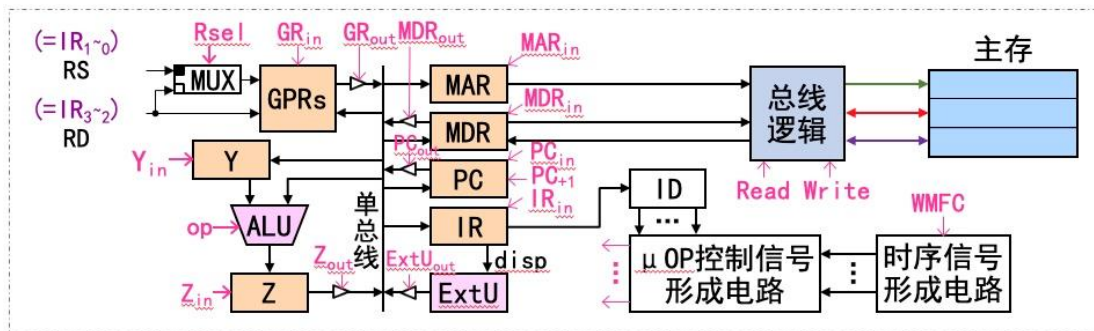


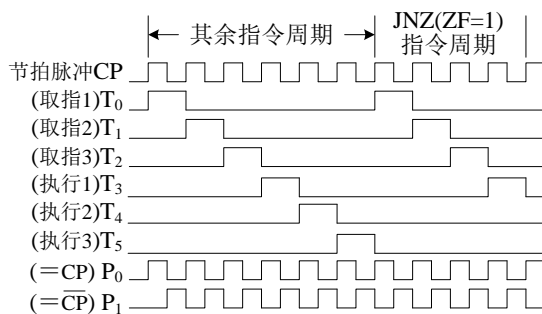
## 第六部分 中央处理器

1. 对单总线结构的 Demo 系统 5 条指令 (LD、ST、SUB、单字长 JNZ、MOV)，组织其执行的时序系统，采用“节拍-工作脉冲”两级时序， $\mu$ OP 采用同步控制方式。

(1) 画出时序系统的各种时序信号序列； (2) 设计时序信号形成电路。



答：为了便于实现，时序信号用来表示时间次序，共需要 6 个节拍信号，时序信号序列共有如下 2 种：

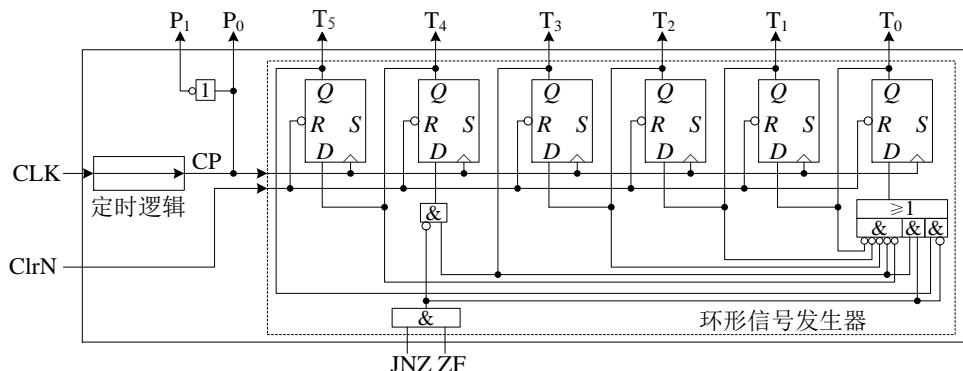


由图可见，6 个节拍的下一状态产生函数如下：

$$T_1 = T_0, T_2 = T_1, T_3 = T_2, T_4 = \overline{JNZ} \cdot \overline{ZF} \cdot T_3, T_5 = T_4,$$

$$T_0 = \overline{JNZ} \cdot \overline{ZF} \cdot T_5 + (JNZ \cdot ZF) \cdot T_3 + \overline{T_0} \cdot \overline{T_1} \cdot \overline{T_2} \cdot \overline{T_3} \cdot \overline{T_4}.$$

时序信号形成电路中，同步定时方式的定时逻辑为  $CP = CLK$ ，环形信号发生器保存当前状态、实现下一状态产生函数，总体电路如下：



2. 基于上题所设计的时序系统，设计支持这 5 条指令执行的  $\mu$ OP 控制信号形成电路（各微命令的逻辑表达式）。

答：整合 5 条指令执行的  $\mu$ OPCmd 序列，可形成状态转换图 ( $\leq 19$  种状态)，将每个状态打上时间戳，将每个状态中的每个  $\mu$ OPCmd (共 19 种) 填入下列  $\mu$ OPCmd 使用时间表。表中

All 表示对所有指令通用，JNZ0、JNZ1 分别表示 ZF=0 时、ZF=1 时的 JNZ 指令。

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
PC <sub>out</sub>	All			JNZ0 MOV		
PC <sub>in</sub>						JNZ0
PC <sub>+1</sub>		All			MOV	
IR <sub>in</sub>			All			
GR <sub>out</sub>				LD ST SUB	ST SUB	
Rsel				LD ST	SUB	
GR <sub>in</sub>						LD SUB MOV
ExtU <sub>out</sub>					JNZ0	
Y <sub>in</sub>				SUB JNZ0		
op					SUB(01) JNZ0(00)	
Z <sub>out</sub>						SUB JNZ0
Z <sub>in</sub>					SUB JNZ0	
MAR <sub>in</sub>	All			LD ST MOV		
MDR <sub>out</sub>			All			LD MOV
MDR <sub>in</sub>					ST	
Read		All			LD MOV	
Write						ST
WMFC		All			LD MOV	ST
End				JNZ1		LD ST SUB JNZ0 MOV

将上表按行汇总、逻辑化简，可得到各个  $\mu\text{OPcmd}$  的逻辑表达式。如：

$$\text{PC}_{\text{out}} = T_1 + T_4 \cdot (\text{JNZ} \cdot \overline{\text{ZF}} + \text{MOV}),$$

$$\text{PC}_{\text{in}} = T_6 \cdot (\text{JNZ} \cdot \overline{\text{ZF}}),$$

...

$$\text{End} = T_4 \cdot (\text{JNZ} \cdot \text{ZF}) + T_6 \cdot \overline{\text{JNZ} \cdot \text{ZF}}.$$

使用组合逻辑电路实现上述逻辑表达式，即可实现  $\mu\text{OP}$  控制信号形成电路（略）。

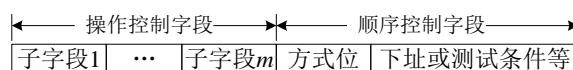
3. 某微程序控制器中，CS 容量为  $512 \times 40$  位，微指令采用水平型格式，顺序控制字段采用断定法（下址法+测试网络法）形成下条微指令地址，所有指令执行过程的状态转换图中有 4 种分支点。请回答下列问题：

- （1）请设计该微程序控制器的微指令格式。
- （2）该微程序控制器中至少有多少个微命令？说明理由。

答：CS 的地址为  $\lceil \log_2 512 \rceil = 9$  位。

（1）微指令格式的顺序控制字段中，方式位为  $\lceil \log_2(1+4) \rceil = 3$  位，下址为 9 位，通常测试网络中测试条件的位数  $<$  下址位数，故顺序控制字段为  $3+9$  共 12 位。

微指令格式的操作控制字段由  $m$  个子字段组成，共  $40-12=28$  位。微指令格式及顺序控制字段的格式如下图所示。



（2）操作控制字段有直接编码、字段直接编码、字段间接编码 3 种组织方式，直接编码方式支持的微命令最少（ $\leq 28$  个），故该微程序控制器中至少有 28 个微命令。

4. 简述中断处理的过程。中断源的判别方式有哪些？。

答：（1）①关中断，②保存断点和现场，③判别中断源、转向中断服务程序，④开中断，⑤执行中断服务程序，⑥退出中断。

(2) 中断源的判别方法包括：非向量方式和向量方式。

5. 计算机 M 的时钟频率为 2 GHz；指令集包含 A、B 两类指令，指令长度都为 2 个字节，指令执行时的 CPI 分别为 5 和 8。某程序 P 的大小为 2 MB，其中 40% 为 A 类指令，其余为 B 类指令。程序 P 执行时，10% 的 A 类指令和 20% 的 B 类指令分别执行了 20 次，其余指令各执行了 1 次。求程序 P 执行时的 CPU 时间及 CPI。

**答：**程序 P 中共包含  $2\text{MB}/2\text{B}=2^{20}$  条指令，其中，A 类指令为  $0.4 \times 2^{20}$  条，B 类指令为  $0.6 \times 2^{20}$  条。

P 执行时，A 类指令执行了  $0.4 \times 2^{20} \times (10\% \times 20 + 90\% \times 1) = 1.16 \times 2^{20}$  条，B 类指令执行了  $0.6 \times 2^{20} \times (20\% \times 20 + 80\% \times 1) = 2.88 \times 2^{20}$  条，共执行了  $1.16 \times 2^{20} + 2.88 \times 2^{20} = 4.04 \times 2^{20}$  条指令。

因此， $T_{\text{CPU}} = (1.16 \times 2^{20} \times 5 + 2.88 \times 2^{20} \times 8) / (2 \times 10^9) = 14.42 \times 2^{20} \times 10^{-9} \approx 15.12\text{ms}$ ；

$\text{CPI} = (1.16 \times 2^{20} \times 5 + 2.88 \times 2^{20} \times 8) / (4.04 \times 2^{20}) = 28.84 / 4.04 \approx 7.13$ 。

6. 若指令执行过程分为取指、译码、取数、执行、写结果 5 个阶段，各个阶段的操作时延分别为 10ns、5ns、10ns、8ns、7ns。将数据通路组织成流水线时，段间寄存器的时延为 2ns。请回答下列问题：

(1) 若采用串行方式执行 10000 条指令，共需要多少时间？

(2) 流水线的拍长应为多少？

(3) 若采用流水方式执行 10000 指令，流水线的吞吐率、加速比、效率各是多少？

**答：**(1) 每条指令的指令周期为  $10\text{ns} + 5\text{ns} + 10\text{ns} + 8\text{ns} + 7\text{ns} = 40\text{ns}$ ，执行 10000 条指令所需时间  $T_{\text{串行}} = 10000 \times 40\text{ns} = 0.4\text{ms}$ 。

(2) 流水线的拍长  $\Delta t = \max\{10\text{ns}, 5\text{ns}, 10\text{ns}, 8\text{ns}, 7\text{ns}\} + 2\text{ns} = 12\text{ns}$ 。

(3)  $T_{\text{流水}} = 5\Delta t + (10000 - 1)\Delta t = 10004 \times 12\text{ns}$ ，

流水线的吞吐率  $T_p = 10000 / T_{\text{流水}} = 10000 / (10004 \times 12\text{ns}) = 83.3 \text{ MIPS}$ ，

流水线的加速比  $S = T_{\text{串行}} / T_{\text{流水}} = 0.4\text{ms} / (10004 \times 12\text{ns}) = 3.33$ ，

流水线的效率  $E = [(10000 \times 5 \times 12\text{ns}) / 5] / (10004 \times 12\text{ns}) \approx 1$ 。