



第十章 数字系统

武港山

Tel : 89680998

Office: 仙林校区计算机楼1015

Email : gswu@nju.edu.cn



内容提要

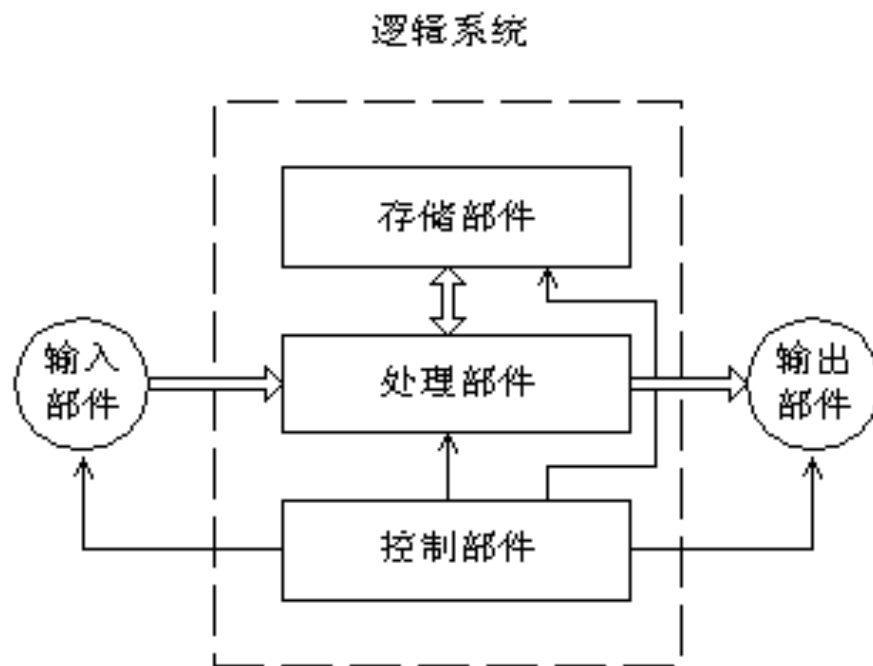
- 数字系统的基本概念
- 基本子系统
- 数据通路
- 由顶向下的设计方法
- 小型控制器的设计
- 微程序控制器的设计

1、数字系统的基本概念

- 所谓数字系统
 - 是指交互式的以离散形式表示的具有存储、传输、处理信息能力的逻辑子系统的集合物。
 - 一台数字计算机，就是一个最完整的数字系统。
- 数字系统的核心问题仍是逻辑设计问题。
 - 逻辑设计是实现子系统和整个系统的结构和功能的过程。
 - 解决信息处理、传输和存储问题。

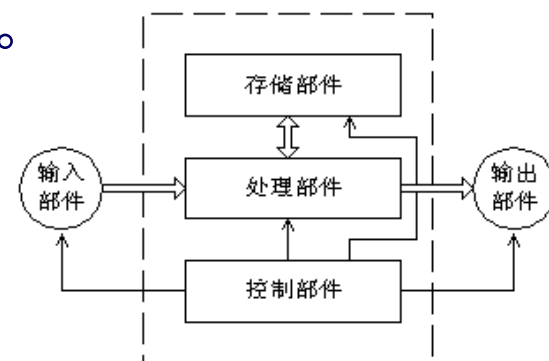
1、数字系统的基本概念

- 数字系统的基本模型
 - 由输入部件、输出部件及逻辑系统组成。
- 逻辑系统包括存储部件、处理部件、控制部件三大子系统。
 - 如果按控制与被控制的关系来分，存储部件和处理部件是执行部件，它们在控制部件的命令下进行相应的动作。



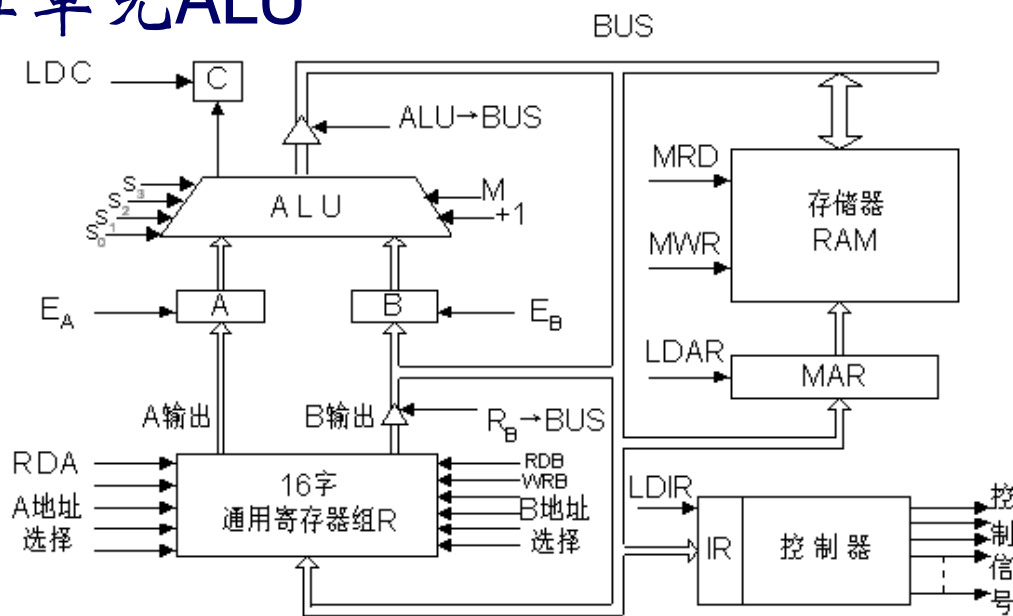
1、数字系统的基本概念

- 当信息被传送到处理部件且被处理时，存储部件则保存并源源不断地供给信息，而计算的结果又被送回到存储部件。
- 在数字系统中，这种活动是周期性的。
 - 存储部件获得信息（状态时间A）；
 - 该信息传送到处理部件进行加工处理（状态时间B）；
 - 加工处理后的信息又被传送到存储部件（状态时间C）之后又开始另一个周期。



2、基本子系统

- 是指构成数字系统时最基本的逻辑功能部件。
- 这些逻辑功能部件有：
 - 算术逻辑运算单元ALU
 - 寄存器
 - RAM
 - 数据总线
 - 控制器



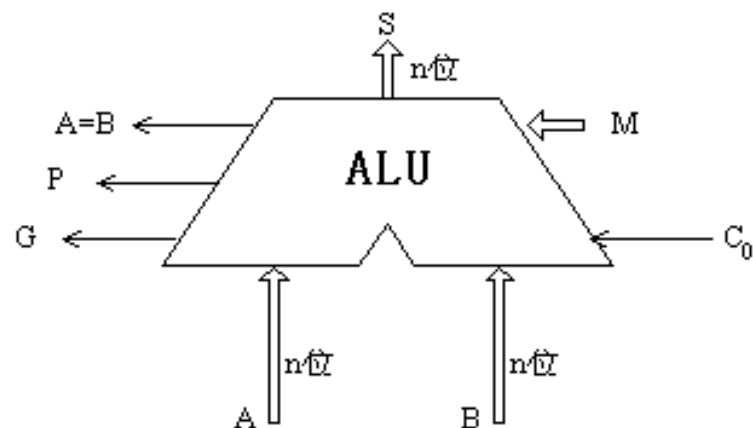
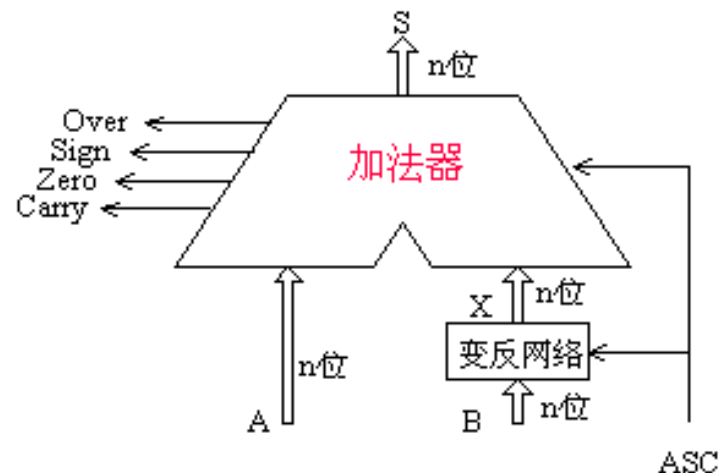
2、基本子系统

■ 算术逻辑运算单元 ALU

- 是数字系统中对数据进行加工处理的功能部件。
- 没有ALU，就不能成为复杂的数字系统。

■ 简单 → 复杂

- 加法器
- ALU
- 算术运算 + 逻辑运算



2、基本子系统

■ 寄存器

- 加法和ALU均由门电路组成，它们没有记忆功能，因此运算的结果需要寄存器保存起来。
- 而参与运算的两个数也要取自寄存器。寄存器是数字系统中必不可少的逻辑子系统。

■ 寄存器的分类

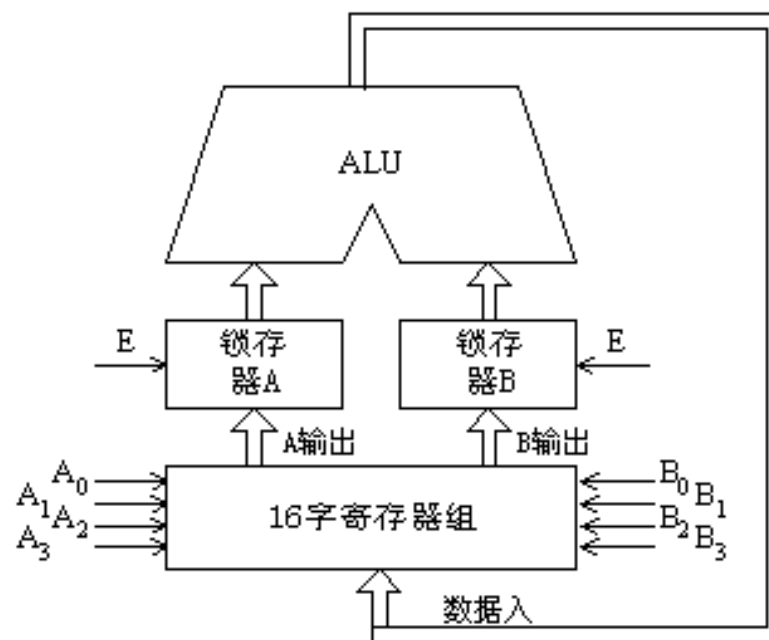
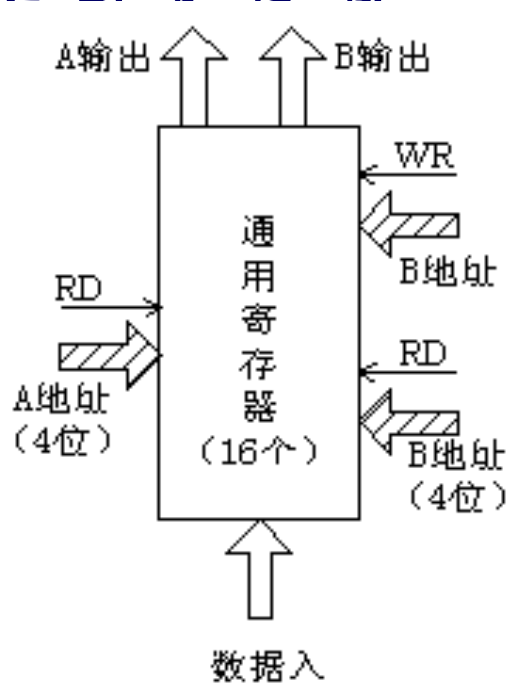
- 通用寄存器
- 专用寄存器

2. 基本子系统

■ 通用寄存器

- 用来暂存参与ALU运算的数据或结果

+ 田中光昭



有
存
器

2、基本子系统

■ 存储器RAM

- 当存储大量数据时，从经济 and 成本上考虑，只能使用随机读写的RAM存储器。

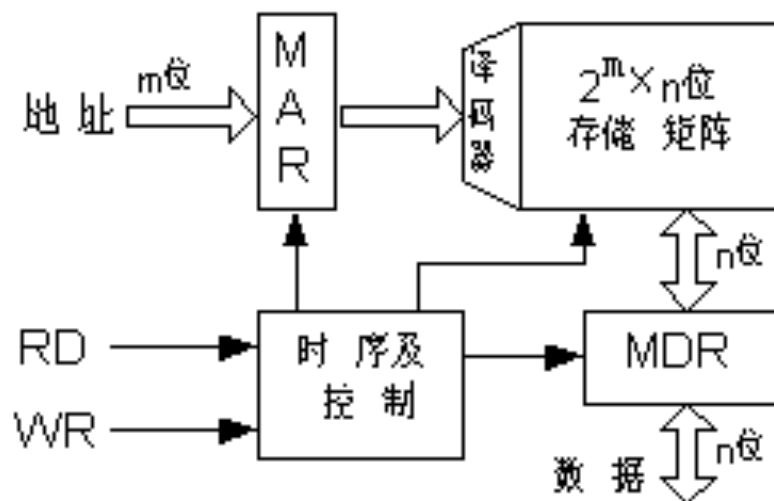
■ 图中MAR是地址寄存器，通过地址译码器译码，可选中相应的存储单元。

■ MDR是数据缓冲寄存器，读出的数据或写入的数据都由MDR暂存。

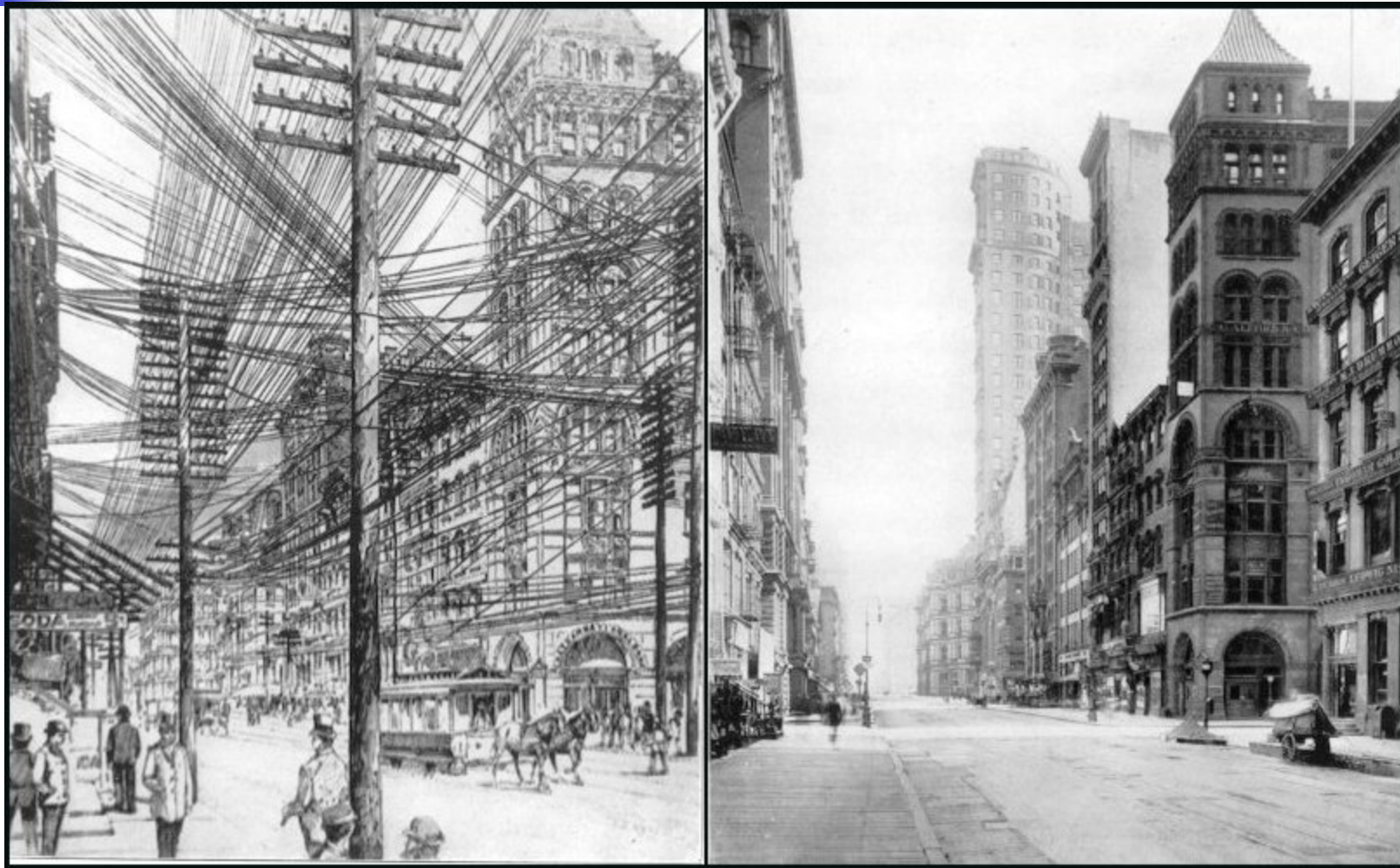
■ 存储容量为 2^m 个字（字长n-bit）

■ 注意，

- 存储器的读写操作是分时的进行的：读时不写，写时不读。
- 另外同MDR连接的n位数据线具有双向传送功能。



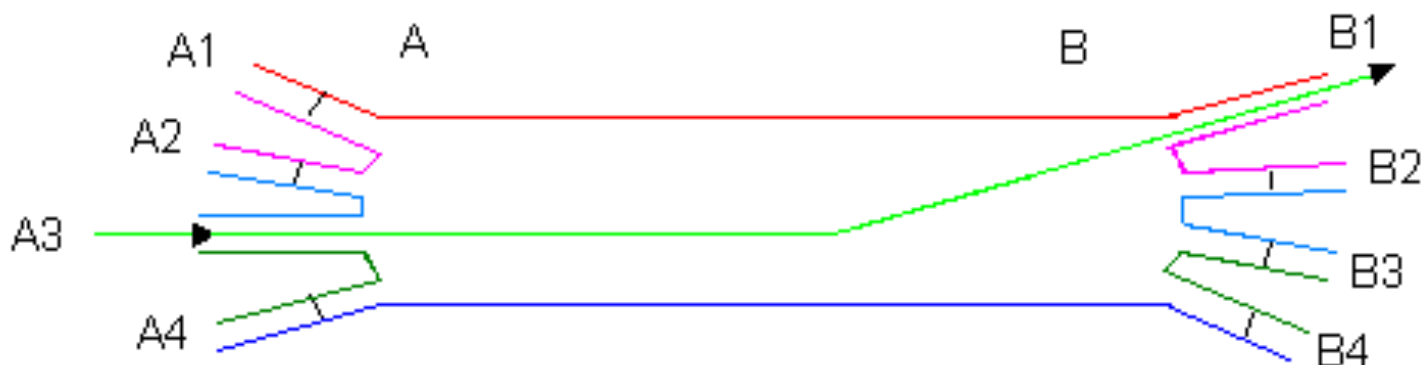
3、数据通路



3、数据通路

■ 总线的概念

- 在数字系统中，总线是多个逻辑子系统的联系纽带。
- 所谓总线，就是多个信息源分时传送数据到多个目的地的传送通路。



3、数据通路

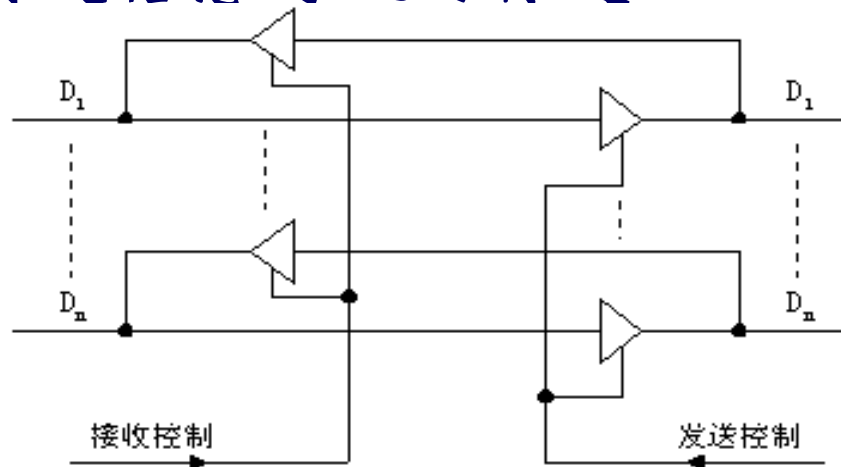
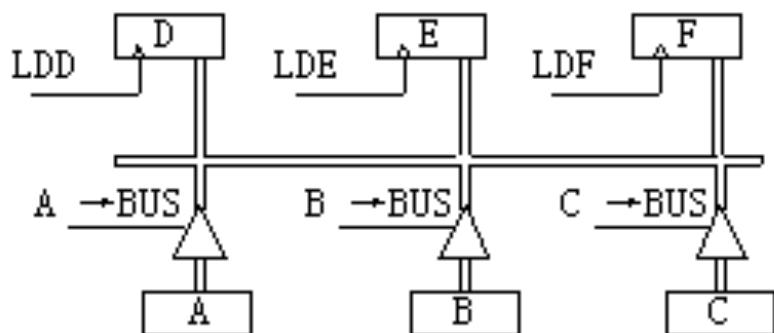
■ 总线的概念

- 如果总线的始端和终端是固定不变的，即信息只能从始端向终端传送，称为单向总线。

- 用多路选择器实现

- 如果信息的源端与目的端是相对的，称为双向总线，它可以实现信息的双向传送。

- 用三态门实现



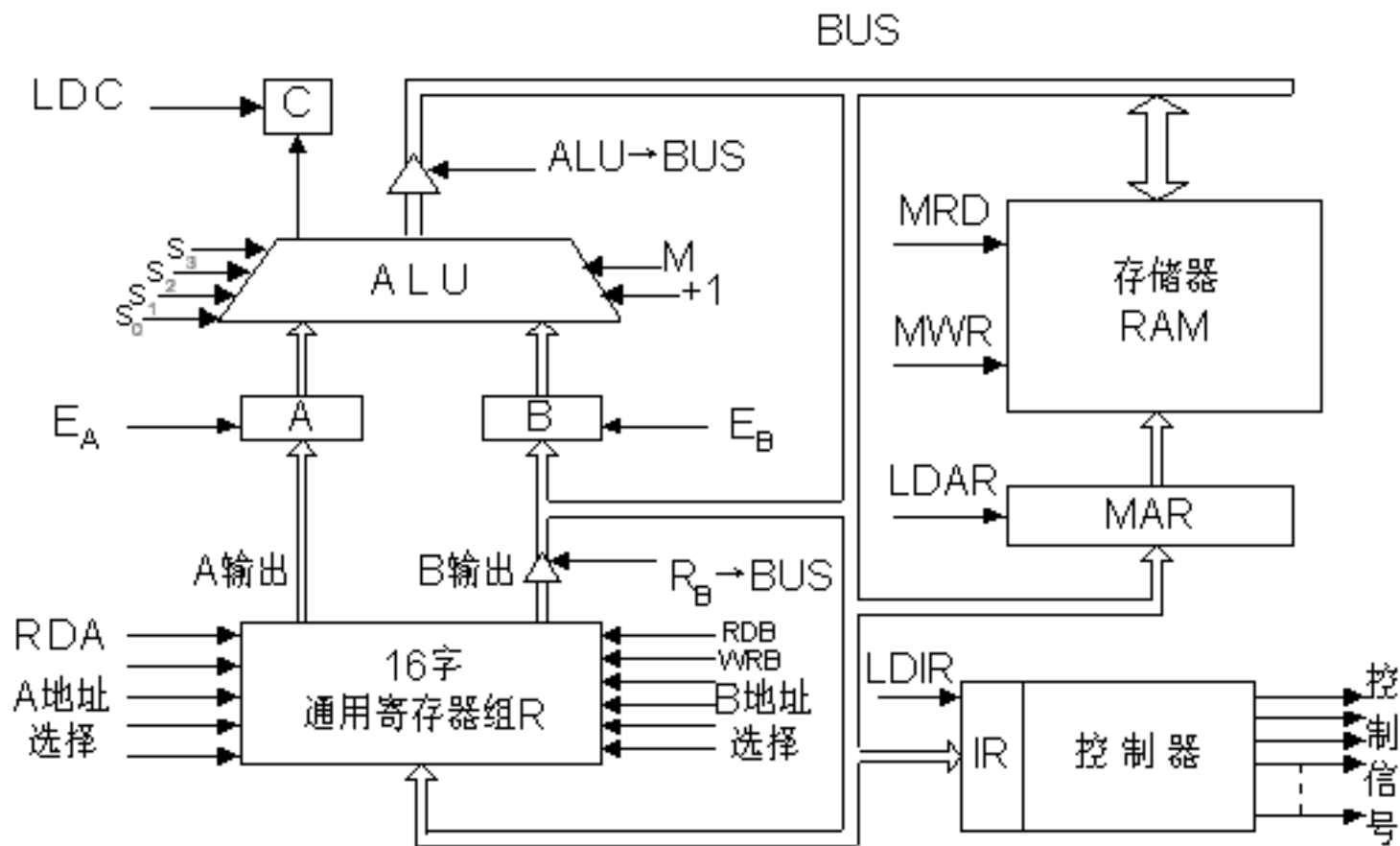
3、数据通路

■ 数据通路

- 数字系统中,各个子系统通过数据总线连接形成的数据传送路径称为数据通路。
- 数据通路的设计直接影响到控制器的设计,同时也影响到数字系统的速度指标和成本。
 - 一般来说,处理速度快的数字系统,它的独立传送信息的通路较多,相应的控制器的设计也就复杂了。
 - 因此,在满足速度指标的前提下,为使数字系统结构尽量简单,一般小型系统中多采用单一总线结构。在较大系统中可采用双总线或三总线结构。

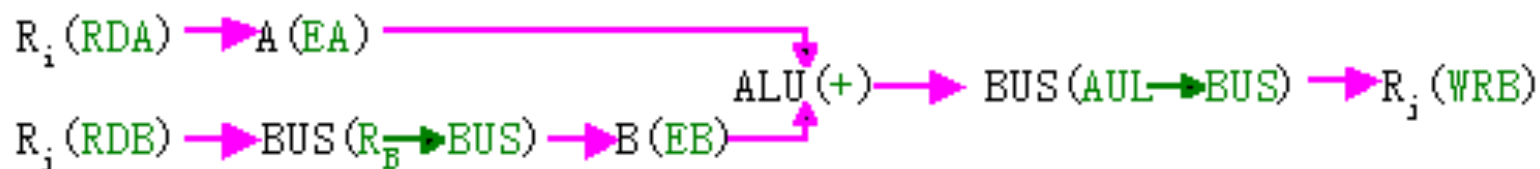
3、数据通路

■ 数据通路结构

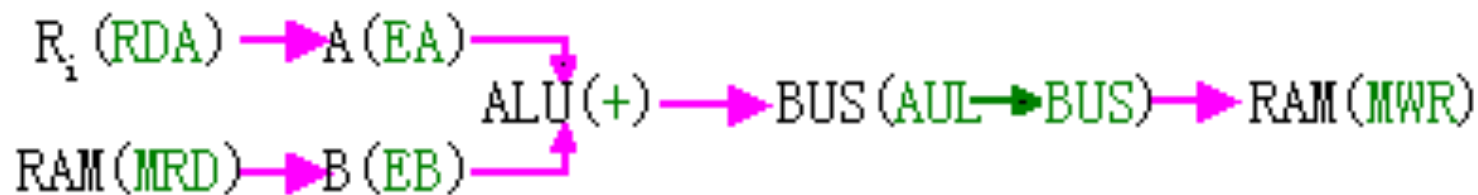


3、数据通路

- 【例1】说明 $R_i + R_j \rightarrow R_j$ 操作的数据流。



- 【例2】说明 $R_i + RAM \rightarrow RAM$ 操作的数据流。



4、由顶向下的设计方法

- 数字系统的设计任务
 - 对设计任务进行分析，将所设计的系统合理地划分为若干个子系统，使其分别完成较小的任务。
 - 设计系统控制器，以控制和协调各子系统的工作。
 - 对各子系统功能部件进行逻辑设计。
 - 对复杂的数字系统，还要对各子系统的连接关系及数据流的传送方式进行设计。

4、由顶向下的设计方法

- 子系统划分的原则是：
 - 对所要解决的总体任务是否已全部清楚地描述出来。
 - 对所要解决的问题是否有更清楚更简单的描述。
 - 各子系统所承担的分任务是否清楚、明确，是否有更清楚的划分方式。
 - 各子系统之间的相互关系是否明确，它们之间的控制关系是怎样的。
 - 控制部分与被控制部分是否清楚、明确，它们之间的控制关系是怎样的。

4、由顶向下的设计方法

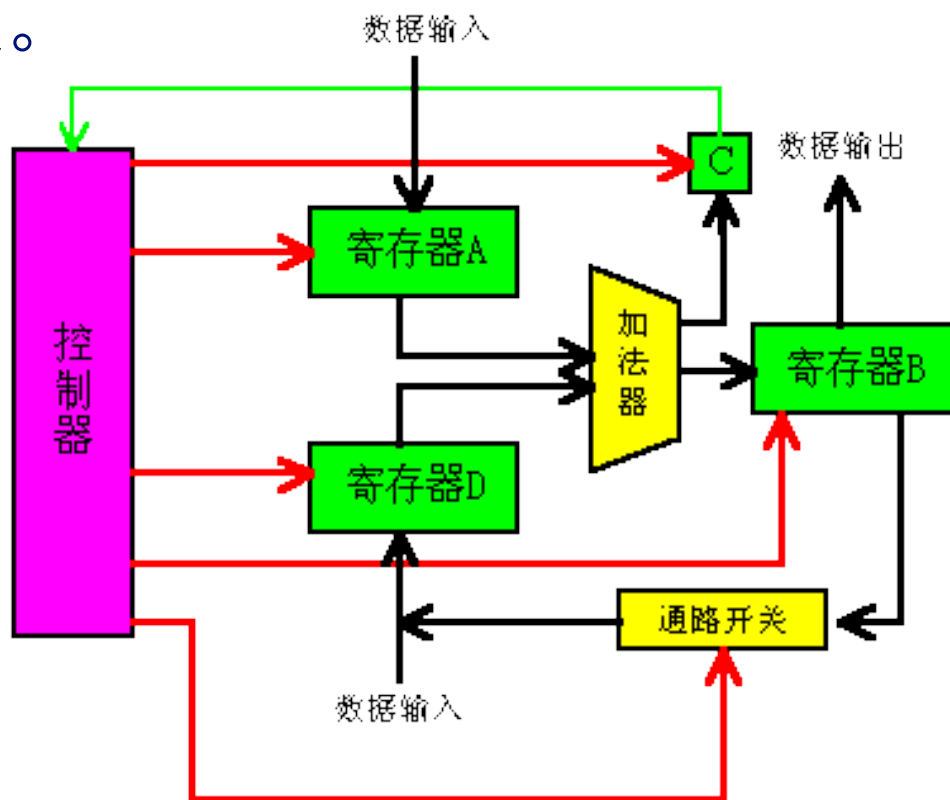
- **【例】** 设计一个8位二进制无符号数并行累加运算系统，使之能连续完成两数相加并存放累加和的要求。

对这样一个简单的数字系统，需要如下子系统：

- ①一个8位的加法器，用来完成二数相加的操作；
- ②两个8位寄存器(A和D)，分别存放加数和被加数；
- ③一个8位寄存器(B)，存放求和结果；
- ④一个1位的寄存器(C)，用来存放进位信号并指示是否溢出；
- ⑤一个控制器，用来协调和控制各个子系统的工作；

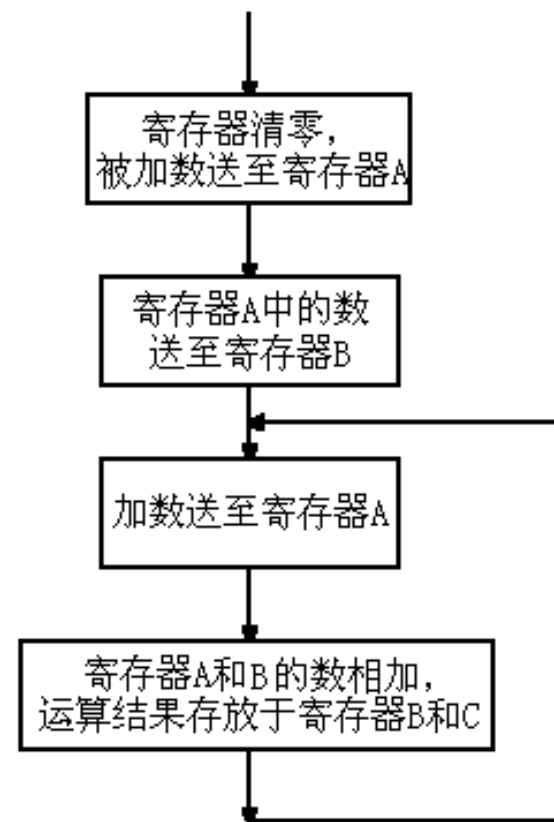
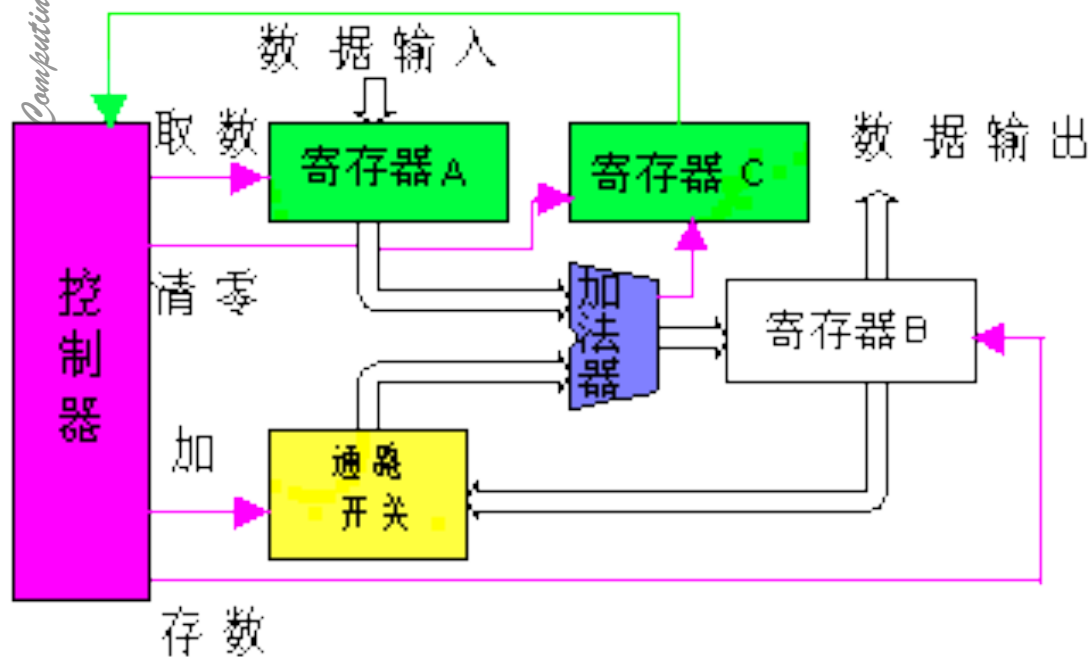
4、由顶向下的设计方法

- 【例】设计一个8位二进制无符号数并行累加运算系统，使之能连续完成两数相加并存放累加和的要求。



4、由顶向下的设计方法

- 【例】设计一个8位二进制无符号数并行累加运算系统，使之能连续完成两数相加并存放累加和的要求。



4、由顶向下的设计方法

■ 算法状态机和算法流程图

■ 控制算法：

就是控制器对执行部件的控制关系。

控制算法需要用某种方式来表达，使其能方便地转换成实现它的硬件。

控制算法在数字系统设计中起着重要作用。在初步设计阶段，应当把控制算法从被控的 subsystem 中分离出来。

4、由顶向下的设计方法

- 算法状态机和算法流程图
 - 算法状态机： 算法状态机（ASM）是描述控制算法的一种方法。
 - 它本质上是一个时序状态机，适用于同步系统。
 - 算法状态机可用流程图的形式描述控制器的功能、状态变化的条件、状态转换的时间关系，因而又和时序状态机不同。

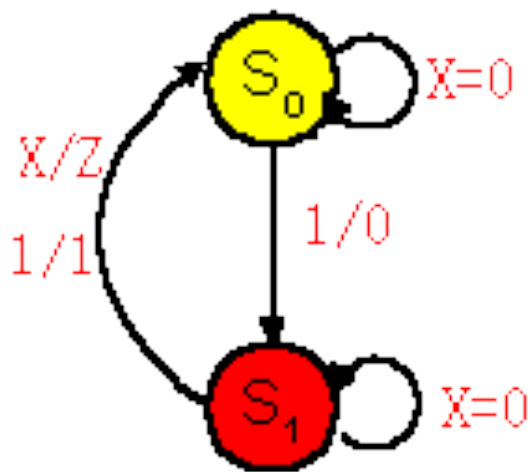
4、由顶向下的设计方法

- 算法状态机和算法流程图
 - 算法流程图： 算法流程图又称ASM流程图，它将控制器的控制过程用图形语言方式表达出来，类似于描述软件程序的流程图。
 - ASM流程图能和实现它的硬件很好地对应起来，显示了软件工程与硬件工程在理论上的相似性和可转换性。ASM流程图是设计控制器的重要工具。

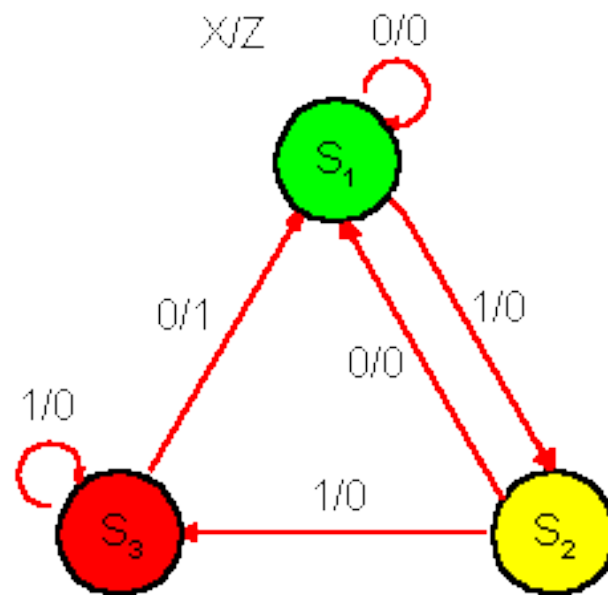
4、由顶向下的设计方法

■ 算法状态机和算法流程图

■ 设计例



(a)



(a) 三状态机

5、小型控制器的设计

■ 控制器的设计

本质上看，控制器是一种时序逻辑电路。虽然它也是一个子系统，但它的作用是解释所接收到的各个输入信号，根据输入信号和算法状态机流程图程序使整个系统按指定的方式工作。控制程序可以直接由硬件实现，也可以由固件（用EPROM存储的控制软件）实现。

5、小型控制器的设计

■ 控制器的设计思想

- 控制器设计的主要特点是：不必过分追求状态最简，触发器的数量也不必一味追求最少。
- 有时，在控制程序中增加一些多余状态，会使数字系统工作更加直观，便于监视和检查故障。
 - 在状态化简时，应首先考虑工作性能的优劣，维修是否方便，工作是否直观，不必过分追求最简状态，甚至一个状态设置一个触发器，以避免状态分配的麻烦。
 - 这样做，虽然增加了一些硬件，却换来了设计简便、工作明确、维修方便等好处。
 - 特别是采用高密度的ISP芯片后，控制器的这种设计思想，更加显得重要。

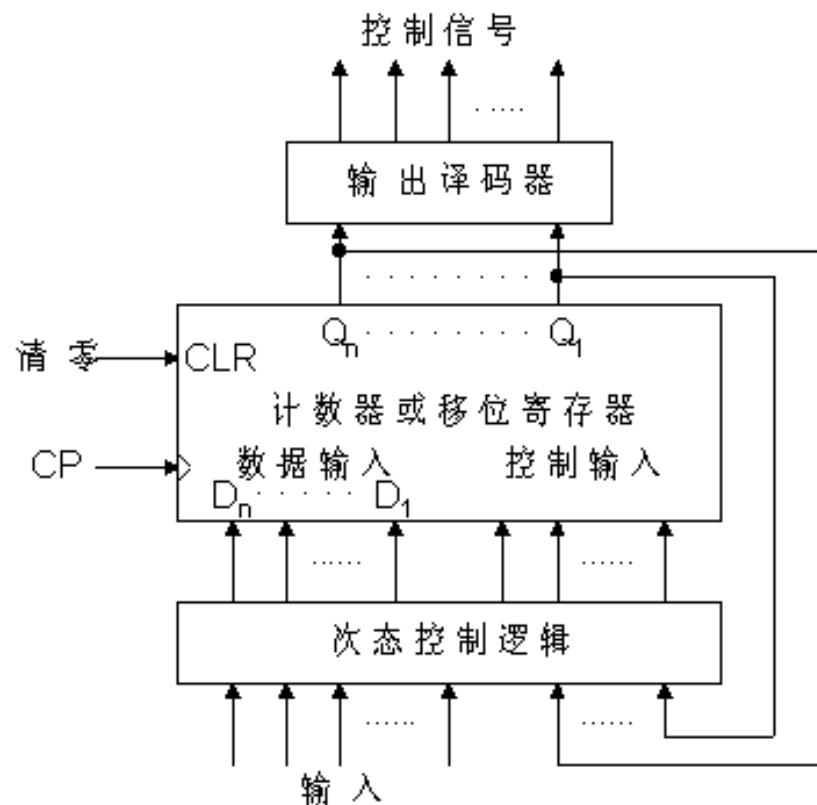
5、小型控制器的设计

- 控制器的类型
 - 直接由硬件实现的控制器：其结构形式有计数器型、多路开关型、定序型等多种，适用于小型数字系统。
 - 微程序控制器：将控制程序固化在EPROM中，通用性强，设计简单，结构规整，适用于大型复杂数字系统。
- 虽然控制器的形式多种多样，但其基本设计方法有较强的规律性。

5、小型控制器的设计

■ 计数器型控制器

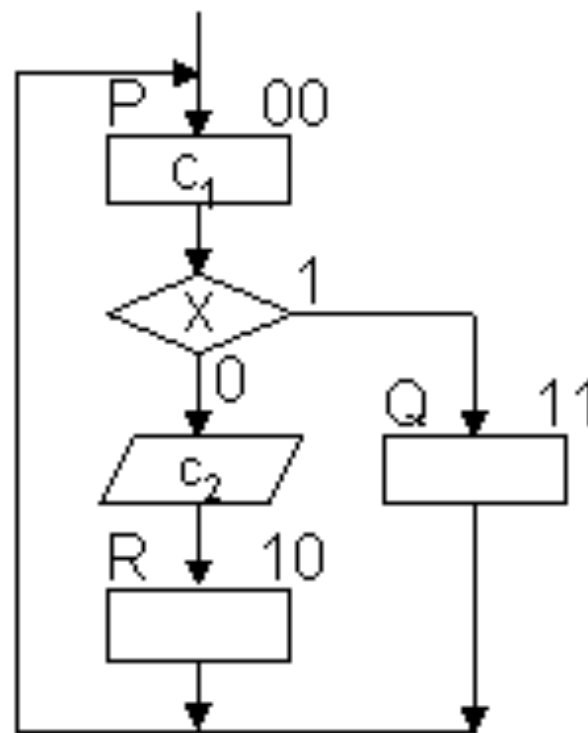
- 将所要求的控制状态按一定原则进行编码分配，就可以设计出一种状态计数型的控制器，称之为计数器型控制器。



5、小型控制器的设计

■ 计数器型控制器

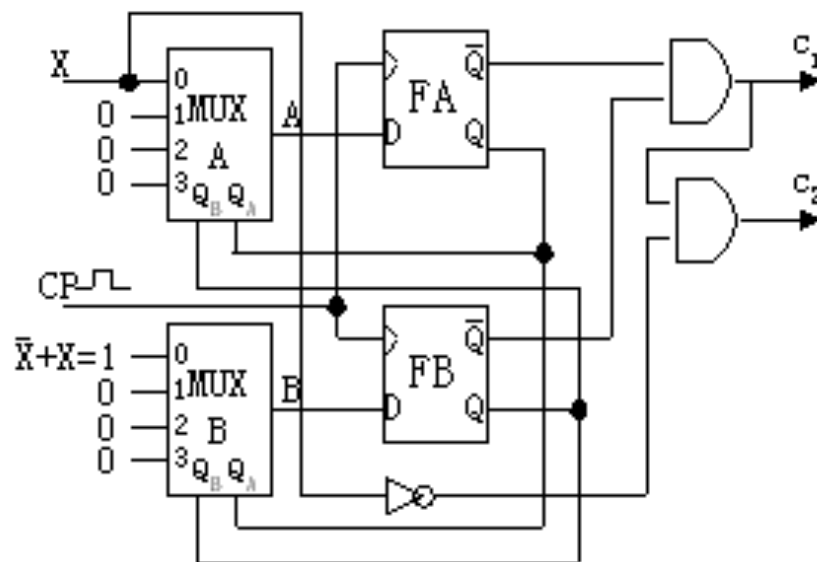
- 【例】某控制器的算法流程图如图所示，请设计一个计数器型控制器。



5、小型控制器的设计

■ MUX型控制器

- MUX按控制算法的要求，为它所对应的触发器生成次态激励函数。
- 所有MUX输出端的组合就是控制器次态（NS）的编码。
- 而MUX的输入端则是对应所有现态（PS）的状态转移条件。
- MUX的地址码受现态PS控制。



5、小型控制器的设计

■ 定序型控制器

- 基本思想是一对应一法，即算法状态机流程图有多少个状态，则使用多少个触发器，并依赖一组最新的代码实现状态转换。例

状态	触发器代码		
	S_1	S_2	S_3
S_1	1	0	0
S_2	0	1	0
S_3	0	0	1

6、微程序控制器的设计

■ 微程序控制的优点

- 微程序控制技术可代替直接由硬件连线的控制技术。由于微程序控制方法规整性好，灵活方便，通用性强，因此在大型复杂的数字系统设计中广泛应用，成为控制器的主流设计方法。

■ 微程序控制的基本思想

- 仿照通常的解题程序的方法，把所有的控制命令信号汇集在一起编码成所谓的微指令，再由微指令组成微程序，存放在一个EPROM里。
- 系统运行时，一条又一条地读出这些微指令，产生执行部件所需要的各种控制信号，从而驱动执行部件进行所规定的操作。

6、微程序控制器的设计

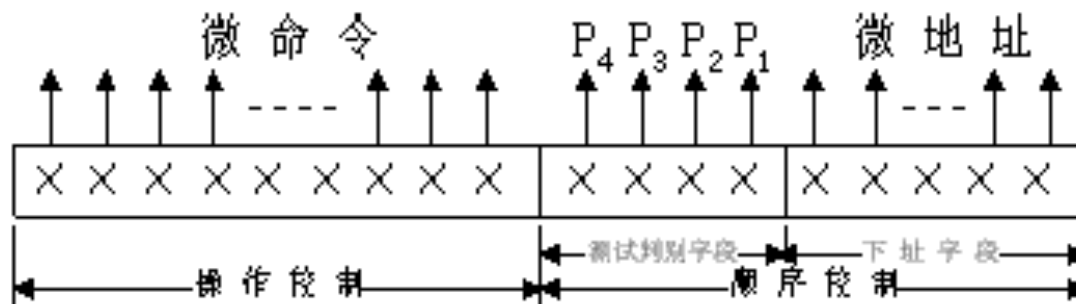
■ 微指令的结构

- 控制器通过一条条控制线向执行部件发出各种控制命令，我们把这些控制命令叫做微命令。而执行部件接受微命令所执行的操作叫做微操作。
- 在系统的一个基本状态周期（又称机器周期）中，一组实现一定操作功能的微命令的组合，构成一条微指令。
- 强调两点：
 - 一条微指令的有效持续时间是系统的一个基本周期，它表示从ROM中读出微指令与执行这条微指令的时间总和。当从ROM中读出下一条微指令后，当前的这条微指令即失效。
 - 一条微指令中包含若干个微命令，它们分头并行地控制执行部件进行相应的微操作。

6、微程序控制器的设计

■ 微指令的结构

- 微指令除给出微命令信息外，还应给出测试判别信息。一旦出现此信息，执行这条微指令时要对系统的有关标志进行测试，从而实现控制算法流程图中出现的条件分支。
- 微指令中还包含一个下一地址字段，该字段将指明ROM中下一条微指令的地址。



6、微程序控制器的设计

■ 微程序

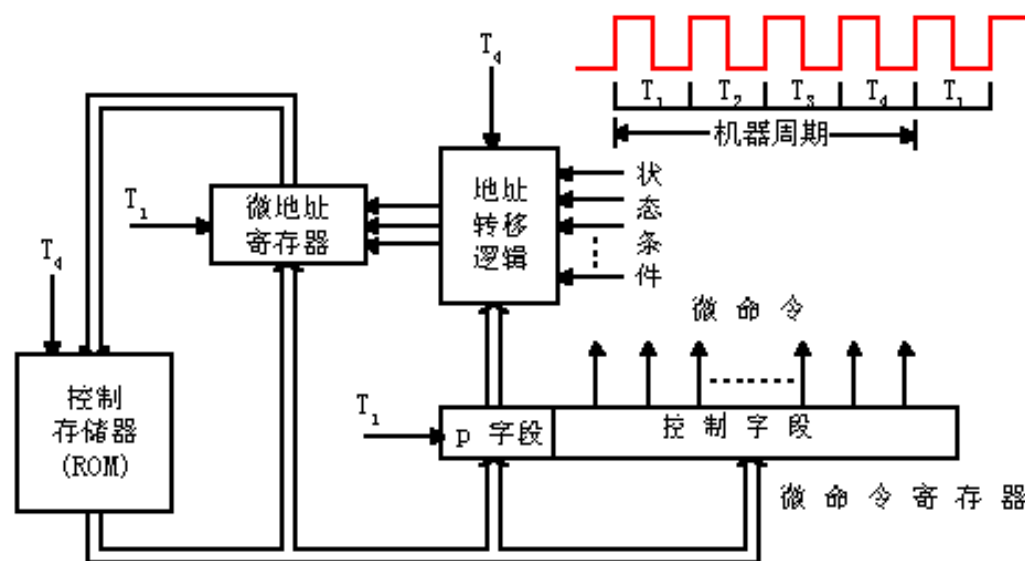
- 由若干条微指令组成的序列。
 - 在计算机中，一条机器指令的功能可由若干条指令组成的微程序来解释和执行。
- 在一般数字系统中，微程序相当于前述的算法状态机流程图，也就是将控制器的控制算法变成了微程序流程图，并用EPROM来实现。
- 微程序概念的引入，使大型复杂数字系统控制器的设计发生了革命性的变化。因为微程序技术可代替硬件布线的控制技术，即由门电路和触发器等组成的硬件网络可被存有控制代码的EPROM存储器所取代。

6、微程序控制器的设计

■ 微程序控制器自

■ 下图是微程序

- 控制存储器
- 微地址寄存器
- 微命令寄存器
- 地址转移逻辑



- 微地址寄存器和微命令寄存器两者的总长度即为一微指令的长度，二者合在一起称为微指令寄存器。

6、微程序控制器的设计

■ 微程序控制器的设计步骤

■ 设计微程序

设计微程序，就是确定微程序流程图，也就是控制算法流程图。微程序流程图中的一条微指令，相当于ASM流程图中的一个状态。

■ 确定微指令格式

微指令格式中的操作控制字段取决于执行部件的子系统需要多少微指令。假定采用直接控制方式，执行部件需要10个微命令，则操作控制字段需要10位。

■ 将微程序编译成二进制代码

根据确定的微指令格式，将微程序流程图中的每一条指令编译成二进制代码，这项工作可由人工完成。

6、微程序控制器的设计

■ 微程序控制器的设计步骤

■ 微程序写入控制存储器

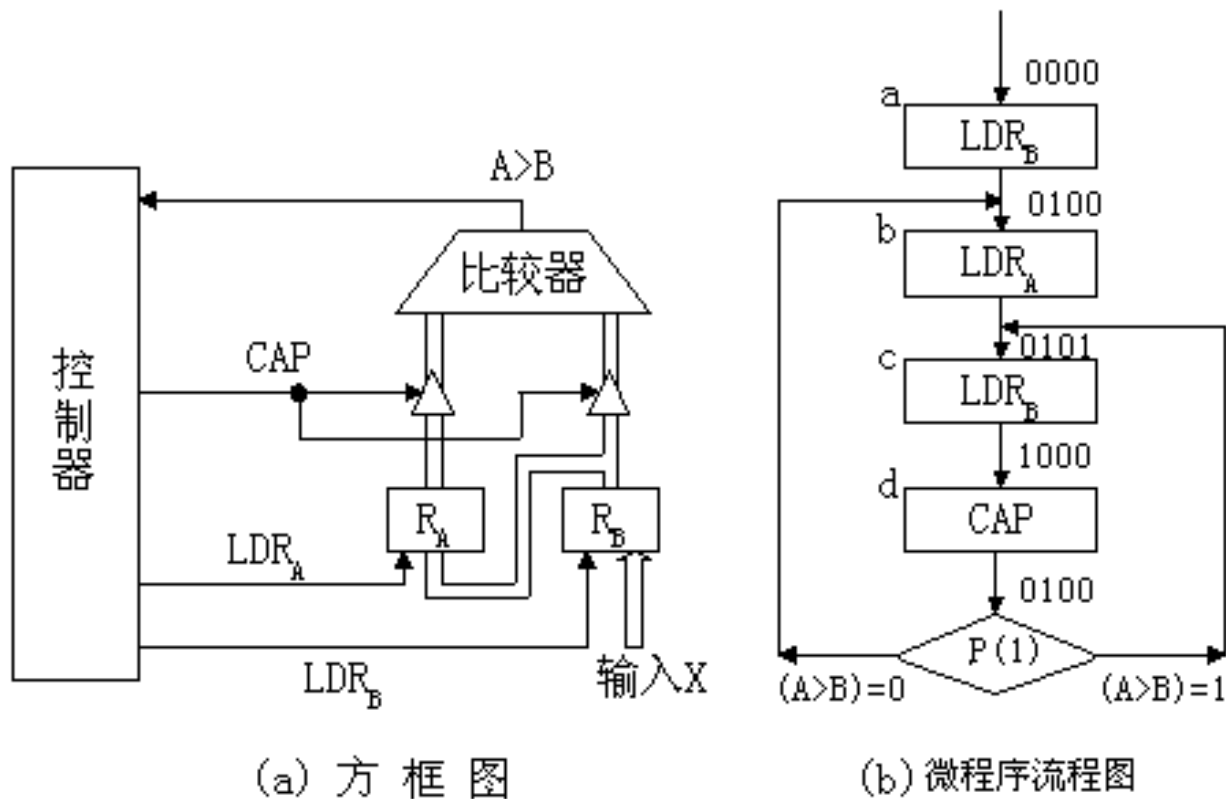
将二进制代码的微程序写入E2PROM中。

■ 设计硬件电路

硬件电路包括微地址寄存器、微命令寄存器和地址转移逻辑三部分。前两部分可选用适当的标准寄存器芯片（如74LS36、74LS273等）。地址转移逻辑的输入是测试判断标志Pi、状态条件和时间因素Tj（读ROM时间），先写出逻辑表达式，然后用门电路芯片实现。

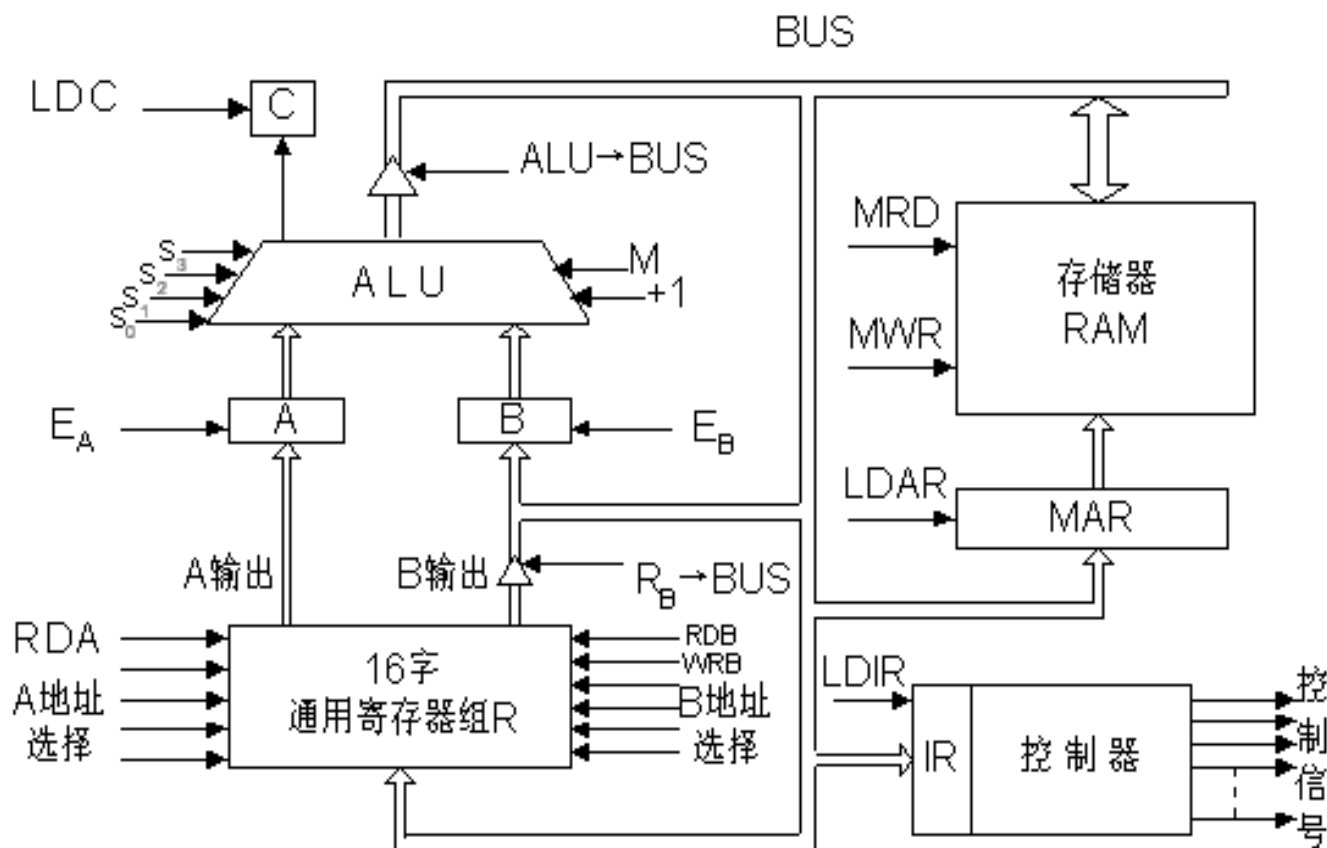
6. 微程序控制器的设计

■ 微程序控制器的设计例1



6、微程序控制器的设计

■ 微程序控制器的设计例2



回顧與展望

面向具体应用的处理技术
(人工智能、信息检索等)

高级实现方法
(面向对象、组件等)

面向领域的专用控制与管理
(数据库、多媒体、网络等)

中级实现方法
(**VB**、**SQL**、**C**等)

计算机系统的通用控制与管理
(操作系统、嵌入系统)

初级实现方法
(汇编语言)

复杂计算机系统设计
(计算机组成原理)

基于基本材质的数字化设计
(数电)

构成计算机的基本材质的物理特性
(模电)

回顾与展望

路正长.....
不着急，慢慢来。

“昨夜西风凋碧树，独上高楼，望尽天涯路”
此第一境界也。

“衣带渐宽终不悔，为伊消得人憔悴”
此第二境界也。

“众里寻他千百度，蓦然回首，那人却在灯火阑珊处。”
此第三境界也。