

# 实验3 总线实验之 SRAM 控制器实验

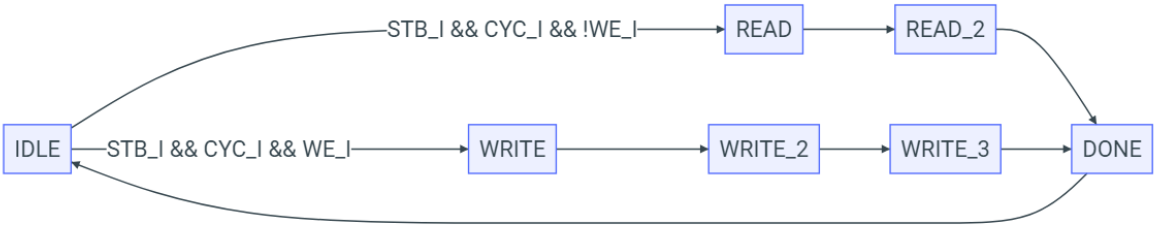
计23 万振南

## 一、给出你的 SRAM 状态机设计，并解释每个状态对应的功能

### 状态机设计

在 SystemVerilog 代码中，通过以下定义来表示这些状态：

```
typedef enum logic [2:0] {
    STATE_IDLE      = 3'd0,
    STATE_READ      = 3'd1,
    STATE_READ_2    = 3'd2,
    STATE_WRITE     = 3'd3,
    STATE_WRITE_2   = 3'd4,
    STATE_WRITE_3   = 3'd5,
    STATE_DONE      = 3'd6
} state_t;
```



### 功能说明

#### 1. STATE\_IDLE

- 在该状态下，控制器处于空闲状态，等待 Master 发起请求
- 当 STB\_I 和 CYC\_I 信号均为高时，表示有新的请求。根据 WE\_I 信号判断是读还是写操作，然后转移到 STATE\_READ 或 STATE\_WRITE

#### 2. STATE\_READ

- 控制器进入该状态时开始处理读操作
- 设置 SRAM 的地址信号 ce\_n 和使能信号 oe\_n，准备读取数据
- 状态在下一个时钟周期转移到 STATE\_READ\_2

#### 3. STATE\_READ\_2

- 从 SRAM 中实际读取数据并保存到寄存器中
- 设置 ACK\_O 为高，通知 Master 数据已准备好
- 然后转移到 STATE\_DONE 状态以结束操作

#### 4. STATE\_WRITE

- 进入此状态时，控制器开始处理写操作
- 设置 SRAM 的地址信号和待写入的数据，并将 SRAM 设置为写入模式，we\_n 置为高
- 状态在下一个时钟周期转移到 STATE\_WRITE\_2

## 5. STATE\_WRITE\_2

- 将写使能信号 we\_n 置为低，开始执行写入操作
- 状态在下一个时钟周期转移到 STATE\_WRITE\_3

## 6. STATE\_WRITE\_3

- 将写使能信号恢复为高，结束写入操作
- 设置 ACK\_O 为高，表示写入完成
- 然后转移到 STATE\_DONE 状态

## 7. STATE\_DONE

- 在该状态中，控制器完成当前请求，将 ACK\_O 置为低
- 等待 STB\_I 或 CYC\_I 变为低，表示 Master 已结束当前事务
- 最终返回到 STATE\_IDLE 状态，准备处理下一个请求

## 二、设定一个随机种子进行仿真，给出部分仿真波形，初步说明设计的正确性

将随机种子设置为 0x3

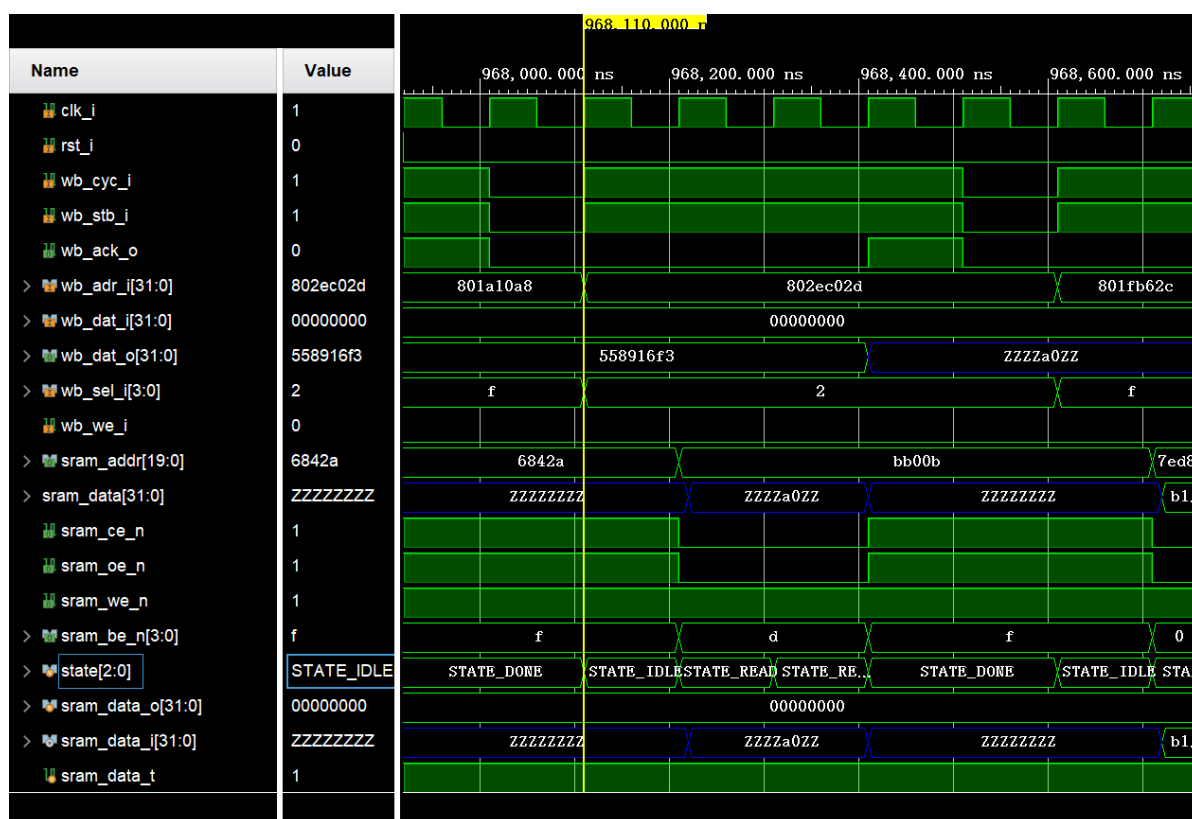


图1：一次读操作

1. 第一个周期：master 设置 CYC\_I=1, STB\_I=1, WE\_I=0，此时状态是 IDLE，下一个状态是 READ
2. 第二个周期：按照要求输出 addr, oe\_n=0, ce\_n=0, we\_n=1，根据 SEL\_I=0b1111 可知四个字节都要读取，所以输出 be\_n=0b0000，此时状态是 READ，下一个状态是 READ\_2
3. 第三个周期：这时候 SRAM 返回了数据，把数据保存到寄存器中，此时状态是 READ\_2，下一个状态是 DONE
4. 第四个周期：输出 ce\_n=1, oe\_n=1 让 SRAM 恢复空闲状态，设置 ACK\_O=1，此时请求完成，状态是 DONE，下一个状态是 IDLE

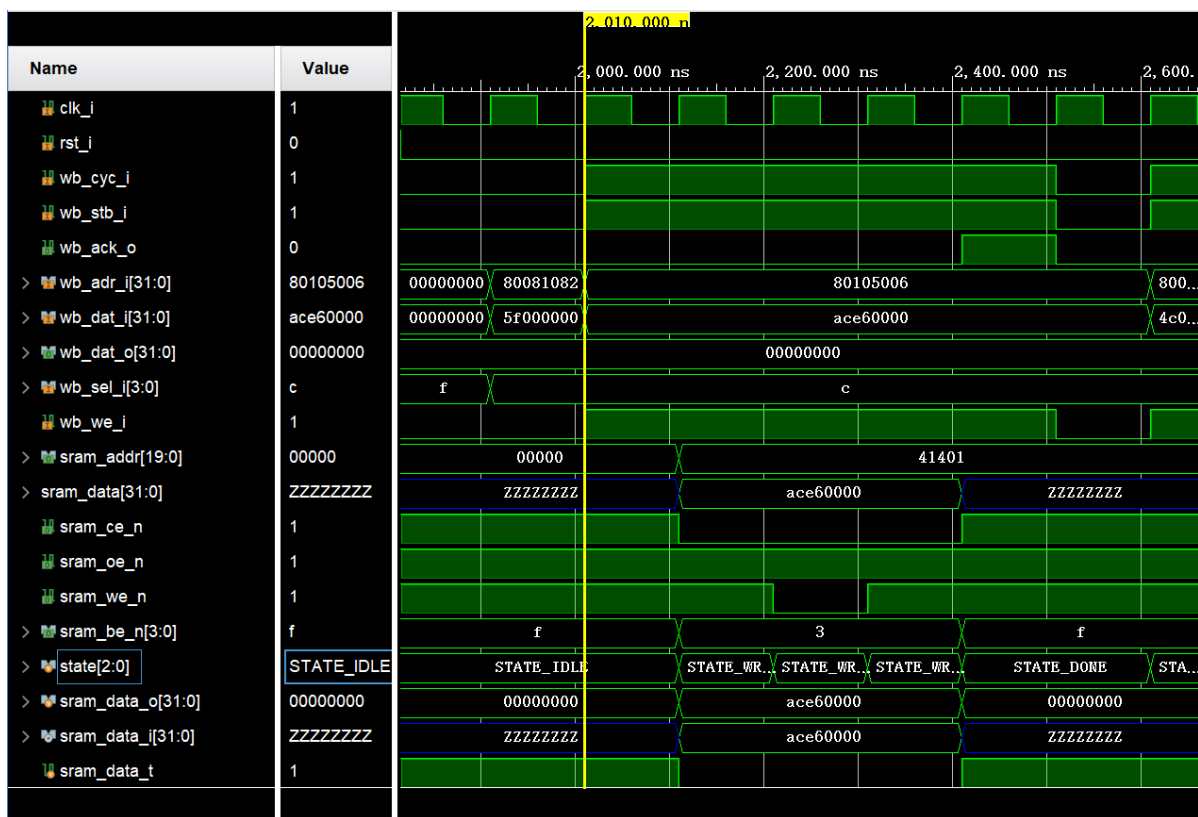


图2：一次写操作

1. 第一个周期：master 设置 CYC\_I=1, STB\_I=1, WE\_I=1，此时状态是 IDLE，下一个状态是 WRITE
2. 第二个周期：按照要求输出 addr, data, oe\_n=1, ce\_n=0, we\_n=1，根据 SEL\_I=0b1111 可知四个字节都要写入，所以输出 be\_n=0b0000，此时状态是 WRITE，下一个状态是 WRITE\_2
3. 第三个周期：按照要求输出 we\_n=0，此时状态是 WRITE\_2，下一个状态是 WRITE\_3
4. 第四个周期：按照要求输出 we\_n=1，此时状态是 WRITE\_3，下一个状态是 DONE
5. 第五个周期：输出 ce\_n=1 让 SRAM 恢复空闲状态，设置 ACK\_O=1，此时请求完成，状态是 DONE，下一个状态是 IDLE

### 三、在云平台上使用与第 2 步中相同的种子进行实验，使用云平台工具记录前 20 次读写操作，与仿真结果进行比较

将随机种子设置为 0x3：

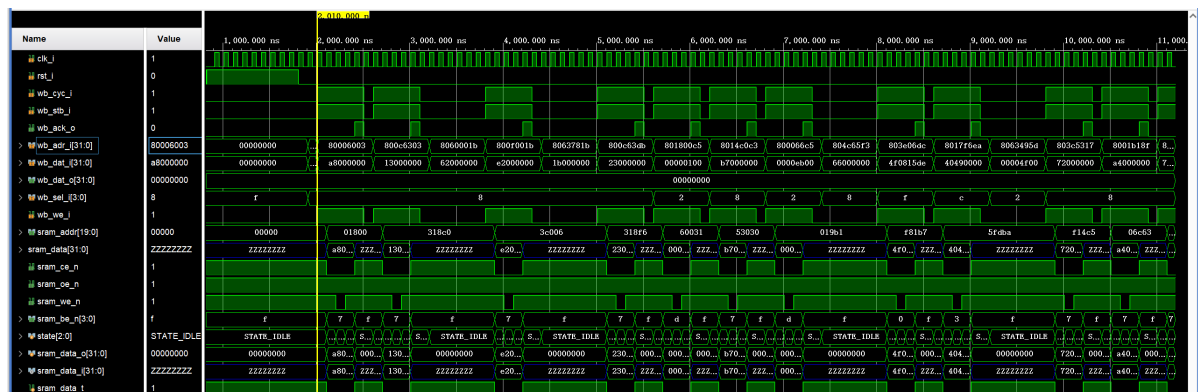


图3：仿真结果（随机种子0x3）

#	读/写	地址(byte)	数据	BEn[3:0]	波形
0	W	6000	a8000000	0111	>
1	W	c6300	13000000	0111	>
2	W	f0018	e2000000	0111	>
3	W	c63d8	23000000	0111	>
4	W	1800c4	00000100	1101	>
5	W	14c0c0	b7000000	0111	>
6	W	66c4	0000eb00	1101	>
7	W	3e06dc	4f0815de	0000	>
8	W	17f6e8	40490000	0011	>
9	W	3c5314	72000000	0111	>
10	W	1b18c	a4000000	0111	>
11	W	dbc00	71000000	0111	>

图4：云平台实验结果（随机种子0x3）

仿真结果和云平台实验结果相同，说明设计的正确性

将随机种子设置为 0x1：

#	读/写	地址(byte)	数据	BEn[3:0]	波形
0	W	2000	00000000	1101	>
1	W	42100	00002800	1101	>
2	W	200008	00001000	1101	>
3	W	50008	0000be00	1101	>
4	W	212808	0000d500	1101	>
5	W	42148	00000900	1101	>
6	W	80040	44000000	0111	>
7	W	c4040	0000ae00	1101	>
8	W	2240	89000000	0111	>
9	W	d5258	0000a400	1101	>
10	W	2138c8	83000000	0111	>
11	W	14310c	0000dc00	1101	>

图5：云平台实验结果（随机种子0x1）

云平台实验结果和实验文档相同，说明设计的正确性

## 四、回答思考题

### 1. 静态存储器的读和写各有什么特点？

读：

- 在读操作中，地址信号被送到存储器的地址总线，然后需要一些时间进行地址译码。地址稳定后，存储器开始输出数据
- 静态存储器在读操作中，需要一段时间来稳定数据输出，这段时间包括地址建立时间、读使能信号有效时间等
- 由于静态存储器是同步存储器，它的读操作通常是依赖于时钟信号的。在读周期中，当时钟信号到达时，存储器将输出数据

写：

- 在写操作中，首先将地址信号送到存储器的地址总线，然后将待写入的数据送到数据总线，并使写使能信号有效
- 写操作通常需要更长的时间，因为在写入的过程中，需要将数据写入到指定的存储单元中，并且需要写稳定时间
- 和读操作一样，写操作也依赖于时钟信号。在写周期中，当时钟信号到达时，存储器将数据写入指定的地址

## 2. 什么是 RAM 芯片输出的高阻态？它的作用是什么？

RAM 芯片的输出高阻态意味着芯片的输出端口处于一种高电阻状态，相当于断开状态。在这种状态下，RAM 芯片的输出不会驱动任何信号线，也不会影响其他设备的正常工作。输出线既不被拉高，也不被拉低

作用：

- 高阻态允许多路器、总线仲裁等电路在同一条总线上连接多个设备。在总线系统中，当某个设备不需要输出数据时，它会进入高阻态，这样可以避免多个设备同时驱动总线，防止总线冲突
- 高阻态也用于芯片选择的逻辑中，当芯片未被选中时，其输出将进入高阻态，确保不会干扰其他被选中设备的正常数据输出
- 当设备处于高阻态时，它不会消耗不必要的功耗，因为输出级处于不工作状态，这有助于节能

## 3. 本实验完成的是将 BaseRAM 和 ExtRAM 作为独立的存储器单独进行访问的功能。如果希望将 Base\_RAM 和 Ext\_RAM 作为一个统一的 64 位数据的存储器进行访问，该如何进行？

并行连接：

- 将 Base\_RAM 和 Ext\_RAM 的数据总线并行连接，以实现 64 位的宽数据总线，Base\_RAM 连接低 32 位，Ext\_RAM 连接高 32 位
- 地址总线和控制信号可以保持一致，确保对两个存储器的同步访问

地址映射：

- 在统一的地址空间下，需要对地址进行调整
- 由于 Base\_RAM 和 Ext\_RAM 分别是独立的 32 位存储器，需要在地址解码时将其映射到不同的存储区间，低 32 位的存储范围对应 Base\_RAM，高 32 位的存储范围对应 Ext\_RAM

数据总线的扩展：

- 在处理器端，需要将两个 32 位数据合并为一个 64 位数据进行读写
- 读操作时，需要同时从 Base\_RAM 和 Ext\_RAM 读取数据，并将其组合成一个 64 位数据返回
- 写操作时，需要将 64 位数据分成两部分，分别写入 Base\_RAM 和 Ext\_RAM

# 实验4 总线实验之 SRAM 控制器实验

计23 万振南

## 一、给出你的状态机设计，并简要解释每个状态的功能

在 SystemVerilog 代码中，通过以下定义来表示这些状态：

```
typedef enum logic [3:0] {  
    IDLE = 0,  
    READ_WAIT_ACTION = 1,  
    READ_WAIT_CHECK = 2,  
    READ_DATA_ACTION = 3,  
    READ_DATA_DONE = 4,  
    WRITE_SRAM_ACTION = 5,  
    WRITE_SRAM_DONE = 6,  
    WRITE_WAIT_ACTION = 7,  
    WRITE_WAIT_CHECK = 8,  
    WRITE_DATA_ACTION = 9,  
    WRITE_DATA_DONE = 10  
} state_t;
```

### 功能说明

1. IDLE: 空闲状态，初始状态，在此状态下，设置访问的地址并发起读操作（STB\_O = 1, CYC\_O = 1）
2. READ\_WAIT\_ACTION: 处于等待读取的状态，等待从外设或内存获取 ACK 信号确认请求完成。如果收到 ACK 信号，则保存数据并将 CYC\_O 置 0
3. READ\_WAIT\_CHECK: 检查读取的数据是否符合条件，如果符合条件，发起下一步的读操作
4. READ\_DATA\_ACTION: 在这个状态中开始实际读取数据，等待外设响应 ACK 信号。若响应，则记录读取的数据并清除相关信号
5. READ\_DATA\_DONE: 读操作完成后，将目标地址和读取到的数据准备好，进入写操作的状态
6. WRITE\_SRAM\_ACTION: 启动写操作，将数据写入到 SRAM 中。设定写地址、数据并置位 CYC\_O 和 WE\_O，等待 ACK 信号
7. WRITE\_SRAM\_DONE: 写入完成后，进入到写等待状态，设置要检查的地址
8. WRITE\_WAIT\_ACTION: 等待从外设或内存返回的 ACK 信号，类似于读取等待状态。成功后，进入写检查状态
9. WRITE\_WAIT\_CHECK: 根据收到的数据进行检查，如果特定位（信号 bit 5）满足要求，继续写入数据，否则返回空闲状态
10. WRITE\_DATA\_ACTION: 实际开始写数据，等待外设或内存响应 ACK 信号确认写入成功
11. WRITE\_DATA\_DONE: 写操作完成后，更新地址寄存器和数据计数器，以准备下一个数据块的操作，如果达到指定次数，则保持该状态，否则返回空闲状态

## 二、进行仿真，给出仿真波形，初步验证设计的正确性

仿真代码

```

dip_sw = 32'h8000_1000;

for (integer j = 0; j < 10; j = j + 1) begin
    uart.pc_send_byte(8'h30 + j);
    #10000;
end

```



图1：仿真总览

十个数据均成功读取写入，说明设计的正确性

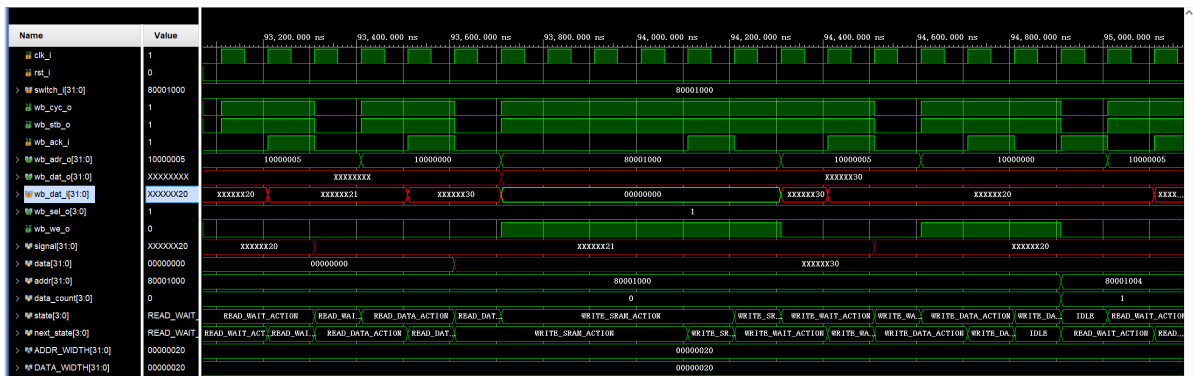


图2：仿真波形

从左至右依次是 READ\_WAIT\_ACTION, READ\_WAIT\_CHECK, READ\_DATA\_ACTION, READ\_DATA\_DONE, WRITE\_SRAM\_ACTION, WRITE\_SRAM\_DONE, WRITE\_WAIT\_ACTION, WRITE\_WAIT\_CHECK, WRITE\_DATA\_ACTION, WRITE\_DATA\_DONE, IDLE 这十一个状态，波形正确，说明设计的正确性



三、上板进行实验，给出实验过程截图，验证设计的正确性。注意不是 0J 通过截图



图3：实验过程截图

输入/输出: '0123456789', 读取数据正确，说明设计的正确性

四、回答思考题

阅读 Wishbone UART 控制器的代码，体会 MMIO 寄存器的概念。映射到地址空间上的“内存”的内容一定是只受 Master 端控制的吗？如何将数码管和拨码开关也映射到地址空间上？

在 Wishbone UART 控制器中，MMIO（内存映射 I/O）寄存器通过地址空间来映射 UART 控制寄存器，使得主设备（如 CPU）可以通过读写这些地址来与设备通信。但映射到地址空间的内存内容不一定仅由主设备控制。MMIO 允许外设（如 UART 控制器）通过异步通信协议主动更新寄存器状态，这表明 MMIO 映射的内存可以受到从设备影响

为了将数码管和拨码开关映射到地址空间，可以设计类似 UART 控制器的 MMIO 接口，将数码管的数据输入输出和拨码开关的状态读入寄存器，并将这些寄存器通过 Wishbone 总线映射到主设备的地址空间，使得主设备可以通过 MMIO 访问和控制这些外设