

# Clock Domain Crossing



跨时钟域问题  
传统解决方式

# 跨时钟域问题

- 亚稳态 (metastability)
- 数据保持 (快时钟域到慢时钟域)
- 数据冗余 (慢时钟域到快时钟域)
- 数据相关性丢失
- ❑ 复位信号的同步
- ❑ 无毛刺时钟切换 (Glitch Free Clock MUX)

# 亚稳态 (metastability)

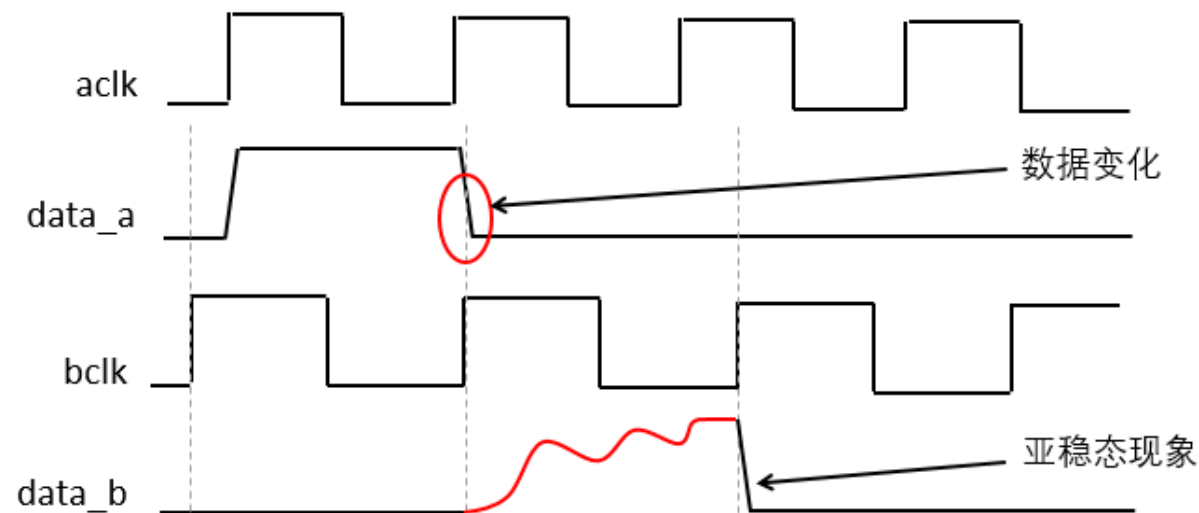
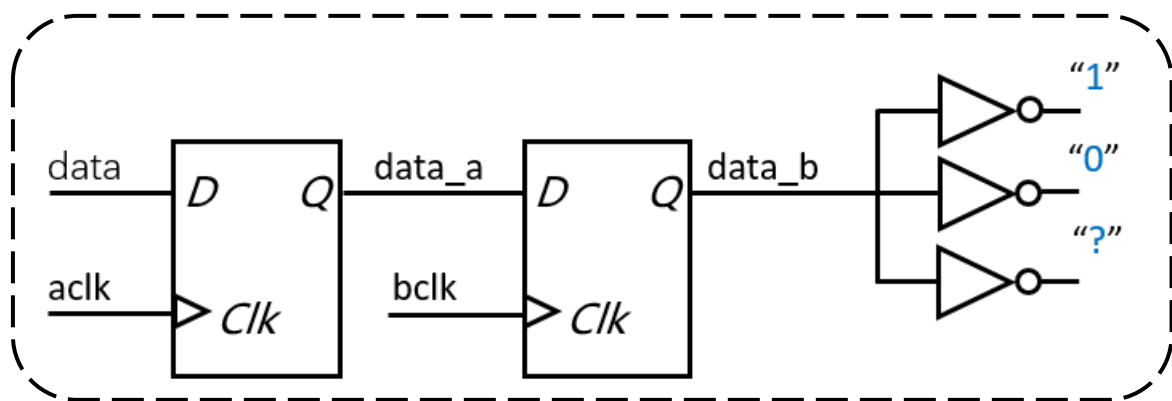
数据  
保持

数据  
冗余

数据相关  
性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换



## ➤ 产生原因

跨时钟域数据不满足目标时钟的**建立保持时间**

## ➤ 解决方案

**两级或多级同步器**隔离亚稳态

# 亚稳态 (metastability)

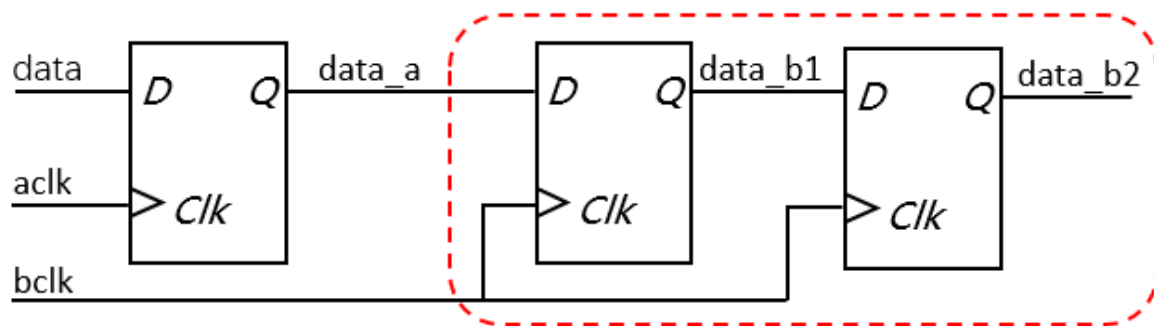
数据保持

数据冗余

数据相关性丢失

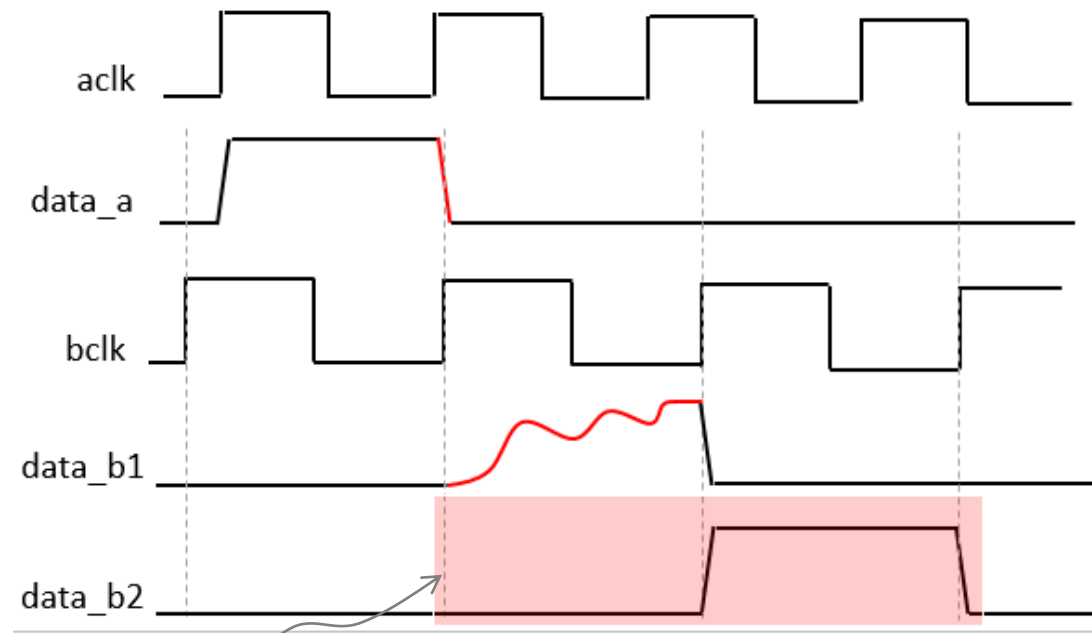
复位信号同步

无毛刺时钟切换



两级触发器同步

- 亚稳态无法消除
- 亚稳态只能被隔离，降低发生概率
- 两级同步器之间不要有组合逻辑



亚稳态被隔离

亚稳态

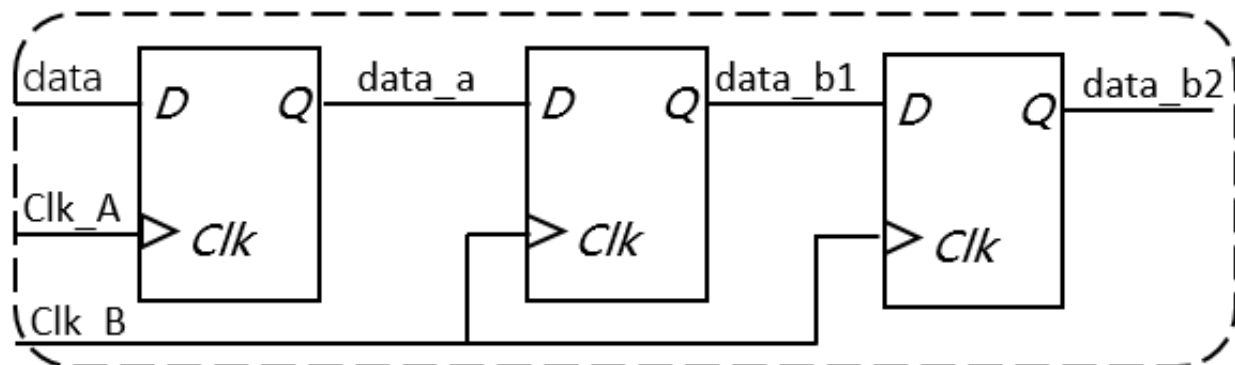
## 数据保持

数据  
冗余

数据相关  
性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

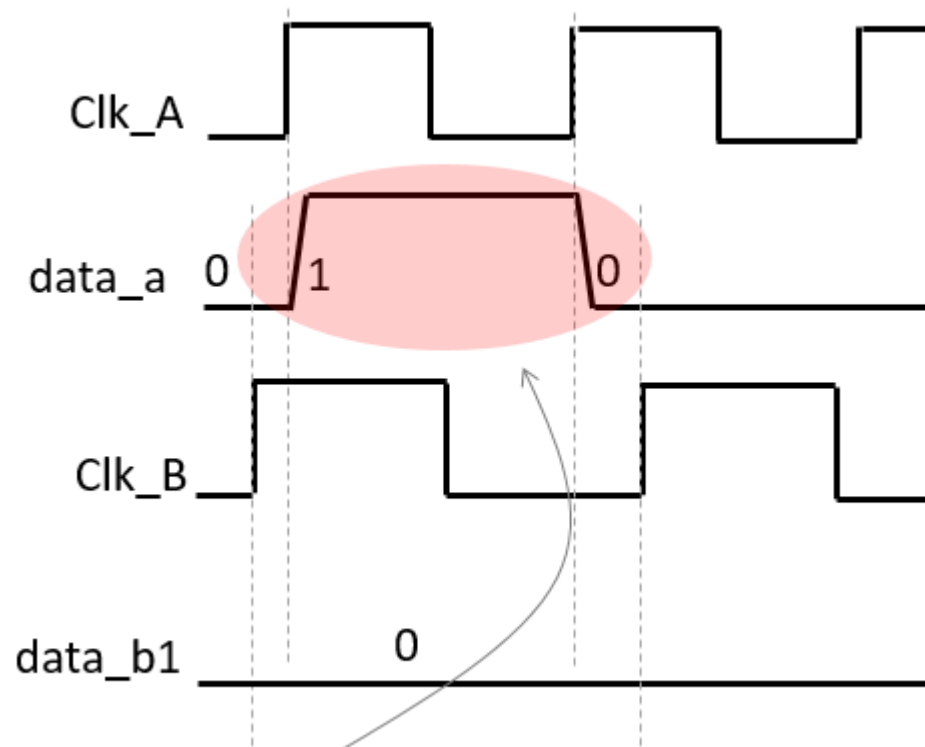


### ➤ 产生原因

- 数据从快时钟域到慢时钟域
- 数据保持的时间较短，无法被慢时钟域采样

### ➤ 解决方案

- 数据展宽
- 脉冲同步器



数据的改变没有被采样

亚稳态

## 数据保持

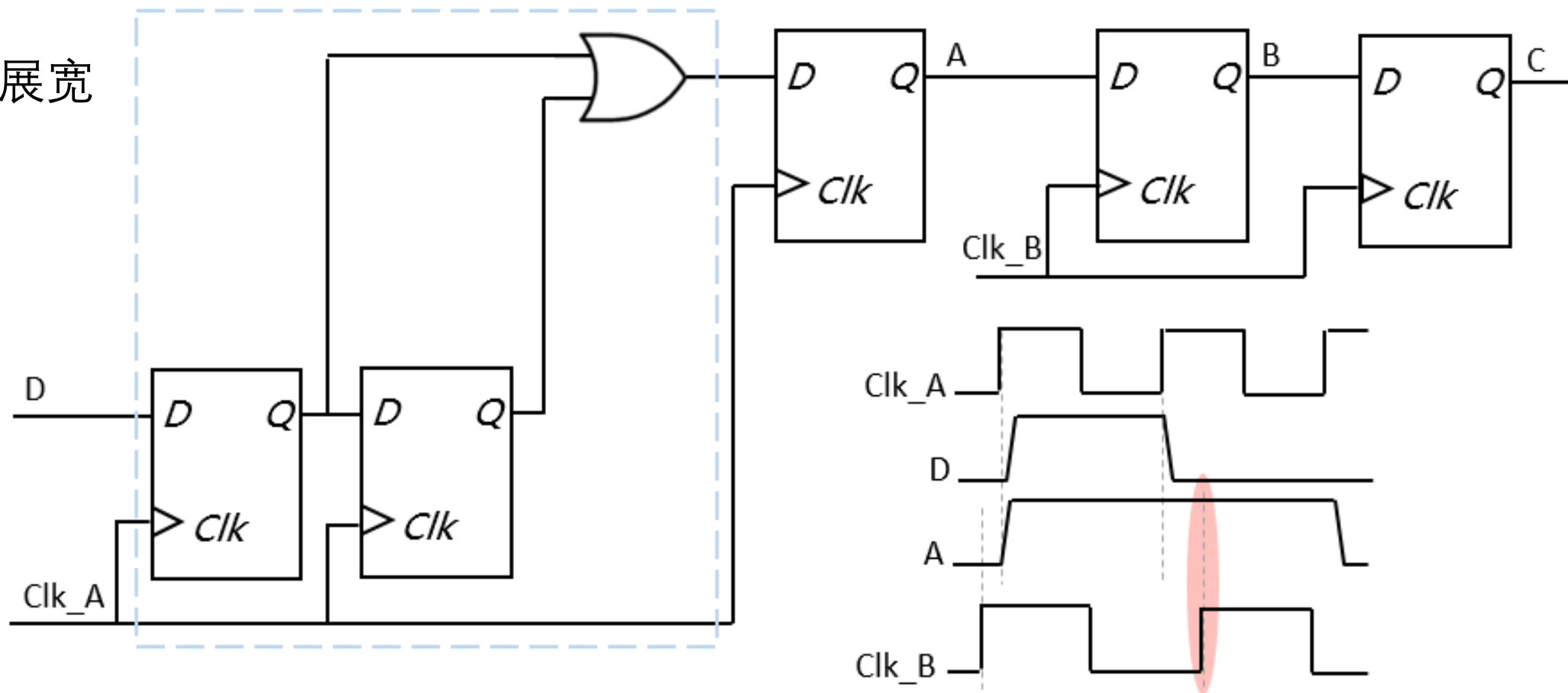
数据  
冗余

数据相关  
性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

### ➤ 数据展宽



亚稳态

# 数据保持

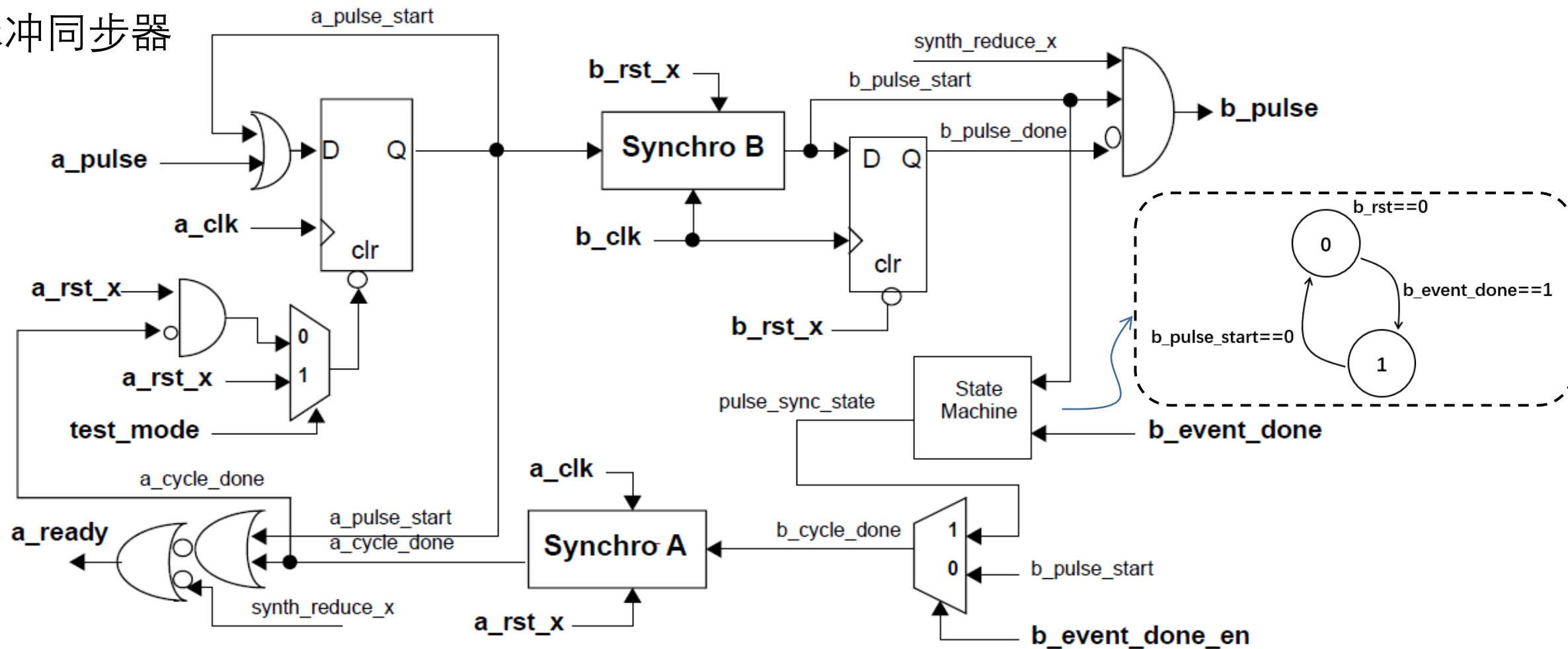
数据冗余

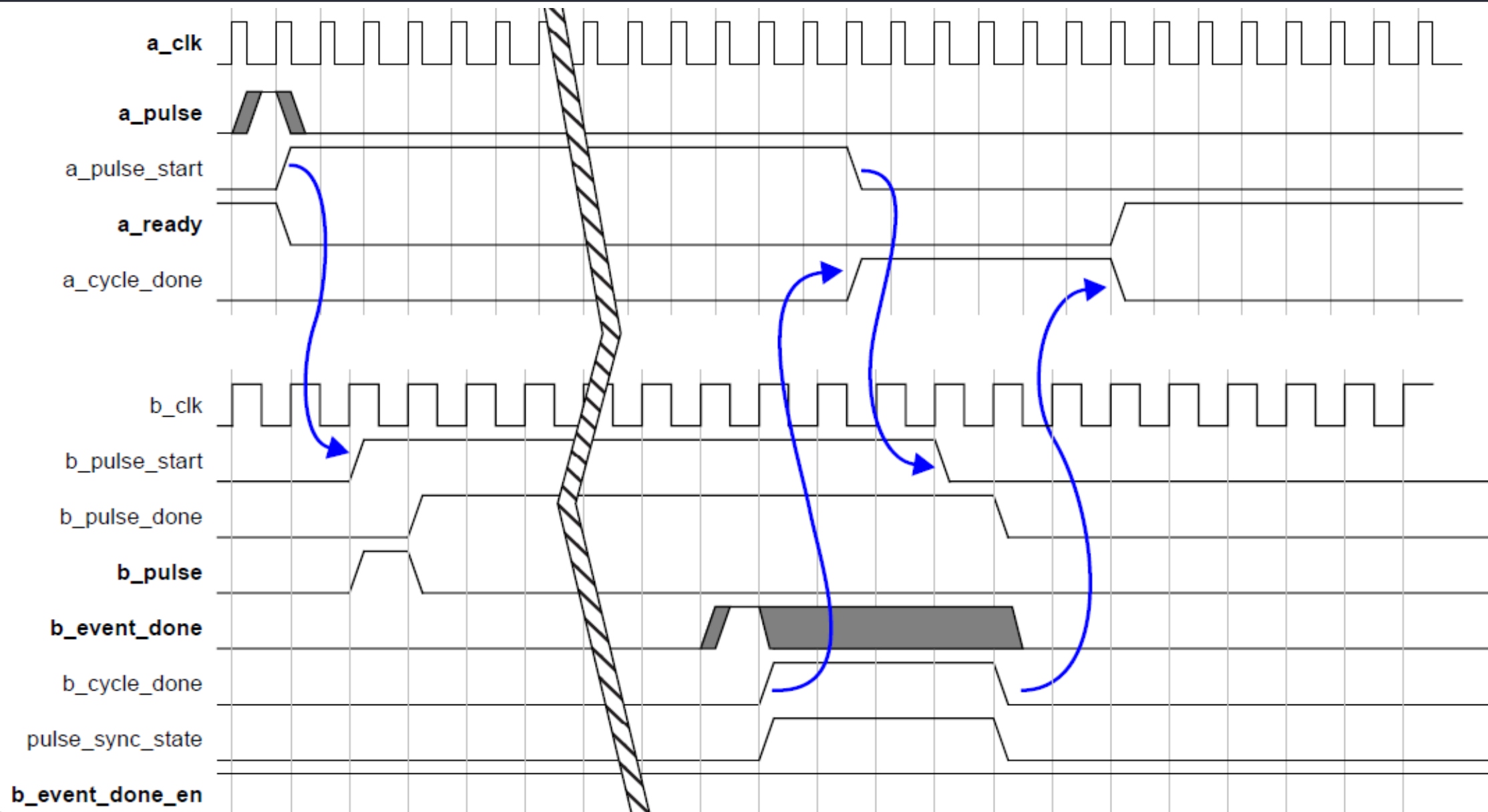
数据相关性丢失

复位信号同步

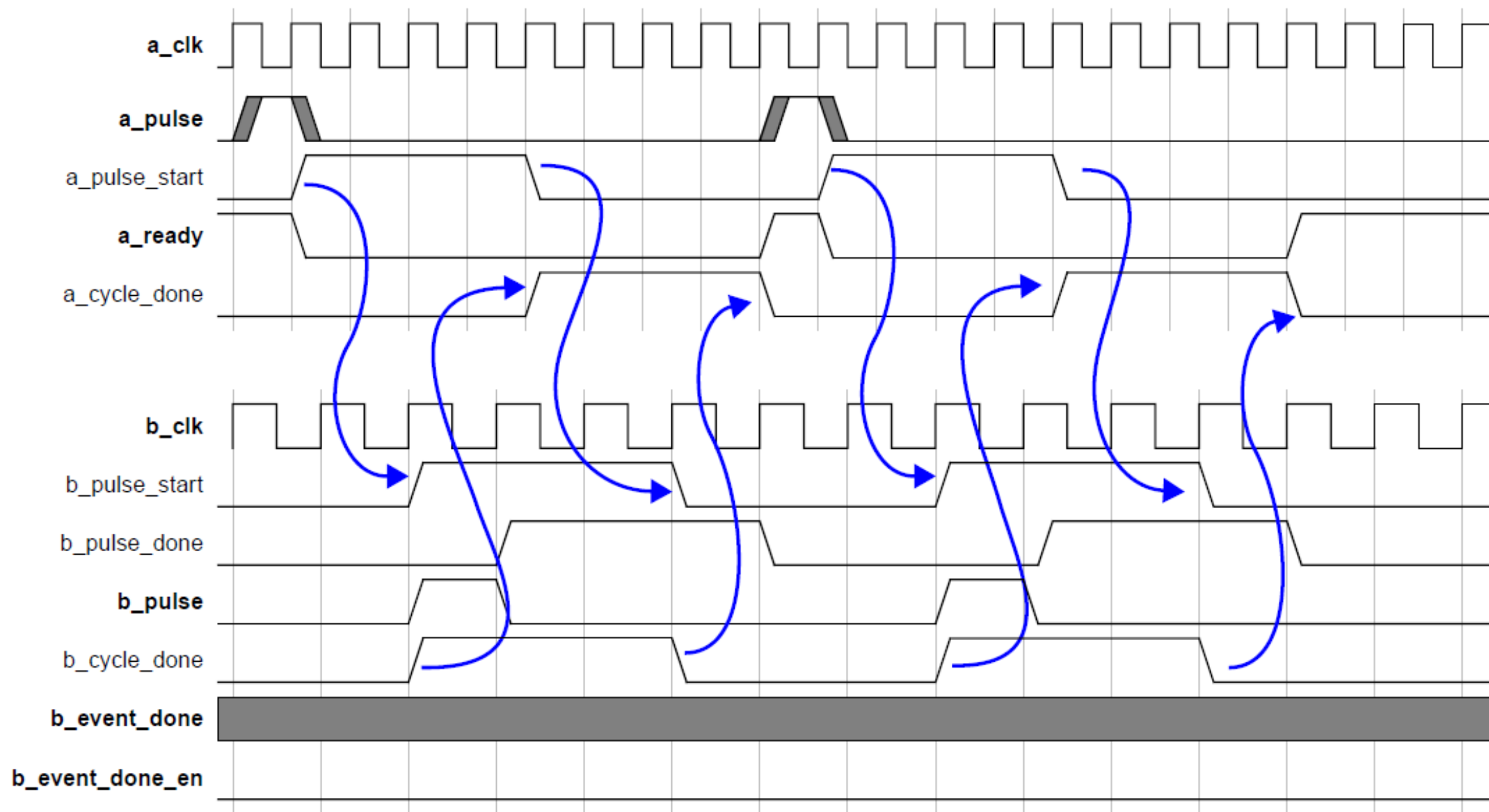
无毛刺时钟切换

## ➤ 脉冲同步器









亚稳态

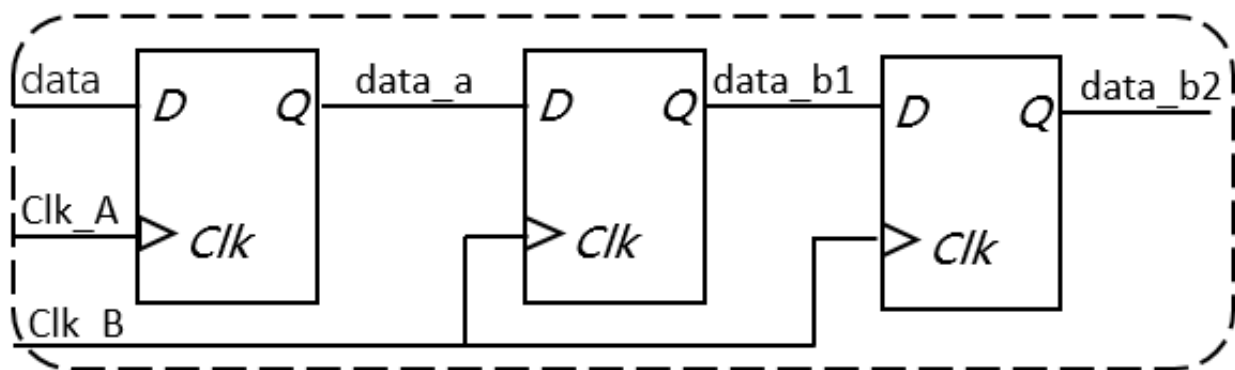
数据保持

数据冗余

数据相关性丢失

复位信号同步

无毛刺时钟切换

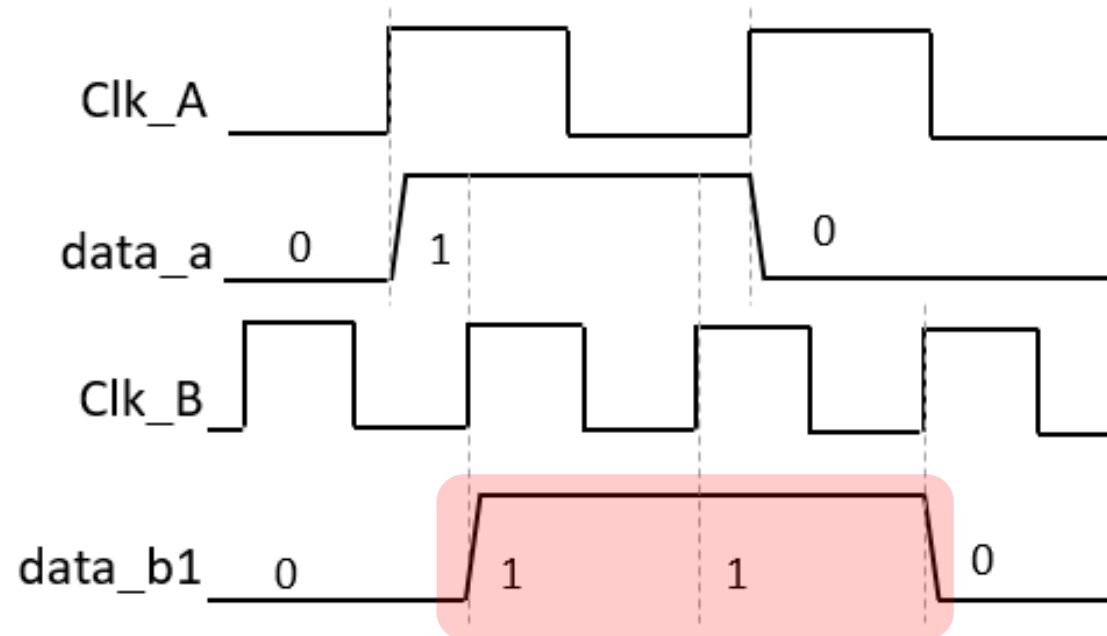


➤ 产生原因

- 数据从慢时钟域到快时钟域
- 数据在目标时钟域被多次采样

➤ 解决方案

- 脉冲同步器
- 边沿检测



数据被多次被采样

亚稳态

数据保持

数据冗余

数据相关性丢失

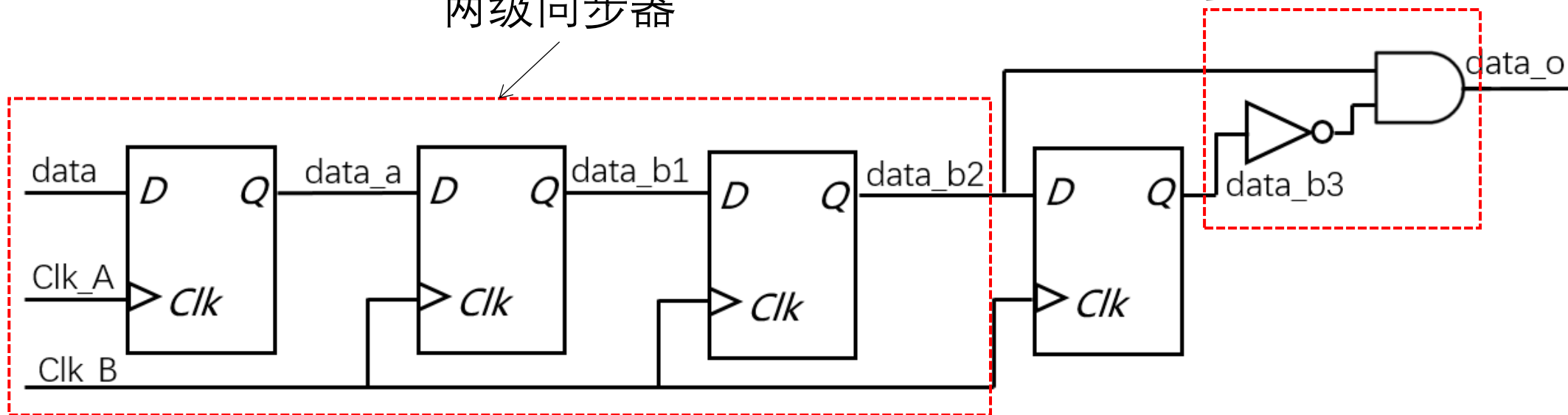
复位信号同步

无毛刺时钟切换

- 边沿检测（上升沿）  
通过改变组合逻辑，可以实现其他功能

两级同步器

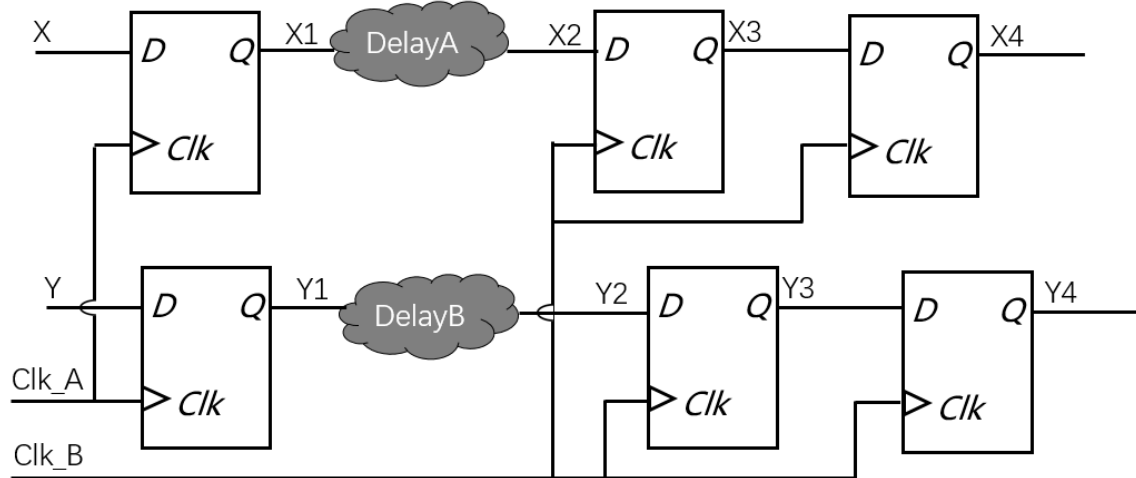
组合逻辑



亚稳态

数据  
保持数据  
冗余

## 数据相关性丢失

复位信  
号同步无毛刺时  
钟切换

## ➤ 产生原因

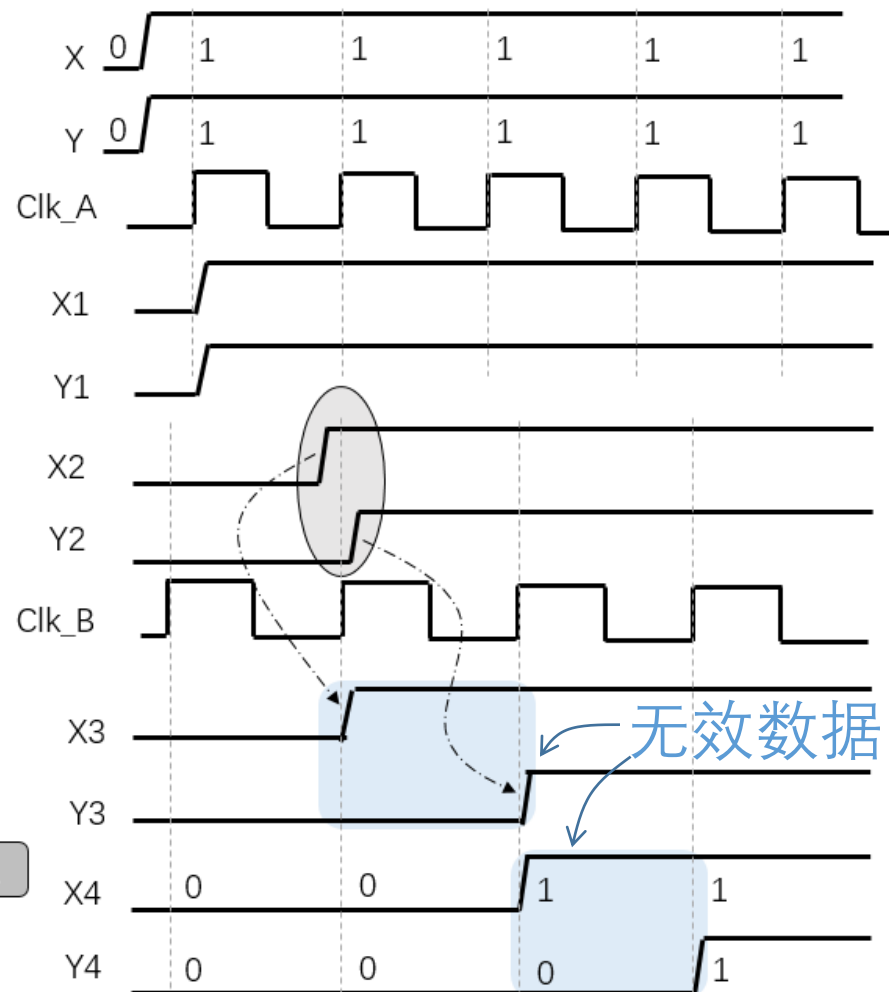
延迟与时钟不确定性令目标时钟域采样无效数据

## ➤ 解决方案

- 格雷码编码
- 握手机制
- 异步FIFO
- 门控机制

XY : 00 11 11 11 11 11

X4Y4 : 00 00 10 11



亚稳态

数据  
保持

数据  
冗余

## 数据相关性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

### ➤ 多位控制信号

数据相关

按顺序依次变化

地址指针或状态机的状态矢量

D0	0	0	0	0	1	1	1	1
D1	0	0	1	1	0	0	1	1
D2	0	1	0	1	0	1	0	1

二进制编码

### ➤ 解决方案：格雷码编码

相邻数据间转换时，只有一位产生变化

地址范或状态数量为 $2^n$ 个

D0	0	0	0	0	1	1	1	1
D1	0	0	1	1	1	1	0	0
D2	0	1	1	0	0	1	1	0

格雷码编码

亚稳态

数据  
保持

数据  
冗余

数据相关性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

➤ 数据信号解决方案

- ◆ 异步FIFO
- ◆ 握手协议
- ◆ 使能信号控制

亚稳态

数据  
保持

数据  
冗余

数据相关性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

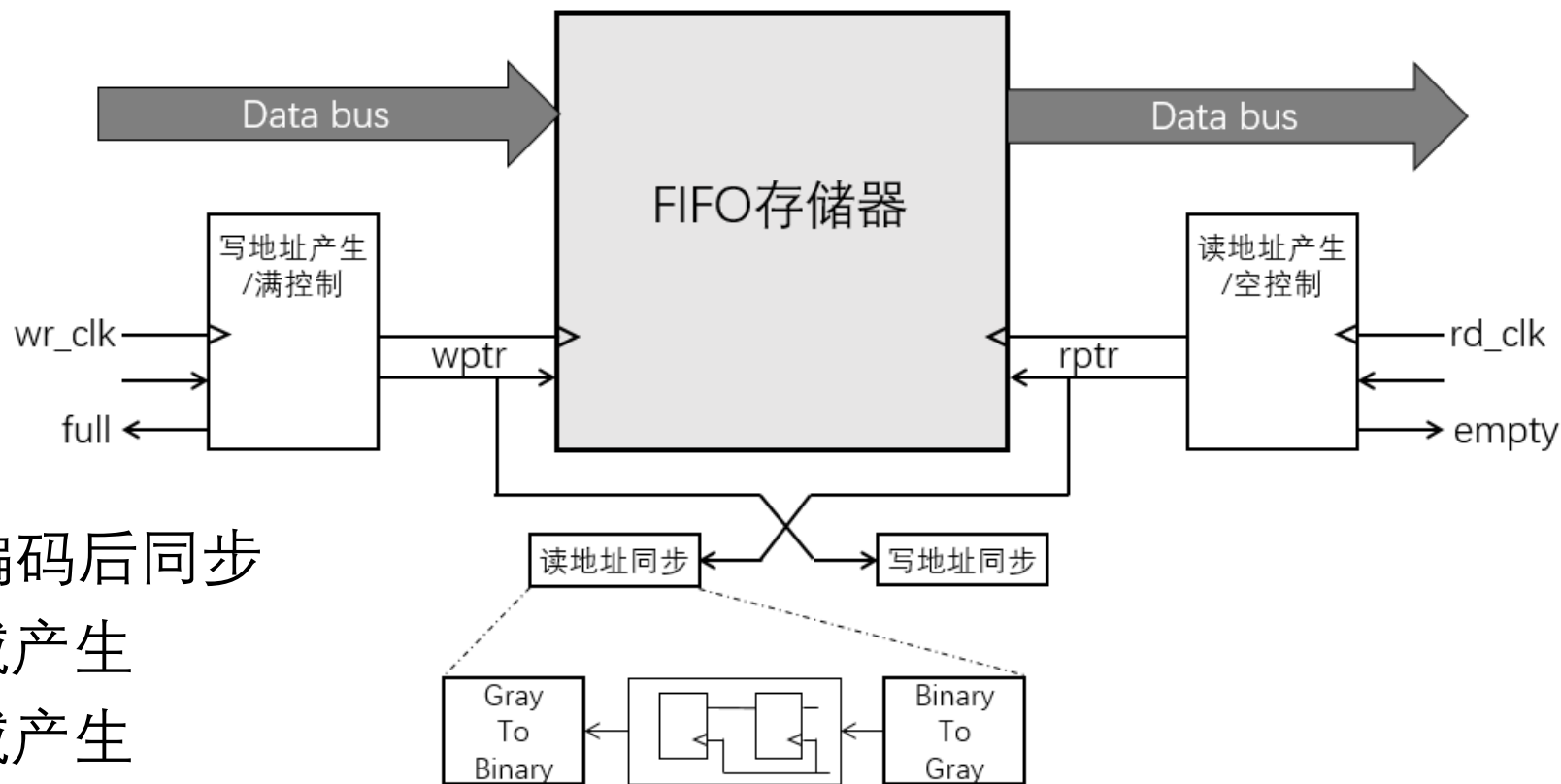
## ➤ 数据信号解决方案

◆ 异步FIFO

◆ 握手协议

◆ 使能信号控制

- 读写指针用格雷码编码后同步
- “空信号”在读时钟域产生
- “满信号”在写时钟域产生



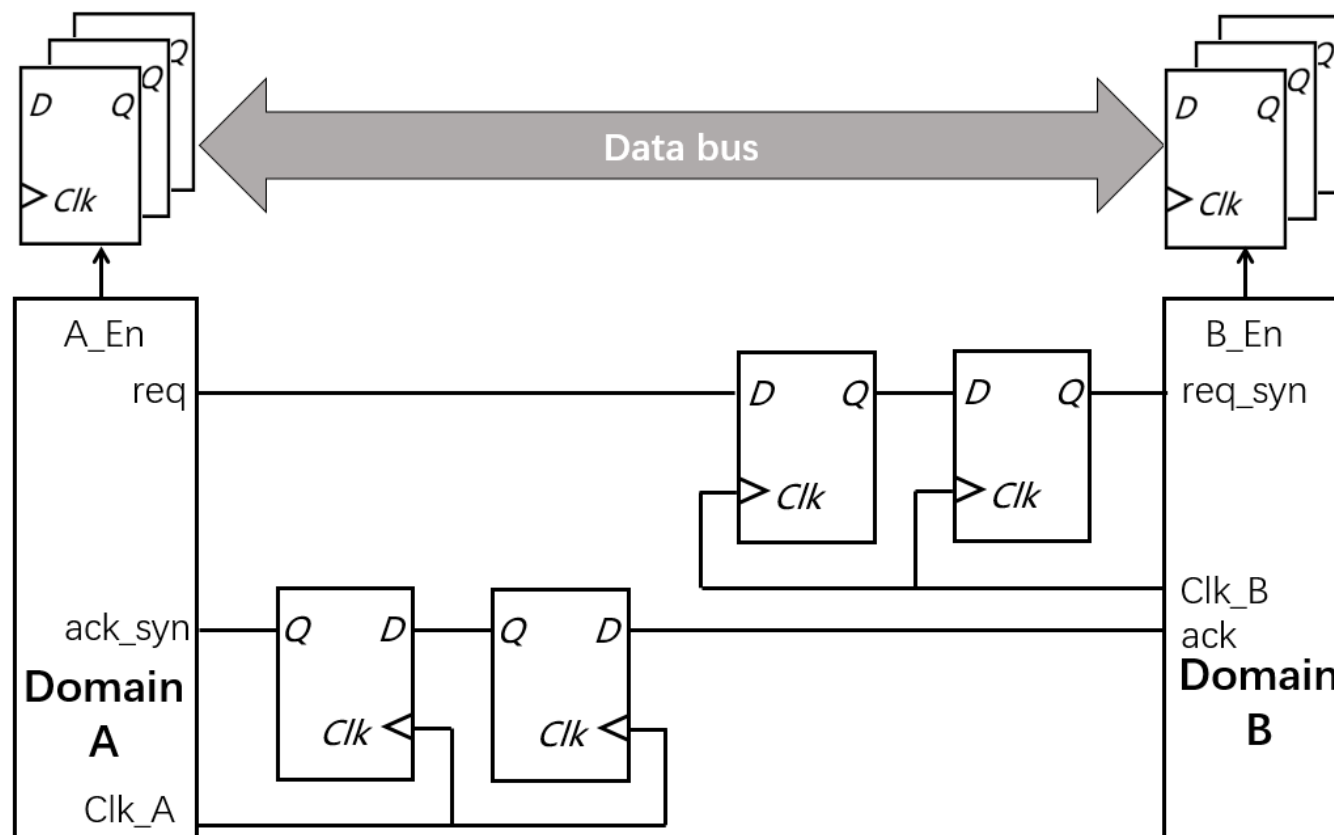
➤ **数据信号**解决方案

◆ 异步FIFO

◆ **握手协议**

◆ 使能信号控制

- ‘req’信号同步至Clk\_B
- ‘ack’信号同步至Clk\_A
- 数据保持直到握手完成





亚稳态

数据  
保持

数据  
冗余

数据相关性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时  
钟切换

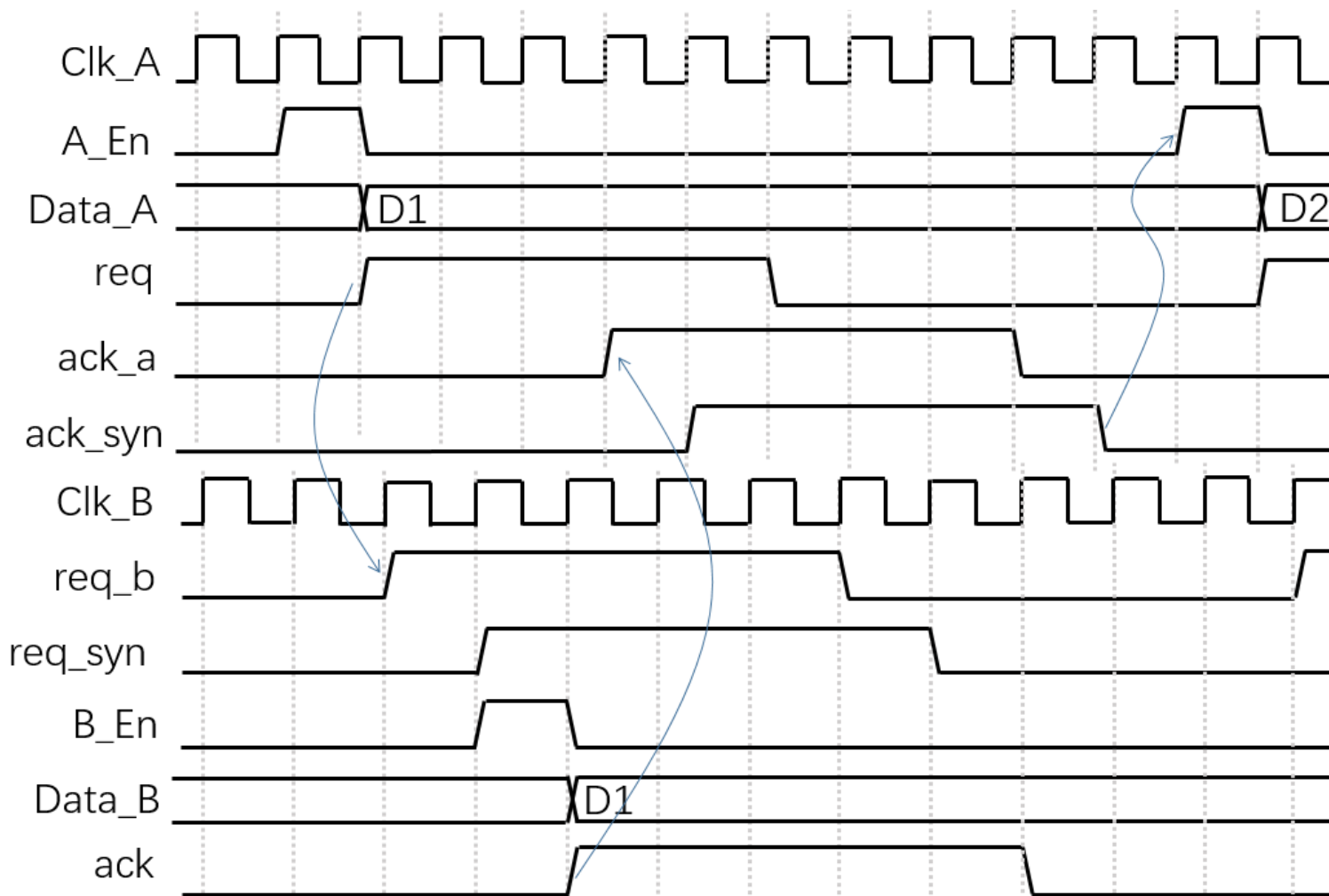
## ➤ 数据信号解决方案

◆ 异步FIFO

◆ 握手协议

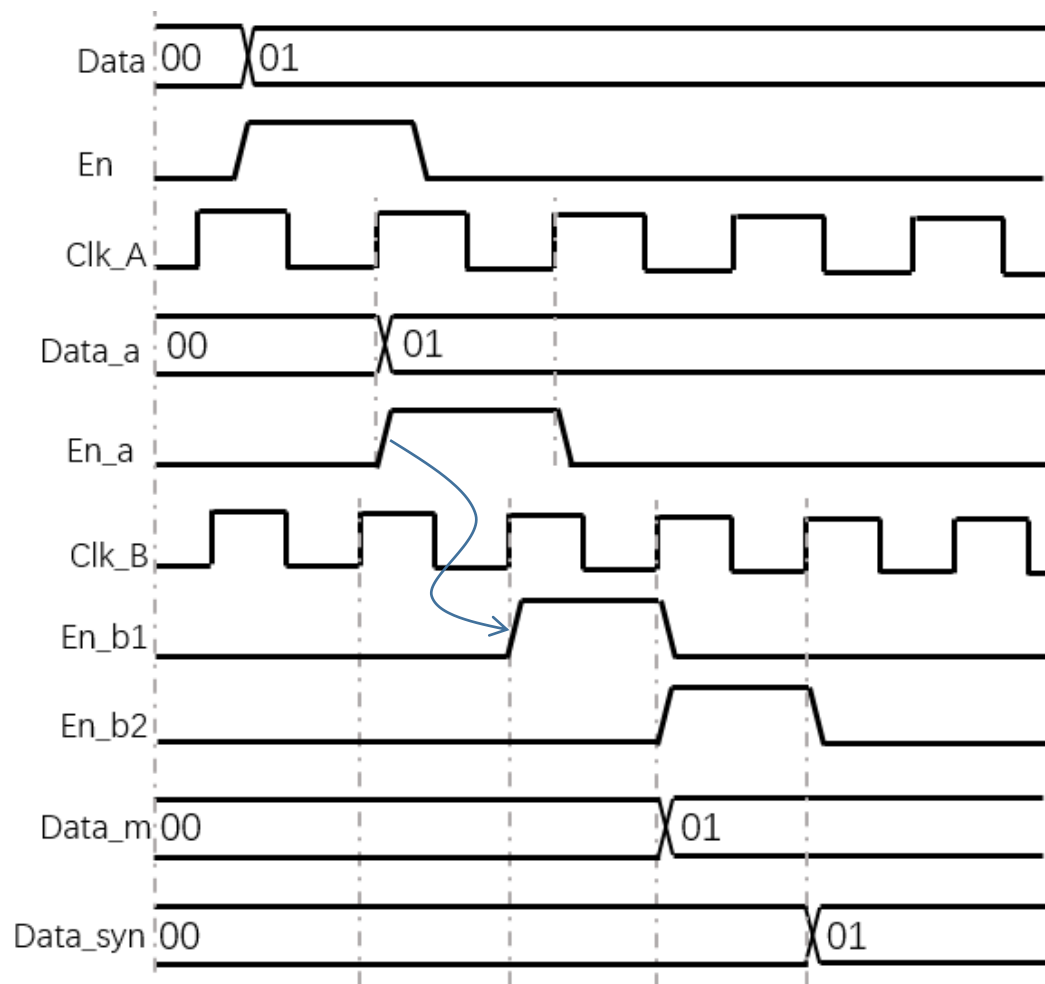
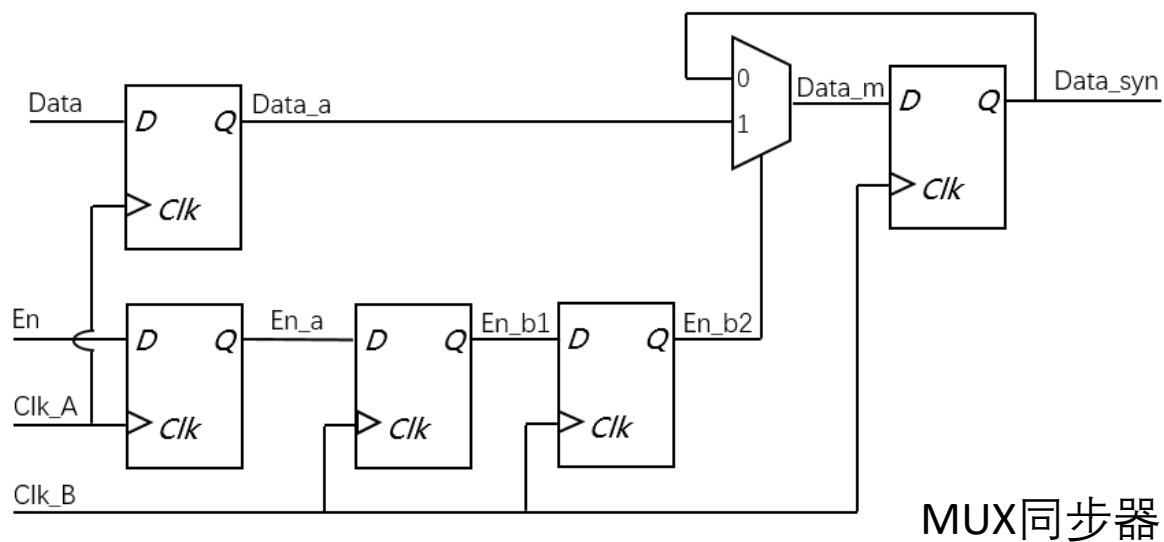
◆ 使能信号控制

- 'req'信号同步至Clk\_B
- 'ack'信号同步至Clk\_A
- 数据保持直到握手完成



➤ 数据信号解决方案

- ◆ 异步FIFO
- ◆ 握手协议
- ◆ 使能信号控制



亚稳态

数据  
保持

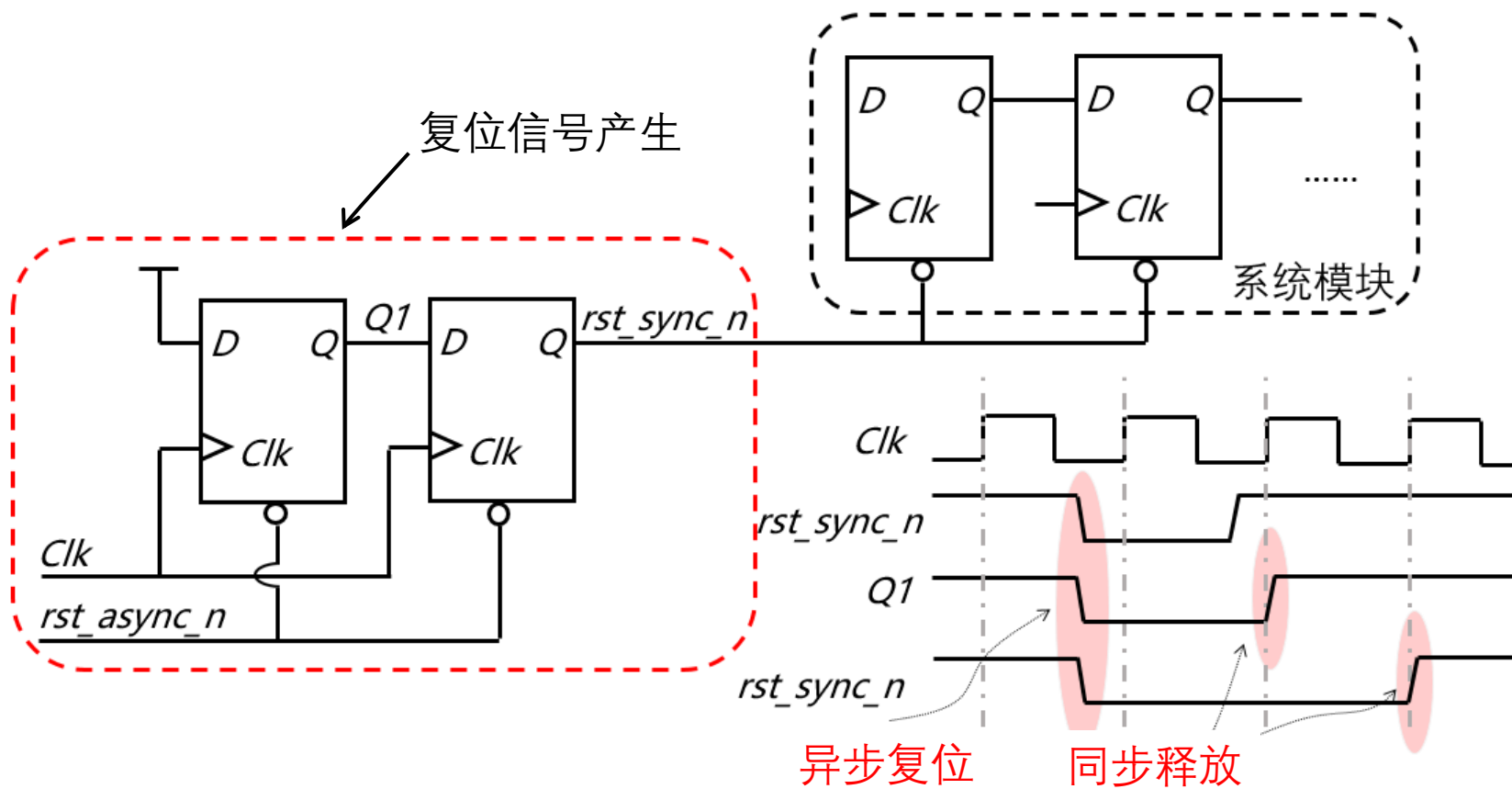
数据  
冗余

数据相关  
性丢失

## 复位信号同步

无毛刺时  
钟切换

- 同步时序电路保证
- 复位电平的时长



亚稳态

数据  
保持

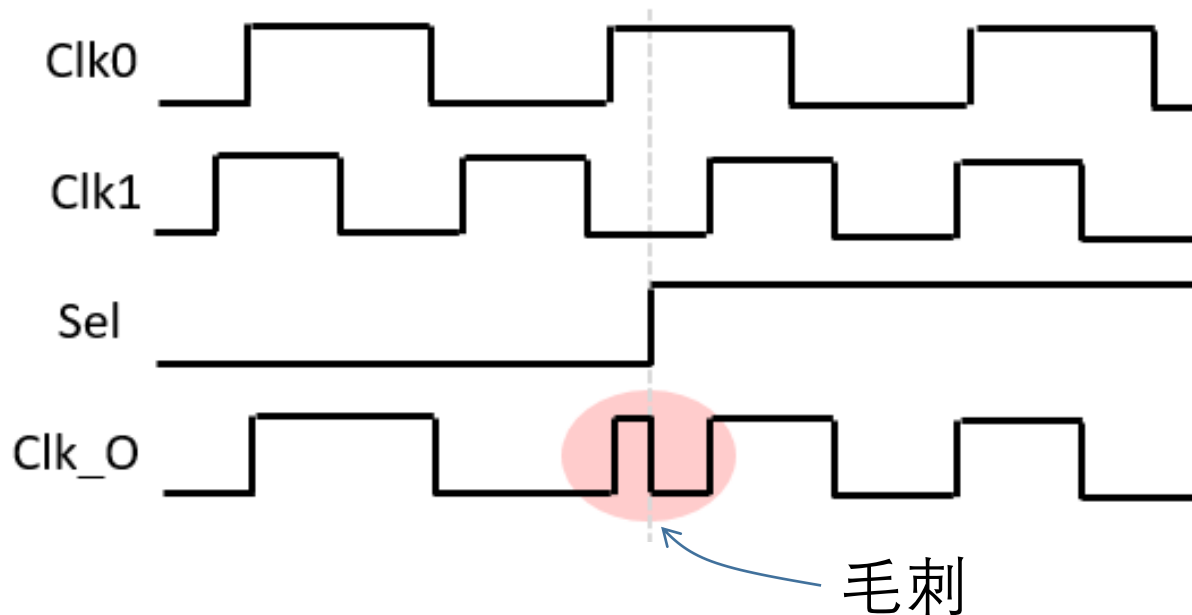
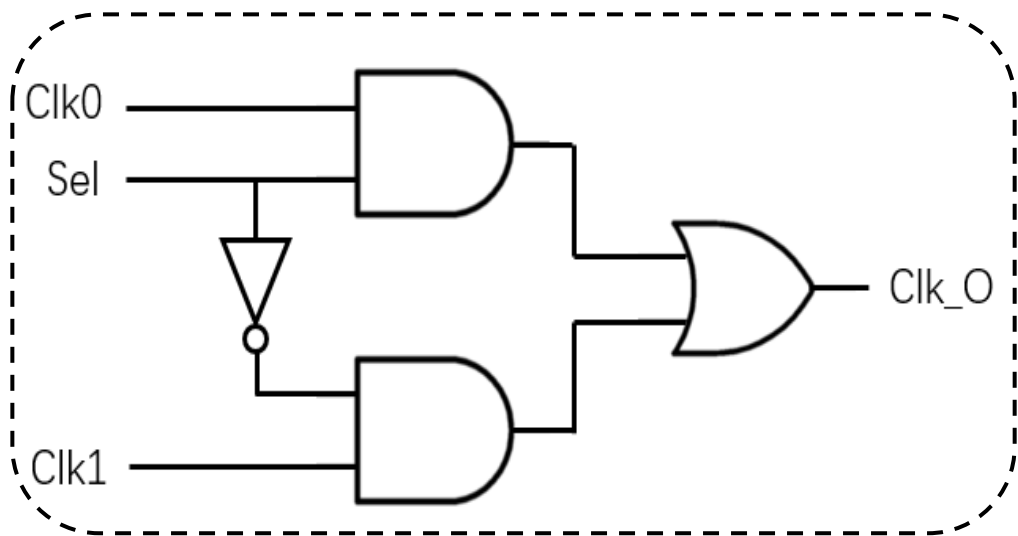
数据  
冗余

数据相关  
性丢失

复位信  
号同步

无毛刺时钟切换

➤ 会产生毛刺的时钟切换



亚稳态

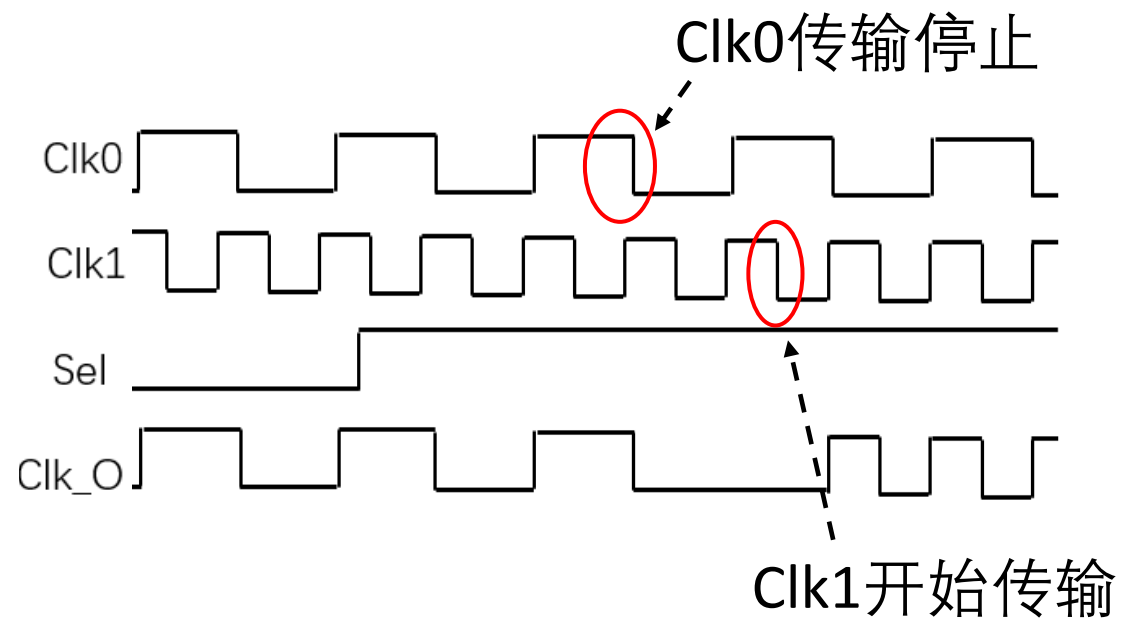
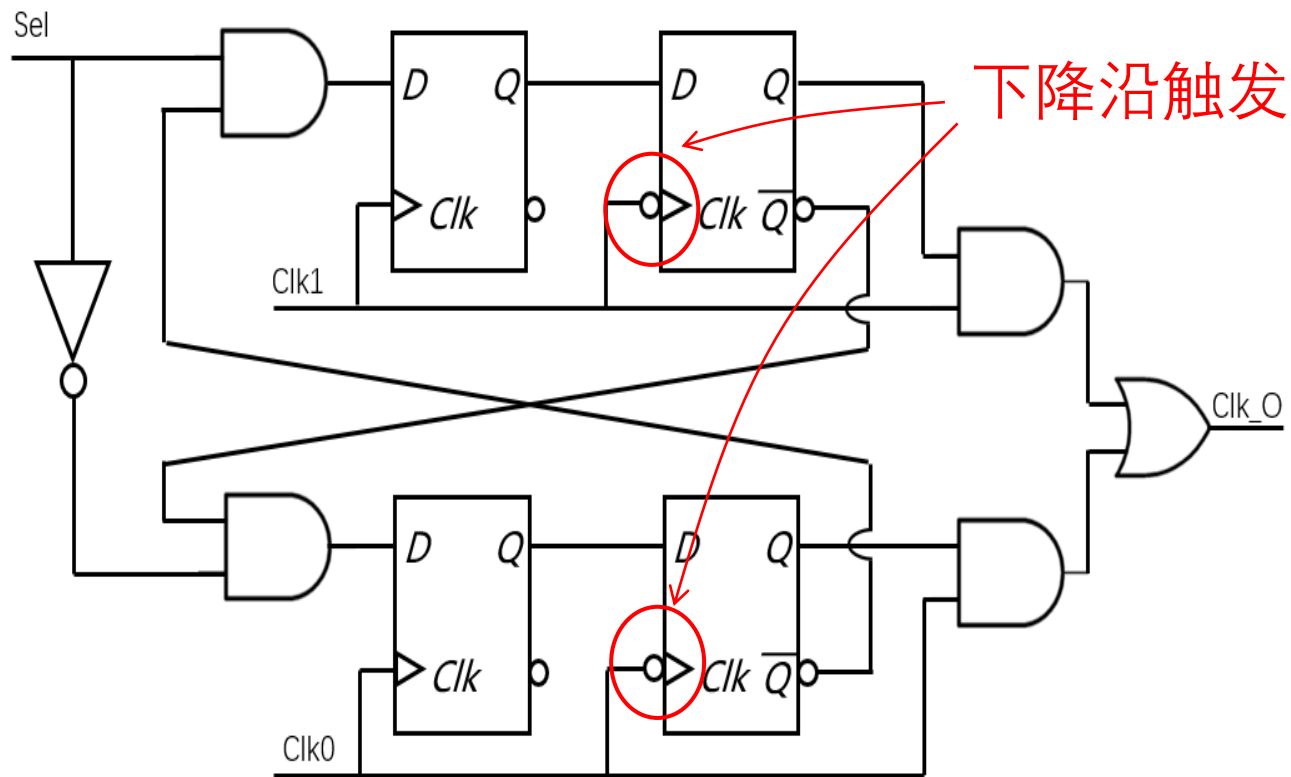
数据  
保持

数据  
冗余

数据相关  
性丢失

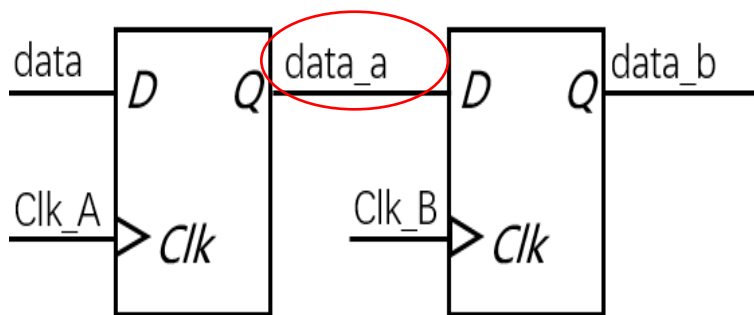
复位信  
号同步

## 无毛刺时钟切换



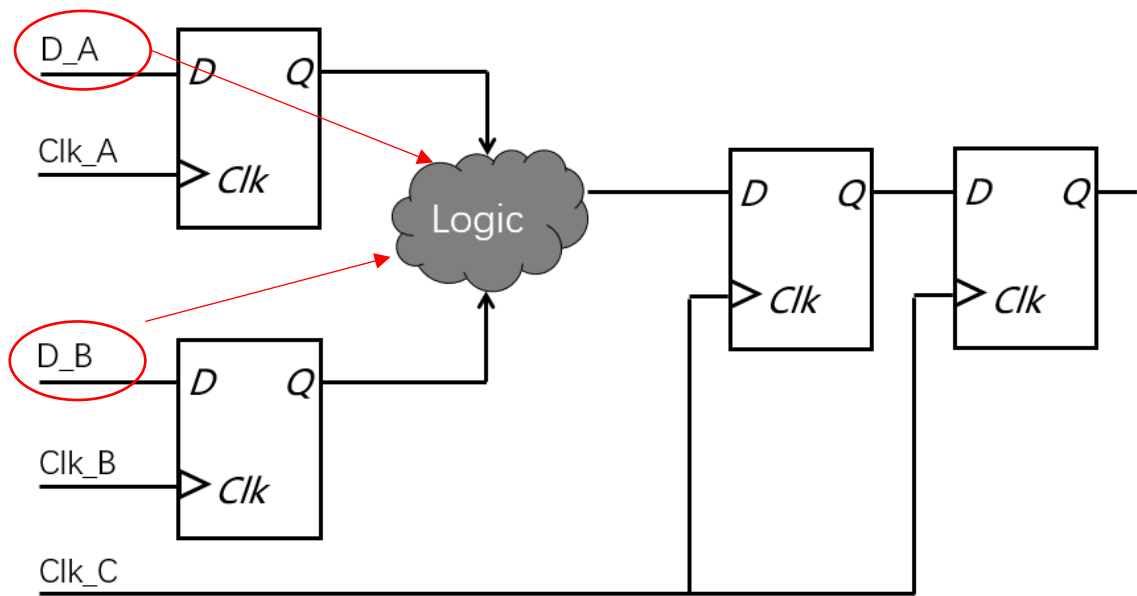
## 同步错误示例

➤ 存在信号未同步



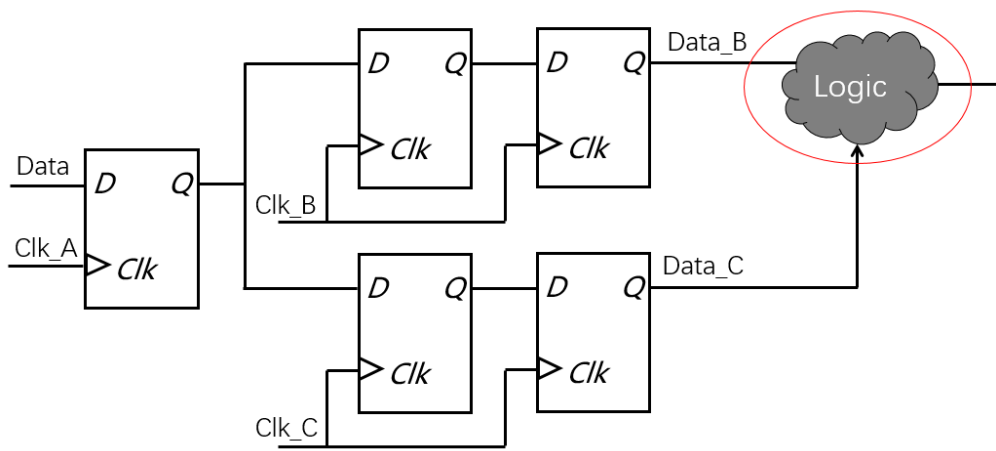
## 同步错误示例

- 两个或多个时钟源的数据在同步之前相遇



## 同步错误示例

- 两个或多个时钟源的数据在同步之前相遇





Thank You!

# 作业

## Basic :

- src clk: 500MHz.
- dst clk: 100MHz/800MHz
- Reset : power on reset
- Outstanding : 1 (no performance)

## Advanced:

- Reset : also has soft reset
- Outstanding : 16 (high performance)
- Clk gating on dst clk domain.