

计算机组成原理

翁睿

哈尔滨工业大学

第 9 章 控制单元的功能

9.1 操作命令的分析

9.2 控制单元的功能

9.1 操作命令的分析

完成一条指令分 4 个工作周期

取指周期

间址周期

执行周期

中断周期

9.1 操作命令的分析

一、取指周期

$PC \rightarrow MAR \rightarrow \text{地址线}$

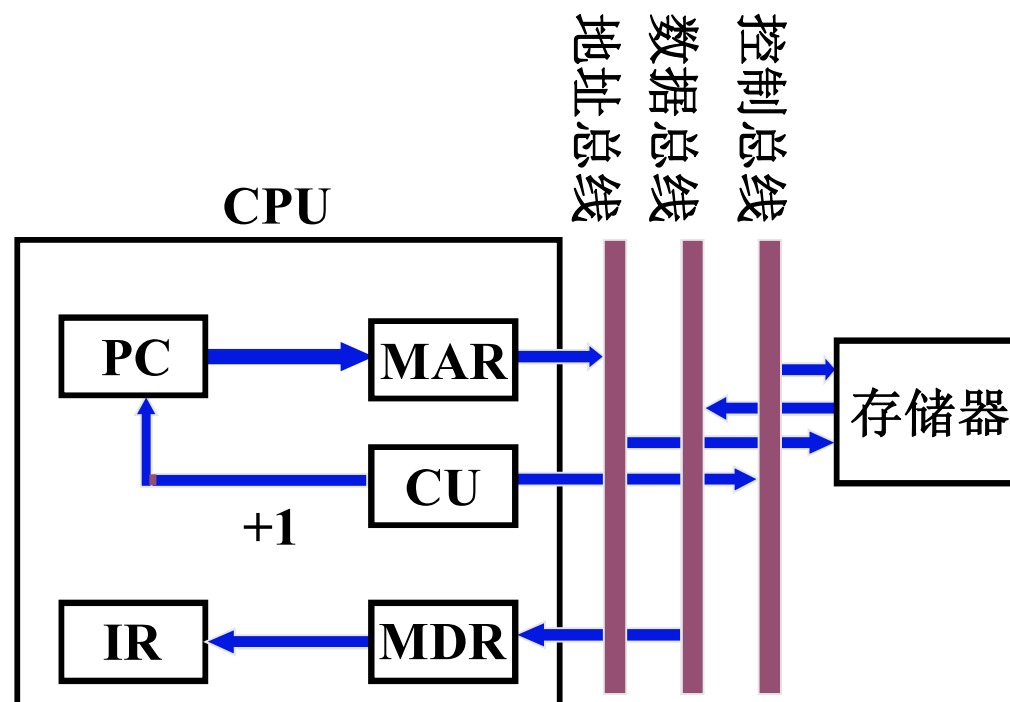
$1 \rightarrow R$

$M(MAR) \rightarrow MDR$

$MDR \rightarrow IR$

$OP(IR) \rightarrow CU$

$(PC) + 1 \rightarrow PC$



二、间址周期

9.1

指令形式地址 \rightarrow MAR

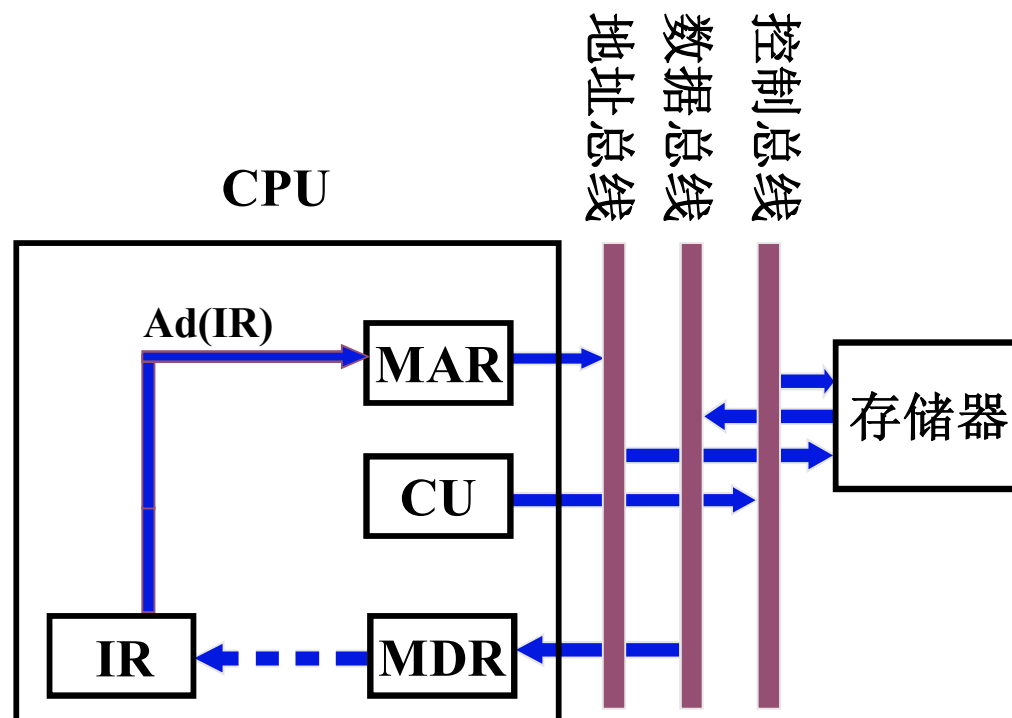
$Ad(IR) \rightarrow MAR$

$1 \rightarrow R$

$M(MAR) \rightarrow MDR$

Optional

$MDR \rightarrow Ad(IR)$



注意！此处与书上P344图8.1有出入！

三、执行周期

9.1

1. 非访存指令

(1) **CLA** 清A $0 \rightarrow \text{ACC}$

(2) **COM** 取反 $\overline{\text{ACC}} \rightarrow \text{ACC}$

(3) **SHR** 算术右移 $\text{L}(\text{ACC}) \rightarrow \text{R}(\text{ACC}), \text{ACC}_0 \rightarrow \text{ACC}_0$

(4) **CSL** 循环左移 $\text{R}(\text{ACC}) \rightarrow \text{L}(\text{ACC}), \text{ACC}_0 \rightarrow \text{ACC}_n$

(5) **STP** 停机指令 $0 \rightarrow \text{G}$

2. 访存指令

(1) 加法指令

ADD X

$\text{Ad(IR)} \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{R}$

$\text{M(MAR)} \rightarrow \text{MDR}$

$(\text{ACC}) + (\text{MDR}) \rightarrow \text{ACC}$

(2) 存数指令

STA X

$\text{Ad(IR)} \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$\text{ACC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M(MAR)}$

(3) 取数指令 **LDA X** $\text{Ad}(\text{IR}) \rightarrow \text{MAR}$ $1 \rightarrow \text{R}$ $\text{M}(\text{MAR}) \rightarrow \text{MDR}$ $\text{MDR} \rightarrow \text{ACC}$

3. 转移指令

(1) 无条件转移 **JMP X** $\text{Ad}(\text{IR}) \rightarrow \text{PC}$

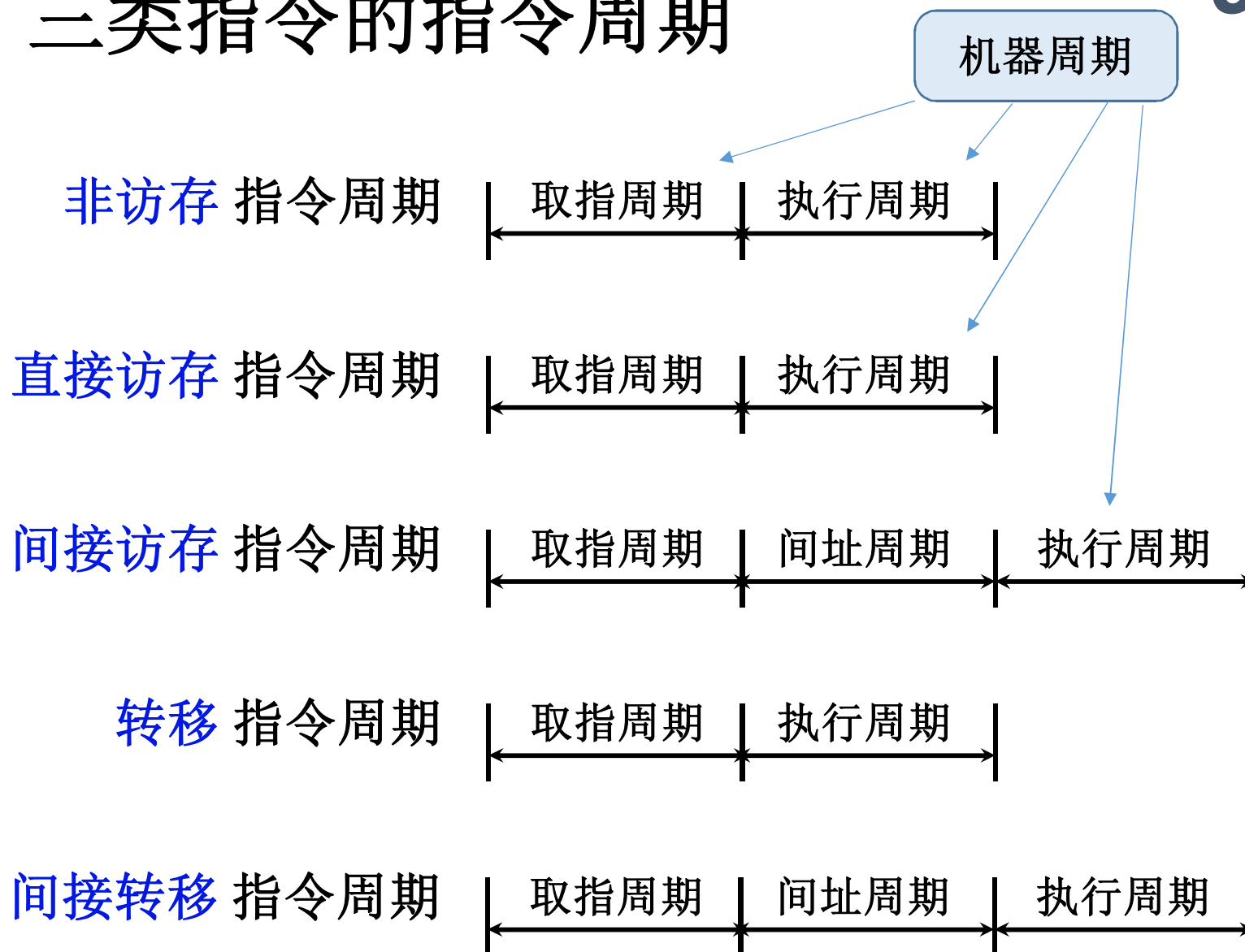
(2) 条件转移

BAN X (负则转)

Branch if ACC is Negative

 $\text{A}_0 \cdot \text{Ad}(\text{IR}) + \bar{\text{A}}_0(\text{PC}) \rightarrow \text{PC}$

4. 三类指令的指令周期



四、中断周期

9.1

程序断点存入 “0” 地址 程序断点 进栈

$0 \rightarrow \text{MAR}$

$(\text{SP}) - 1 \rightarrow \text{MAR}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$1 \rightarrow \text{W}$

$\text{PC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{PC} \rightarrow \text{MDR}$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M}(\text{MAR})$

$\text{MDR} \rightarrow \text{M}(\text{MAR})$

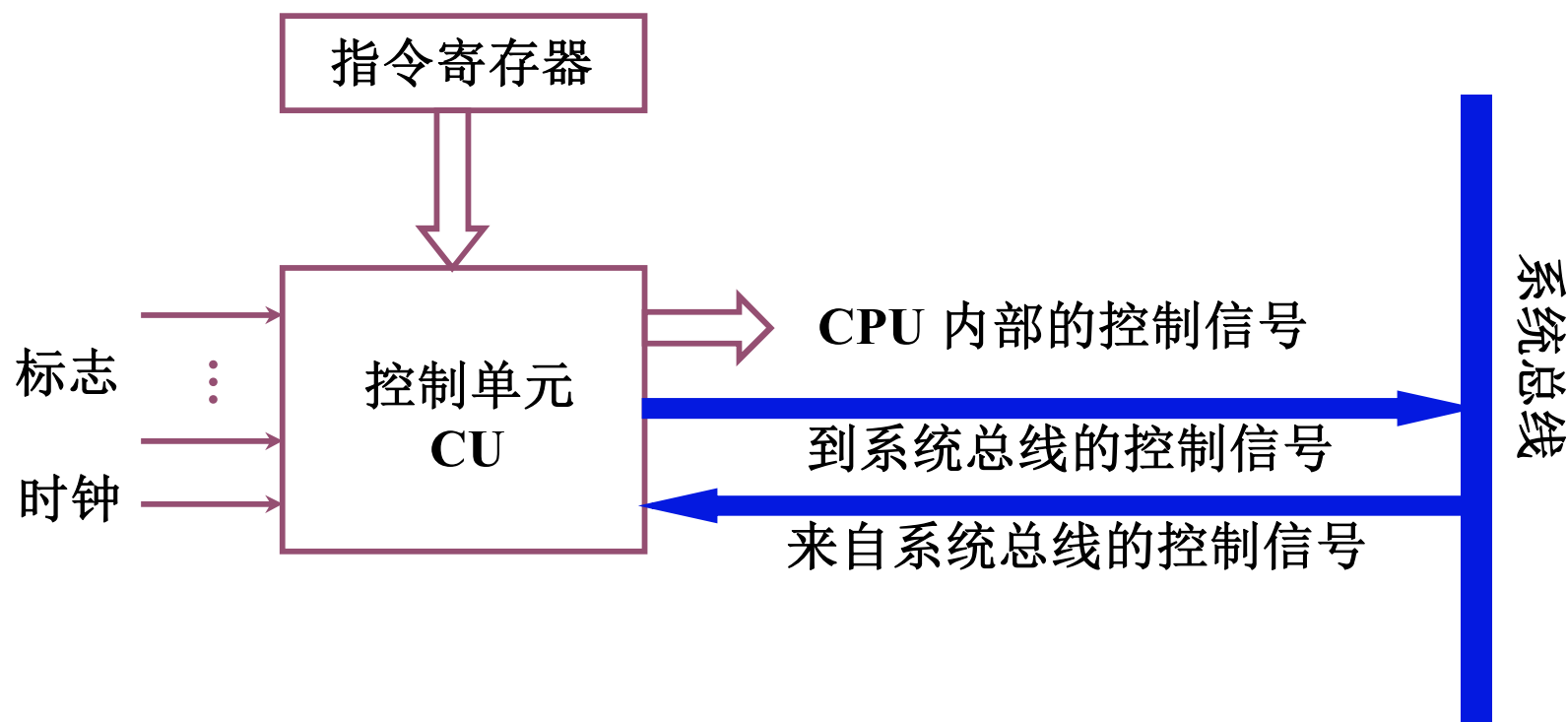
中断识别程序入口地址 $\text{M} \rightarrow \text{PC}$

$0 \rightarrow \text{EINT} \text{ (置 “0”)}$

$0 \rightarrow \text{EINT} \text{ (置 “0”)}$

9.2 控制单元的功能

一、控制单元的外特性



1. 输入信号

(1) 时钟

CU是时序逻辑电路 受时钟控制

一个时钟脉冲

发一个操作命令或一组需同时执行的操作命令

(2) 指令寄存器 $OP(IR) \rightarrow CU$

控制信号 与操作码有关

(3) 标志

CU依赖CPU当前的状态 受标志控制

(4) 外来信号

如 **INTR** 中断请求
 HRQ 总线请求

2. 输出信号

(1) CPU 内的各种控制信号

$R_i \rightarrow R_j$

$(PC) + 1 \rightarrow PC$

ALU +、-、与、或

(2) 送至控制总线的信号

\overline{MREQ}

访存控制信号

\overline{IO}/M

访 IO/ 存储器的控制信号

\overline{RD}

读命令

\overline{WR}

写命令

INTA

中断响应信号

HLDA

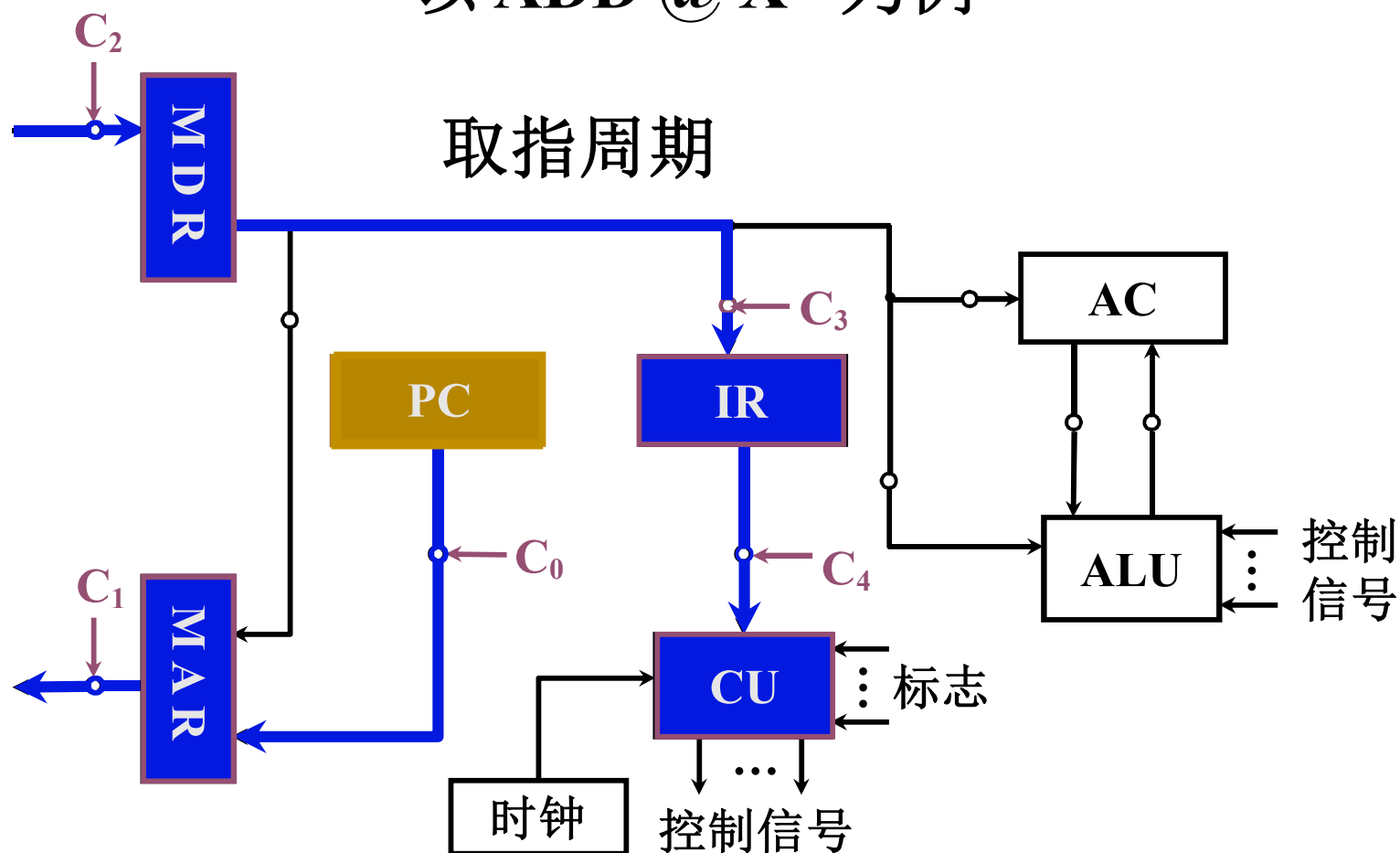
总线响应信号

二、控制信号举例

9.2

1. 不采用 CPU 内部总线的方式

以 $\text{ADD } @X$ 为例

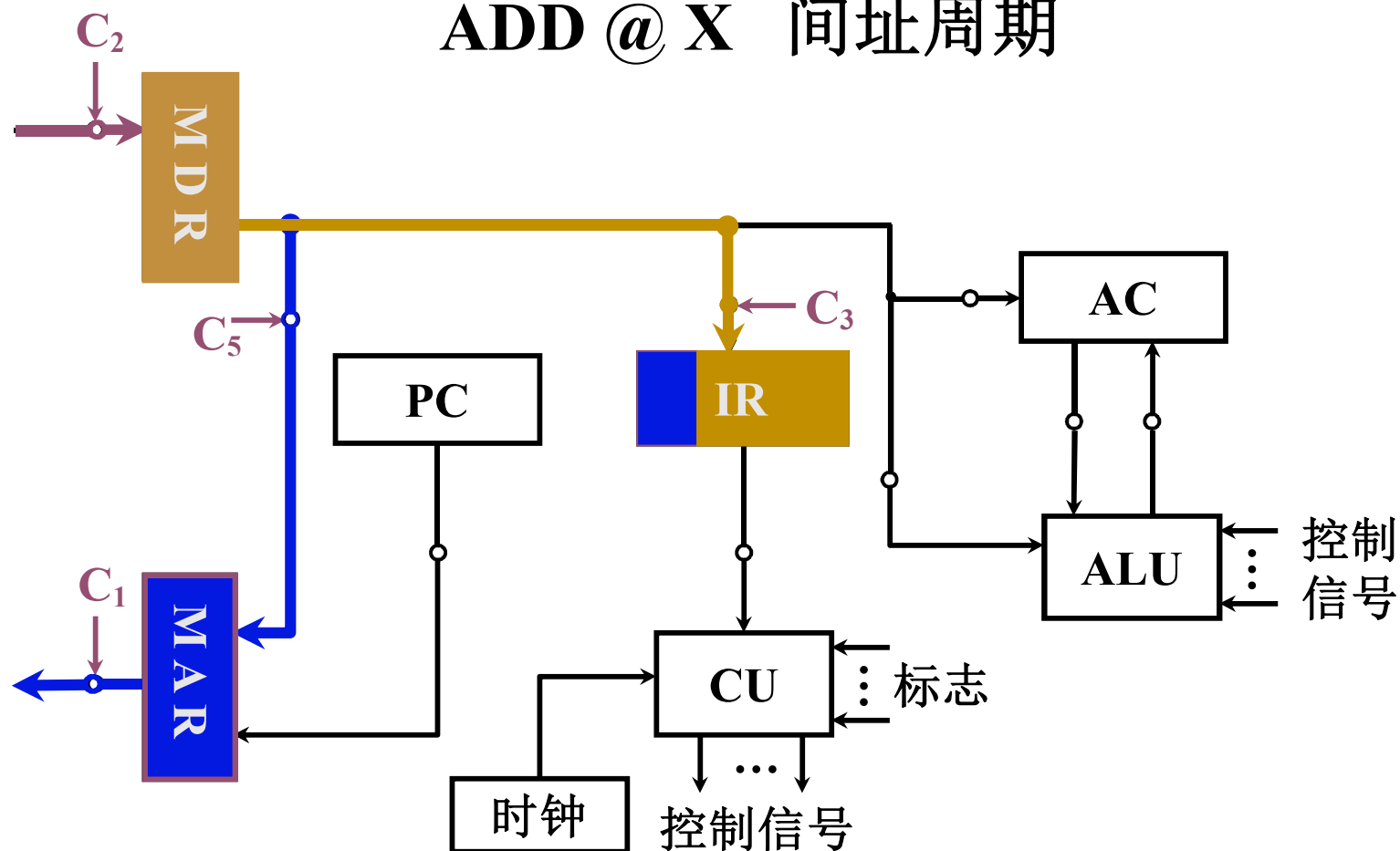


二、控制信号举例

9.2

1. 不采用 CPU 内部总线的方式

ADD @ X 间址周期

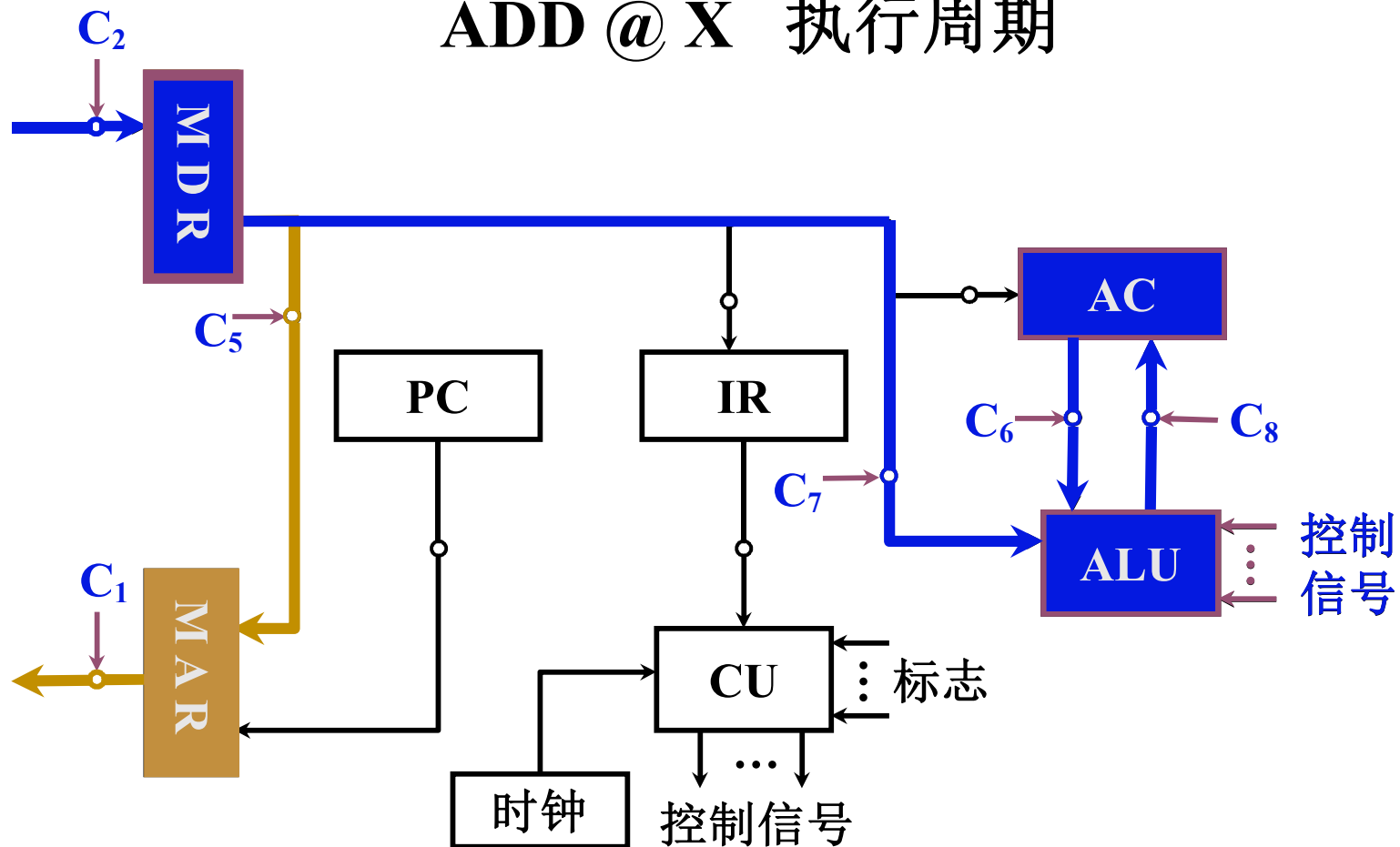


二、控制信号举例

9.2

1. 不采用 CPU 内部总线的方式

ADD @ X 执行周期



2. 采用 CPU 内部总线方式

(1) ADD @ X 取指周期

• $PC \rightarrow MAR \rightarrow \text{地址线}$
 $PC_0 \quad MAR_i$

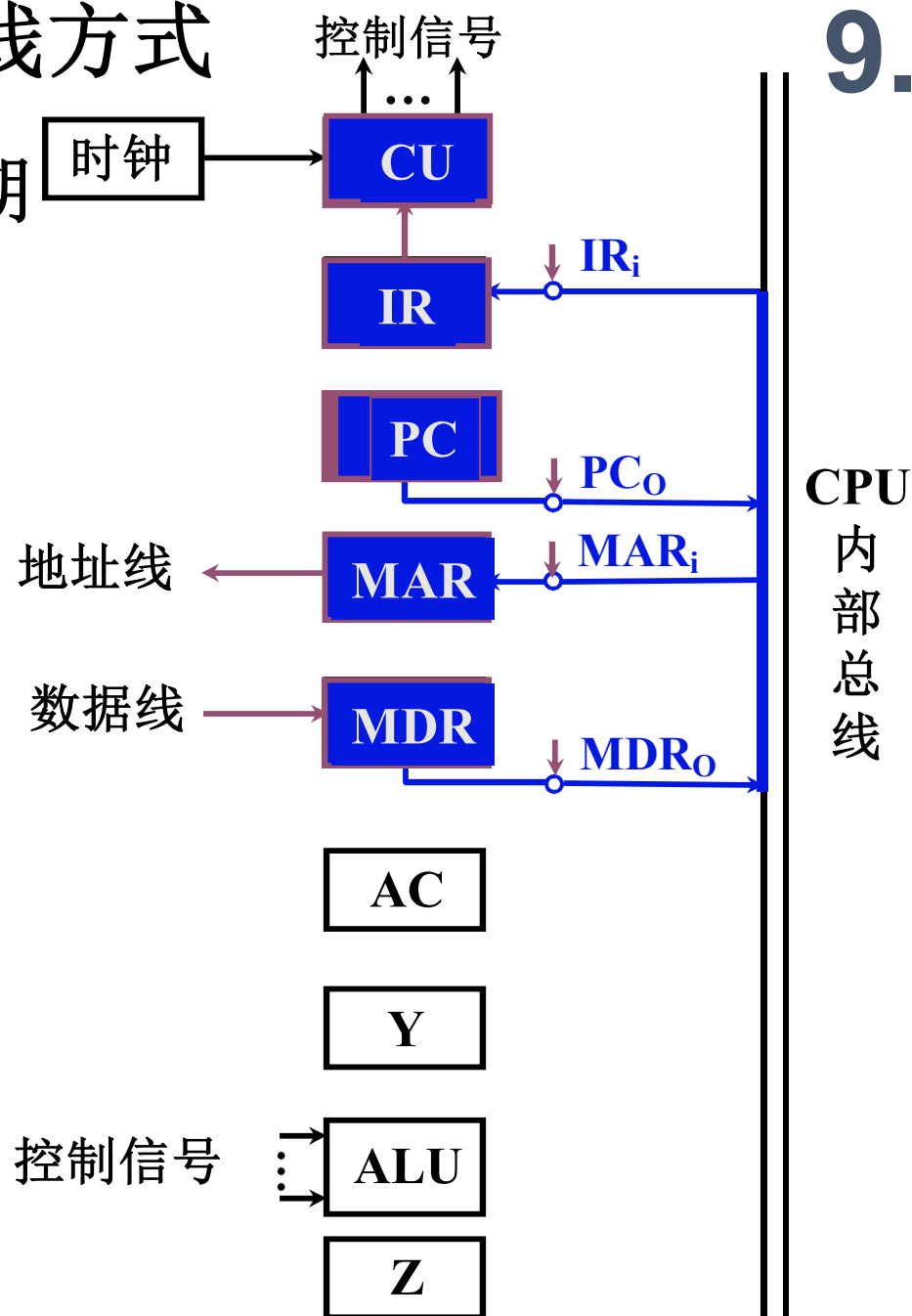
• CU 发读命令 $1 \rightarrow R$

• 数据线 $\rightarrow MDR$

• $MDR \rightarrow IR$
 $MDR_0 \quad IR_i$

• $OP(IR) \rightarrow CU$

• $(PC) + 1 \rightarrow PC$



9.2

(2) ADD @X 间址周期

形式地址 \rightarrow MAR

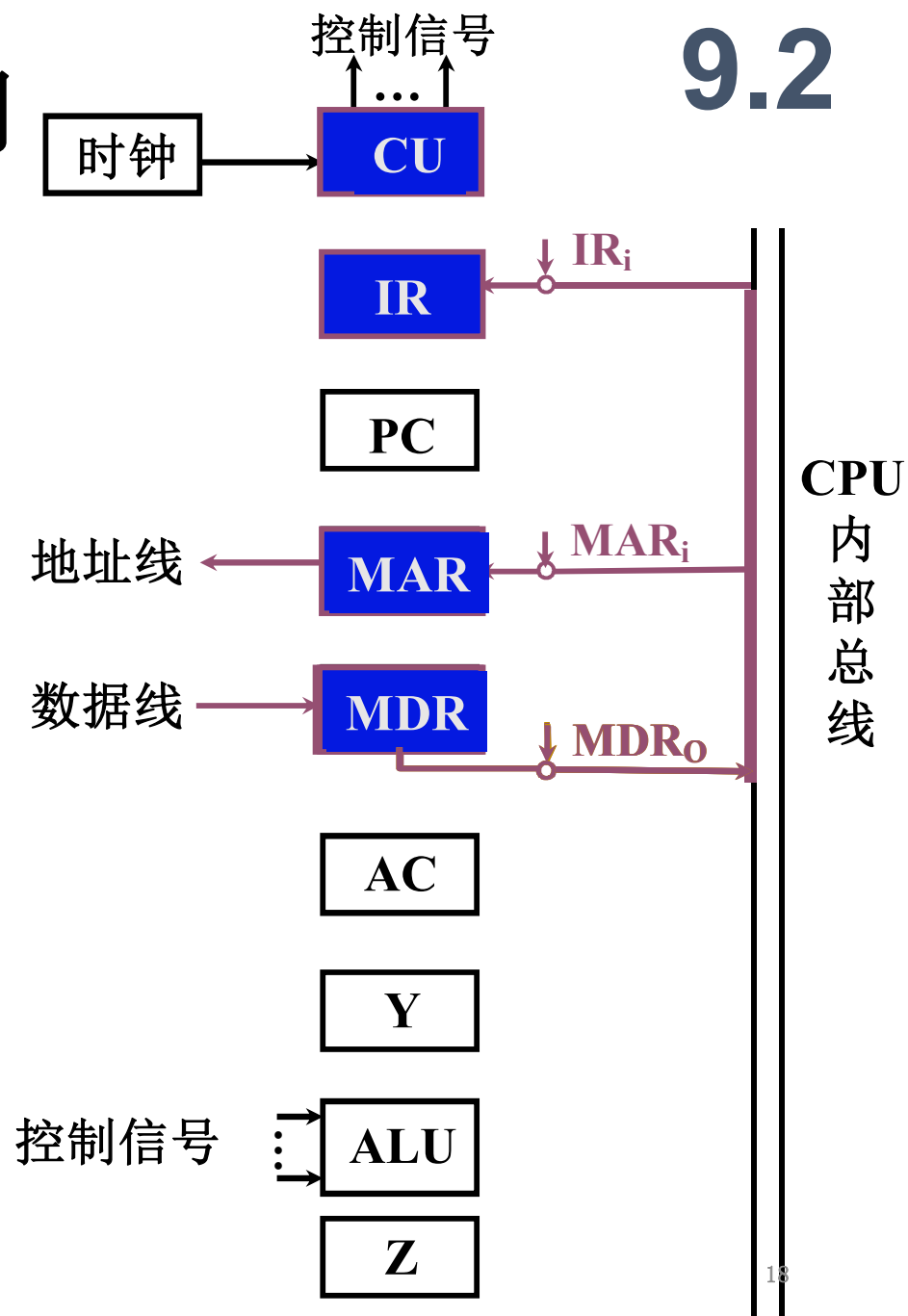
• MDR \rightarrow MAR \rightarrow 地址线
 MDR_0 MAR_i

• 1 \rightarrow R

• 数据线 \rightarrow MDR

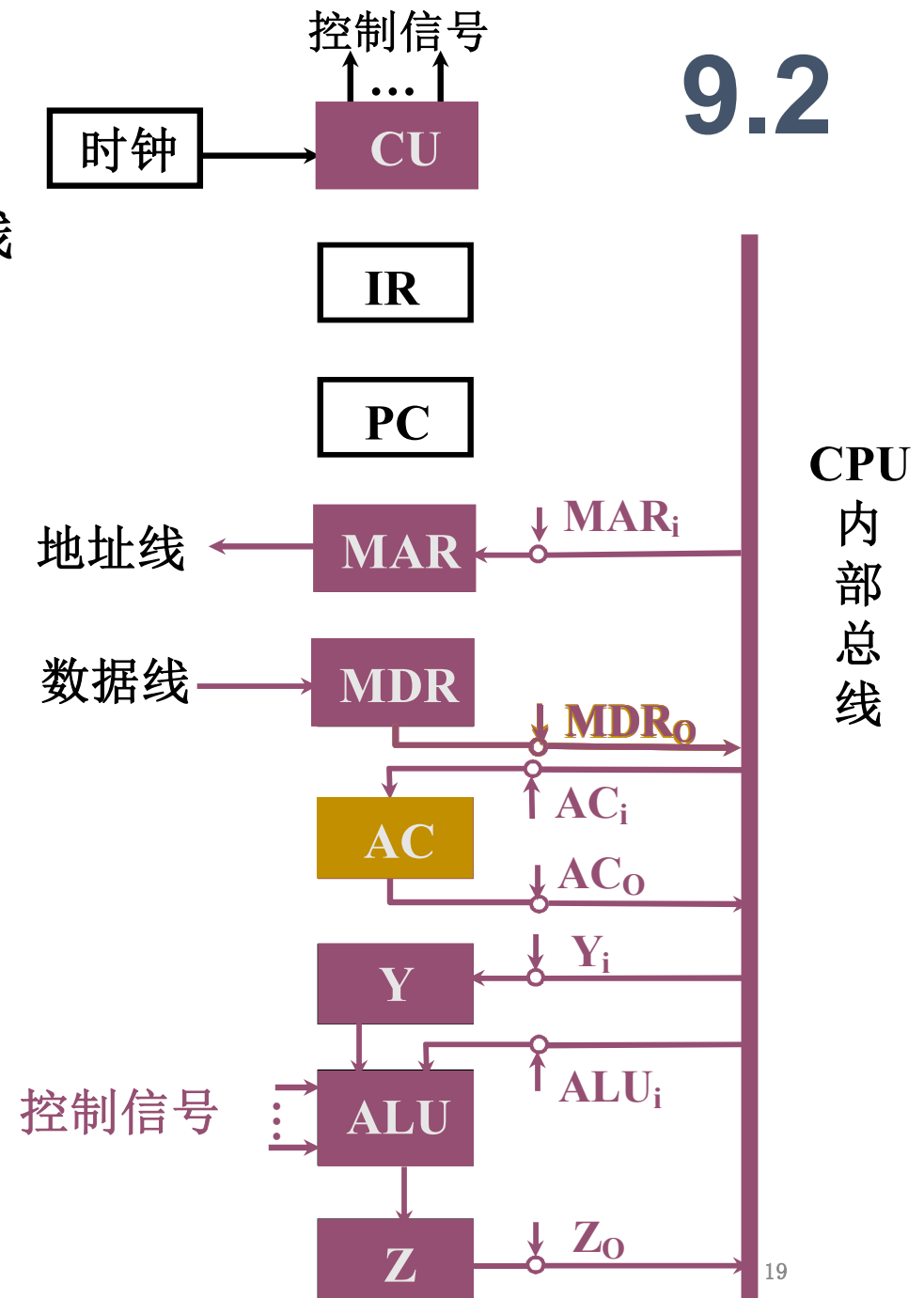
• MDR \rightarrow IR
 MDR_0 IR_i

有效地址 \rightarrow Ad (IR)



(3) ADD @ X 执行周期

- $\text{MDR} \longrightarrow \text{MAR} \longrightarrow \text{地址线}$
 $\text{MDR}_0 \quad \text{MAR}_i$
- $1 \longrightarrow R$
- 数据线 $\longrightarrow \text{MDR}$
- $\text{MDR} \longrightarrow Y \longrightarrow \text{ALU}$
 $\text{MDR}_0 \quad Y_i$
- $\text{AC} \longrightarrow \text{ALU}$
 $\text{AC}_0 \quad \text{ALU}_i$
- $(\text{AC}) + (Y) \longrightarrow Z$
- $Z \longrightarrow \text{AC}$
 $Z_0 \quad \text{AC}_i$



三、多级时序系统

9.2

1. 机器周期

(1) 机器周期的概念

所有指令执行过程中的一个基准时间

(2) 确定机器周期需考虑的因素

每条指令的执行 步骤

每一步骤 所需的 时间

(3) 基准时间的确定

- 以完成 最复杂 指令功能的时间 为准
- 以 访问一次存储器 的时间 为基准

若指令字长 = 存储字长 取指周期 = 机器周期

2. 时钟周期（节拍、状态）

9.2

一个机器周期内可完成若干个微操作

每个微操作需一定的时间

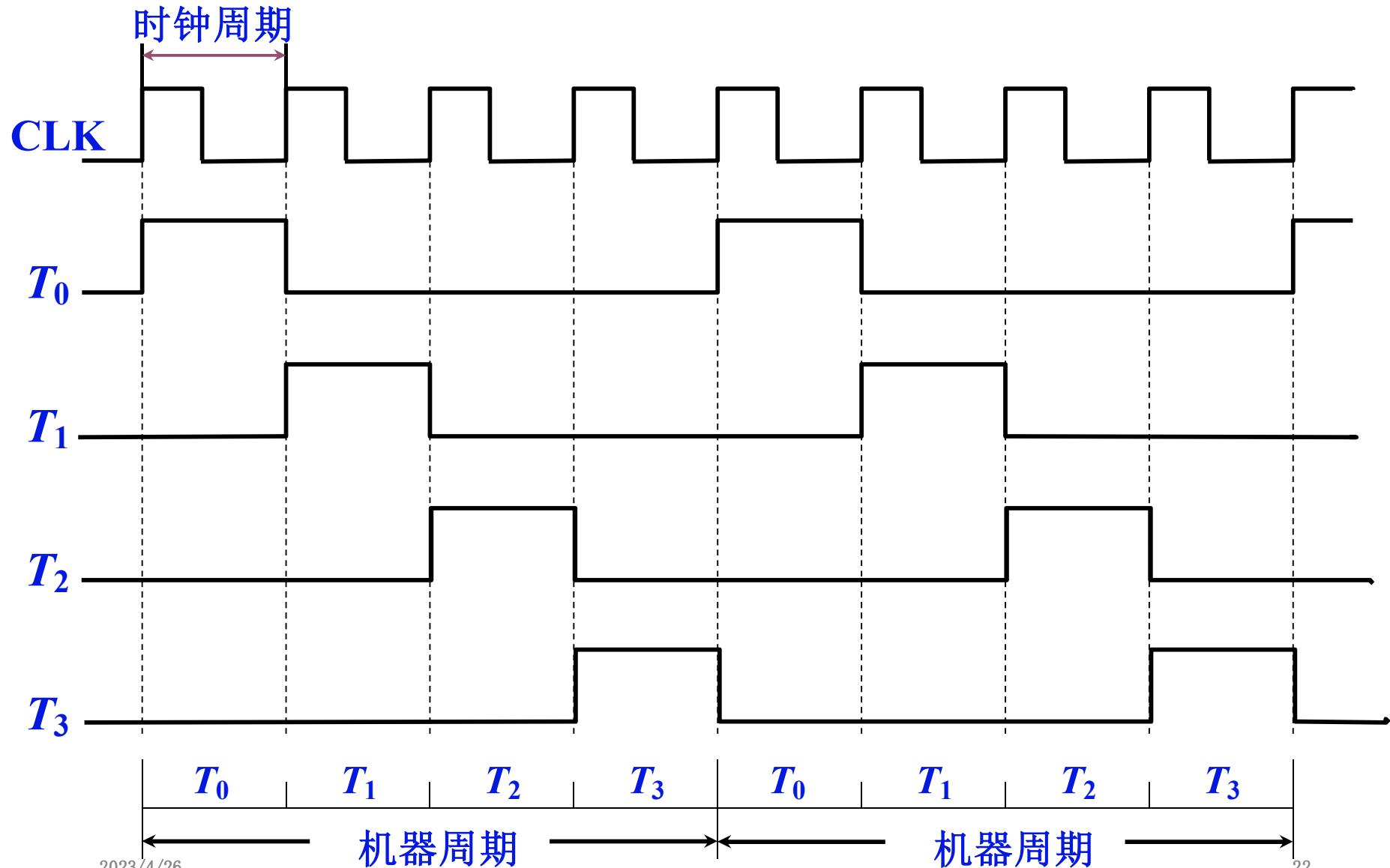
将一个机器周期分成若干个时间相等的时间段（节拍、状态、时钟周期）

时钟周期是控制计算机操作的最小单位时间

用时钟周期控制产生一个或几个微操作命令

2. 时钟周期（节拍、状态）

9.2



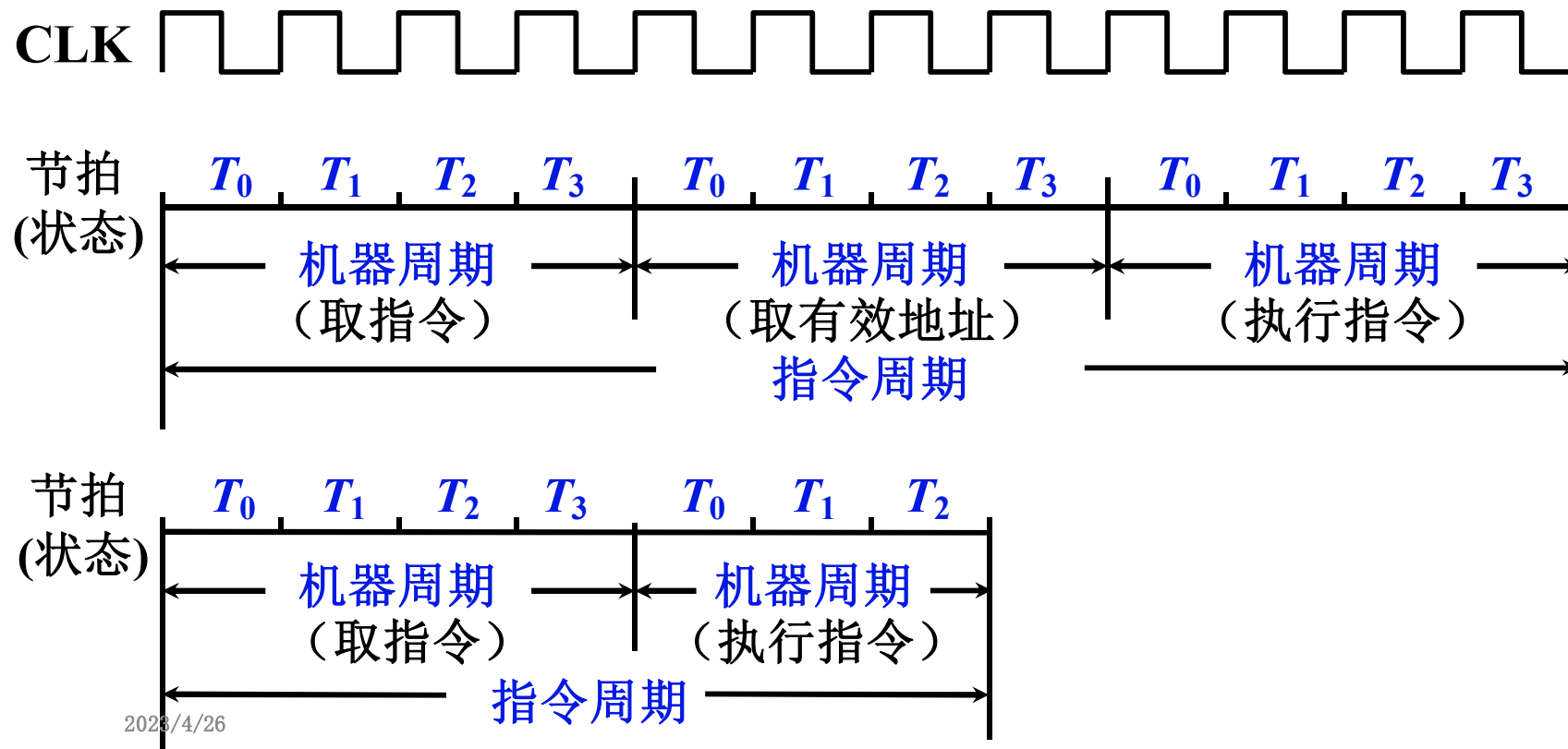
3. 多级时序系统

9.2

机器周期、节拍（状态）组成多级时序系统

一个指令周期包含若干个机器周期

一个机器周期包含若干个时钟周期



4. 机器速度与机器主频的关系

9.2

机器的 主频 f 越快 机器的 速度也越快

在机器周期所含时钟周期数 相同 的前提下，
两机 平均指令执行速度之比 等于 两机主频之比

$$\frac{\text{MIPS}_1}{\text{MIPS}_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

机器速度 不仅与 主频有关 ， 还与机器周期中所含
时钟周期（主频的倒数） 数 以及指令周期中所含
的 机器周期数有关

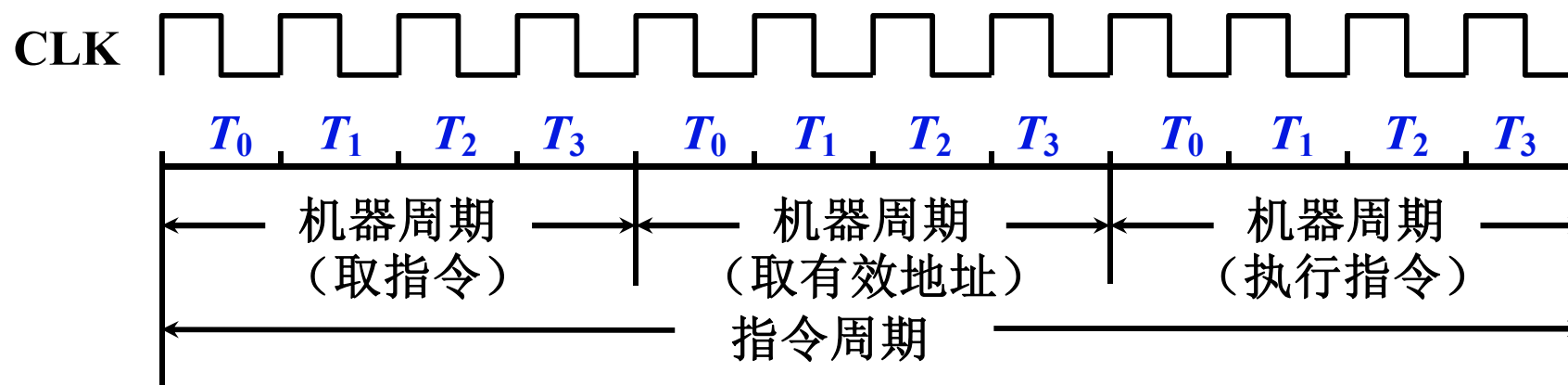
四、控制方式

9.2

产生不同微操作命令序列所用的时序控制方式

1. 同步控制方式

任一微操作均由 **统一基准时标** 的时序信号控制



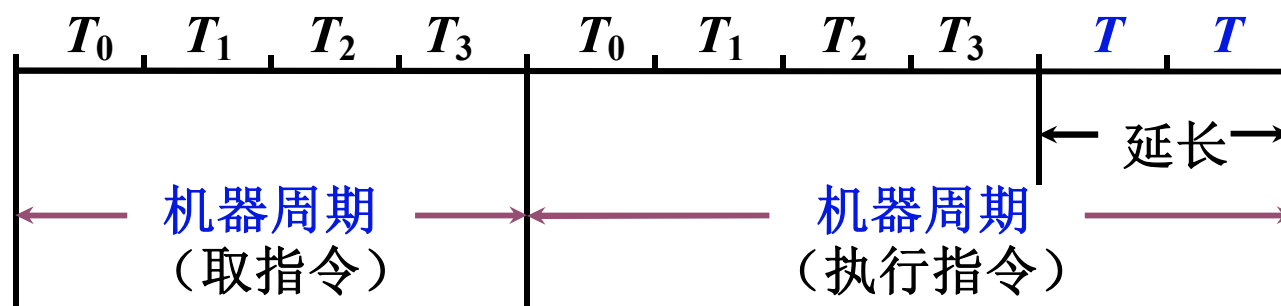
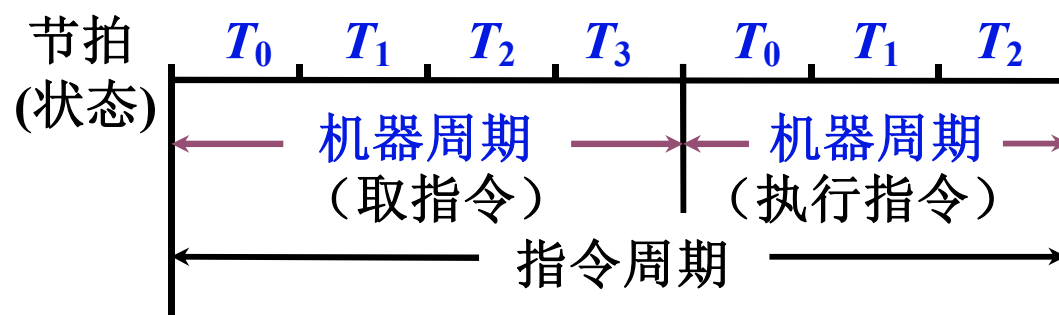
(1) 采用 **定长** 的机器周期

以 **最长** 的微操作序列和 **最复杂** 的微操作作为 **标准**

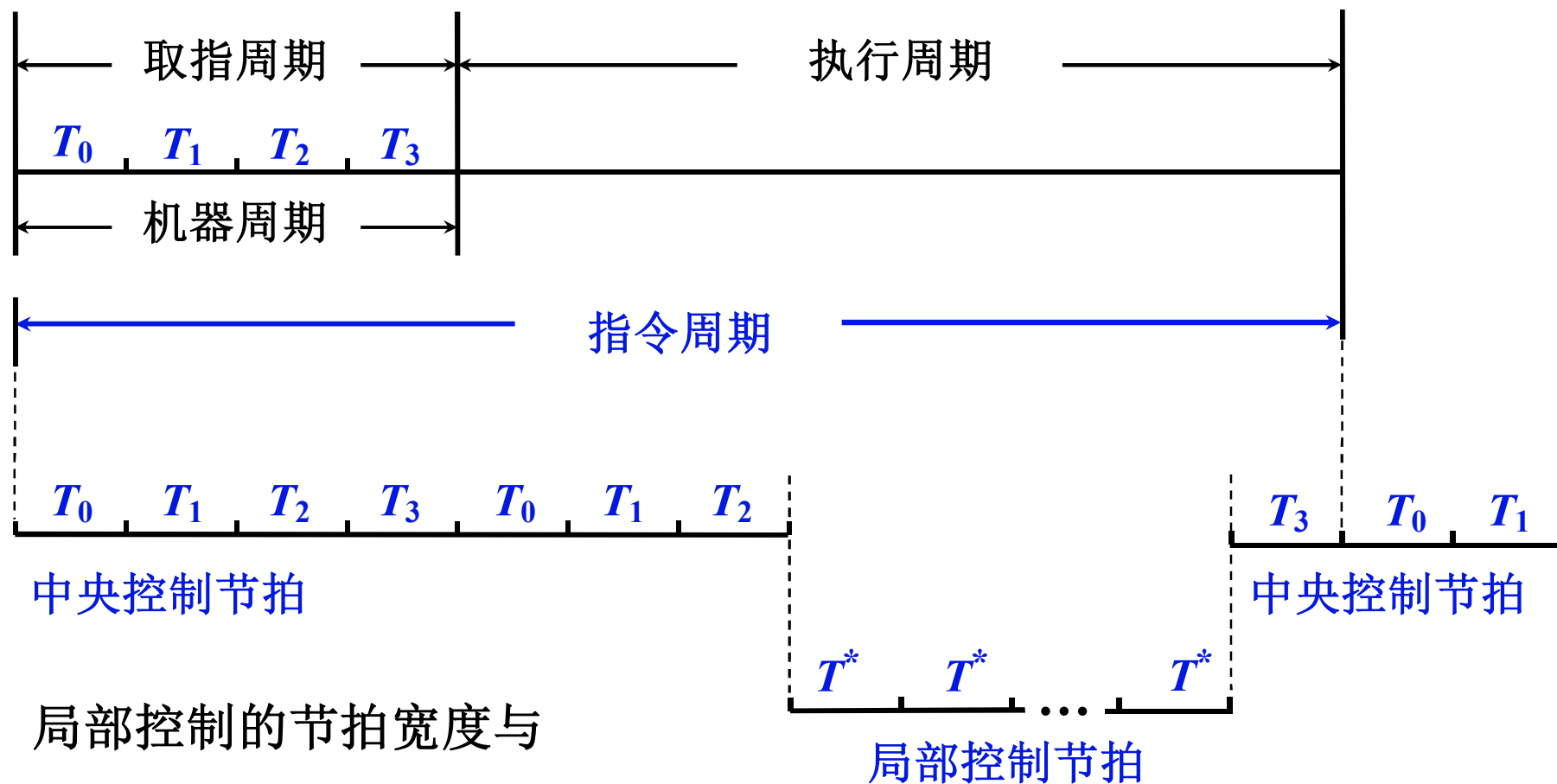
机器周期内 **节拍数相同**

(2) 采用不定长的机器周期

机器周期内 节拍数不等



(3) 采用中央控制和局部控制相结合的方法 9.2



2. 异步控制方式

无基准时钟信号

无固定的周期节拍和严格的时钟同步

采用 应答方式

3. 联合控制方式

同步与异步相结合

4. 人工控制方式

(1) Reset

(2) 连续 和 单条 指令执行转换开关

(3) 符合停机开关

第10章 控制单元的设计

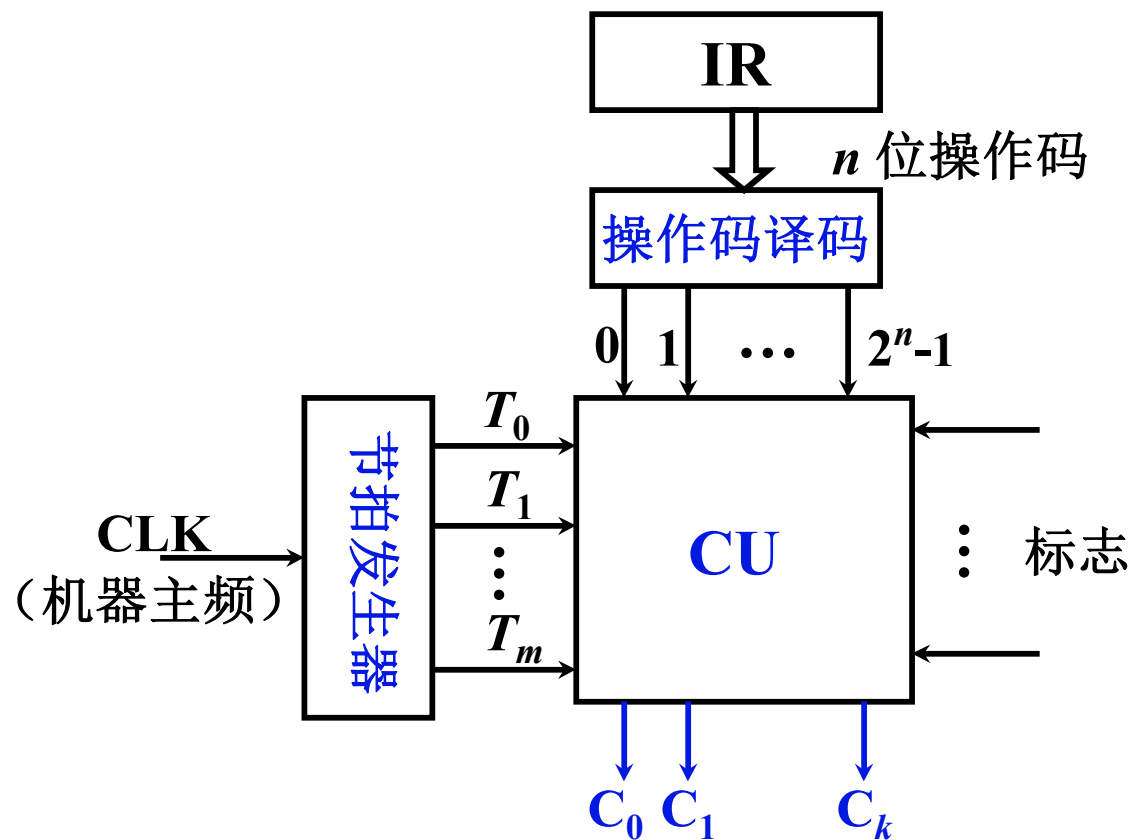
10.1 组合逻辑设计

10.2 微程序设计

10.1 组合逻辑设计

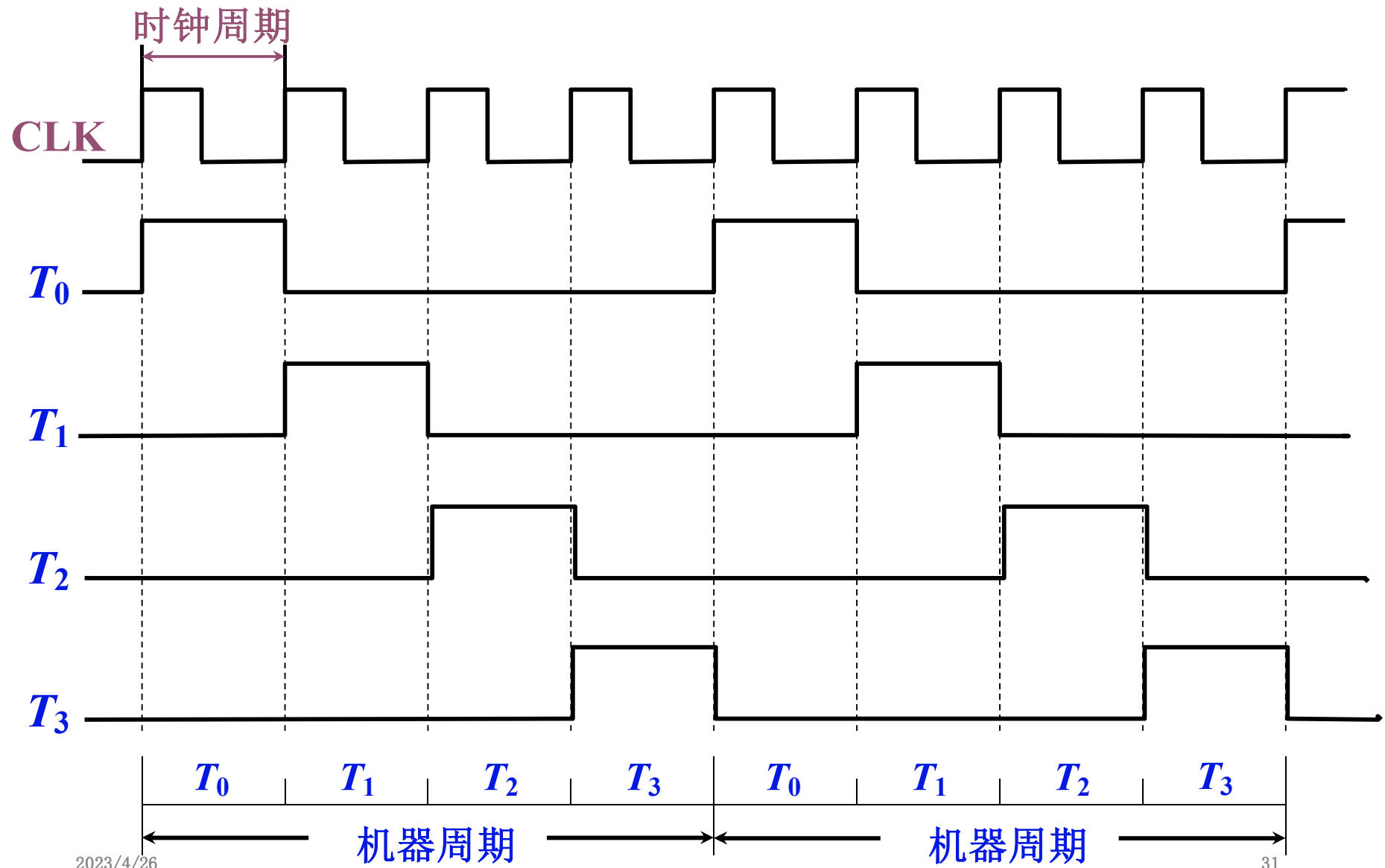
一、组合逻辑控制单元框图

1. CU 外特性



2. 节拍信号

10.1



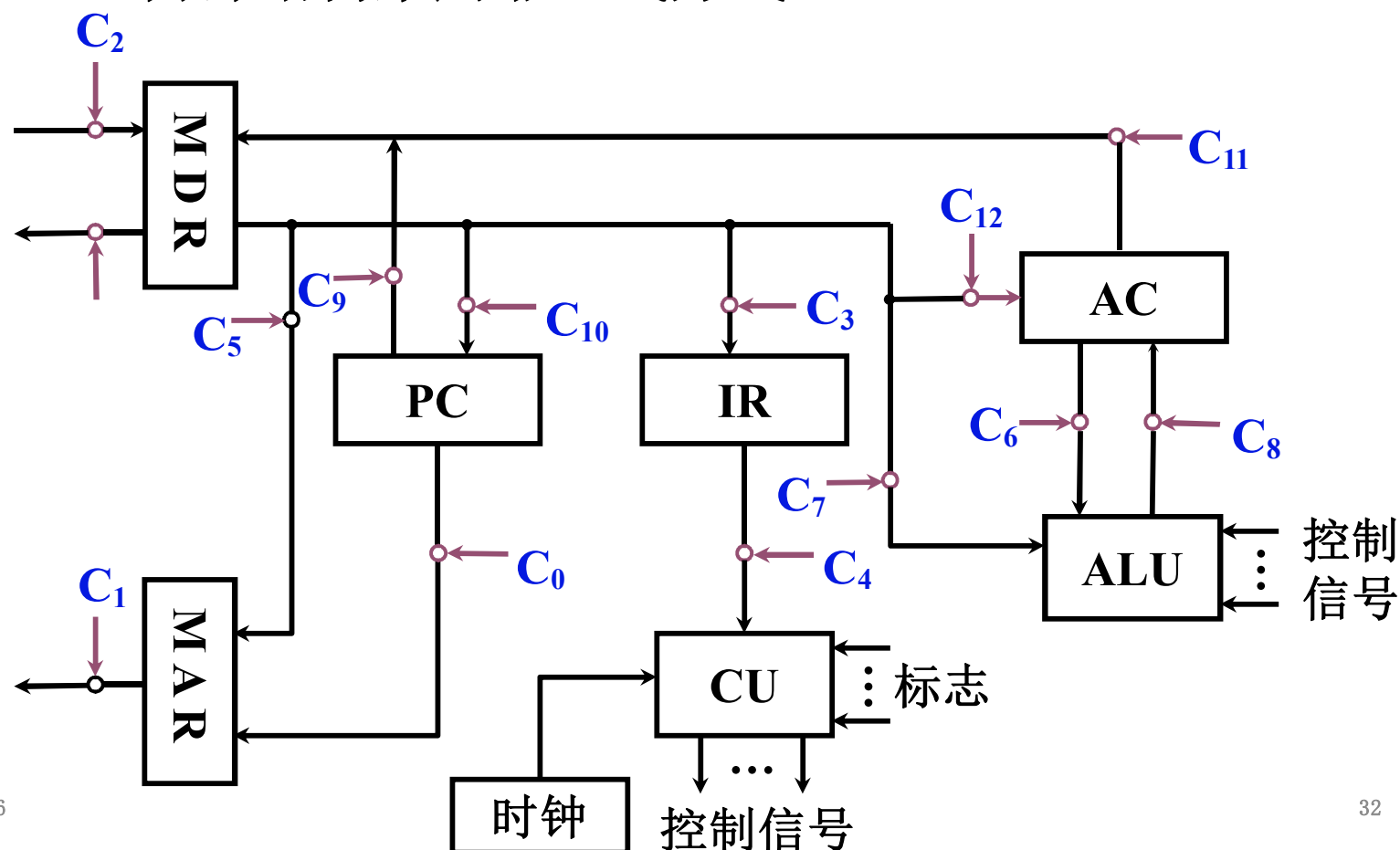
二、微操作的节拍安排

10.1

采用 同步控制方式

一个 机器周期 内有 3个节拍（时钟周期）

CPU 内部结构采用非总线方式



1. 安排微操作时序的原则

10.1

原则一 微操作的 先后顺序不得 随意 更改

原则二 被控对象不同 的微操作

尽量安排在一个节拍 内完成

原则三 占用 时间较短 的微操作

尽量 安排在一个节拍 内完成

并允许有先后顺序

2. 取指周期 微操作的 节拍安排

T_0 $PC \longrightarrow MAR$

原则二

$1 \longrightarrow R$

T_1 $M(MAR) \longrightarrow MDR$

原则二

$(PC) + 1 \longrightarrow PC$

T_2 $MDR \longrightarrow IR$

原则三

$OP(IR) \longrightarrow ID$

3. 间址周期 微操作的 节拍安排

T_0 $Ad(IR) \longrightarrow MAR$

$1 \longrightarrow R$

T_1 $M(MAR) \longrightarrow MDR$

T_2 $MDR \longrightarrow Ad(IR)$

4. 执行周期 微操作的 节拍安排

10.1

① CLA T_0

T_1

T_2 $0 \longrightarrow AC$

② COM T_0

T_1

T_2 $\overline{AC} \longrightarrow AC$

③ SHR T_0

T_1

T_2 $L(AC) \longrightarrow R(AC)$

$AC_0 \longrightarrow AC_0$

10.1

④ CSL	T_0		
	T_1		
	T_2	$R(AC) \longrightarrow L(AC)$	$AC_0 \longrightarrow AC_n$
⑤ STP	T_0		
	T_1		
	T_2	$0 \longrightarrow G$	
⑥ ADD X	T_0	$Ad(IR) \longrightarrow MAR$	$1 \longrightarrow R$
	T_1	$M(MAR) \longrightarrow MDR$	
	T_2	$(AC) + (MDR) \longrightarrow AC$	
⑦ STA X	T_0	$Ad(IR) \longrightarrow MAR$	$1 \longrightarrow W$
	T_1	$AC \longrightarrow MDR$	
	T_2	$MDR \longrightarrow M(MAR)$	

⑧ LDA X T_0 Ad (IR) \longrightarrow MAR 1 \longrightarrow R

10.1

T_1 M (MAR) \longrightarrow MDR

T_2 MDR \longrightarrow AC

⑨ JMP X T_0

T_1

T_2 Ad (IR) \longrightarrow PC

⑩ BAN X T_0

T_1

T_2 $A_0 \cdot \text{Ad (IR)} + \bar{A}_0 \cdot \text{PC} \longrightarrow \text{PC}$

5. 中断周期 微操作的 节拍安排

10.1

T_0 $0 \longrightarrow \text{MAR}$ $1 \longrightarrow \text{W}$ 硬件关中断

T_1 $\text{PC} \longrightarrow \text{MDR}$

T_2 $\text{MDR} \longrightarrow \text{M}(\text{MAR})$ 向量地址 $\longrightarrow \text{PC}$

中断隐指令完成

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
FE 取指	T_0		$PC \rightarrow MAR$						
			$1 \rightarrow R$						
	T_1		$M(MAR) \rightarrow MDR$						
			$(PC) + 1 \rightarrow PC$						
	T_2		$MDR \rightarrow IR$						
			$OP(IR) \rightarrow ID$						
		I	$1 \rightarrow IND$						
		\bar{I}	$1 \rightarrow EX$						

间址特征

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
IND 间址	T_0		Ad (IR) \rightarrow MAR						
			1 \rightarrow R						
	T_1		M(MAR) \rightarrow MDR						
	T_2		MDR \rightarrow Ad (IR)						
		$\overline{\text{IND}}$	1 \rightarrow EX						

间址周期标志

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作 周期 标记	节拍	状态 条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
EX 执行	T_0		Ad (IR) \rightarrow MAR						
			$1 \rightarrow R$						
			$1 \rightarrow W$						
	T_1		M(MAR) \rightarrow MDR						
			AC \rightarrow MDR						
	T_2		(AC)+(MDR) \rightarrow AC						
			MDR \rightarrow M(MAR)						
			MDR \rightarrow AC						
			$0 \rightarrow$ AC						

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
FE 取指	T_0		$PC \rightarrow MAR$	1	1	1	1	1	1
			$1 \rightarrow R$	1	1	1	1	1	1
	T_1		$M(MAR) \rightarrow MDR$	1	1	1	1	1	1
			$(PC) + 1 \rightarrow PC$	1	1	1	1	1	1
	T_2		$MDR \rightarrow IR$	1	1	1	1	1	1
			$OP(IR) \rightarrow ID$	1	1	1	1	1	1
		I	$1 \rightarrow IND$			1	1	1	1
		\bar{I}	$1 \rightarrow EX$	1	1	1	1	1	1

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
IND 间址	T_0		Ad (IR) \rightarrow MAR			1	1	1	1
			1 \rightarrow R			1	1	1	1
	T_1		M(MAR) \rightarrow MDR			1	1	1	1
	T_2		MDR \rightarrow Ad (IR)			1	1	1	1
		$\overline{\text{IND}}$	1 \rightarrow EX			1	1	1	1

三、组合逻辑设计步骤

10.1

1. 列出操作时间表

工作周期标记	节拍	状态条件	微操作命令信号	CLA	COM	ADD	STA	LDA	JMP
EX 执行	T_0		Ad (IR) \rightarrow MAR			1	1	1	
			$1 \rightarrow R$			1		1	
			$1 \rightarrow W$				1		
	T_1		M(MAR) \rightarrow MDR			1		1	
			AC \rightarrow MDR				1		
	T_2		(AC)+(MDR) \rightarrow AC			1			
			MDR \rightarrow M(MAR)				1		
			MDR \rightarrow AC					1	
			$0 \rightarrow$ AC	1					

2. 写出微操作命令的最简表达式

10.1

$$M(MAR) \longrightarrow MDR$$

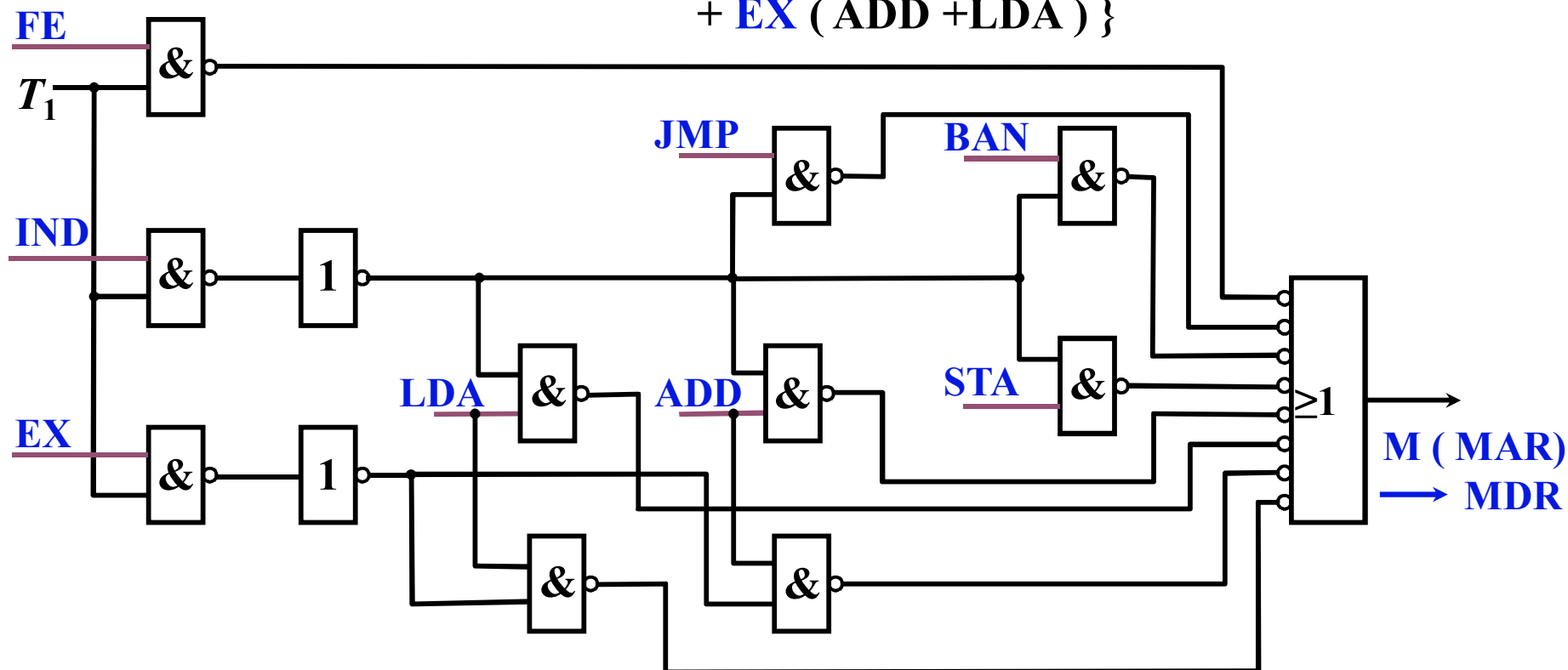
$$= FE \cdot T_1 + IND \cdot T_1 (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ + EX \cdot T_1 (ADD + LDA)$$

$$= T_1 \{ FE + IND (ADD + STA + LDA + JMP + BAN) \\ + EX (ADD + LDA) \}$$

3. 画出逻辑图

10.1

$$M(MAR) \rightarrow MDR = T_1 \{ FE + IND(ADD + STA + LDA + JMP + BAN) + EX(ADD + LDA) \}$$



特点

- 思路清晰，简单明了
- 庞杂，调试困难，修改困难
- 速度快 (RISC)