

## 本节内容

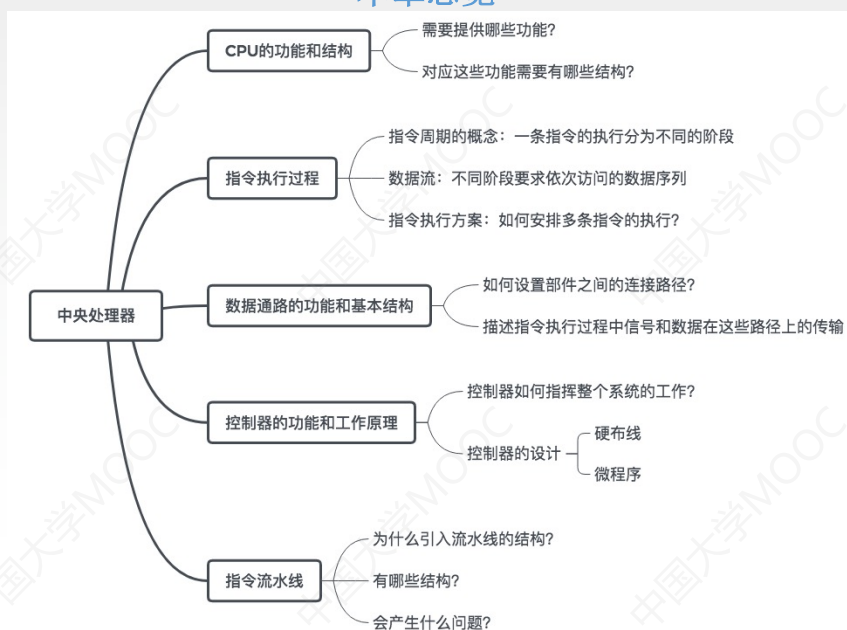
# 控制器设计

## 硬布线控制器

王道考研/CSKAOYAN.COM

1

## 本章总览



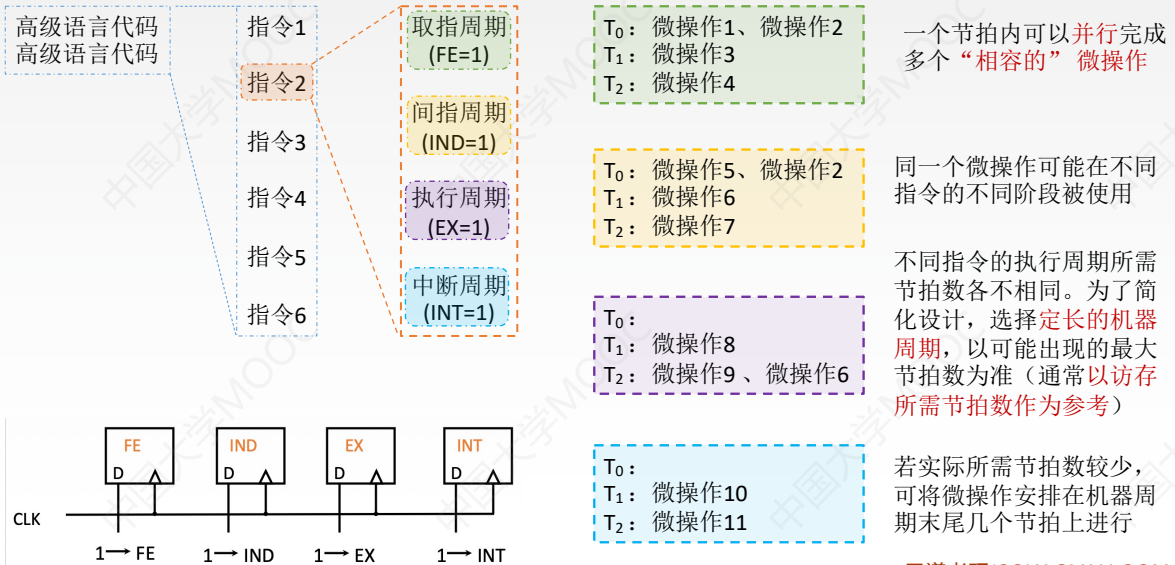
王道考研/CSKAOYAN.COM

2

根据 指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

### 内容回顾

CU发出一个微命令，可完成对应微操作。  
如：微命令1使得  $PC_{out}$ 、 $MAR_{in}$  有效。  
完成对应的微操作1 ( $PC \rightarrow MAR$ )

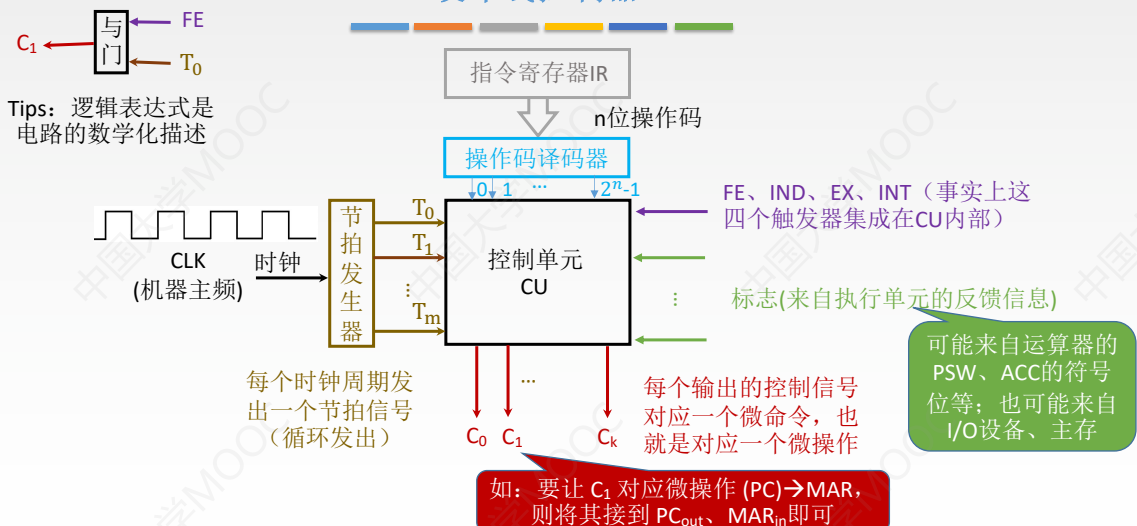


3

所有指令的取指周期、 $T_0$ 节拍下一定要完成( $PC \rightarrow MAR$ )。则可知  $C_1 = FE \cdot T_0$

Tips: 逻辑表达式是电路的数字化描述

### 硬布线控制器



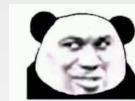
根据 指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

4



用平静掩饰恐惧

## 颤抖吧！感受恐惧！

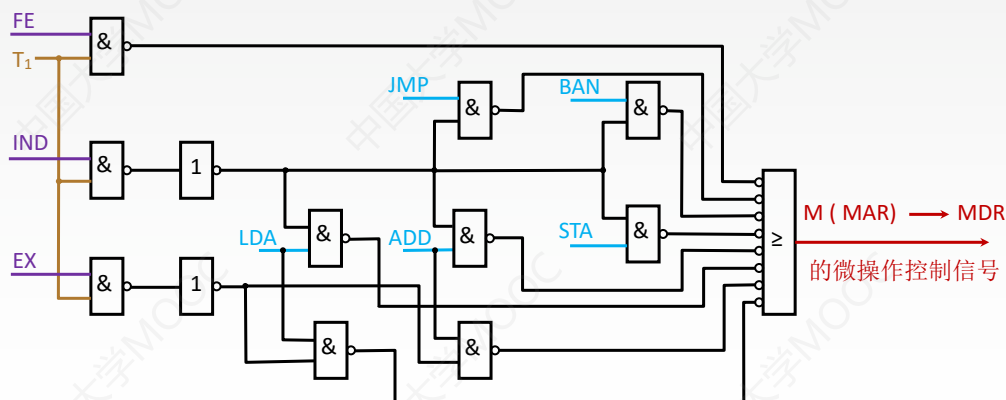


很紧张对吧？

注：一般不考电路，莫慌~

$M(MAR) \rightarrow MDR$  微操作命令的逻辑表达式：

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



根据指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

王道考研/CSKAOYAN.COM

5

## 硬布线控制器的设计

设计步骤：

确定哪些指令在什么阶段、在什么条件下会使用到的微操作

1. 分析每个阶段的微操作序列（取值、间址、执行、中断四个阶段）

2. 选择CPU的控制方式

采用定长机器周期还是不定长机器周期？每个机器周期安排几个节拍？

3. 安排微操作时序

如何用3个节拍完成整个机器周期内的所有微操作？

4. 电路设计

确定每个微操作命令的逻辑表达式，并用电路实现

假设采用同步控制方式（定长机器周期），一个机器周期内安排3个节拍。

安排，必须安排



王道考研/CSKAOYAN.COM

6

注：中断周期内的微操作序列就不分析了，原理类似

## 分析每个阶段的微操作序列

取指周期（所有指令都一样）

PC → MAR

1 → R

$M(MAR) \rightarrow MDR$

MDR → IR

OP(IR) → ID

(PC) + 1 → PC

注：ID是指令译码器  
Instruction Decoder

间址周期（所有指令都一样）

Ad(IR) → MAR

1 → R

$M(MAR) \rightarrow MDR$

MDR → Ad(IR)

执行周期（各不相同）

注：很多地方把ACC简写为AC

CLA

0 → AC

clear ACC 指令  
ACC清零

LDA X

取数指令，  
把X所指内容  
取到ACC

Ad(IR) → MAR

1 → R

$M(MAR) \rightarrow MDR$

MDR → AC

JMP X

无条件转移

Ad(IR) → PC

负数符号位为1

BAN X

Branch ACC Negative  
条件转移，当ACC为负时转移

$A_0 \bullet Ad(IR) + \overline{A_0} \bullet (PC) \rightarrow PC$

罗列出所有指令在各个阶段的微操作序列，就可以知道在什么情况下需要使用这个微操作

根据指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

王道考研/CSKAOYAN.COM

7

## 安排微操作时序的原则

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

王道考研/CSKAOYAN.COM

8

### 安排微操作时序-取指周期

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

(1)  $PC \rightarrow MAR$

(2)  $1 \rightarrow R$

存储器空闲即可

(3)  $M(MAR) \rightarrow MDR$

在(1)之后

(4)  $MDR \rightarrow IR$

在(3)之后

(5)  $OP(IR) \rightarrow ID$

在(4)之后

(6)  $(PC) + 1 \rightarrow PC$

在(1)之后

王道考研/CSKAOYAN.COM

9

### 安排微操作时序-取指周期

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

$T_0$  (1)  $PC \rightarrow MAR$

$T_0$  (2)  $1 \rightarrow R$

存储器空闲即可

$T_1$  (3)  $M(MAR) \rightarrow MDR$

在(1)之后

$T_1$  (6)  $(PC) + 1 \rightarrow PC$

在(1)之后

$T_2$  (4)  $MDR \rightarrow IR$

在(3)之后

$T_2$  (5)  $OP(IR) \rightarrow ID$

在(4)之后

两个微操作占用时间较短，根据原则三安排在一个节拍

$M(MAR) \rightarrow MDR$  从主存取数据，用时较长，因此必须一个时钟周期才能保证微操作的完成

$MDR \rightarrow IR$  是CPU内部寄存器的数据传送，速度很快，因此在一个时钟周期内可以紧接着完成  $OP(IR) \rightarrow ID$ 。也就是可以一次同时发出两个微命令。

王道考研/CSKAOYAN.COM

10

### 安排微操作时序-间址周期

- 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

$T_0$  (1)  $Ad(IR) \rightarrow MAR$

$T_0$  (2)  $1 \rightarrow R$

$T_1$  (3)  $M(MAR) \rightarrow MDR$

$T_2$  (4)  $MDR \rightarrow Ad(IR)$

王道考研/CSKAOYAN.COM

11

### 安排微操作时序-执行周期

- 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

① CLA

$T_0$

clear

$T_1$

ACC清零

$T_2$

$0 \rightarrow AC$

② COM

$T_0$

complement

$T_1$

ACC取反

$T_2$

$\overline{AC} \rightarrow AC$

③ SHR

$T_0$

shift

$T_1$

算术右移

$T_2$

$L(AC) \rightarrow R(AC)$

$T_2$

$AC_0 \rightarrow AC_0$

④ CSL

$T_0$

cyclic shift

$T_1$

循环左移

$T_2$

$R(AC) \rightarrow L(AC), AC_0 \rightarrow AC_n$

⑤ STP

$T_0$

stop

$T_1$

停机

$T_2$

$0 \rightarrow G$

王道考研/CSKAOYAN.COM

12

## 安排微操作时序-执行周期

## (1) 非访存指令

|            |       |                                |
|------------|-------|--------------------------------|
| ① CLA      | $T_0$ |                                |
| clear      | $T_1$ |                                |
| ACC清零      | $T_2$ | $0 \rightarrow AC$             |
| ② COM      | $T_0$ |                                |
| complement | $T_1$ |                                |
| ACC取反      | $T_2$ | $\overline{AC} \rightarrow AC$ |
| ③ SHR      | $T_0$ |                                |
| shift      | $T_1$ |                                |
| 算术右移       | $T_2$ | $L(AC) \rightarrow R(AC)$      |
|            | $T_2$ | $AC_0 \rightarrow AC_0$        |

|              |       |  |
|--------------|-------|--|
| ④ CSL        | $T_0$ |  |
| cyclic shift | $T_1$ |  |
| 循环左移         | $T_2$ | $R(AC) \rightarrow L(AC), AC_0 \rightarrow AC_n$ |
| ⑤ STP        | $T_0$ |  |
| stop         | $T_1$ |  |
| 停机           | $T_2$ | $0 \rightarrow G$                                |

## (2) 访存指令

|         |       |   |
|---------|-------|---|
| ⑥ ADD X | $T_0$ | $Ad(IR) \rightarrow MAR, 1 \rightarrow R$ |
| 加法指令    | $T_1$ | $M(MAR) \rightarrow MDR$                  |
| 隐含ACC   | $T_2$ | $(AC) + (MDR) \rightarrow AC$             |
| ⑦ STA X | $T_0$ | $Ad(IR) \rightarrow MAR, 1 \rightarrow W$ |
| 存数指令    | $T_1$ | $AC \rightarrow MDR$                      |
| 隐含ACC   | $T_2$ | $MDR \rightarrow M(MAR)$                  |
| ⑧ LDA X | $T_0$ | $Ad(IR) \rightarrow MAR, 1 \rightarrow R$ |
| 取数指令    | $T_1$ | $M(MAR) \rightarrow MDR$                  |
| 隐含ACC   | $T_2$ | $MDR \rightarrow AC$                      |

## (3) 转移指令

|            |       |   |
|------------|-------|---|
| ⑨ JMP X    | $T_0$ |   |
| jump       | $T_1$ |   |
| 无条件转移      | $T_2$ | $Ad(IR) \rightarrow PC$                                       |
| ⑩ BAN X    | $T_0$ |   |
| Branch ACC | $T_1$ |   |
| Negative   | $T_2$ | $A_0 \cdot Ad(IR) + \overline{A_0} \cdot (PC) \rightarrow PC$ |
| 条件转移       |       |   |

王道考研/CSKAOYAN.COM

13

## 安排微操作时序-中断周期

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

设计步骤:

1. 分析每个阶段的微操作序列
2. 选择CPU的控制方式
3. 安排微操作时序
4. 电路设计

 $T_0$  (1)  $a \rightarrow MAR$  $T_0$  (2)  $1 \rightarrow W$ 

存储器空闲即可

 $T_0$  (3)  $0 \rightarrow EINT$ 

硬件关中断

 $T_1$  (4)  $(PC) \rightarrow MDR$ 

内部数据通路空闲即可

 $T_2$  (5)  $MDR \rightarrow M(MAR)$ 

在(3)之后

 $T_2$  (6) 向量地址  $\rightarrow PC$ 

在(3)之后

这些操作由中断隐指令完成

注: 中断隐指令不是一条指令, 而是指一条指令的中断周期由硬件完成的一系列操作

中断周期的三个任务:

1. 保存断点
2. 形成中断服务程序的入口地址
3. 关中断

王道考研/CSKAOYAN.COM

14

## 组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表
2. 写出微操作命令的最简表达式
3. 画出逻辑图

列出在取指、间址、执行、中断周期，T<sub>0</sub>、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 节拍内有可能用到的所有微操作

王道考研/CSKAOYAN.COM

15

## 组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

非访存指令

| 工作周期标记   | 节拍             | 状态条件      | 微操作命令信号       | CLA | COM | SHR | CSL | STP | ADD | STA | LDA | JMP | BAN |
|----------|----------------|-----------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FE<br>取指 | T <sub>0</sub> |           | PC → MAR      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          |                |           | 1 → R         | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          | T <sub>1</sub> |           | M(MAR) → MDR  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          |                |           | (PC) + 1 → PC | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          | T <sub>2</sub> |           | MDR → IR      | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          |                |           | OP(IR) → ID   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          |                | I         | 1 → IND       |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|          |                | $\bar{I}$ | 1 → EX        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |

间址特征

王道考研/CSKAOYAN.COM

16



### 组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

非访存指令

| 工作周期标记    | 节拍             | 状态条件             | 微操作命令信号      | CLA | COM | SHR | CSL | STP | ADD | STA | LDA | JMP | BAN |
|-----------|----------------|------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| IND<br>间址 | T <sub>0</sub> |                  | Ad(IR) → MAR |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           |                |                  | 1 → R        |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           | T <sub>1</sub> |                  | M(MAR) → MDR |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           | T <sub>2</sub> | $\overline{IND}$ | MDR → Ad(IR) |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           |                |                  | 1 → EX       |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |

间址周期标志

王道考研/CSKAOYAN.COM

17

### 组合逻辑设计

设计步骤:

1. 列出操作时间表

2. 写出微操作命令的最简表达式

| 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 | BAN |
|----------|----------------|------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| EX<br>执行 | T <sub>0</sub> |      | Ad(IR) → MAR                   |     |     | 1   | 1   | 1   |     |     |
|          |                |      | 1 → R                          |     |     | 1   |     | 1   |     |     |
|          |                |      | 1 → W                          |     |     |     | 1   |     |     |     |
|          | T <sub>1</sub> |      | M(MAR) → MDR                   |     |     | 1   |     | 1   |     |     |
|          |                |      | AC → MDR                       |     |     |     | 1   |     |     |     |
|          | T <sub>2</sub> |      | (AC) + (MDR) → AC              |     |     | 1   |     |     |     |     |
|          |                |      | MDR → M(MAR)                   |     |     |     | 1   |     |     |     |
|          |                |      | MDR → AC                       |     |     |     |     | 1   |     |     |
|          |                |      | 0 → AC                         | 1   |     |     |     |     |     |     |
|          |                |      | $\overline{AC} \rightarrow AC$ |     | 1   |     |     |     |     |     |
|          |                |      | Ad(IR) → PC                    |     |     |     |     |     | 1   |     |
|          | A <sub>0</sub> |      | Ad(IR) → PC                    |     |     |     |     |     |     | 1   |

王道考研/CSKAOYAN.COM

18

## 微操作信号综合

| 工作周期标记    | 节拍             | 状态条件     | 微操作命令信号      | CLA | COM | SHR | CSL | STP | ADD | STA | LDA | JMP | BAN |
|-----------|----------------|----------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FE<br>取指  | T <sub>0</sub> |          | PC → MAR     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           |                |          | 1 → R        | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           | T <sub>1</sub> |          | M(MAR) → MDR | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| IND<br>间址 | T <sub>1</sub> |          | M(MAR) → MDR |     |     |     |     |     | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|           |                | EX<br>执行 | 1 → W        |     |     |     |     |     |     | 1   |     |     |     |
|           | T <sub>1</sub> |          | M(MAR) → MDR |     |     |     |     |     | 1   |     | 1   |     |     |

M(MAR) → MDR微操作命令的逻辑表达式:

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

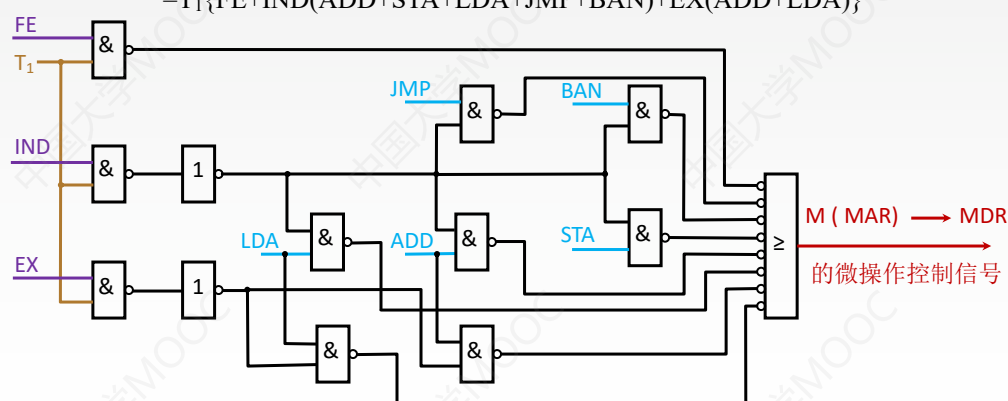
王道考研/CSKAOYAN.COM

19

## 画出逻辑图

M(MAR) → MDR微操作命令的逻辑表达式:

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



根据指令操作码、目前的机器周期、节拍信号、机器状态条件，即可确定  
现在这个节拍下应该发出哪些“微命令”

王道考研/CSKAOYAN.COM

20

## 硬布线控制器的设计

设计步骤：

1. 分析每个阶段的微操作序列
2. 选择CPU的控制方式
3. 安排微操作时序
4. 电路设计
  - (1) 列出操作时间表
  - (2) 写出微操作命令的最简表达式
  - (3) 画出逻辑图

硬布线控制器的特点：

指令越多，设计和实现就越复杂，因此一般用于 RISC（精简指令集系统）

如果扩充一条新的指令，则控制器的设计就需要大改，因此扩充指令较困难。

由于使用纯硬件实现控制，因此执行速度很快。微操作控制信号由组合逻辑电路即时产生。

王道考研/CSKAOYAN.COM

21



@王道论坛



@王道计算机考研备考



@王道咸鱼老师-计算机考研

@王道楼楼老师-计算机考研



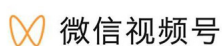
@王道计算机考研



等撩



@王道计算机考研



@王道计算机考研



@王道在线

22