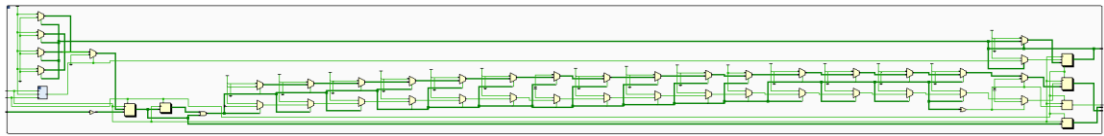
为列扫描状态机的现态和次态，led_cx 为数码管驱动信号，led_en 为数码管使能信号，en 为密码解锁信号，en 下的 current_state 和 next_state 为密码锁状态机的现态和次态。

(1) 0 到 2,000,000ns，列扫描状态机的现态和次态在 1110、1101、1011、0111 四个状态不断转移，且现态和次态相差一个时钟周期，符合预期；

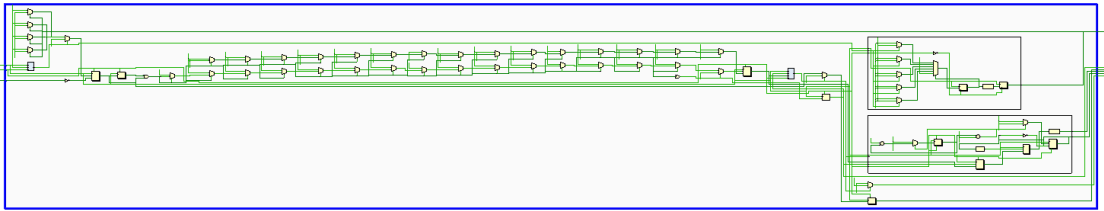
(2) 135,000ns、375,000ns、615,000ns 时按键输入分别为 d、c、b，密码锁状态机现态由 0 的初始态变换为 4、5、6，判断为错误密码，使 en 变为 0，表示错误，且 keyboard_led 始终为 0，即不亮灯，符合预期；

(3) 975,000ns、1,055,000ns、1,455,000ns 时按键输入分别为 0、1、5，密码锁状态机现态变换为 1、2、3，判断为正确密码，使 en 变为 1，表示解锁，在 1,635,000ns 和 1,875,000ns 时按键输入分别为 6、3 时 keyboard_led 不再为 0，符合预期。

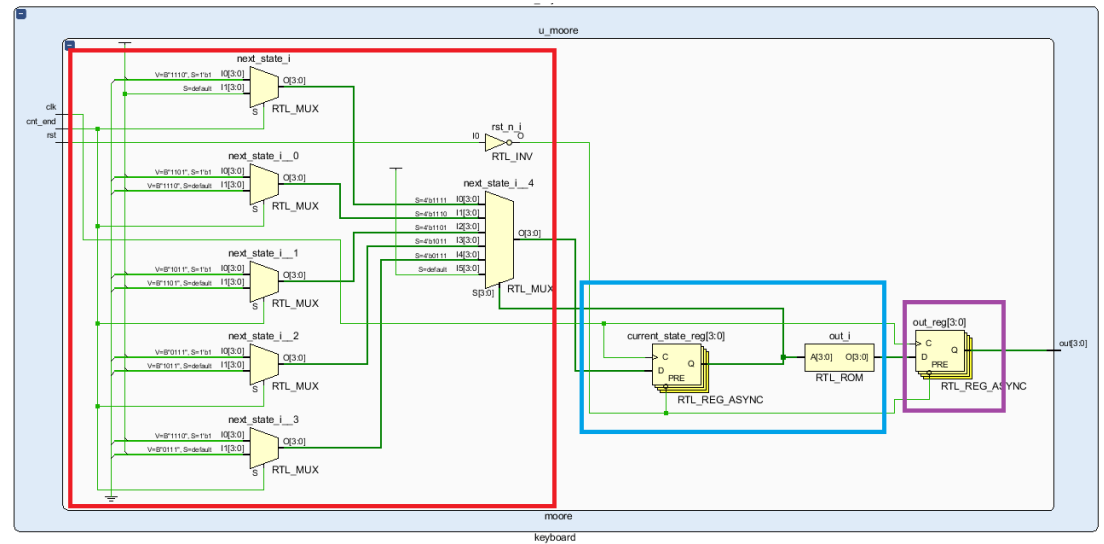
下面是参考实现的 RTL 分析的 keyboard 内部图：



下面是状态机实现的 RTL 分析的 keyboard 内部图：



下面是状态机内部 RTL 分析图：



红色部分为转移逻辑，蓝色部分为状态寄存器，紫色部分为输出。