

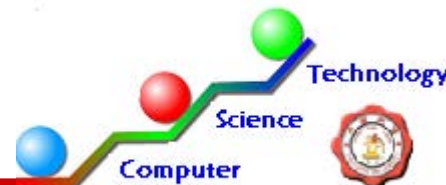
# 计算机组成原理第六章题解

# 第六章 6.1



- ❑ 6.1 请分析CPU内部采用分散互连结构和单总线以及多总线结构的优缺点。
- ❑ 答：
- ❑ 分散互连结构是在需要进行数据传输的部件间设置专用通路。该结构的优点是部件间不存在传输通路的竞争问题，所以指令执行速度快。
- ❑ 单总线结构是将各部件都连接在单一的总线上。其优势是CPU结构紧凑，但由于部件间争用总线造成指令执行速度慢。
- ❑ 双总线结构是在单总线结构的基础上增加了一条总线，使得ALU的两个输入可以分别来自两条线总线。双总线结构相对于单总线结构来说，通过增加一条总线来分担数据传输流量，使得指令执行速度得以提高。
- ❑ 三总线结构是在双总线结构的基础上再增加一条总线，使得ALU的两个输入可以分别来自两条线总线，且ALU的输出连接到第三条总线上。总之，多总线结构通过增加硬件开销，换取指令执行速度。

# 第六章 6.2



6.2、设数据总线上接有A,B,C,D四个寄存器，要求选用合适的74系列芯片，完成下列逻辑设计：

(1) 设计一个电路，在**同一时间**实现 $A \leftarrow D$ ,  $B \leftarrow D$ 和 $C \leftarrow D$ 寄存器间的传送；

(2) 设计一个电路，实现下列操作：

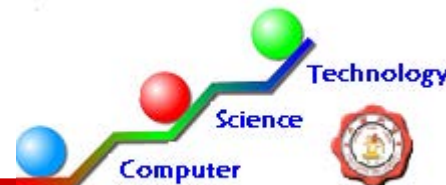
**T0时间**完成总线 $\leftarrow D$ ；

**T1时间**完成 $A \leftarrow$ 总线；

**T2时间**完成总线 $\leftarrow A$ ；

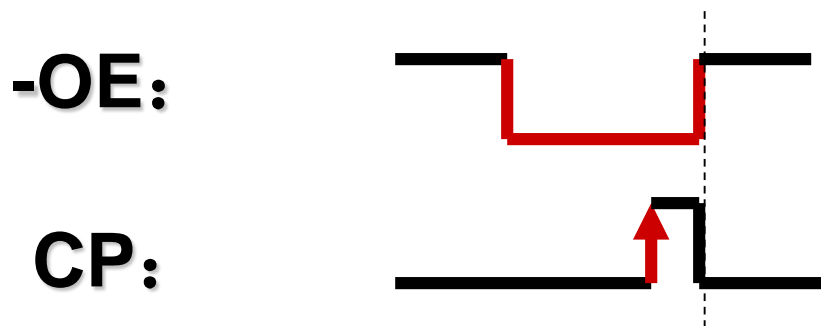
**T3时间**完成 $B \leftarrow$ 总线。

## 第六章 6.2



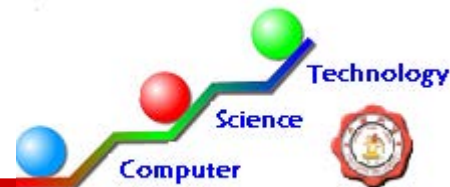
解:

(1) 采用三态输出的D型寄存器74LS374做A、B、C、D四个寄存器，其输出可直接挂总线。A、B、C三个寄存器的输入采用同一脉冲打入。注意-OE为电平控制，与打入脉冲间的时间配合关系为：



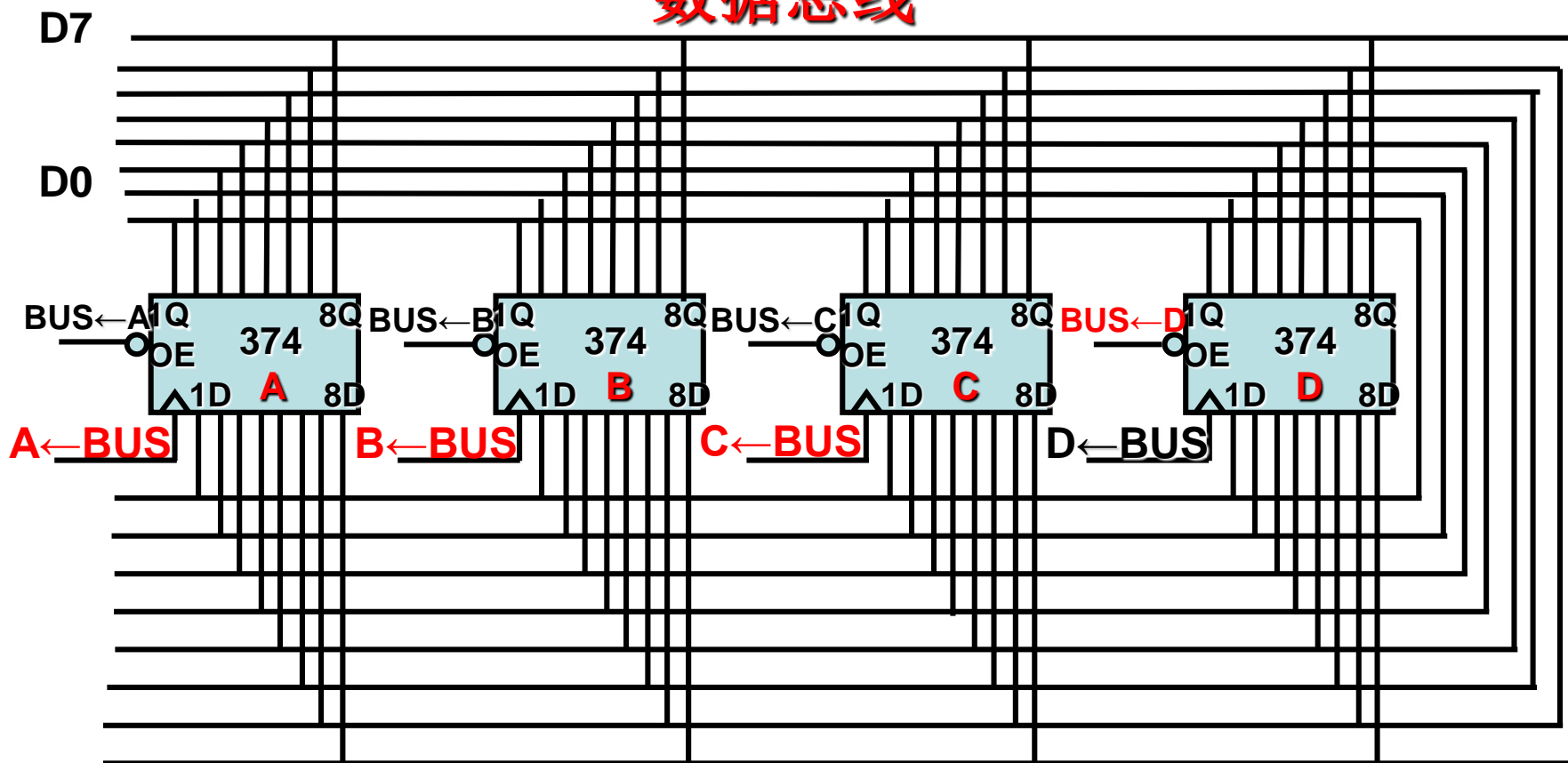
**令：**  $A \leftarrow \text{BUS} = B \leftarrow \text{BUS} = C \leftarrow \text{BUS} = \text{CP};$   
 $\text{BUS} \leftarrow D = \text{-OE};$   
当CP前沿到来时，将  $A、B、C \leftarrow D。$

# 第六章 6.2

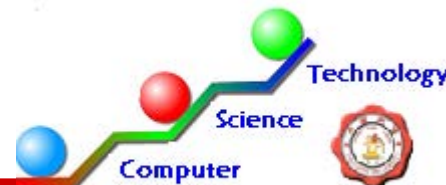


现以8位总线为例，设计此电路，如下图示：

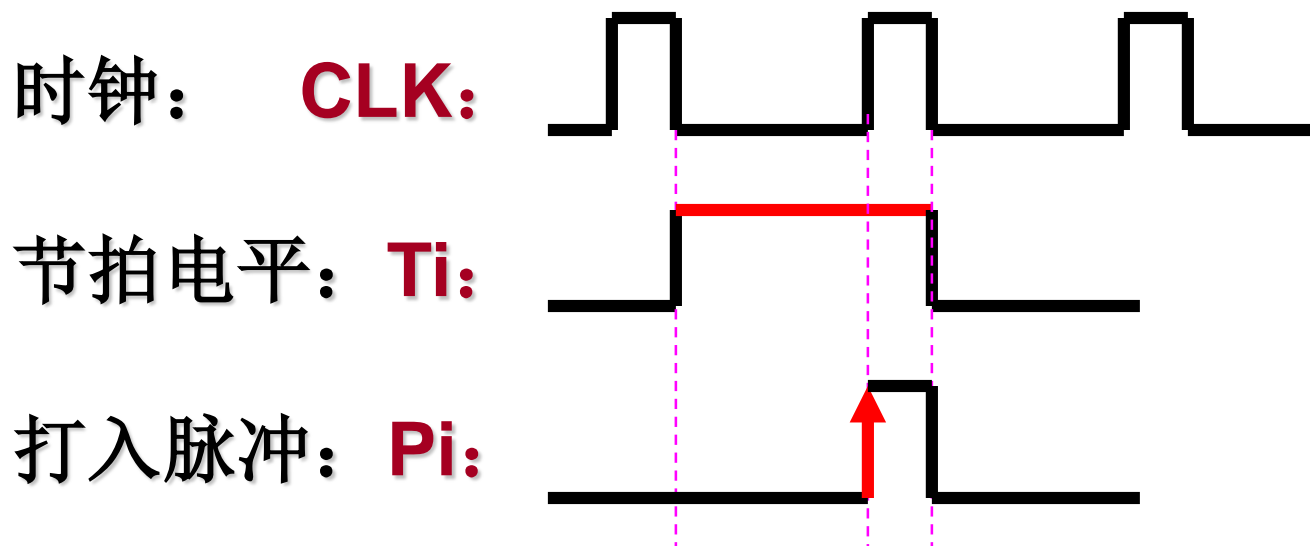
## 数据总线



## 第六章 6.2

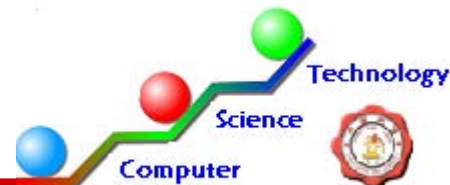


(2) 寄存器设置同(1)，由于本题中发送、接收不在同一节拍，因此总线需设**锁存器缓冲**，锁存器采用**74LS373**（电平使能输入）。节拍、脉冲配合关系如下：

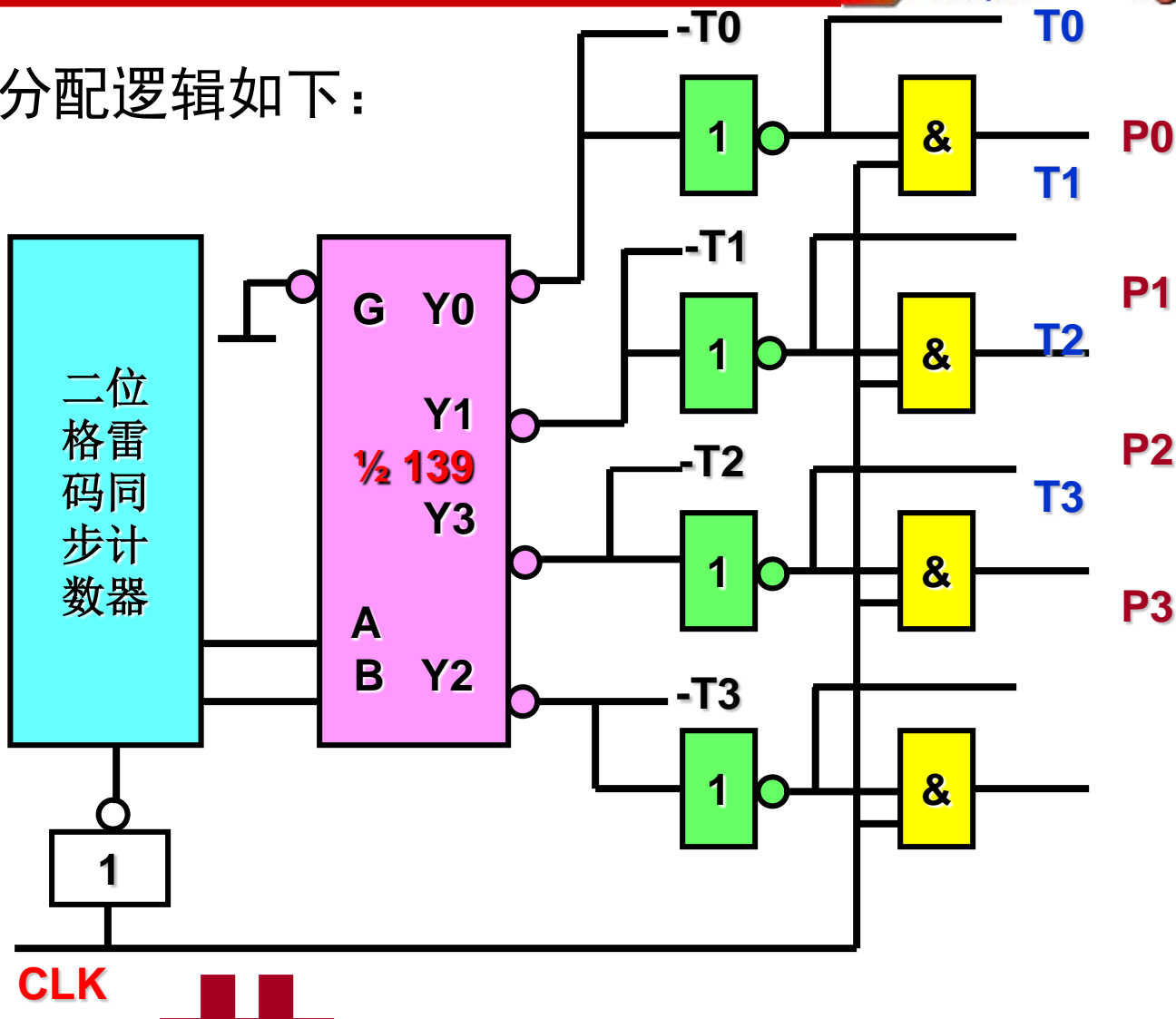


图中，脉冲**包**在电平中，为了**留有较多的**传送时间，脉冲设置在靠近电平**后沿处**。

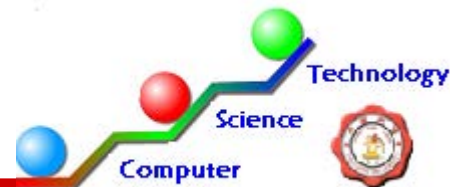
# 第六章 6.2



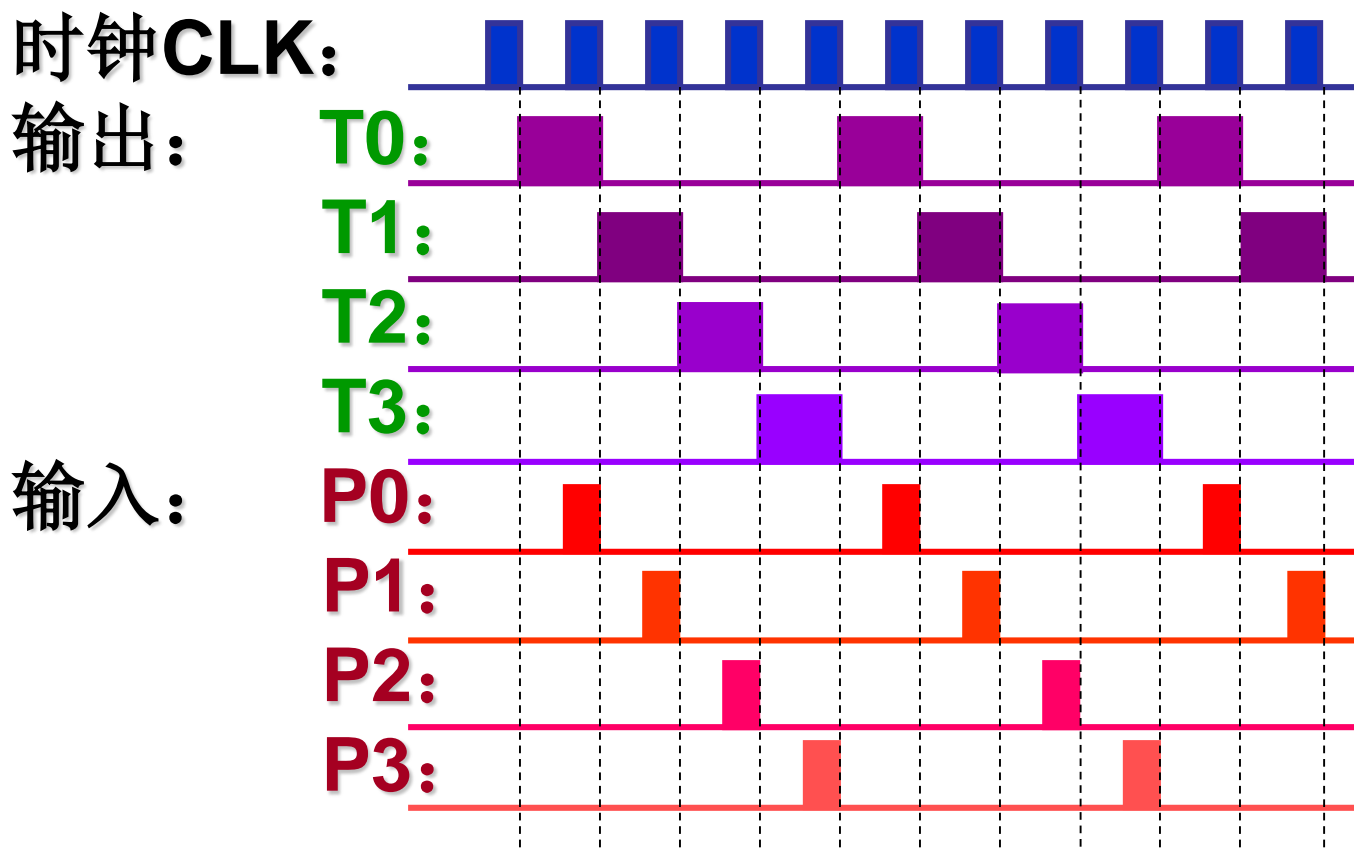
节拍、脉冲分配逻辑如下：



# 第六章 6.2

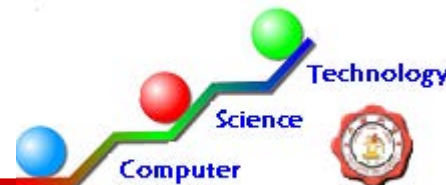


节拍、脉冲时序图如下：

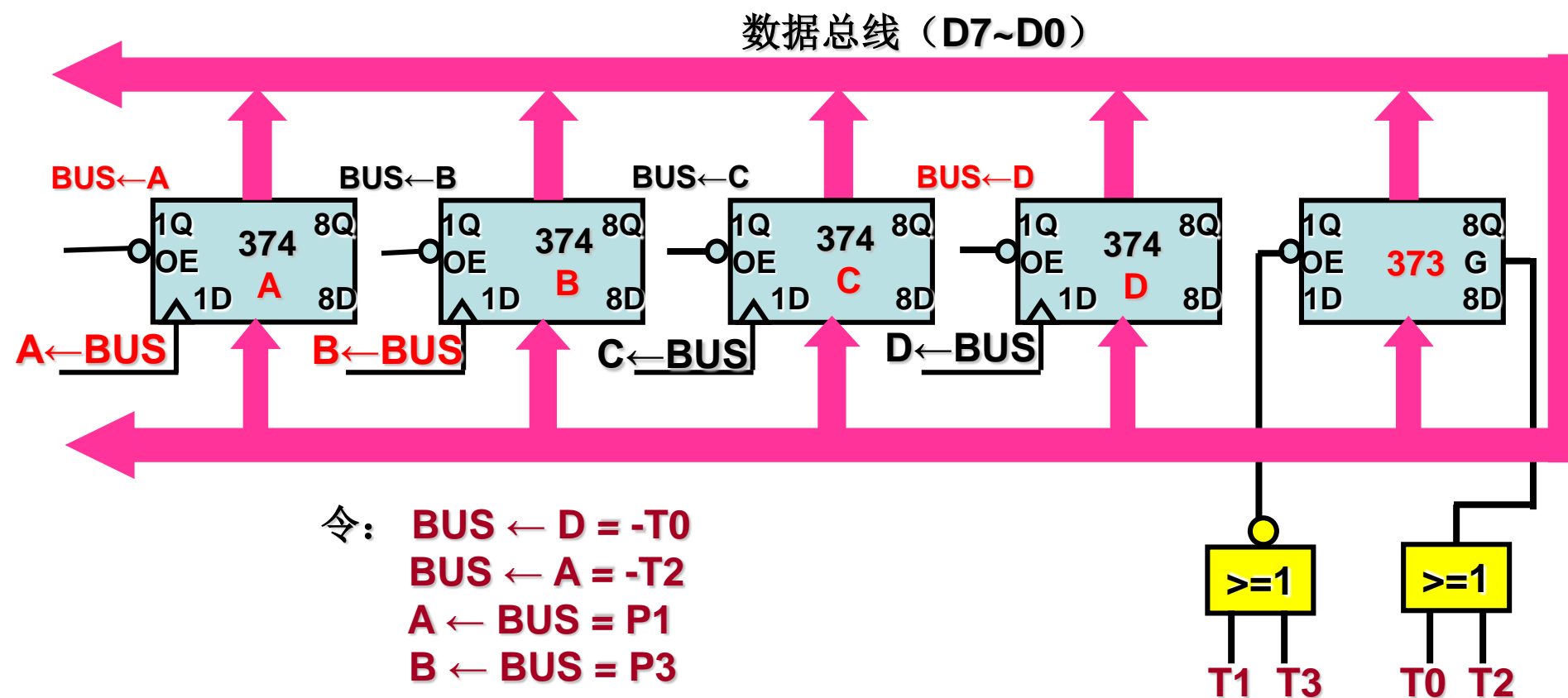




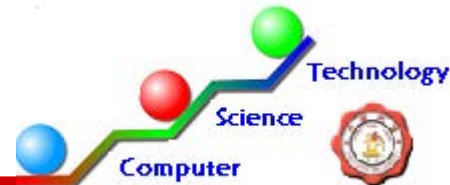
# 第六章 6.2



以8位总线为例，电路设计如下：（图中，A、B、C、D四个寄存器与数据总线的连接方法同上。）

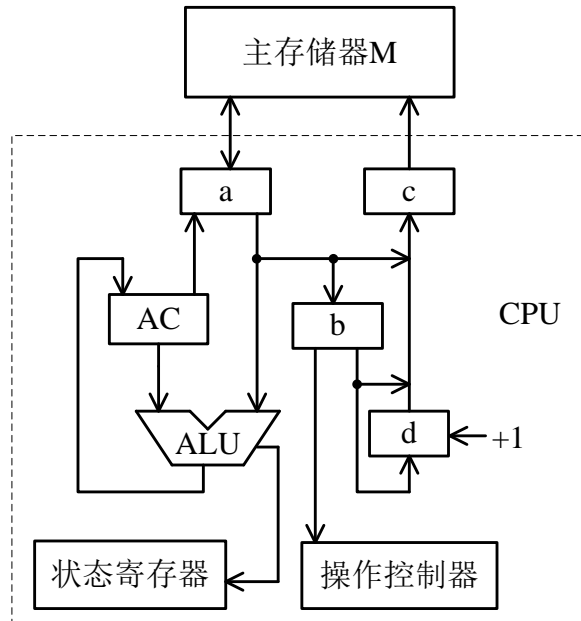


## 第六章 6.3



□ 6.3 若某CPU的数据通路结构如下图所示，其中有一个累加寄存器AC，一个状态条件寄存器和其它四个寄存器，各部分之间连接线的箭头表示信息传送方向。要求：

- (1) 写出图中a、b、c、d四个寄存器的名称；
- (2) 用寄存器传输语言描述指令从主存取到控制器的操作过程；
- (3) 设计一条加法指令，并用寄存器传输语言描述加法指令执行阶段的操作过程。



## 第六章 6.3



□ 题解:

□ (1) a —— 存储器数据缓冲寄存器MDR;

b —— 指令寄存器IR;

c —— 存储器地址寄存器MAR;

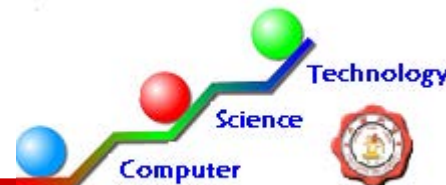
d —— 程序计数器PC;

□ (2)  $MAR \leftarrow (PC);$

$MDR \leftarrow M[MAR], PC \leftarrow (PC)+1$

$IR \leftarrow (MDR), \text{操作控制器} \leftarrow (IR)$

## 第六章 6.3



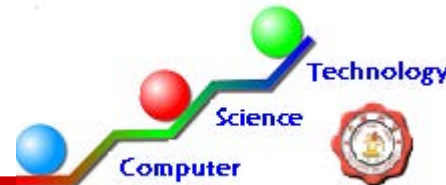
- (3) 假设加法指令为：add x，其中，x为主存单元地址。  
该指令的功能是将累加器AC的值与存储单元内容相加结果保存在累加器AC。

$MAR \leftarrow x;$

$MDR \leftarrow M[MAR]$

$ALU \leftarrow (MDR), ALU \leftarrow (AC), AC \leftarrow ALU$

## 第六章 6.4



□ 6.4 欲在6.3.4给出的目标指令集中增加一条立即数加法指令`addi rt,rs,imm16`，若CPU采用单周期数据通路设计方案，请问在6.5.1中给出的图6-19数据通路能否支持该指令的执行？若不能，请问如何修改？并用指令周期流程图描述该指令的完整执行过程。

□ 题解：

○ 支持。

○ 指令周期流程见下页。

## 第六章 6.4



用RTL描述指令周期流程如下：

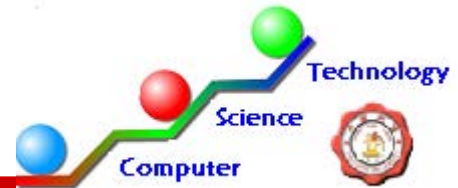
取指阶段：

- (1)  $\text{addr(IM)} \leftarrow (\text{PC})$ ;
- (2)  $\text{read(IM)}$ ;
- (3)  $\text{Add1\_B} \leftarrow (\text{PC}), (\text{PC})+4$ ;

执行阶段：

- (1)  $\text{R\_Reg1(RF)} \leftarrow \text{Inst [25-21]}, \text{ALU\_A} \leftarrow (\text{R\_data1})$ ;
- (2)  $\text{W\_Reg(RF)} \leftarrow \text{Inst [20-16]}$ ; **RegDst=0**
- (3)  $\text{SigExt16/32} \leftarrow \text{Inst [15-0]}, \text{ALU\_B} \leftarrow \text{SigExt16/32}$ ; **ALUSrc=1**
- (4) **ALU操作 (add) ; ALUOp=00, ALUCtrl=100**
- (5)  $\text{W\_data(RF)} \leftarrow \text{ALU\_C}, \text{PC} \leftarrow (\text{PC})+4$ ;  
**Branch=0, Jump=0, MemtoReg=0, RegWr=1, CLK  $\uparrow$**

## 第六章 6.5



□ 6.5 在6.6.3中给出的图6-24多周期数据通路中，是否可以不要指令寄存器IR，而直接对存储器数据寄存器MDR中的信息进行译码？为什么？

□ 答：

○ 不可以。

○ 因为若不设置IR的话，从存储器读出的指令和数据都暂存于MDR。Load指令在第四个时钟周期读出的数据将覆盖掉指令，导致指令后续阶段无法按照指令要求执行相应操作。

# 第六章 6.6

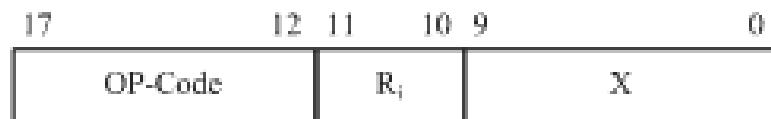


□ 6.6下图所示的CPU逻辑框图中，有两条独立的总线和两个独立的存储器。已知指令存储器IM最大容量为16384字（字长18位），数据存储器DM最大容量是65536字（字长16位）。各寄存器均有“打入”（Rin）和“送出”（Rout）控制命令，但图中未标出。

（1）指出下列各寄存器的位数：

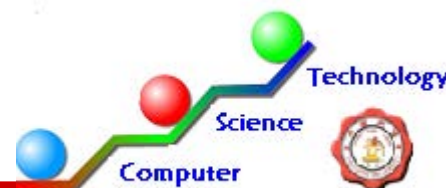
程序计数器PC，指令寄存器IR，累加器 $AC_0$ 和 $AC_1$ ，通用寄存器 $R_0 \sim R_3$ ，指令存储器地址寄存器IAR，指令存储器数据寄存器IDR，数据存储器地址寄存器DAR，数据存储器数据寄存器DDR；

（2）设该CPU的指令格式为：



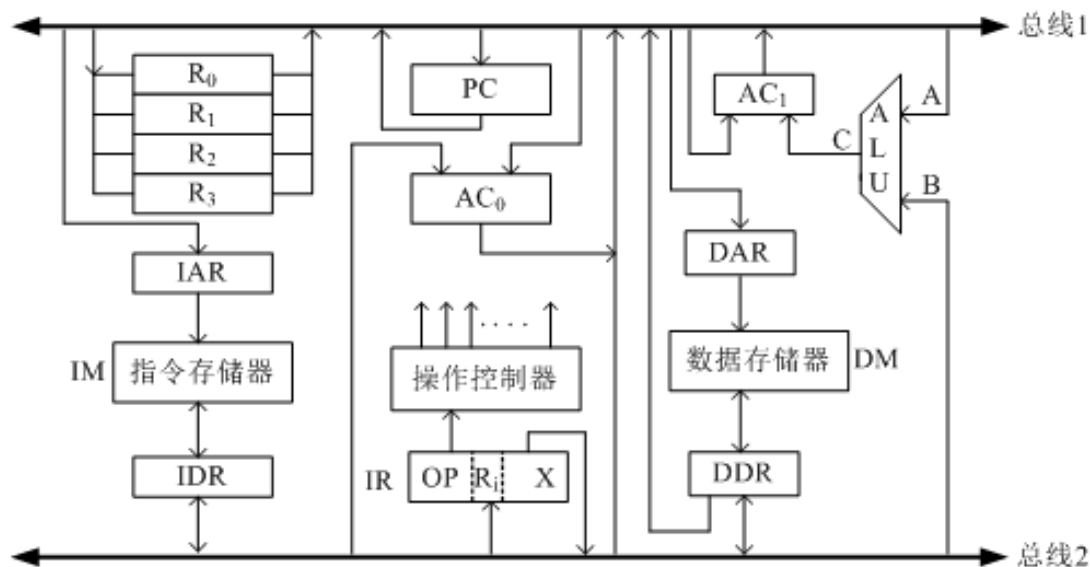


# 第六章 6.6

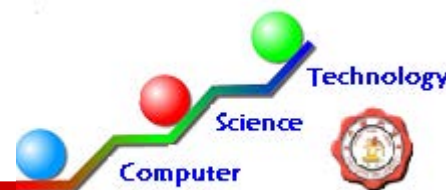


加法指令可写为“**ADD X (R<sub>i</sub>)**”，其功能是：

**$AC_1 \leftarrow (AC_0) + ((R_i) + X)$** ，其中  **$((R_i) + X)$**  部分通过寻址方式指向数据存储器，用指令周期流程描述**ADD**指令从取指令开始到执行结束的操作过程，并标明完成具体操作所需要的微操作控制信号。



# 第六章 6.6



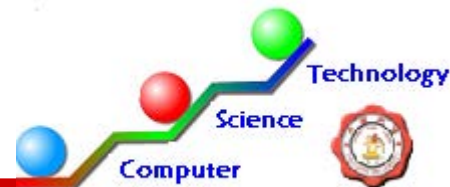
□ 题解:

(1)  $PC = IAR = 14\text{位}$ ;  $IR = IDR = 18\text{位}$ ;

$AC_0 = AC_1 = R_0 \sim R_3 = DDR = DAR = 16\text{位}$

(2) 接下页

# 第六章 6.6



取指令阶段：

- (1)  $IAR \leftarrow (PC);$        $PC_{out}, IAR_{in}$
- (2)  $IDR \leftarrow IM[IAR];$      $IM_{读}, IDR_{in}$   
     $PC \leftarrow (PC) + 1;$      $PC+1, PC_{in}$
- (3)  $IR \leftarrow (IDR);$        $IDR_{out}, IR_{in}$

指令执行阶段：

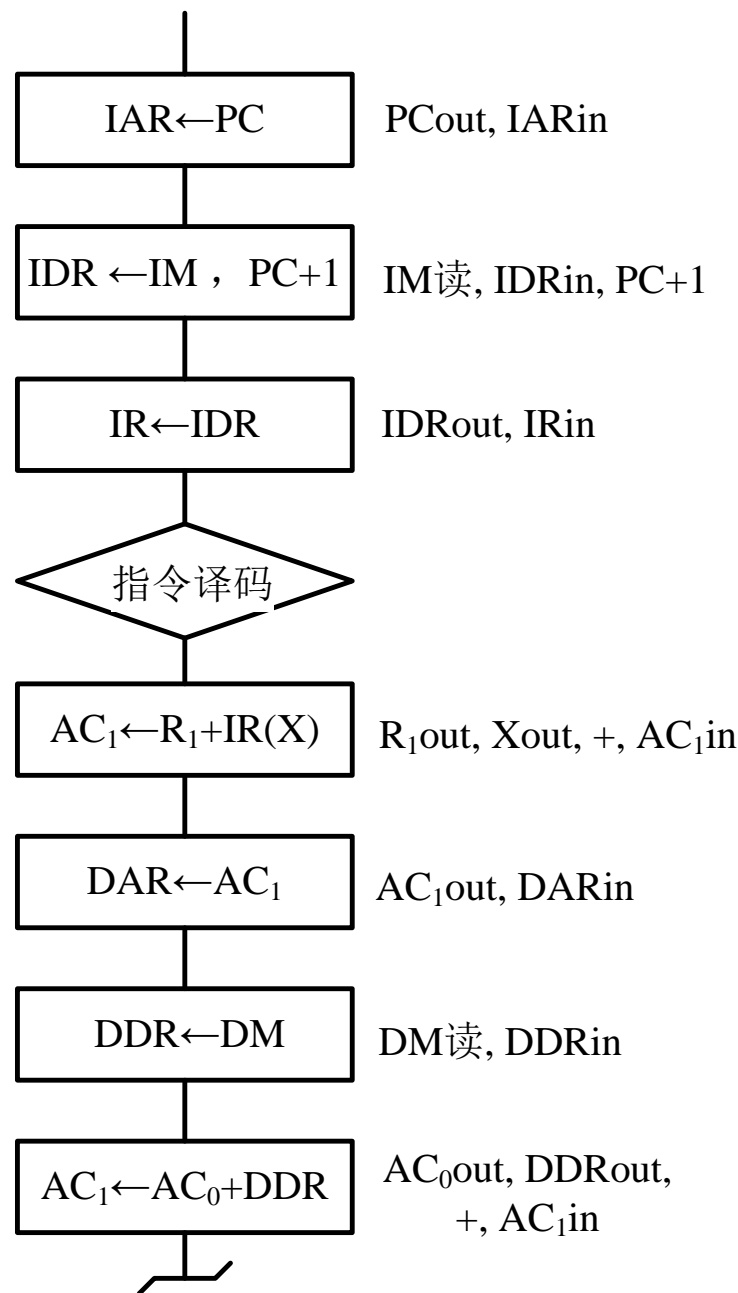
- (1)  $ALU\_A \leftarrow (R_i), ALU\_B \leftarrow (IR)X;$      $Ri_{out}, (IR)X_{out}, Add$   
     $AC1 \leftarrow ALU\_C;$                              $AC_1_{in}$
- (2)  $DAR \leftarrow (AC1);$                          $AC_1_{out}, DAR_{in}$
- (3)  $DDR \leftarrow DM[DAR];$                     $DM_{读}, DDR_{in}$
- (4)  $ALU\_A \leftarrow (AC0), ALU\_B \leftarrow (DDR);$      $AC_0_{out}, DDR_{out}, Add$   
     $AC1 \leftarrow (ALU\_C);$                          $AC_1_{in}$

注：分号左边为微操作，分号右边为所需微命令（微操作控制信号）

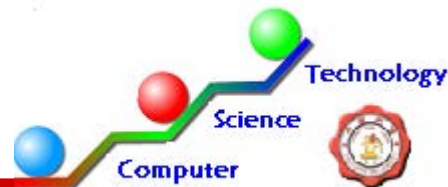
# 第六章 6.6

## 解法2:

用指令周期流程图描述。  
左边为指令周期流程图，  
右边为所需微命令信号序列。



## 第六章 6.7



□ 6.7 某CPU的主频为4MHz，各类指令的平均执行时间和使用频度如下表所示。

指令类别	存取	加、减、比较、转移	乘除	其它
平均指令执行时间	0.6 $\mu$ s	0.8 $\mu$ s	10 $\mu$ s	1.4 $\mu$ s
使用频度	35%	50%	5%	10%

- (1) 试计算该CPU的速度（单位用MIPS表示）；
- (2) 若上述CPU主频提高为6MHz，则该CPU的速度又为多少？

## 第六章 6.7



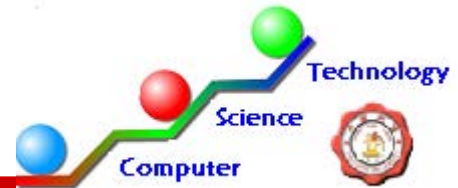
□ 题解:

$$(1) \text{ 平均指令执行时间} = 0.6 \times 35\% + 0.8 \times 50\% + 10 \times 5\% + 1.4 \times 10\% = 1.25 \mu\text{s}$$

$$\text{CPU速度} = 1/1.25\mu\text{s} = 0.8\text{MIPS}$$

$$(2) 0.8 \times (6/4) = 1.2\text{MIPS}$$

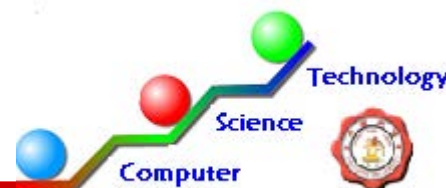
## 第六章 6.8



□ 6.8 欲在6.6.1给出的图6-24多周期数据通路上执行一条类似IA-32的加法指令“ADD AX, BX(100)”，该指令的功能是将BX内容加上100的值作为地址读取存储器，再将AX的内容与存储器单元内容相加，结果送AX。  
要求：

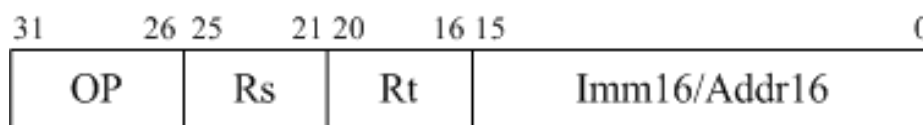
- (1) 按照MIPS 32指令格式，设计该加法指令的格式。
- (2) 为了实现该加法指令，请说明如何修改图6-24给出数据通路。
- (3) 用指令周期流程图描述该加法指令的完整执行过程。

# 第六章 6.8



□ 解：

(1) 可以借用MIPS 32 I-型指令格式：

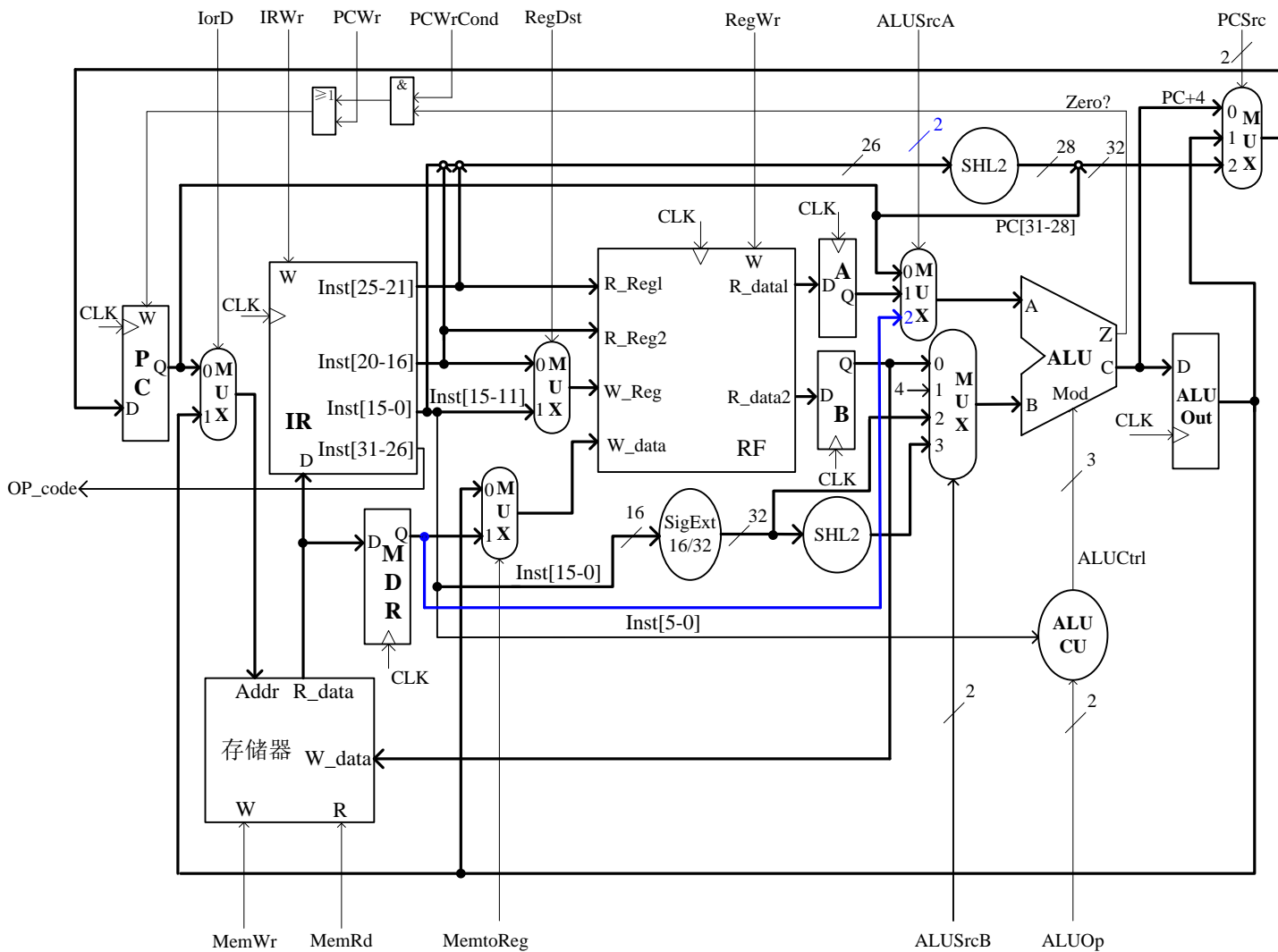


(2) 修改后的数据通路图如下页：(蓝色部分)

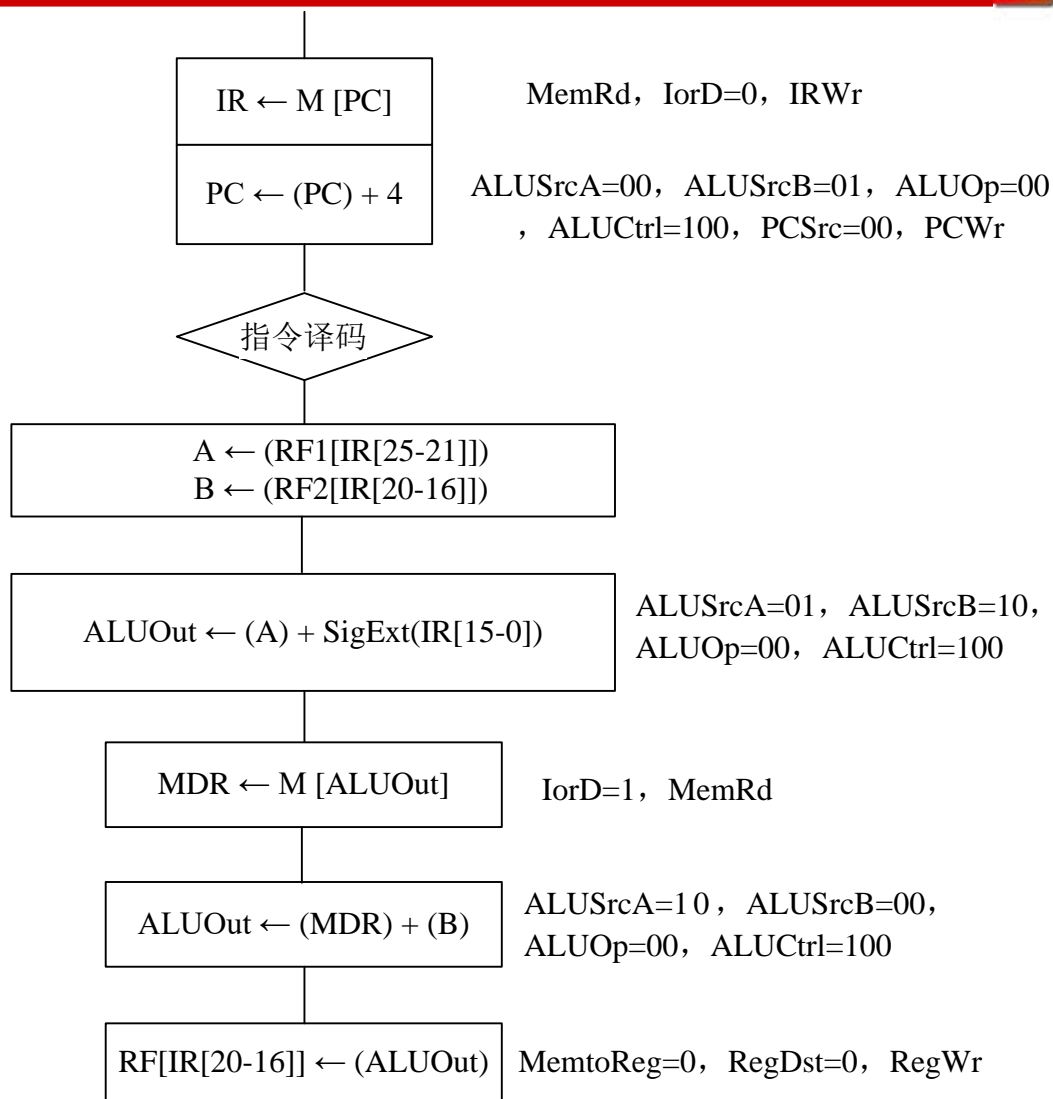
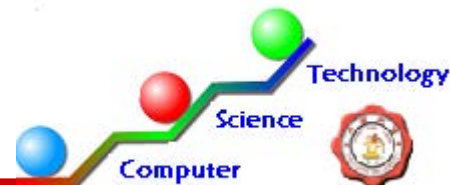
(3) 指令周期流程图如下下页：



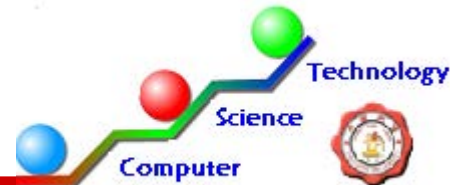
# 第六章 6.8



# 第六章 6.8

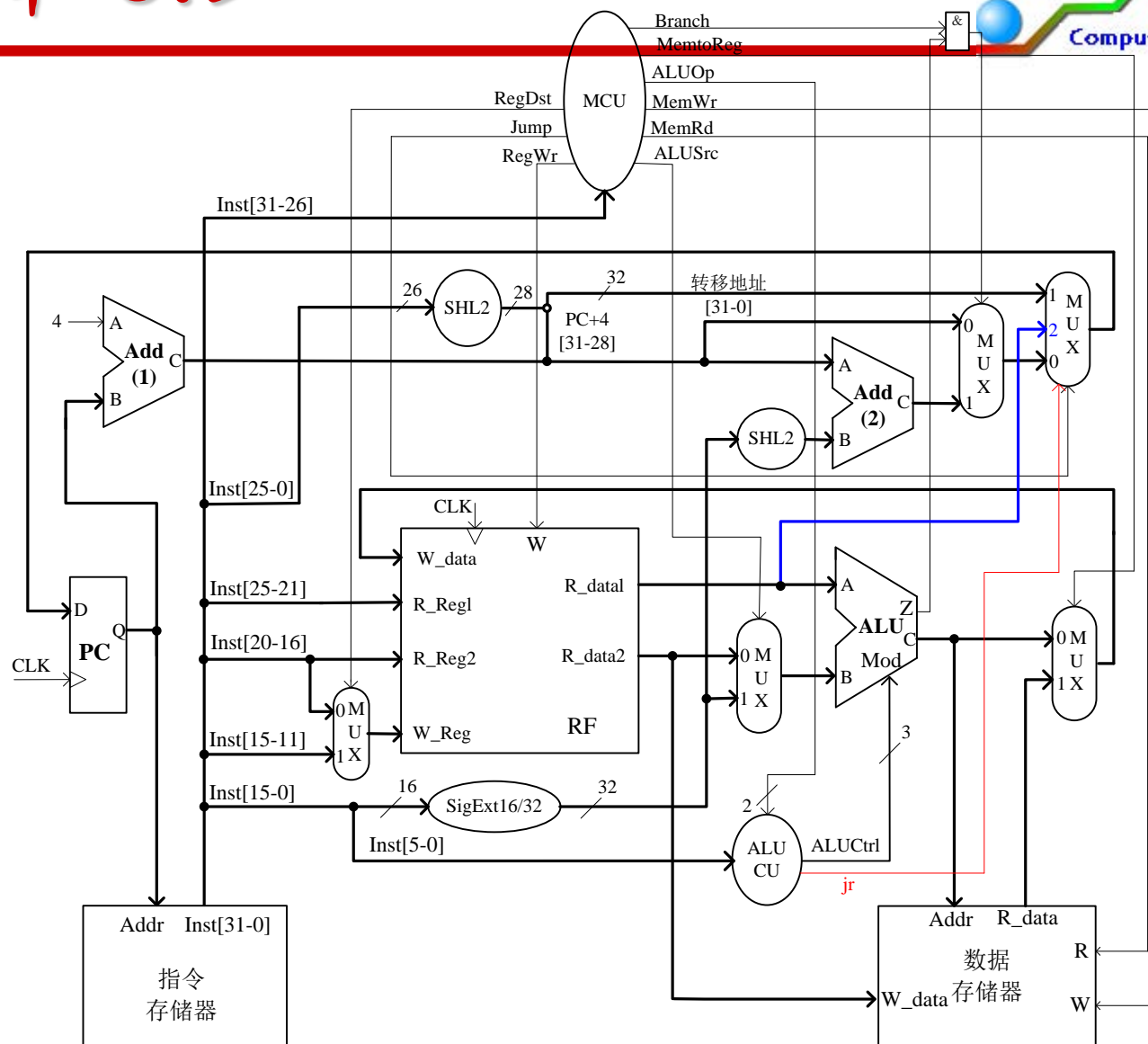


## 第六章 6.9

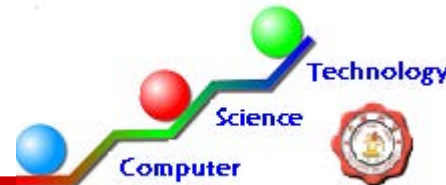


- 6.9 欲给本章描述的单周期数据通路加入 jr Rs指令（其功能是按照寄存器 Rs 内容转移。指令格式属于R-型，其中Func字段为“001000”），请在图6-19给出的单周期数据通路加入必要的数据通路和控制信号。
- 解：修改后的单周期数据通路如下页：(彩色部分)  
ALUCU输出增加了一个控制信号jr,若ALUOP=00, Func=001000时, jr=1; 当jr=1, Jump=0时, 按照读出寄存器的内容转移。

# 第六章 6.9



## 第六章 6.10



□ 6.10 考虑一个恒0错误（某个控制信号的值始终保持为0），对图6-19的单周期数据通路的影响。分别考虑当RegWr、ALUOp、Branch、MemRd和MemWr信号发生恒0错误时，在6.3.4给出的目标指令中，哪些指令仍能正常工作？为什么？

□ 解

**RegWr恒0时**，sw,beq,j指令仍能正常工作。因为这3条指令不涉及寄存器写操作。

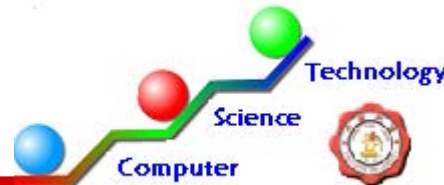
**ALUOp恒0时**，lw,sw,add指令仍能正常工作。执行lw,sw指令时ALUOp=00；执行add指令时要求ALUCtrl=100，而ALUOp=00时恰好ALUCtrl=100。

**Branch恒0时**，除了beq之外其它指令都仍能正常工作。

**MemRd恒0时**，除了lw之外其它指令都仍能正常工作。

**MemWr恒0时**，除了sw之外其它指令都仍能正常工作。

## 第六章 6.11



- 6.11 若想在6.3.4中给出的目标指令集中增加一条lw指令的变形指令：l\_inc，该指令的功能相当于下面2条MIPS 32指令，即从存储器读取数据后，将存储单元地址自增1。请在图6-19的单周期数据通路加入必要的数据通路和控制信号。

lw Rt, l(Rs)  
addi Rs, Rs, 1

- 解：要实现这条指令，对图6-19的修改比较复杂。主要修改包括：
- 1) 将2R+1W RF换成2R+2W RF；
  - 2) 对Add 2和2R+2W RF的输入、输出进行修改，实现 $Rs \leftarrow (Rs)+1$ 。

# 第六章 6.12



□ 6.12 若想在6.3.4中给出的目标指令集中增加一条eret指令（异常返回指令），该指令的主要功能是将发生异常时的指令地址重新存入PC。请说明如何修改图6-22给出的数据通路使其支持该指令。

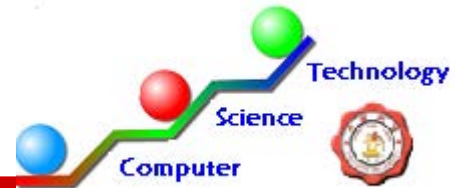
□ 解:对图6-22数据通路修改如下页: (蓝色部分)

执行该指令时, MCU发出  $\text{Jump}=1$ ,  $\text{CPUInt}=1$  控制信号。



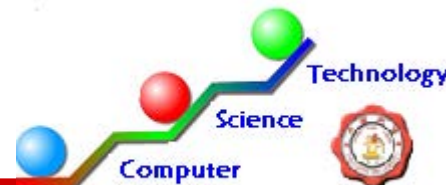


# 第六章 6.13



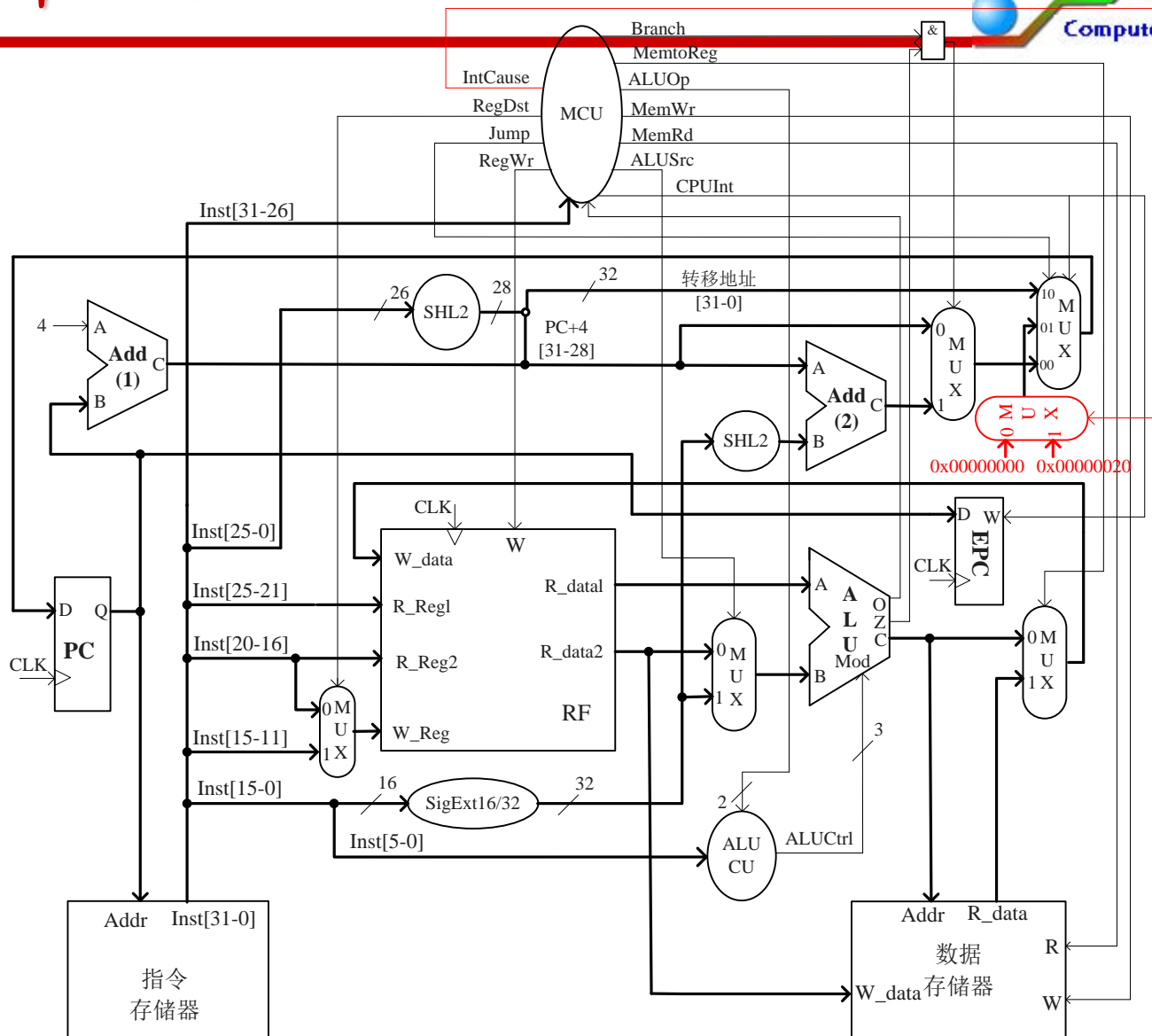
- ❑ 6.13 在MIPS系统中，操作系统如何识别异常中断的原因以及如何转入中断服务程序？请针对图6-22给出的数据通路讨论。
- ❑ 解:在MIPS系统中，当异常发生时在异常程序计数器（EPC）中保存出错指令的地址，并把控制权转交给特定地址（0x8000 0180）处的操作系统程序。操作系统程序读取Cause寄存器的值，识别中断源后设置新的PC值，使CPU转移到异常处理程序对异常进行相应处理。在图6-22中要提供对Cause寄存器访问的数据通路，并在指令系统中设计一条管态指令，该指令由操作系统用来读取Cause寄存器值到一个通用寄存器，然后通过条件转移指令实现异常原因识别及转移到异常处理程序。

# 第六章 6.14

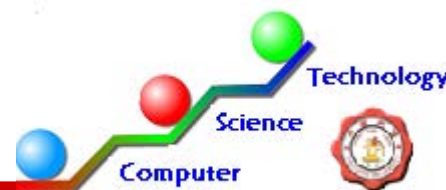


- 6.14 在MIPS系统中，若采用硬件向量中断，如何修改图6-22给出的数据通路实现异常中断原因识别和转入中断服务程序？
- 解:假设仅支持未定义指令异常和算术溢出异常，为了简化设计，假设未定义指令异常向量地址为0xc000 0000，算术溢出异常向量地址为0xc000 0020。那么，对图6-22数据通路修改如下页: (红色部分)

# 第六章 6.14



# 第六章 6.15



□ 6.15 某计算机CPU中有如下部件：ALU（具有+、-等功能），移位器（具有左移L、右移R、直送V等功能），主存储体M，主存数据寄存器MDR，主存地址寄存器MAR，指令寄存器IR，程序计数器PC（具有自增+1功能），通用寄存器R0~R3，暂存器C（连ALU左输入端）、D（连ALU右输入端）。

(1) 若上述逻辑部件按单总线结构组成CPU数据通路，请画出CPU数据通路图；

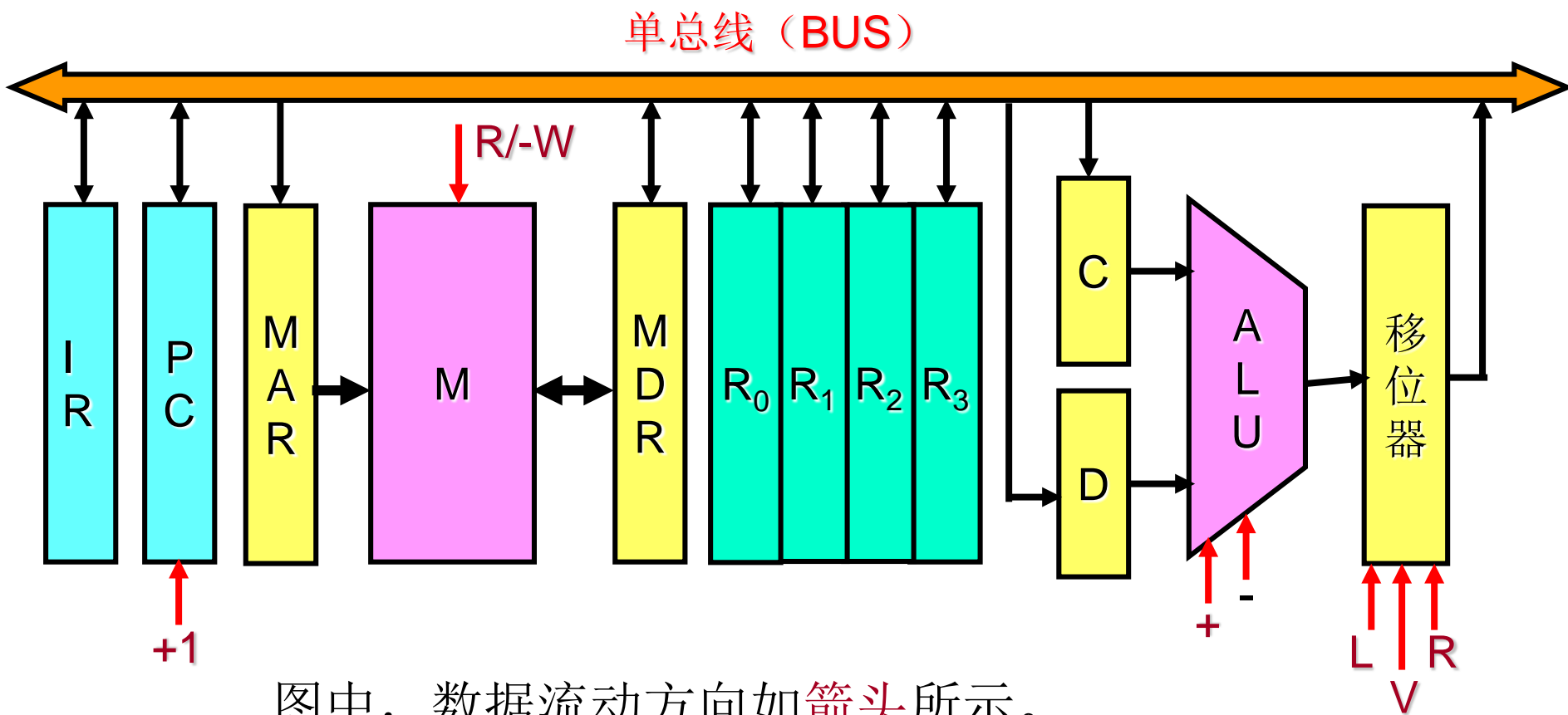
(2) 请画出指令“SUB (R0) , R3”的指令周期流程图，该指令的含义为：源操作数的有效地址在寄存器R0中，目的操作数在R3中，目的操作数减去源操作数后结果送到目的操作数的有效地址中；（注：减法时，要求被减数送ALU的左输入端，减数送ALU的右输入端）

(3) 若用类似**MDRo**的方式表示寄存器输出类微命令，类似**MDRi**的方式表示寄存器输入类微命令，**1→R**表示主存读命令，**1→W**表示主存写命令，MDR、MAR与主存储体M之间，暂存器C、D与ALU输入端之间是**直通**的，**不需要微命令控制**。请写出对应该指令周期流程图所需的**全部微操作命令序列**。

# 第六章 6.15

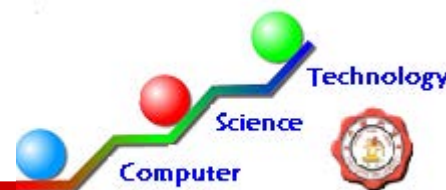


解：(1) 采用单总线结构的CPU硬件框图如下：

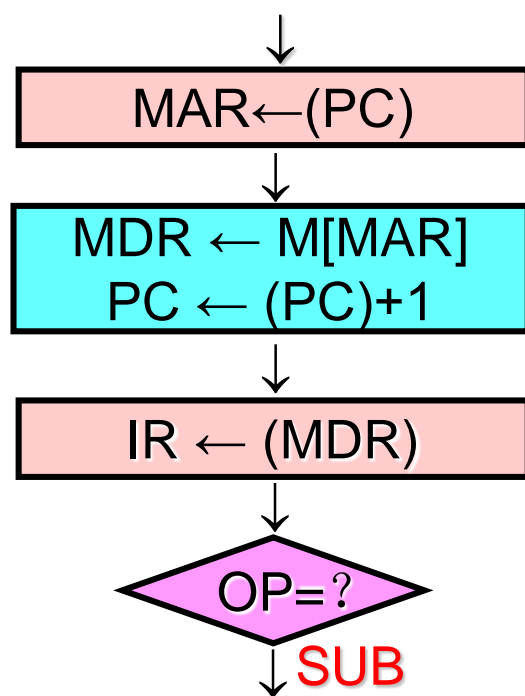


图中，数据流动方向如箭头所示。

## 第六章 6.15



(2) SUB(R0), R3指令流程图



(3) 对应的全部微操作命令

$PC_0$ ,  $MAR_i$

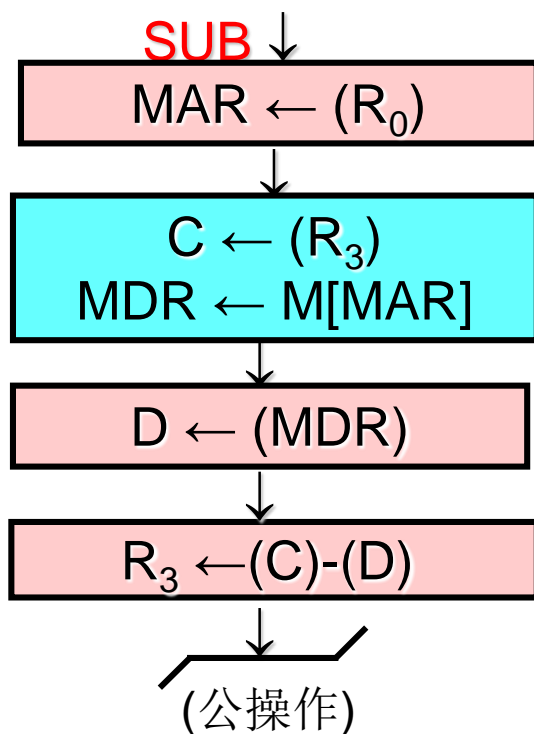
$1 \rightarrow R$ ,  $MDR_i$ ,  $+1$

$MDR_0$ ,  $IR_i$

## 第六章 6.15



(2)



(3)

R0<sub>o</sub>, MAR<sub>i</sub>

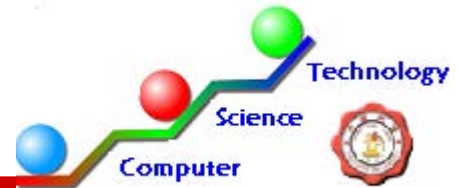
R3<sub>o</sub>, C<sub>i</sub>  
1  $\rightarrow$  R, MDR<sub>i</sub>

MDR<sub>o</sub>, D<sub>i</sub>

-, V, R3<sub>i</sub>



# 第六章 6.16



□ 6.16 请分析恒1错误（某个控制信号的值始终保持为1）对MIPS 32多周期数据通路的影响。针对图6-24多周期数据通路以及表6-1给出的10条指令，分别考虑下列信号：RegWr、MemRd、MemWr、IRWr、PCWr和PCWrCond。

□ 解：

**RegWr恒1时**，几乎会影响到每条指令的执行！因为每个时钟周期都会随W\_Reg、W\_data修改寄存器的内容。

**MemRd恒1时**，对指令执行不会有影响，但MemRd和MemWr 同时为1时，存储器工作异常。

**MemWr恒1时**，只要存储器地址变化就会引起存储器些操作。

**IRWr恒1时**，每个时钟周期都会引起IR写操作！严重影响指令执行结果。

**PCWr恒1时**，每个时钟周期都会引起PC写操作，引起指令执行乱顺。

**PCWrCond恒1时**，非beq指令也可能引起程序转移。

## 第六章 6.17

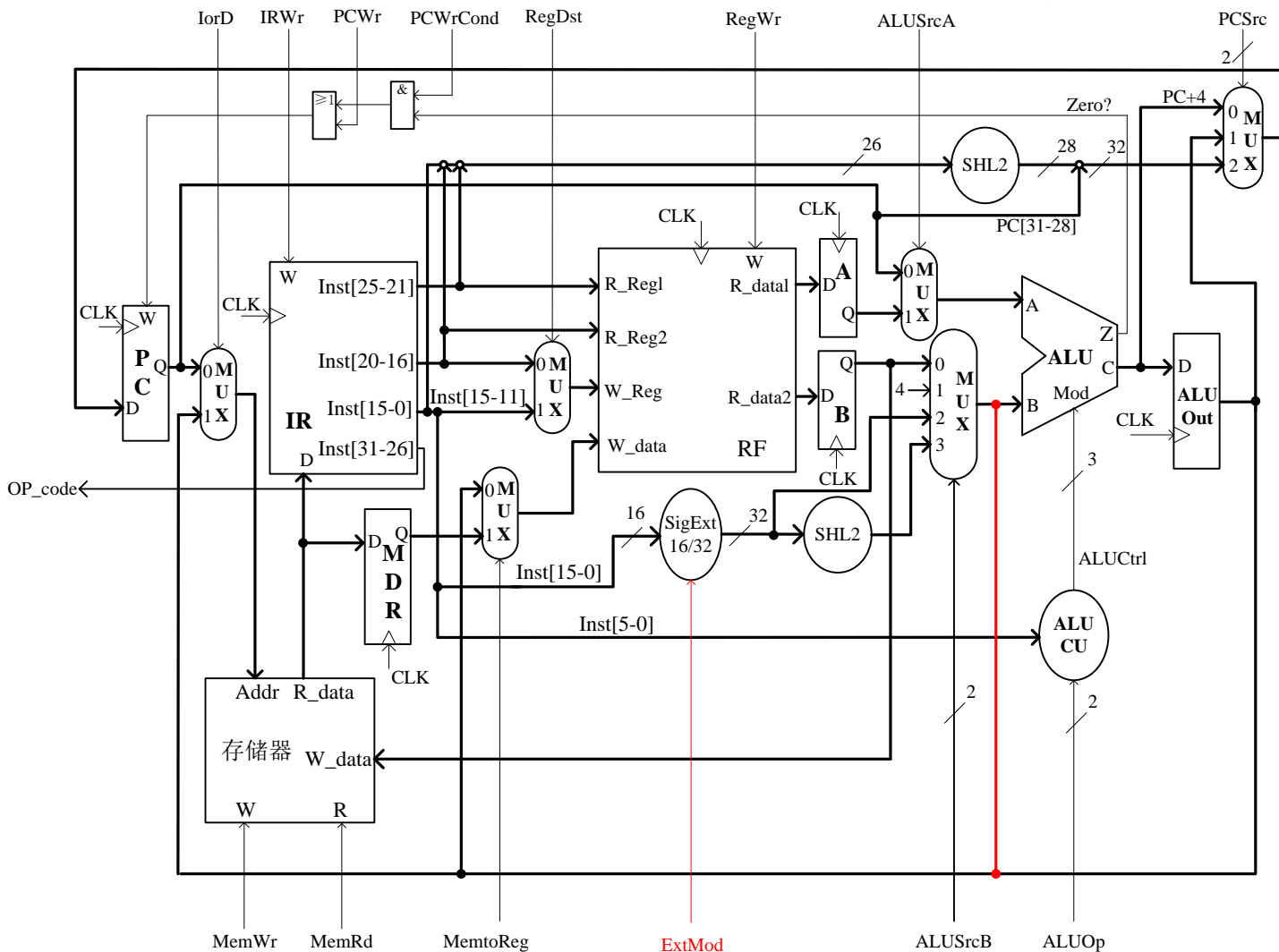


□ 6.17 在图6-24多周期数据通路的基础上，通过添加适当的通路和控制信号，实现取立即数指令lui Rt, imm16（I-型指令格式，其功能是将立即数读入寄存器高16位）。请用RTL描述该指令周期流程。

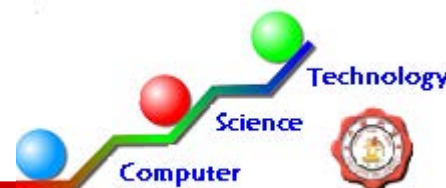
□ 解:对图6-24数据通路修改如下页: (红色部分)

对原来符号扩展部件（**SigExt16/32**）功能进行扩展，增加将16位立即数放入高位、低位补16位全零的功能。增加控制信号（**ExtMod**）控制在符号扩展和将立即数读入高16位之间进行功能选择。

# 第六章 6.17



## 第六章 6.18

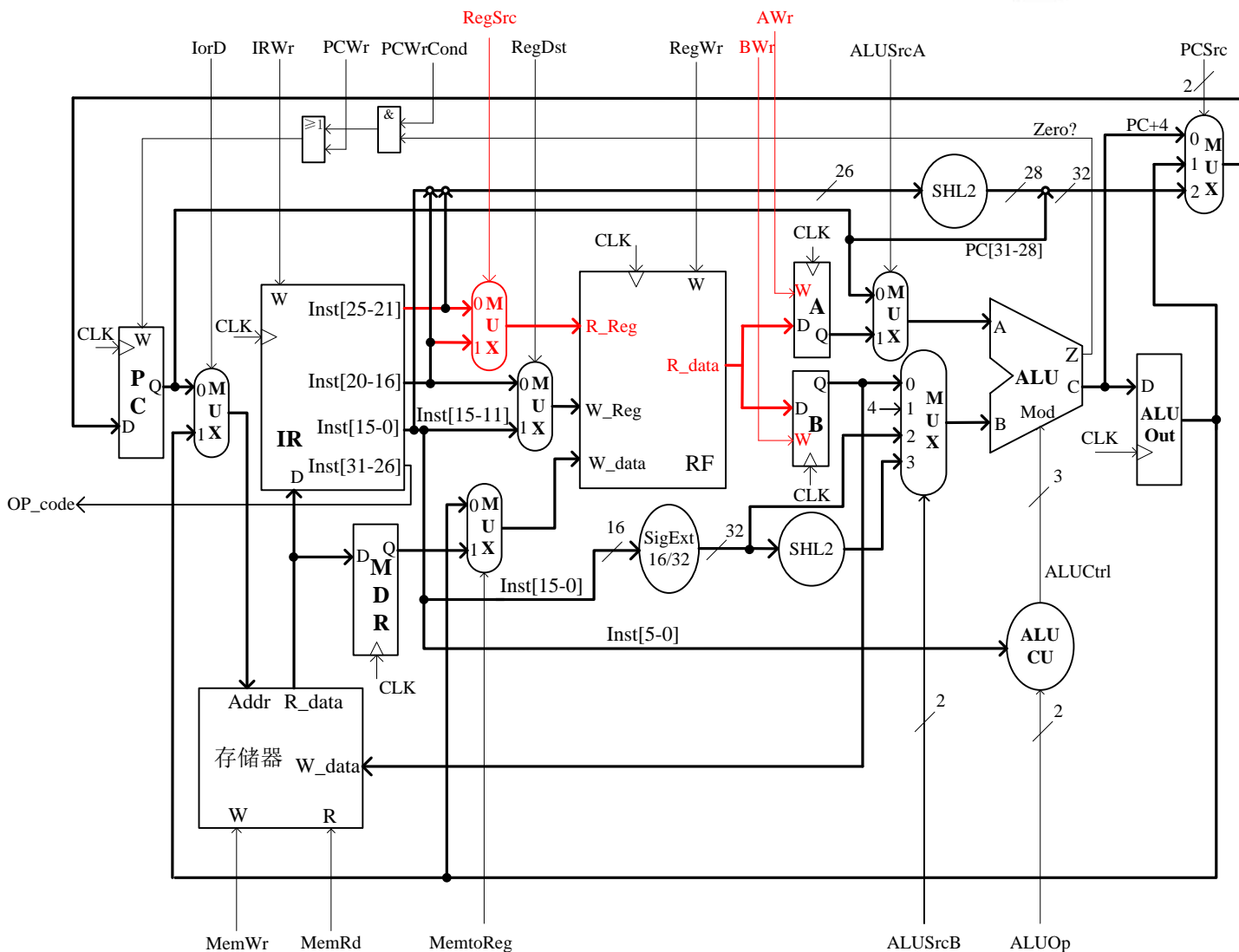


□ 6.18 若将多周期CPU实现中的寄存器堆RF改为只有一个读端口，用图描述此修改所带来的数据通路的其它必要修改，并分析对指令周期的影响。

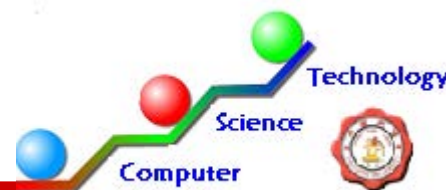
□ 解:对图6-24数据通路修改如下页: (红色部分)

由于2个寄存器不能在同一个时钟周期内同时读出，而是在连续2个时钟周期内读出，所以，指令周期延长一个时钟周期。在前一个时钟周期内， $\text{RegSrc}=0, \text{AWr}=1$ , 读出Rs寄存器内容打入A暂存器；在后一个时钟周期内， $\text{RegSrc}=1, \text{BWr}=1$ , 读出Rt寄存器内容打入B暂存器；

# 第六章 6.18



# 第六章 6.19



□ 6.19 由于指令周期= $\text{CPI} \times \text{时钟周期}$ ，所以主频和CPI是影响CPU性能的两个重要参数。但是，同时降低这两个参数往往是不可能的，在设计过程中始终存在这两个参数的权衡。具体方法如下：

(1) 以提高CPI为代价，提高处理器的主频；

(2) 降低主频换取较小的CPI。

请分析MIPS多周期数据通路，分别说明这两种方法实现的具体措施。

# 第六章 6.19



- 解答：
- MIPS多周期CPU数据通路的设计思想是：将指令执行过程分成时间大致相同的多个阶段，每个阶段完成少数几个微操作，各阶段的最长时间设置为一个时钟周期。
- （1）提高CPI，即增加时钟周期数。这种方法的具体措施是把指令执行过程划分成较多的阶段，每个阶段完成较少的微操作。
- （2）降低主频，即延长时钟周期。这种方法的具体措施是把指令执行过程划分成较少的阶段，每个阶段完成较多的微操作。

# 第六章 6.20

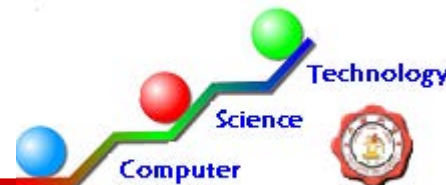


- 6.20 有三台计算机M1、M2和M3，CPU主频分别为：3.2GHz、2.8GHz、1GHz。假设这三台机器可以运行同一个指令系统，该指令系统由三类指令构成，各类指令在程序中的使用频度以及在三个CPU中实现的CPI如下表所示。则每台计算机的运行速度分别是多少？

指令类型	使用频度	CPI		
		M1	M2	M3
存数/取数	50%	5	4	3
运算	35%	4	3	3
其它	15%	3	3	3



# 第六章 6.20



□ 解答:

□ M1:

$$\text{平均CPI} = 50\% * 5 + 35\% * 4 + 15\% * 3 = 4.35$$

$$\text{平均速度} = 1 / (4.35 * 1 / 3.2\text{G}) = 736\text{MIPS}$$

□ M2:

$$\text{平均CPI} = 50\% * 4 + 35\% * 3 + 15\% * 3 = 3.5$$

$$\text{平均速度} = 1 / (3.5 * 1 / 2.8\text{G}) = 800\text{MIPS}$$

□ M3:

$$\text{平均CPI} = 50\% * 3 + 35\% * 3 + 15\% * 3 = 3$$

$$\text{平均速度} = 1 / (3 * 1 / 1\text{G}) = 333\text{MIPS}$$