

# 工程问题建模与实践

## 工程问题案例2的课题简介



上海交通大学

电子工程系

2022年4月



- 可靠性的概念定义
  - 度量可靠性
  - 可靠性、可用性和工作寿命
  - 定量评价可靠性的工程意义
- 案例2中工程系统及其可靠性问题模型
  - 一个多节点声纳监听系统
  - 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型
- 案例2中求解的问题



## □ 度量可靠性

➤ **可靠性**是一个产品在特定时间内、特定条件下，不失效地发挥一种特定功能的概率。

### ➤ 定义措辞的要点

- 可靠性是一种概率
- 某个产品或服务的一种特定功能
- 功能的失效
- 在特定时间内      以电话通信呼损率统计为例
- 在特定条件下      集成芯片等级
  - 商用级 (commercial)    0 ~ 70°C
  - 工业级 (industrial)    -40 ~ 85°C
  - 军品级 (military)    -60 ~ 125°C



## □ 可靠性、可用性和工作寿命

### ➤ 平均失效间隔时间（平均工作寿命）

MTBF ( Mean Time Between Failure)

### ➤ 可靠性

$R(w) = \text{Pr}(\text{The system is not failed during the whole operation time } t=0 \text{ to } w)$

例如  $w = 25000\text{hours}$

从时刻0到25000小时之间，不存在任何失效事件的概率

### ➤ 可用性

$A(w) = \text{Pr}(\text{The system is not failed at the time instant } t=w)$

系统可用性的则是指该系统在时刻  $t=w$ ，瞬时状态为正常工作的概率。



## □ 定量评价可靠性的工程意义

### ➤ 影响可靠性的风险因素

- 硬件电路中电子元件失效
- 微处理器软件缺陷
- 通信信道物理介质损坏
- 恶劣气候环境引起系统故障
- 人为操作不当引起系统故障

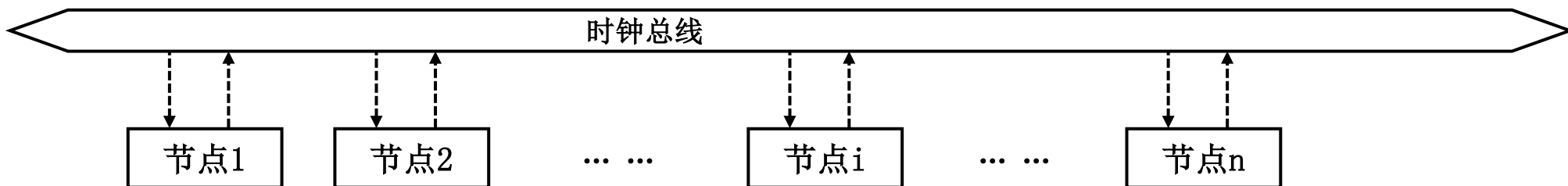
### ➤ 可靠性定量评价的现实意义

- 指导不同硬件电路设计方案的优选
- 指导软件可靠性优化方案的设计
- 指导优化网络物理拓扑
- 指导容错冗余措施的优化部署

- 可靠性的概念定义
  - 度量可靠性
  - 可靠性、可用性和工作寿命
  - 定量评价可靠性的工程意义
- 案例2中工程系统及其可靠性问题模型
  - 一个多节点声纳监听系统
  - 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型
- 案例2中求解的问题



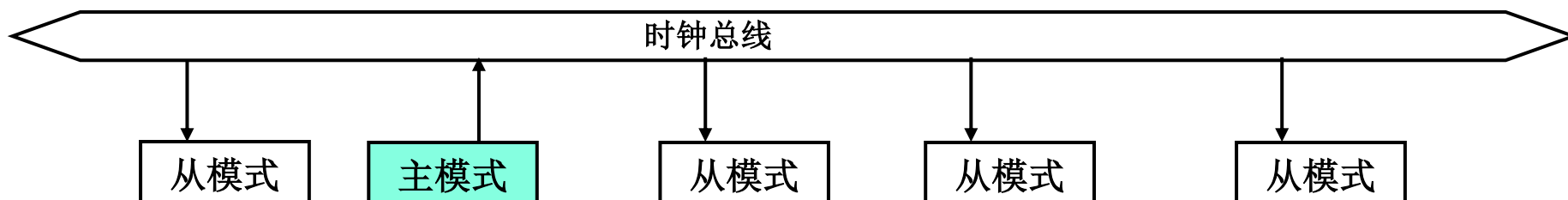
### □ 一个多节点声纳监听系统



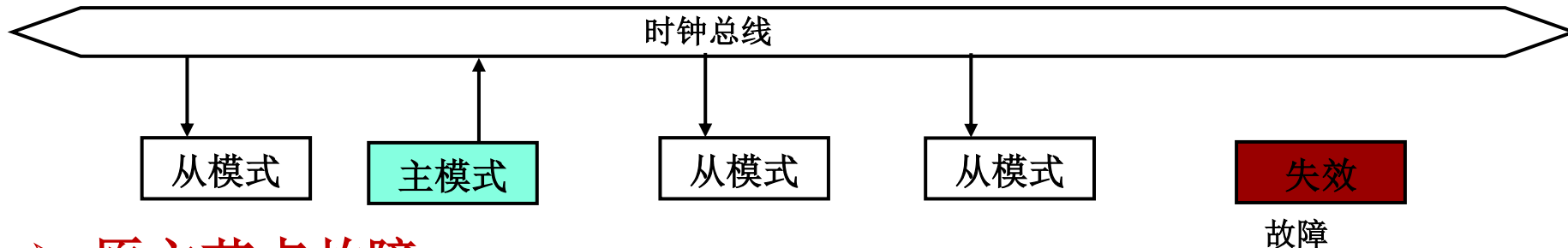
- 工作环境特殊，不便实施维修
- 分布式部署，共 $n$ 个节点，彼此基本独立，节点内部物理构造相同
- 各节点须保持严格同步，由时钟总线传递系统时钟信号
- 冗余设计，至少 $k$ 个节点协同工作，部署时 $n > k$

## □ 一个多节点声纳监听系统

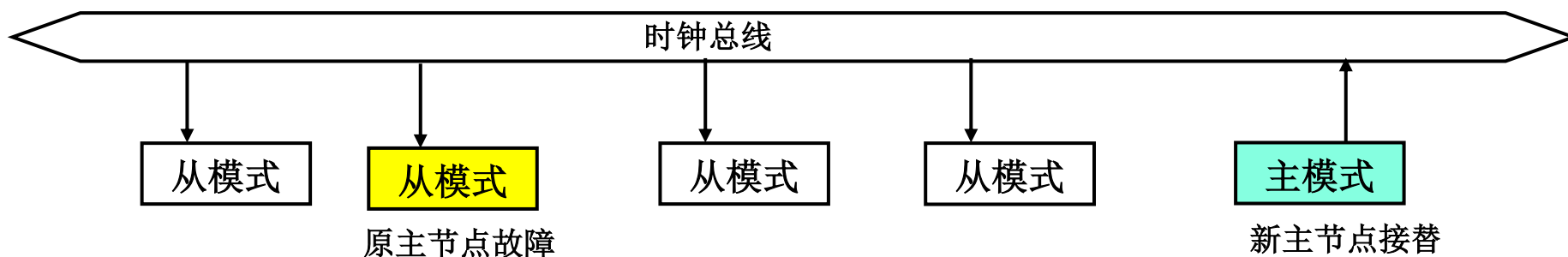
### ➤ 一个主节点



### ➤ “静默”失效节点



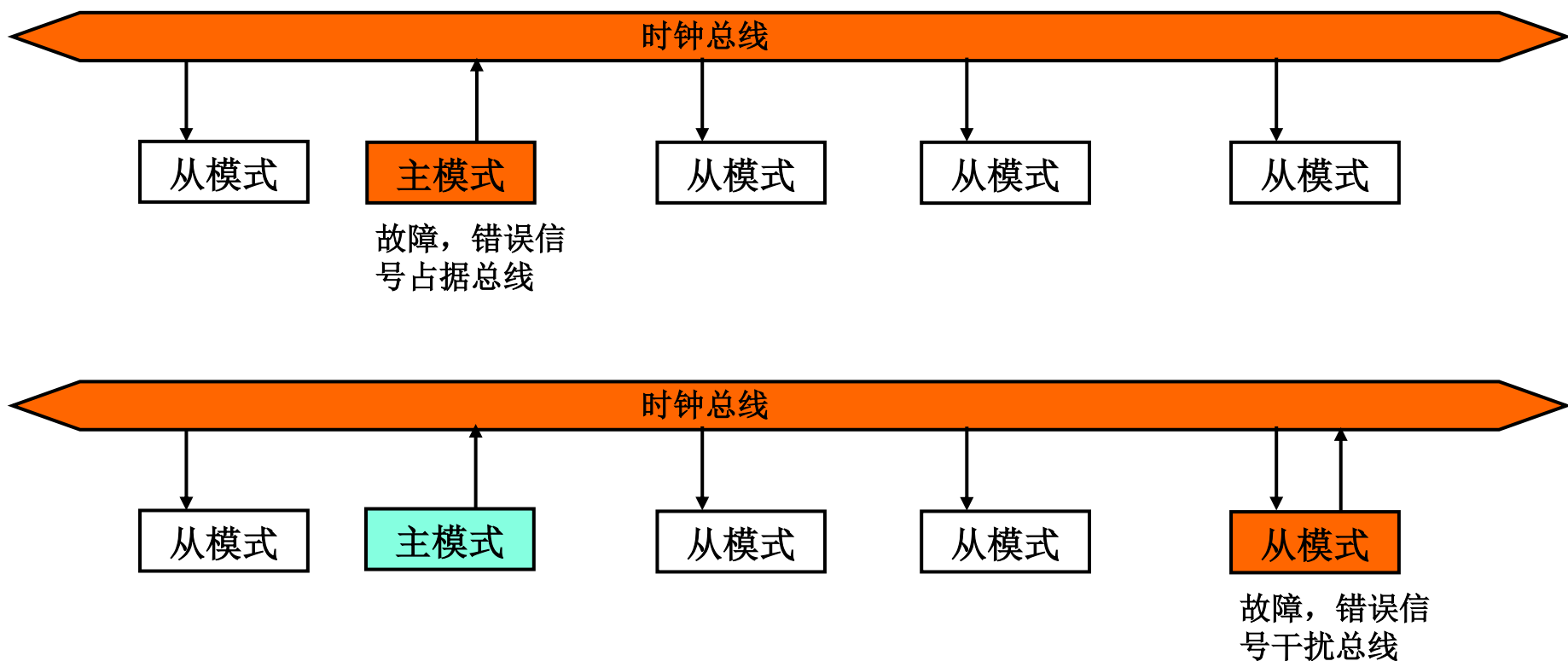
### ➤ 原主节点故障





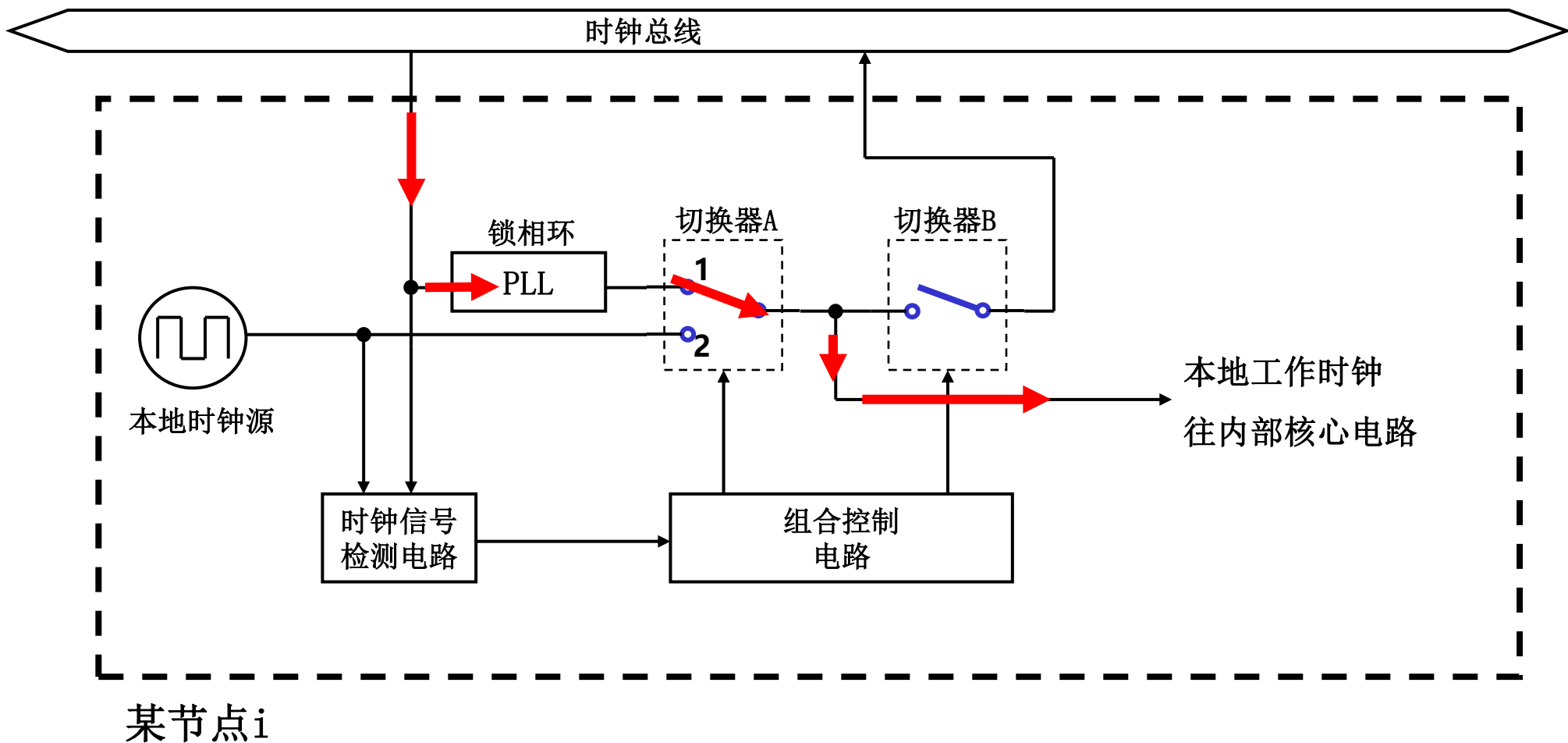
### □ 一个多节点声纳监听系统

#### ➤ “总线阻塞”——致命故障，系统失效



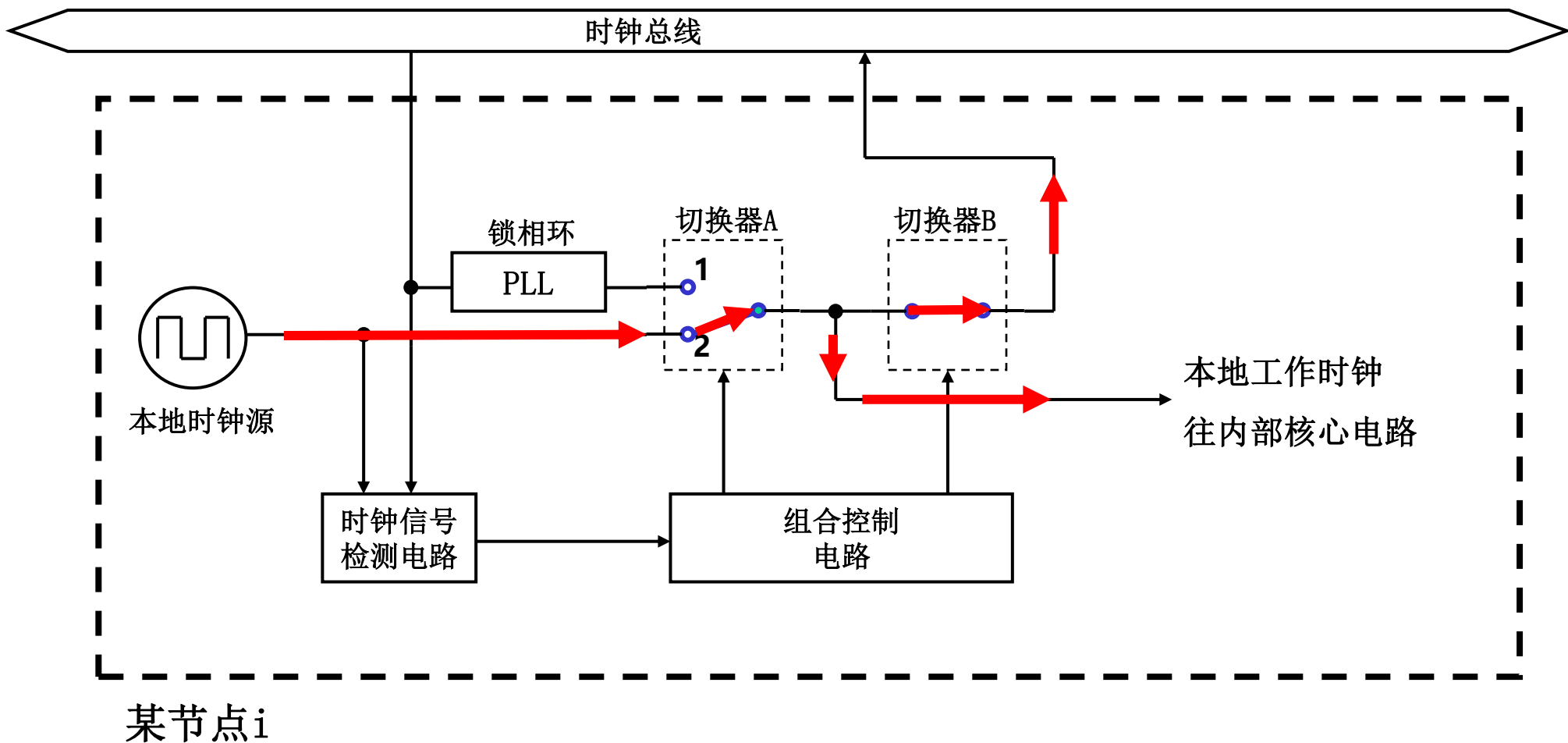
### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 节点从模式



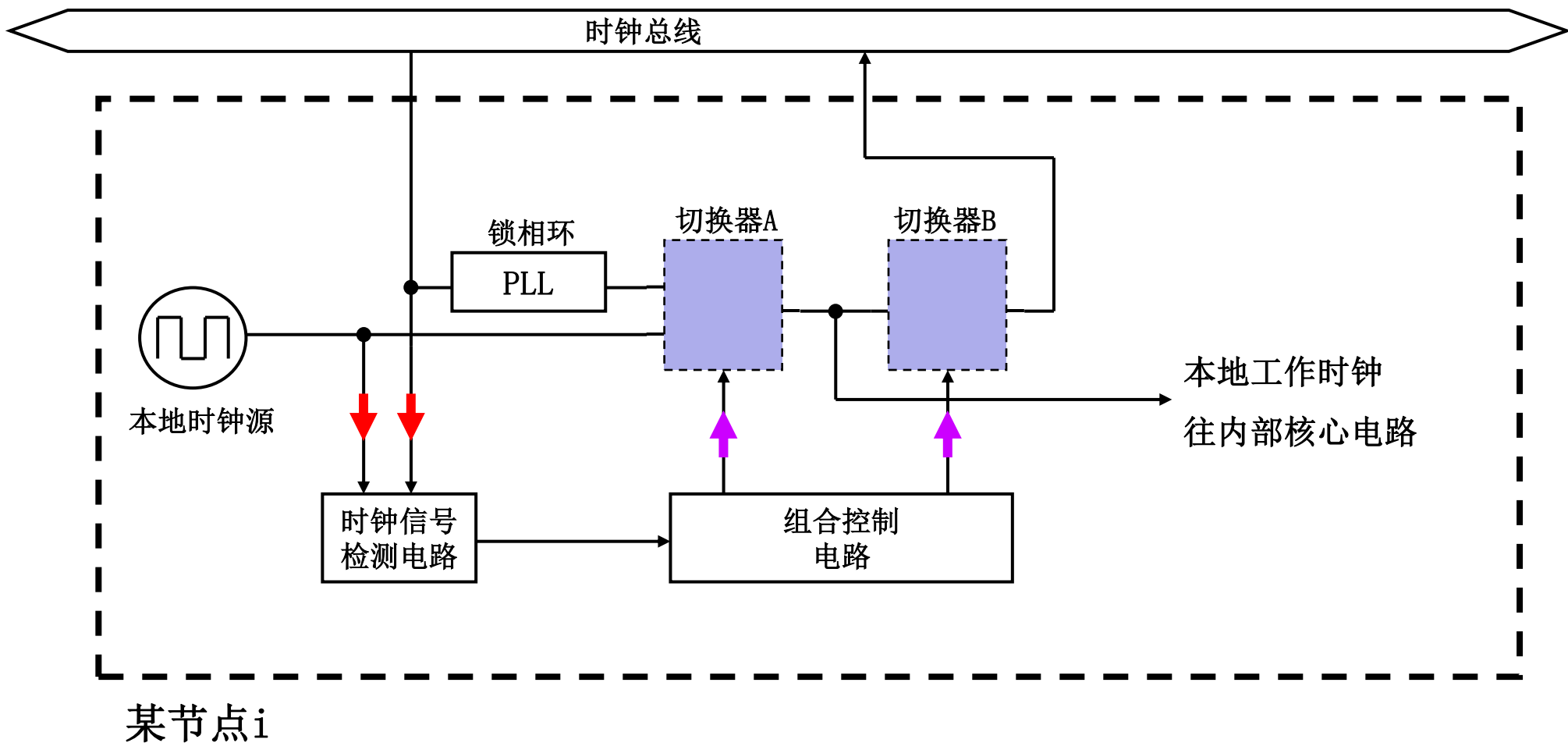
### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 节点主模式



### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

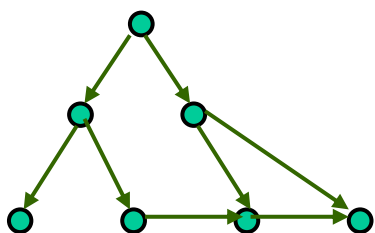
#### ➤ 时钟信号检测和切换器控制装置



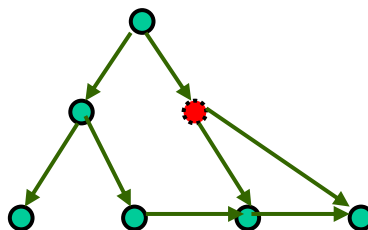
### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 等效转换思想，简化模型

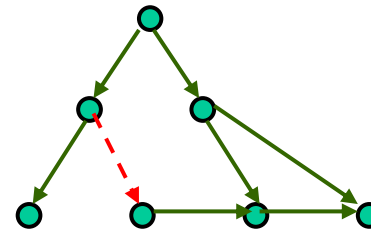
通信网络的例子



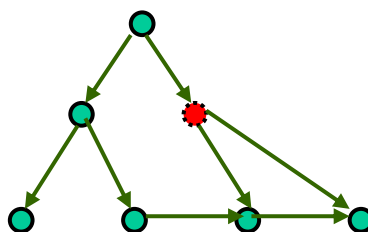
某无环路有向传播网络



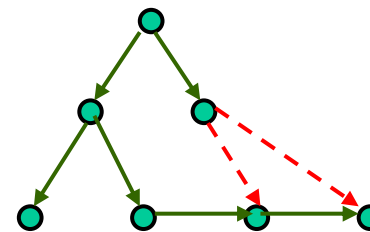
节点有可能失效



连接有可能失效



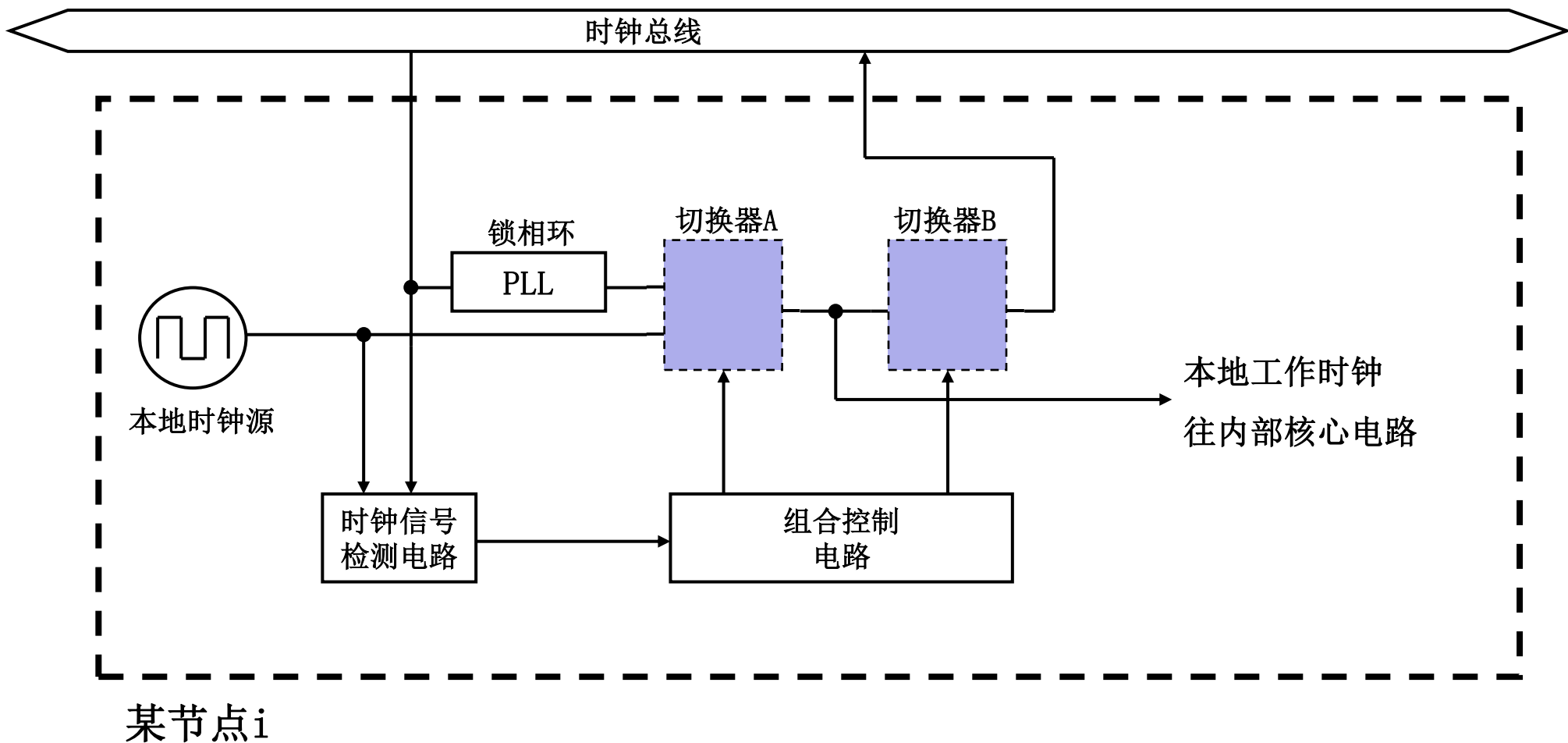
=



可以把节点失效视同于某种连接失效  
把网络看作由绝对可靠的节点与不可靠的连接组成

### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

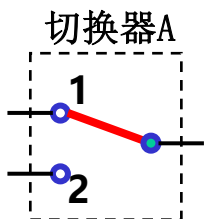
➤ 仅把切换器A、切换器B看作不可靠元件



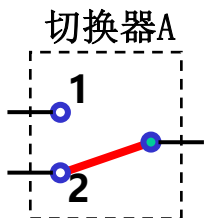
## □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

### ➤ 切换器A的故障模式和概率特性

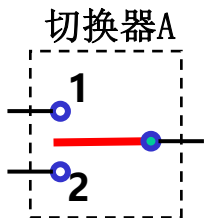
$$f_{T_A}(t) = \lambda_A e^{-\lambda_A t}$$



A1: 第1种故障, 不能正常受控, 掷刀无法与触点1脱离  
 $P_{EA1}$



A2: 第2种故障, 不能正常受控, 掷刀无法与触点2脱离  
 $P_{EA2}$



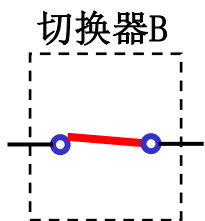
A3: 第3种故障, 不能正常受控, 掷刀无法与任何一个触点接合  
 $P_{EA3}$

$$P_{EA1} + P_{EA2} + P_{EA3} = 1$$

## □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

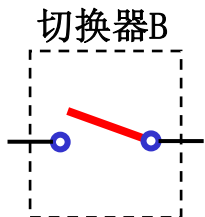
### ➤ 切换器B的故障模式和概率特性

$$f_{T_B}(t) = \lambda_B e^{-\lambda_B t}$$



B1: 第1种故障, 不能正常受控, 掷刀无法与触点脱离

$$P_{EB1}$$



B2: 第2种故障, 不能正常受控, 掷刀无法与触点接合

$$P_{EB2}$$

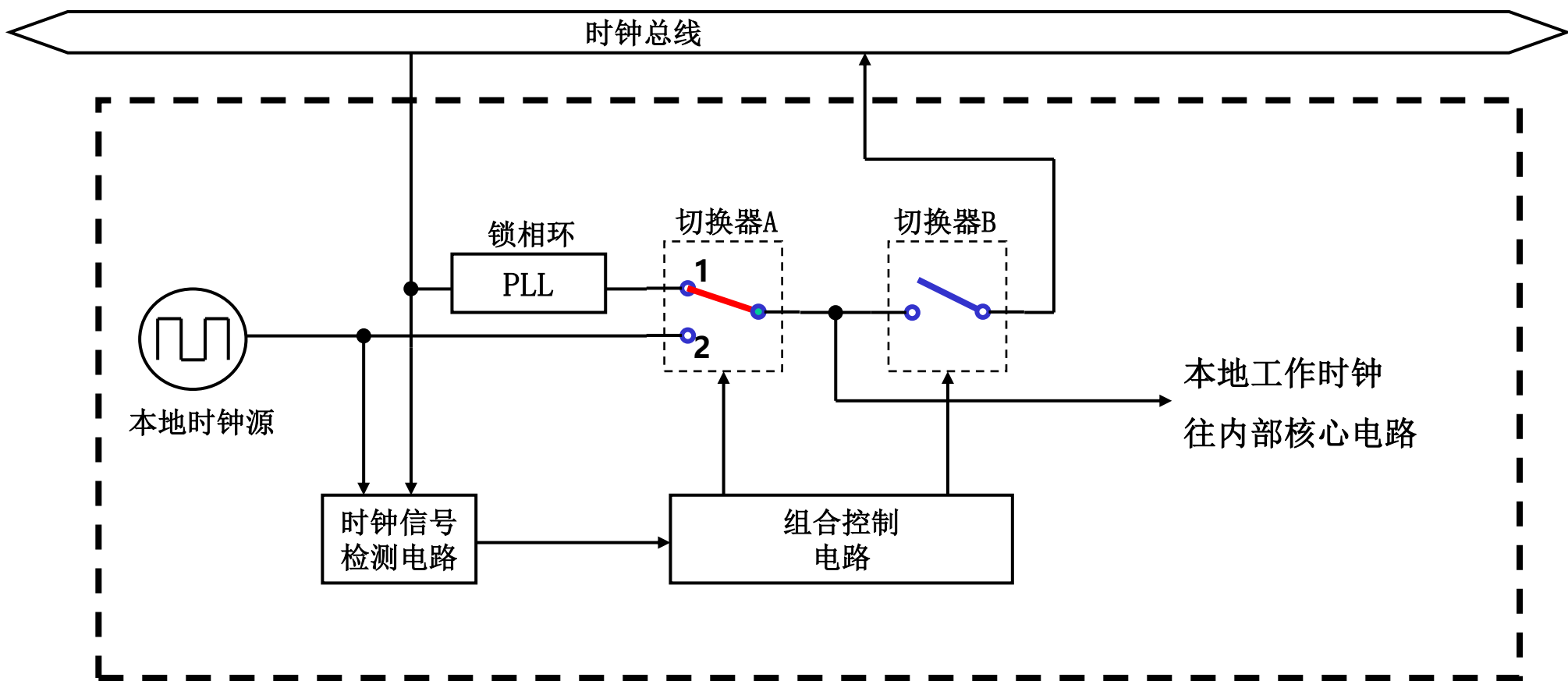
$$P_{EB1} + P_{EB2} = 1$$



### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 故障A1的影响

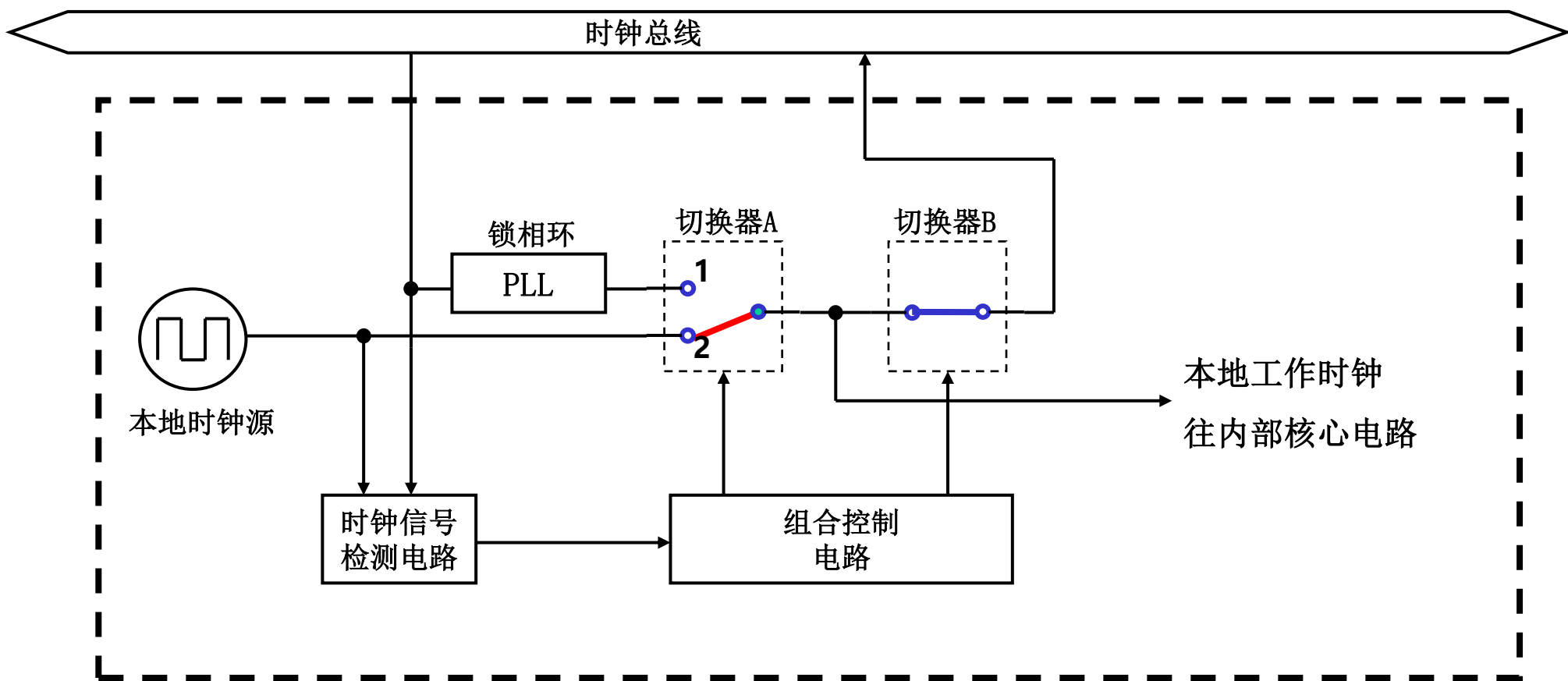
从模式，故障对节点功能无影响； 无法转为主模式



### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 故障A2的影响

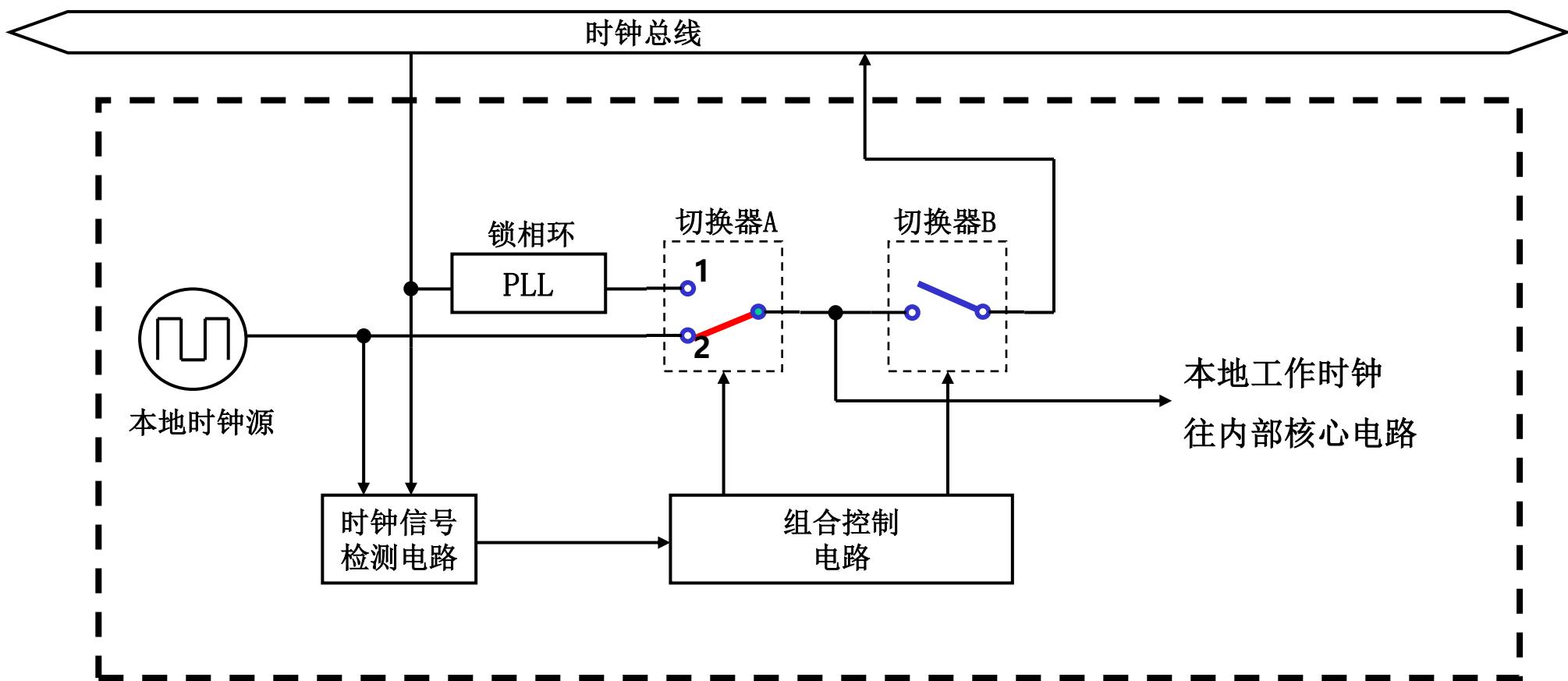
主模式，不影响正常工作



### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 故障A2的影响

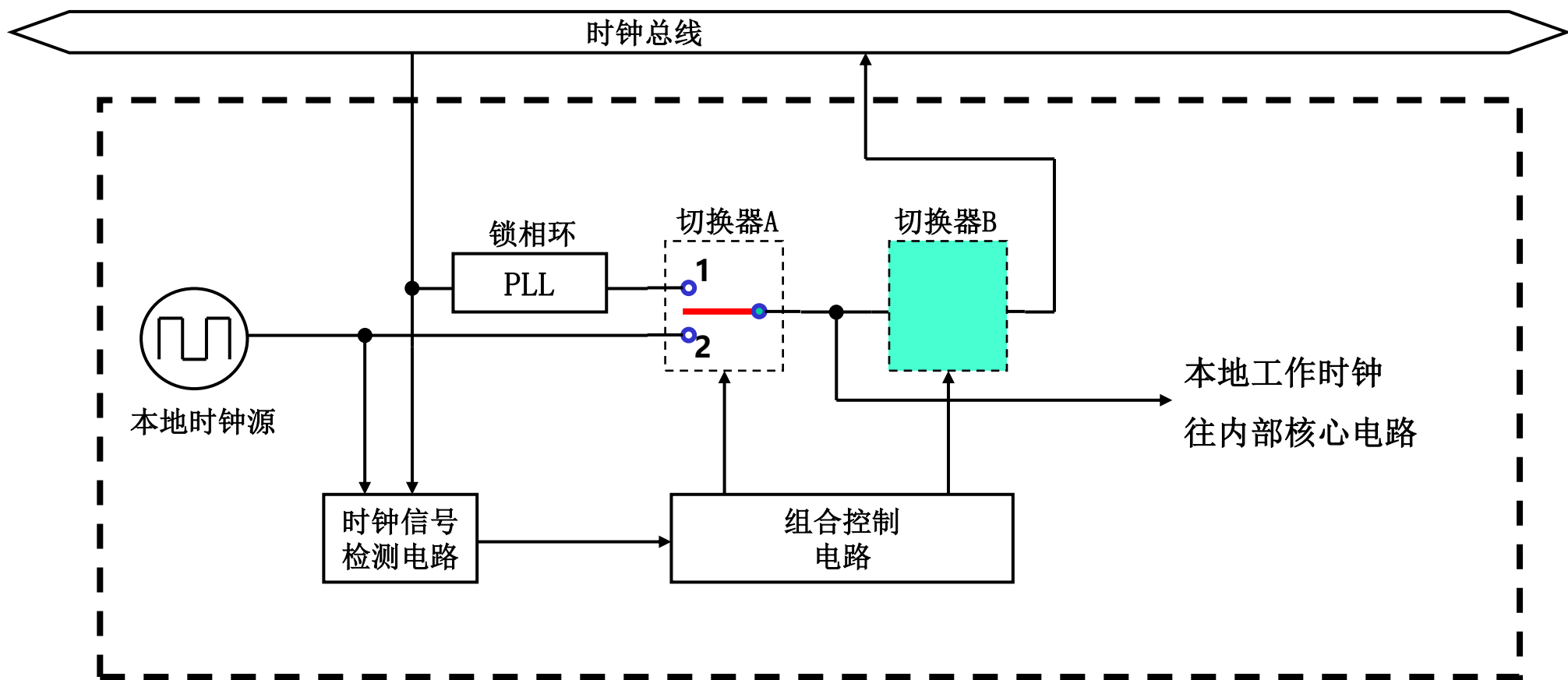
从模式，“静默”失效



### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 故障A3的影响

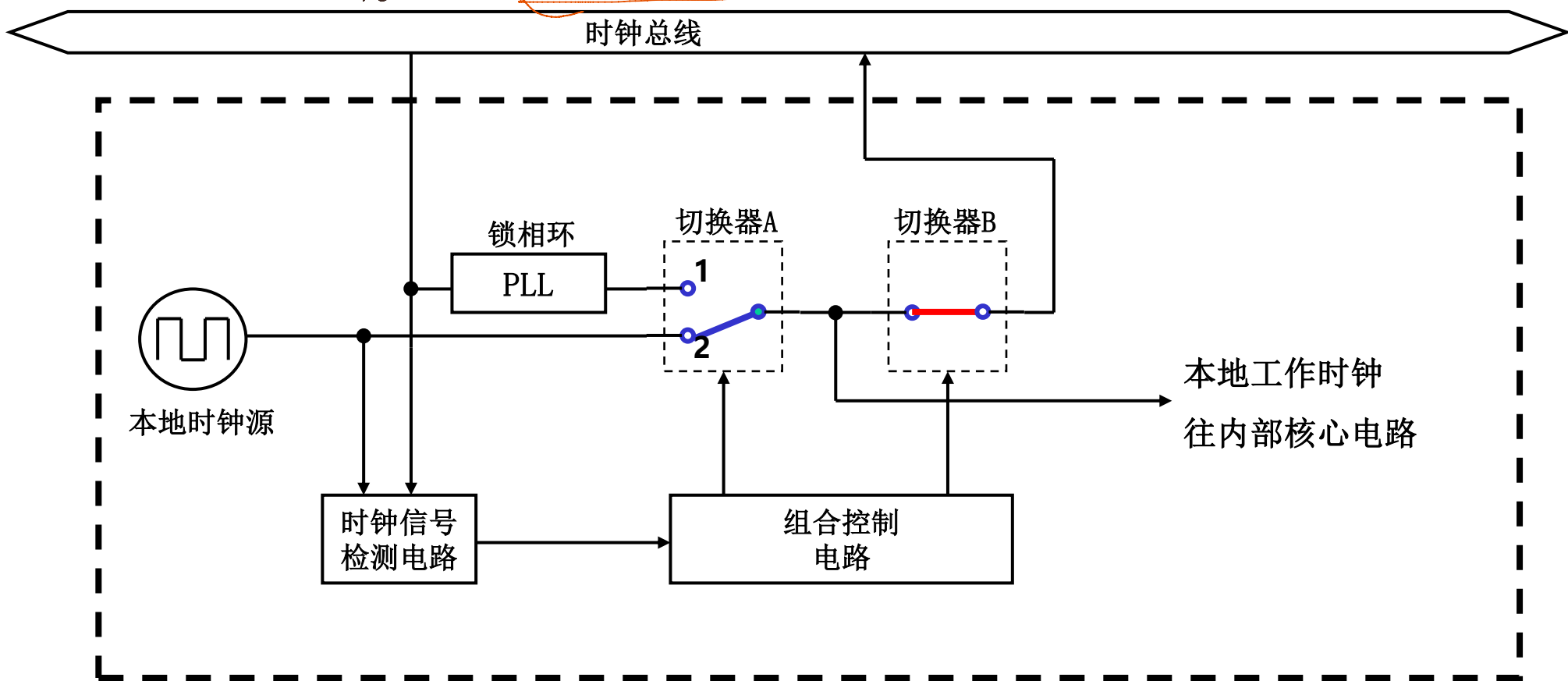
“静默”失效



## 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

### 故障B1的影响

主模式，暂时影响；  
从模式，触发主节点重选机制

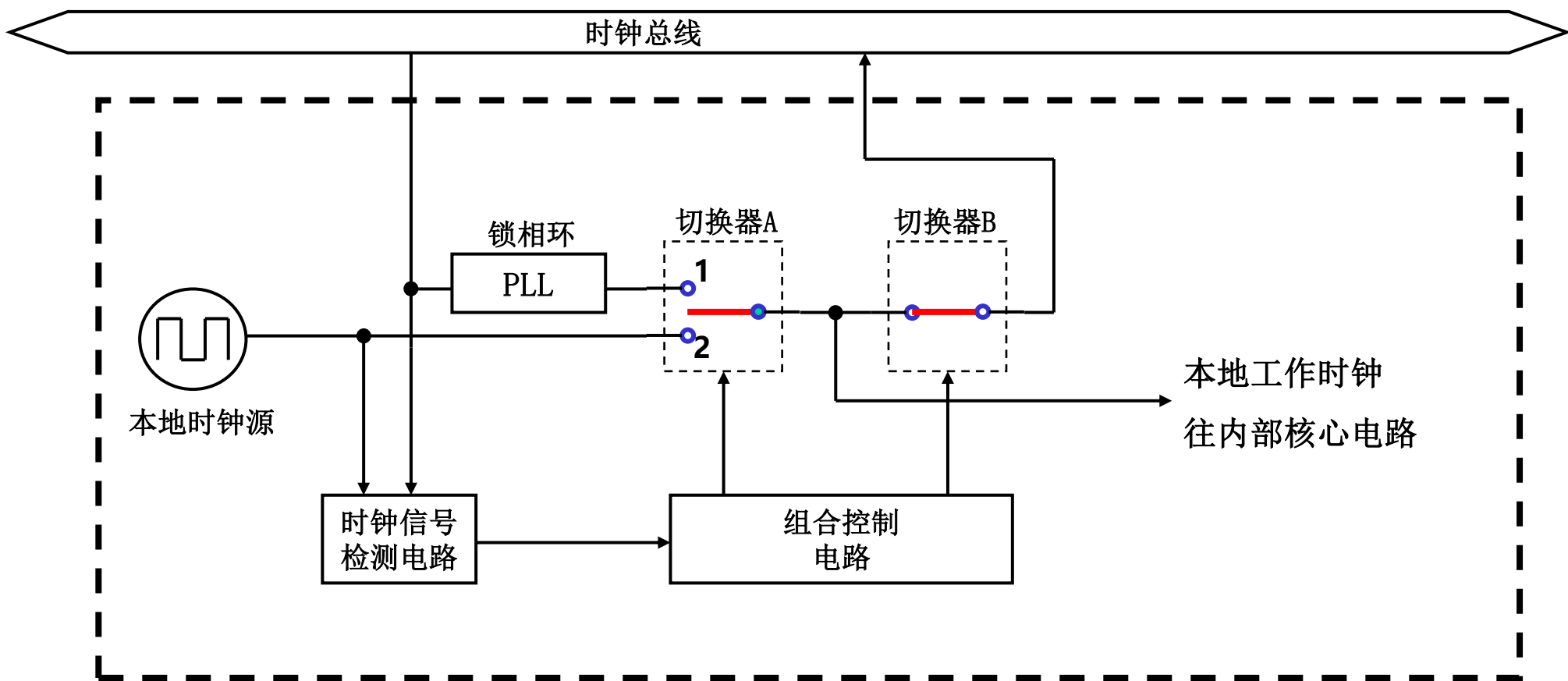


## 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

### 故障A3和故障B1组合的影响

1850

A3先于B1发生，“静默”失效； B1先于A3，情况复杂

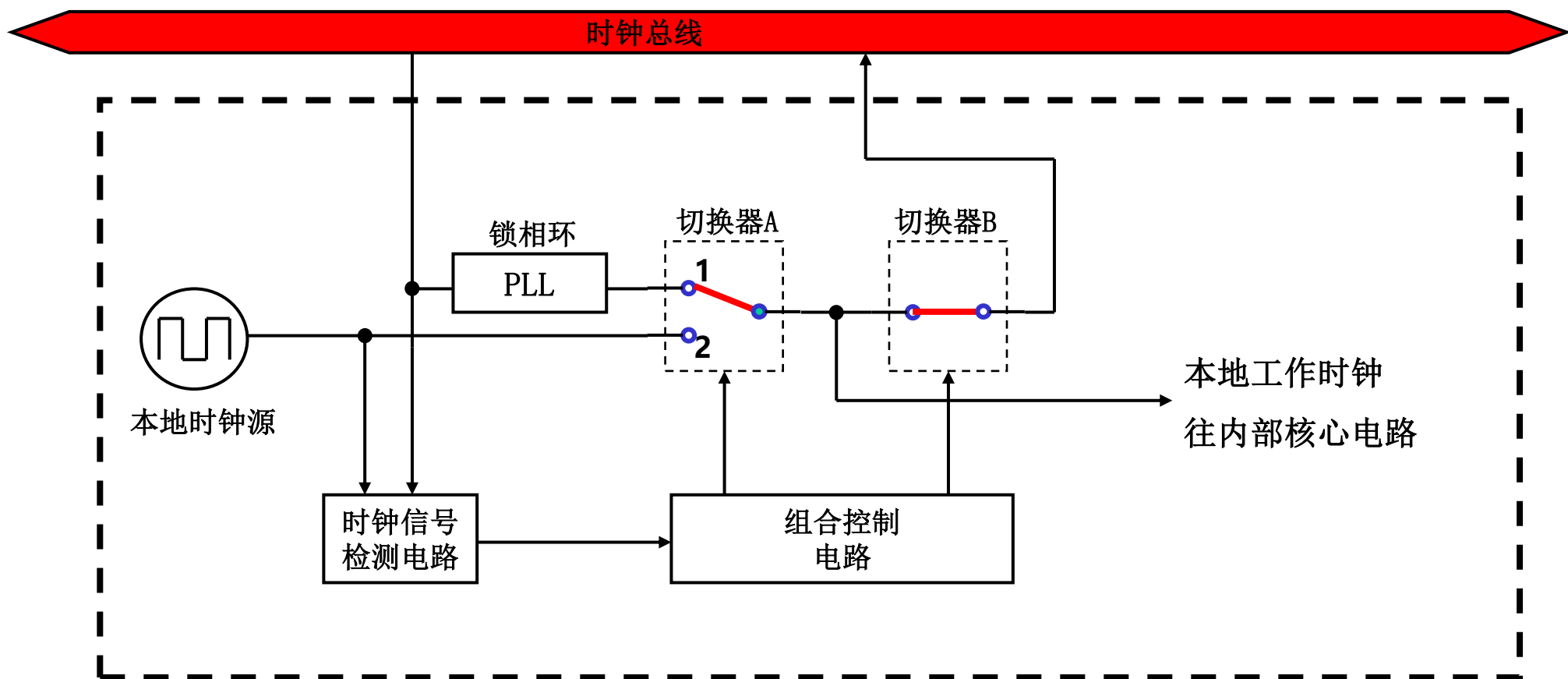


### □ 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型

#### ➤ 故障A1和故障B1组合的影响

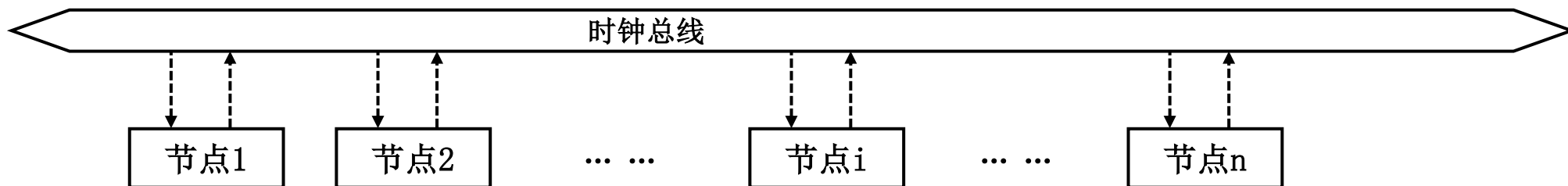
两者同时存在，总线阻塞

一一列举



- 可靠性的概念定义
  - 度量可靠性
  - 可靠性、可用性和工作寿命
  - 定量评价可靠性的工程意义
- 案例2中工程系统及其可靠性问题模型
  - 一个多节点声纳监听系统
  - 建立关于可靠性问题的逻辑结构模型
- 案例2中求解的问题





☆: 4条

## 第一个指定求解项：系统可靠性最大

系统可靠性：系统工作寿命超过某一定值 $w$ 的概率，系统在 $0 < t \leq w$ 期间一直有效工作

$$R(w) = \Pr(T_f \geq w)$$

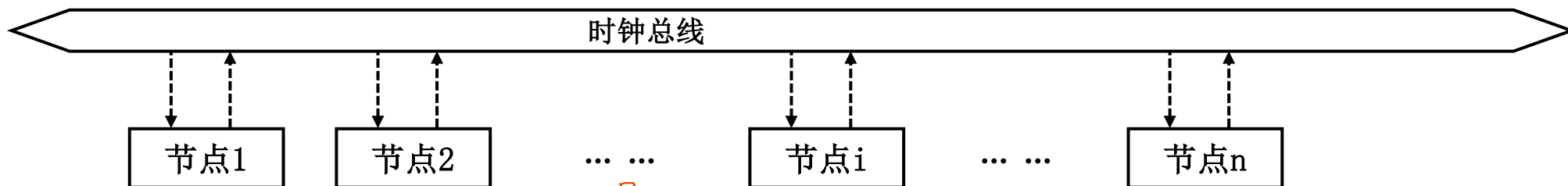
优化目标函数

$$\max R(w) \big|_{w=25000\text{hour}}$$

$$n \in \{5, 6, \dots, 20\}$$

$$n \big|_{\max R(w=25000\text{hour})} = ?$$

求 $n$ , 使 $R(w) \max$



☆ 任务2. 求n使 $E[T_f]$ 最大

➤ 第二个指定求解项：系统平均工作寿命最大

优化目标函数

$$\max[E[T_f]]$$

$$n \in \{5, 6, \dots, 20\}$$

$$n \mid_{\max[E[T_f]]} = ?$$

Q1 Q2

较难理论推导

可用多种求解、

蒙特卡洛方法

仿真求解



**本讲结束，感谢！**

