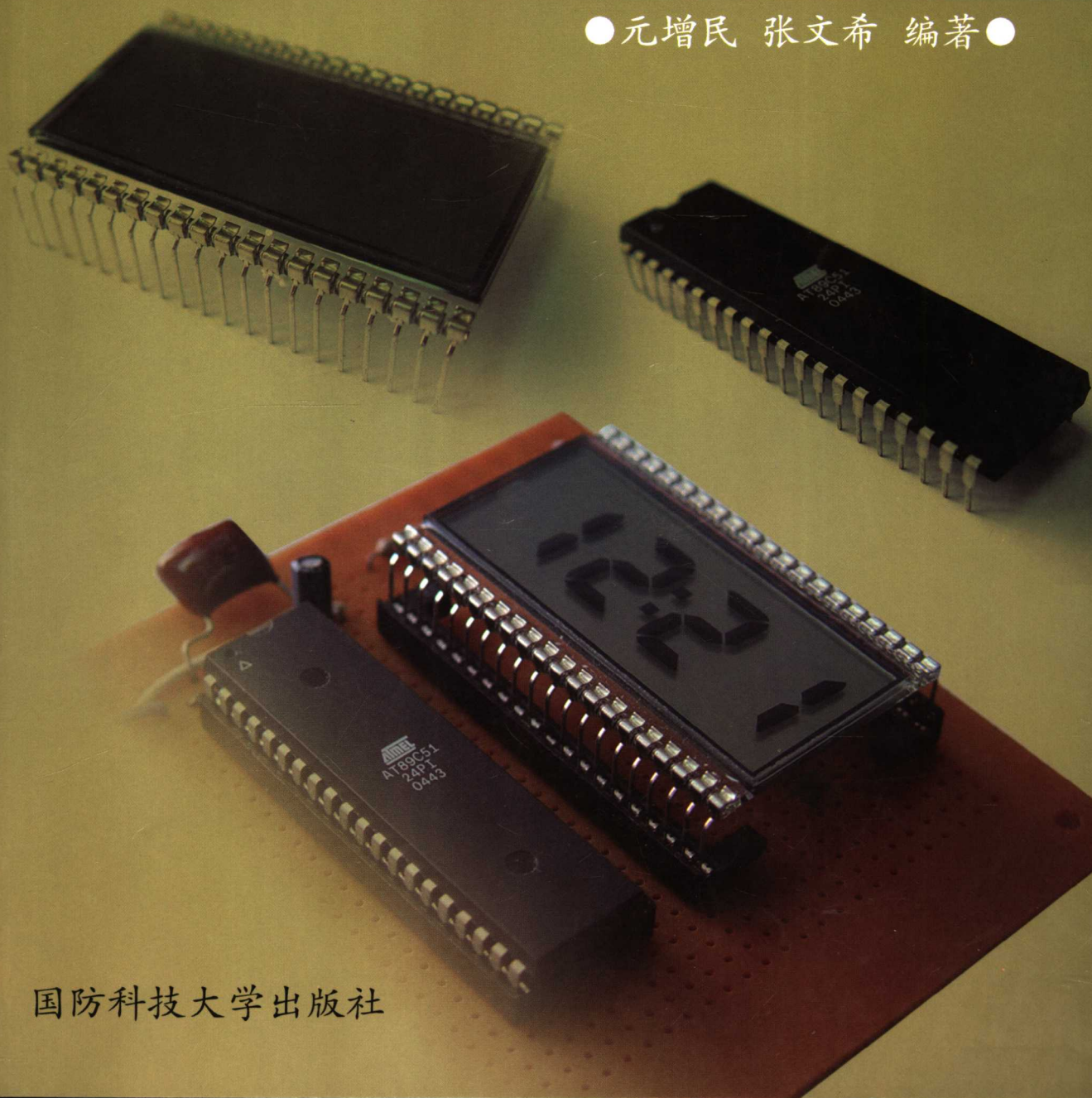


高等院校通用教材

单片机原理与应用基础

●元增民 张文希 编著●



国防科技大学出版社

高等院校通用教材

单片机原理与应用基础

元增民 张文希 编著

国防科技大学出版社

·长沙·

内容简介

本书以流行的内置 FLASH 的 AT89 系列 51 单片机为对象, 由计算机基础知识、51 单片机硬件基础、51 单片机指令系统、51 单片机汇编语言编程、51 单片机 CTC、单片机输出接口技术、单片机控制液晶显示器、单片机输入接口技术、单片机控制步进电动机、51 单片机串行通信、51 单片机中断技术、单片机与 DAC 及 ADC 接口技术、单片机控制系统设计方法及例子、单片机控制系统调试与仿真等 14 章内容组成, 各章都配有习题。书中大量实例可供读者制作实物时参照, 书末附有实验指导书。

本书可作大专院校单片机课程教材, 并可供相关专业技术人员参考和单片机爱好者自学用。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用基础/元增民, 张文希编著. —长沙: 国防科技大学出版社, 2006.6
ISBN 7-81099-270-8

I. 单… II. ①元… ②张… III. ①单片微型计算机—理论 ②单片微型计算机—接口 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004915 号

国防科技大学出版社出版发行
电话: (0731) 4572640 邮政编码: 410073
<http://www.gfkdcbs.com>
责任编辑: 徐飞 责任校对: 肖滨
新华书店总店北京发行所经销
国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.25 字数: 458 千
2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数: 1-3000 册

*

ISBN 7-81099-270-8/TP·25
定价: 26.00 元

前 言

单片机课程的先修课有电路、模拟电子技术、数字电子技术等，后续课有计算机控制技术、DSP（数字信号处理器）、嵌入式控制系统、传感器与检测技术等。

单片机课程在我国大中专院校理工科专业开设已经二十年，在单片机课程建设方面，一方面积累了很多经验，另一方面也存在不少问题。问题之一就是缺乏合适的教材，一些学校因为教学效果不好而忍痛取消了单片机课程，很难说与缺乏合用的教材没有关系。

现在基于 51 系列 AT89C51、AT89C2051，AT89S51 和 AT89S2051 八位单片机编写教材，主要基于以下原因：单片机的发展及衍生很快，但单片机的主流仍然是 51 单片机；8 位机不仅是最合适的教学对象，而且在工程应用上有着巨大优势；很多高等院校已经投入较大资金建立起以 51 单片机为模式的单片机实验室。

在本教材编著时，充分考虑了以下几点：

(1) 遵循由浅及深、从简到繁、循序渐进的基本原则，无论硬件还是软件，都从最简单开始，特别强调最小硬件软件系统的概念和方法。针对输入和输出的个性，先讲输出，后讲输入。针对中断难度大的特点，将中断内容安排在全书末尾。

(2) 既注重理论又贴合实际。在液晶显示器控制一章，讲解原理从单片机直接控制液晶玻璃板 LCD 开始，介绍应用以工程上常见的单片机控制液晶显示模块 LCM 收尾。

(3) 编程结合实际，有的放矢。本书所述比较长的程序，都经过实验验证。例如，本书所有电子钟程序都可以供读者制作实物时参照。

(4) 加强接口电路的有关概念和分析。重点讨论了电压负载与电流负载、上拉负载与下拉负载、上拉开关与下拉开关、直接驱动与旁路驱动、集电极开路与漏极开路等概念和方法。

(5) 以新手法讲解串行通信的基本概念和方法。例如，利用软件方法，将一眨眼就完毕的串行通信过程减速为可以观察和分析的慢镜头，有利于学员对串行通信过程的理解。

(6) 注重对事物的共性和个性的对比分析。定时/计数器一章通过汇总常用的时间继电器、发条式定时器、电机式定时器等的特性,使读者能从各种定时/计数器功能的共性和个性的对比分析中掌握 51 单片机定时/计数器的原理和应用。

(7) 讲解不仅注意理论价值,更注重实际价值,激发读者学习兴趣。例如,讲解中断概念时不是像通常那样让主程序陷入单句死循环,而是让机器主程序和中断服务子程序同时执行两项不同步的任务,让读者充分领略中断如何使计算机如虎添翼。

(8) 注重相关课程之间的有机联系。例如,用电路中的暂态过程理论阐述单片机复位启动过程,使人能够清楚地知道单片机上电后从哪一时刻开始执行程序。

(9) 大幅度删减了存储器扩展等陈旧内容,大篇幅介绍液晶显示器控制等新内容,加强了串行通信、步进电动机控制等时代性比较强的内容。例如以一章讨论液晶显示器控制,又以另一章介绍步进电动机控制。

(10) 注重介绍知识层次,便于读者分清轻重缓急。单片机教材实质上是一个比较复杂的说明书。本教材尽量告诉读者那些东西既需要理解又需要记忆,那些东西只要理解不要记忆,使读者能够从不同层次上了解或掌握知识。

本书作者长期工作在理论教学和实验教学第一线,全书除第 14 章外均由元增民编写,第 14 章由张文希编写,张文希并对全书内容结构提出了建设性意见。在编写过程中,徐飞、刘文彦、瞿壘、高岳民、刘辉、张志刚、许焰、唐蒲华、马凌云、李云涛等同志提出了宝贵建议,长沙太阳人电子有限公司对作者进行液晶显示器实验给予了大力支持,本书的出版得到长沙大学教材出版基金的资助,作者在此一并表示感谢。

撰写本书是为改善单片机课程教学效果,为提高教学质量出点滴之力。把多年的经验奉献给社会,是作者义不容辞的责任,但作者编写本书时还是深感水平欠缺,不足之处还望读者批评指正。

作者电子信箱: yzm@ccsu.cn, zwx@ccsu.cn

作者短信频道: 13117312981

编著者

2006 年 3 月 15 日于长沙浏阳河畔

目 录

第 1 章 计算机基础知识	(1)
1.1 计算机硬件基础知识	(1)
1.2 单片机特点及发展概况	(6)
1.3 二进制数基本知识	(9)
习题一	(13)
第 2 章 51 单片机硬件基础	(14)
2.1 51 单片机主要组成	(14)
2.1.1 51 单片机内部组成	(14)
2.1.2 51 单片机芯片引脚	(16)
2.2 51 单片机存储器组成	(18)
2.2.1 存储器划分方法	(18)
2.2.2 程序存储器	(20)
2.2.3 数据存储器	(21)
2.2.4 特殊功能寄存器	(23)
2.2.5 堆栈 Stack 及堆栈指针 SP	(26)
2.2.6 I/O 接口编址方式及外部 RAM 特点	(26)
2.3 51 单片机并行 I/O 端口结构	(27)
2.3.1 I/O 端口结构及功能	(27)
2.3.2 四个 8 位并行口的对比	(30)
2.4 51 单片机时序基础	(31)
2.5 51 单片机复位启动	(34)
2.6 51 单片机的三总线	(37)
2.7 51 单片机低功耗待机方式与掉电方式	(39)
2.8 AT89 系列 51 单片机特点及对比	(40)
2.8.1 AT89 系列 51 单片机特点	(40)
2.8.2 若干 51 单片机的对比	(44)
习题二	(46)

第 3 章 51 单片机指令系统	(48)
3.1 51 单片机寻址方式	(48)
3.1.1 寻址方式	(48)
3.1.2 访问各存储空间使用的寻址方式	(51)
3.1.3 寻址方式的识别	(52)
3.2 51 单片机指令系统	(53)
3.2.1 数据传送类指令	(53)
3.2.2 算术运算类指令	(57)
3.2.3 逻辑运算类指令	(59)
3.2.4 位操作类指令	(62)
3.2.5 程序转移类指令	(64)
3.3 51 单片机指令功能特点分析	(66)
3.4 51 单片机三种暂停模式	(72)
习题三	(74)
第 4 章 51 单片机汇编语言程序设计	(76)
4.1 编程基本问题	(76)
4.2 伪指令	(79)
4.3 程序结构	(81)
4.3.1 顺序程序结构	(81)
4.3.2 分支程序结构	(82)
4.3.3 循环程序结构	(83)
4.3.4 主子程序结构	(84)
4.4 典型子程序	(86)
4.4.1 可调延时子程序	(86)
4.4.2 冒泡排序子程序	(87)
4.4.3 任意进制加法程序	(88)
4.4.4 进制转换程序	(89)
4.4.5 查表程序	(90)
习题四	(90)
第 5 章 51 单片机定时器	(92)
5.1 定时器的发展与 CTC 的共性	(92)
5.2 51 单片机 CTC 基础	(94)
5.2.1 51 单片机 CTC 组成及工作原理	(94)

5.2.2	计数器运行及进位特点	(96)
5.2.3	CTC 工作方式、组合模式、启动方式的设定	(97)
5.2.4	计数初值的计算及送入步骤	(98)
5.2.5	CTC 极限参数	(99)
5.3	51 单片机 CTC 应用	(100)
5.3.1	CTC 定时	(100)
5.3.2	CTC 计数	(101)
5.3.3	CTC 自动连续定时用作脉冲发生器	(102)
	习题五	(102)
第 6 章	单片机输出接口技术	(103)
6.1	电流负载分类与集成电路输出电流分类	(103)
6.1.1	上拉负载与灌电流	(103)
6.1.2	下拉负载与拉电流	(105)
6.1.3	上拉开关与下拉开关	(105)
6.2	负载驱动方式	(107)
6.3	单片机控制继电器	(109)
6.4	单片机控制 LED 显示器	(111)
6.4.1	单片机控制发光二极管	(111)
6.4.2	单片机控制 LED 数码管	(112)
	习题六	(117)
第 7 章	单片机控制液晶显示器	(118)
7.1	液晶显示器工作原理及控制方式	(118)
7.1.1	液晶显示器工作原理	(118)
7.1.2	TN-LCD 基本结构	(119)
7.1.3	LCD 驱动基本要求	(120)
7.1.4	LCD 控制方式	(121)
7.2	单片机直接控制 LCD	(122)
7.2.1	单片机直接控制 LCD 的基本原理和方法	(122)
7.2.2	3.5 位液晶电子钟	(125)
7.3	单片机间接控制 LCD	(129)
7.3.1	液晶显示模块 LCM 基本特性	(130)
7.3.2	串行输入液晶显示模块 SMS 0408 功能特点	(131)
7.3.3	液晶显示模块 SMS 0408 的软串行控制	(133)
	习题七	(135)

第 8 章 单片机输入接口技术	(136)
8.1 计算机输入接口的基本问题	(136)
8.1.1 按键抖动及其处理	(136)
8.1.2 计算机键盘设计方案	(138)
8.1.3 键名与键值	(139)
8.2 键盘扫描子程序编制	(139)
8.3 Intel 8155 芯片功能及其连接	(141)
8.3.1 Intel 8155 I/O 接口及 RAM 芯片功能	(141)
8.3.2 Intel 8155 与 51 单片机的连接	(143)
8.3.3 Intel 8155 初始化编程基础	(143)
8.4 4×8 键盘扫描及动态显示子程序	(145)
8.4.1 键盘扫描动态显示复合电路的特性	(145)
8.4.2 键盘扫描控制程序	(146)
8.4.3 动态显示控制程序	(148)
8.4.4 键盘扫描动态显示综合控制程序	(149)
习题八	(150)
第 9 章 单片机控制步进电动机	(151)
9.1 步进电动机控制要求及控制方式	(151)
9.1.1 步进电动机控制基本要求	(151)
9.1.2 步进电动机通电方式的实现手段	(153)
9.2 单片机控制步进电动机	(154)
9.2.1 三相步进电动机驱动程序	(154)
9.2.2 四相步进电动机驱动程序	(157)
习题九	(159)
第 10 章 51 单片机串行通信	(160)
10.1 串行通信原理	(160)
10.1.1 串行通信基本原理与概念	(160)
10.1.2 串行通信方式与串行通信协议 TCP/IP	(161)
10.1.3 同步通信工作原理	(162)
10.1.4 异步通信工作原理	(163)
10.2 51 单片机串行通信	(165)
10.2.1 主要参数	(165)
10.2.2 硬件组成及功能	(166)

10.2.3 波特率计算	(168)
10.2.4 51 单片机串行通信编程方法	(171)
10.3 同步通信应用	(171)
10.3.1 51 单片机同步串行输出工作原理	(171)
10.3.2 51 单片机同步串行输出应用	(175)
10.3.3 51 单片机同步串行输入	(182)
10.4 液晶显示模块 SMS 0408 的串行控制	(183)
10.4.1 液晶显示模块 SMS 0408 的直接串行控制	(183)
10.4.2 用液晶显示模块 SMS 0408 制作 3.5 位电子钟	(184)
10.5 异步通信应用	(186)
10.5.1 单片机双机通信	(186)
10.5.2 单片机多机通信	(187)
10.5.3 单片机与 PC 机的通信	(189)
习题十	(190)
第 11 章 51 单片机中断功能及应用	(191)
11.1 51 单片机中断源及其优先级	(191)
11.1.1 中断源及中断申请途径	(191)
11.1.2 中断申请的优先级	(193)
11.2 51 单片机中断控制及响应	(195)
11.3 51 单片机中断功能的应用	(197)
11.3.1 与定时器配合实现低功耗延时	(197)
11.3.2 与 CTC 配合实现自动计数	(201)
11.4 抗干扰问题与看门狗	(202)
习题十一	(204)
第 12 章 DAC 与 ADC 转换原理与编程	(205)
12.1 8 位数模转换器 DAC 0832 工作原理	(205)
12.1.1 数模转换原理	(205)
12.1.2 8 位 DAC 芯片 DAC 0832 工作原理	(208)
12.2 DAC 0832 应用电路	(210)
12.2.1 DAC 0832 用于直流电动机调速	(210)
12.2.2 两片 8 位 DAC 0832 芯片组合为 16 位 DAC 电路	(211)
12.3 ADC 转换原理与编程	(213)
12.3.1 逐位比较式 ADC 电路	(213)
12.3.2 8 位八路逐位比较式 ADC 0809 工作原理	(215)

12.3.3	ADC 080 编程应用要点	(216)
12.4	51 单片机与 ADC 0809 的典型连接方式及编程	(218)
12.5	利用中断同时进行 ADC 和计时	(221)
12.6	串行输出 ADC 芯片 TLC 0831 的应用	(224)
12.7	串行输入 DAC 芯片 MAX 517 的应用	(226)
	习题十二	(228)
第 13 章	单片机控制系统设计	(229)
13.1	单片机控制系统设计概述	(229)
13.2	塑料制袋机控制系统	(231)
13.2.1	塑料袋生产工艺过程	(231)
13.2.2	可行性分析报告实例	(232)
13.2.3	FQ500A 改造设计的硬件和软件	(234)
13.3	彩色电视机遥控系统	(236)
13.3.1	彩色电视接收机工作原理及遥控要求	(238)
13.3.2	彩色电视机遥控系统的基本组成	(240)
	习题十三	(245)
第 14 章	单片机应用系统调试与仿真	(246)
14.1	单片机应用系统开发概述	(246)
14.2	应用系统样机硬件故障分析及调试	(247)
14.2.1	常见硬件故障分析	(248)
14.2.2	硬件电路调试	(249)
14.3	应用系统样机软件调试	(250)
14.3.1	软件仿真与调试方法	(250)
14.3.2	软件调试方法举例	(251)
14.3.3	应用系统样机软件硬件统调	(253)
14.4	伟福 6000 集成仿真调试软件使用介绍	(254)
14.4.1	软件安装	(254)
14.4.2	伟福 6000 集成调试软件的使用入门	(255)
14.5	Proteus 实时仿真单片机系统	(260)
14.5.1	绘制原理图	(261)
14.5.2	系统仿真与程序调试	(265)
	习题十四	(267)

附录一 单片机实验	(268)
实验 1 基本算术运算	(268)
实验 2 单片机基本输出 (简易霓虹灯)	(271)
实验 3 单片机控制继电器	(273)
实验 4 LED 数码管静态显示实验 (电子钟)	(274)
实验 5 LCD 数码管静态显示实验 (一位秒表)	(275)
实验 6 LED 动态显示实验	(275)
实验 7 冒泡排序实验	(276)
实验 8 键盘扫描数据输入实验	(278)
实验 9 单片机控制步进电动机	(279)
实验 10 51 单片机计数器工作原理	(281)
实验 11 同步串行输出 (一位秒表)	(282)
实验 12 输入实验 (一位跑表)	(283)
实验 13 DAC 与直流电动机调速	(284)
实验 14 电子表运行中进行 ADC	(285)
附录二 51 单片机指令系统表	(287)
附表 1 传送类指令	(287)
附表 2 算术运算类指令	(288)
附表 3 逻辑运算类指令	(289)
附表 4 位操作类指令	(290)
附表 5 程序转移类指令	(291)
指令系统表中机器符号说明	(292)
附录三 51 单片机指令机器码与助记符对照表	(293)
参考文献	(295)

第 1 章 计算机基础知识

1.1 计算机硬件基础知识

1. 计算机基本概念及组成

按照处理对象，计算机分为模拟计算机和数字计算机。数字计算机的应用要比模拟计算机广泛得多，通常所讲计算机一般是指数字计算机。

现代数字计算机，包括单片机的第一个基本特征是，都采用美籍匈牙利科学家冯·诺依曼提出的冯·诺依曼体系结构，即存储程序、顺序执行的体系结构。在冯·诺依曼体系结构中，程序顺序执行是主流，而子程序调用、程序转移和中断响应是程序顺序执行过程中的个别的必要调整。

六十年来，计算机的发展可以归为两个大方向，一是基于数据计算和处理功能向高精度高速度方向发展，二是基于控制功能向简化结构的方向发展。单片机就是计算机基于控制功能向简化结构的方向发展的一个产物。

学习计算机，就是研究程序存储及其顺序执行的规律。单片机汇编语言与机器硬件密切相关。因此，学习单片机首先是结合硬件学习用汇编语言编程。

现代数字计算机的第二个基本特征是采用二进制。一个二进制位称为 1 比特，1bit；8 位二进制数据称为一个字节数据，1Byte，1 拜特。

采用二进制的好处是机器能以比较简单的电子开关的开关状态获得较高的可靠性。输入数据可以转换为二进制，输出数据可以转换为十进制。数字计算机所用电子开关，最初为电子管开关，后来是分立元件晶体管开关，大约四十年前已经改用集成晶体管开关，主要是 MOS 电子开关。

数字计算机中的单元输出结构如图 1-1 所示，其中 (a) 为互补式输出结构，(b) 称为漏极开路结构，(c) 称为上拉电阻输出结构。51 系列单片机中的 AT89C51、AT89S51 的四个并行 I/O 口中的 P₁、P₂ 和 P₃ 口都采用了上拉电阻输出结构。

图 1-1 (a) 中 S₁ 断开、S₂ 闭合，电路输出高电平，相当于数字 1；S₁ 闭合、S₂ 断开，电路输出低电平，相当于数字 0；S₁、S₂ 都断开，输出端悬空，为高阻态。把这样的可以输出高电平、低电平和高阻态的集成电路称为三态电路。具备三态功能的两个甚至多个部件的输出端可以用总线连在一起。计算机三总线分为数据总线 DB，Data Bus，

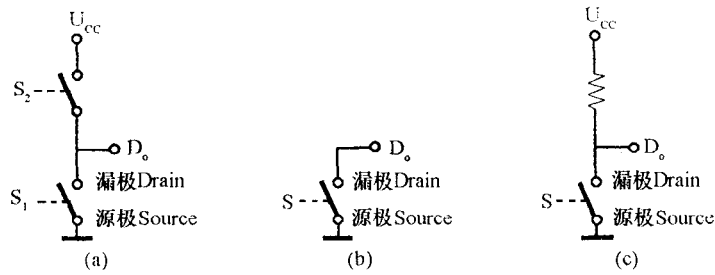


图 1-1 数字计算机中的单元输出结构及电子开关

地址总线 AB, Address Bus 和控制总线 CB, Control Bus。控制总线 CB 主要包括读、写信号线。

计算机运行时, 这些电子开关根据需要频繁地闭合和关断, 完成运算及输入输出任务。不过作为计算机应用者, 不需要具体掌握这些电子开关是怎么控制的, 只要了解电子开关的动作要领, 即如何输出高、低电平和高阻态就行。

计算机主要部件有中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、存储器和 I/O 接口等, 其间通过总线连接组成计算机系统。以前的计算机, 包括很多微型计算机的 CPU、存储器和 I/O 接口都是相互独立的芯片, 单片机是把 CPU、存储器和 I/O 接口等主要部件都集成在一个芯片上的高度集成化的结构特殊的微型计算机。计算机主要部件的输出电路都具备三态功能, 因此可以通过总线连在一起形成系统。

2. 中央处理器 CPU 基本组成与工作原理

计算机 CPU 主要由控制器和运算器组成。控制器由程序计数器 (PC, Program Counter) 指令寄存器和指令译码器等组成。程序计数器 PC 是一个可加 1 计数、可赋值的计数器, 其功能是指挥程序的顺序执行和转移、调用等。

运算器的核心是算术逻辑单元 ALU (Arithmetic Logic Unit), 其功能是完成算术运算和逻辑运算。计算机的逻辑运算与普通 TTL 门电路和 CMOS 门电路的逻辑处理相同, 都是比较简单的, 复杂的是算术运算。基本算术运算是加法运算。这里介绍 8 位机所用的 8 位加法电路原理, 通过这个电路, 大家可以对计算机算术运算电路有一个初步了解。

计算机算术运算通过逻辑运算来完成。1 个异或门和 1 个与门可以组成 1 个半加器, 见图 1-2。2 个半加器和 1 个或门可以组成 1 个全加器, 见图 1-3。8 个全加器可以组成 8 位加法电路, 见图 1-4。

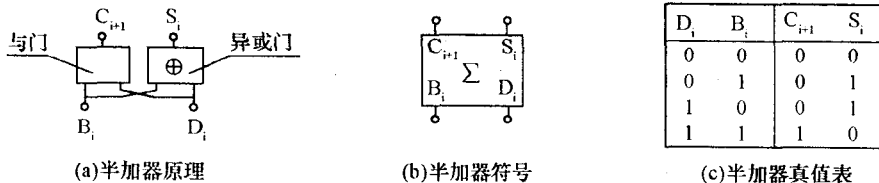


图 1-2 半加器

异或门基本逻辑功能是：两个输入 D_i 、 B_i 不相同，即一个为 0 另一个为 1，则输出 1；两个输入 D_i 、 B_i 相同，即 D_i 、 B_i 都为 0 或都为 1，则输出 0。利用一个异或门和一个与门可构成一个不考虑低位来的进位的加法电路，图 1-2 给出了半加器原理、符号及其真值表，其中 S_i (Sum_i) 代表本位和； C_{i+1} (Carry_{i+1}) 代表本位向高位的进位。把不考虑低位来的进位的加法器叫做半加器。

把考虑低位来的进位的加法电路称为全加器。利用两个半加器和一个或门可以组成一个全加器，图 1-3 给出了全加器原理、符号及其真值表，其中 C_i 代表低位来的进位， C_{i+1} 代表本位向高位的进位。

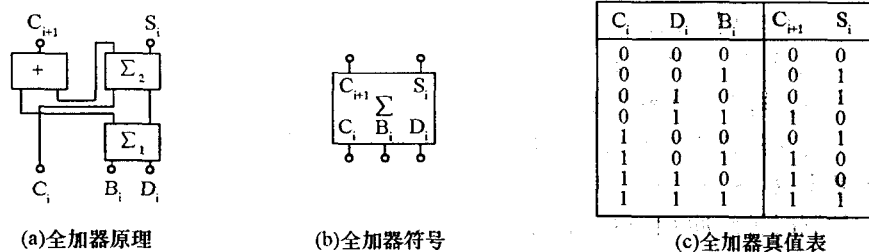


图 1-3 全加器

用 8 个全加器就能组成一个 8 位加法器，即一字节加法器，见图 1-4。读者可以根据全加器功能分析，二进制数 $D_7D_6D_5D_4D_3D_2D_1D_0 = 10101011$ 和 $B_7B_6B_5B_4B_3B_2B_1B_0 = 10100010$ 以及低位来的进位 $C_i = 1$ ，通过图 1-4 所示全加器相加结果为 01001110 ，向高位进位 $C_7 = 1$ 。图 1-4 表达了计算机进行算术运算的基本原理。

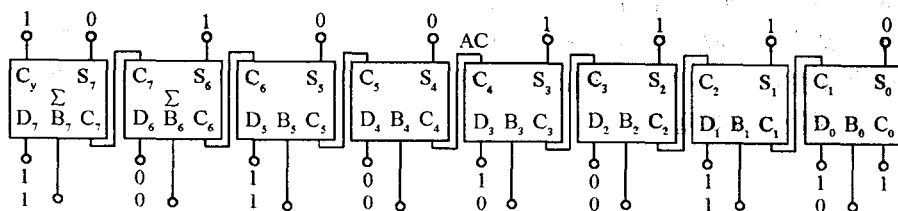


图 1-4 八位加法器（一字节加法器）

图 1-4 所示 8 位加法器，是大家通常所说的 8 位累加器 A (Accumulator) 的原始形态。8 位累加器 A 的 D_3 向 D_4 的进位 C_4 ，总的看是低 4 位向高 4 位的进位 C_4 ，叫做半进位。一般用符号 AC 表示半进位。

3. 存储器基本组成与工作原理

计算机最早使用磁芯存储器，后来发展为半导体存储器。半导体存储器又分为掉电不失的只读型存储器 ROM, Read Only Memory, 和掉电即失的随机读写存储器 RAM, Random Access Memory。RAM 分为静态 RAM 和动态 RAM。单片机使用的是静态 RAM。这里以静态 RAM 的写入为例介绍广泛应用的负脉冲上升沿锁存数据的工作原理。

静态 RAM 中的每位二进制数据单元的核心都是一个触发器。很多触发器都工作在低电平 0 封锁与门及与非门、高电平 1 封锁或门及或非门的特性上。

与门的若干输入中有一个为低电平 0，则其输出恒定为低电平 0，与其他几个输入无关；与门的若干输入中有一个为高电平 1，则其输出取决于其他输入。形象化地讲，低电平 0 能封锁与门，使与门输出恒定为 0 而不再理会其他输入信号；高电平 1 能敞开了与门，使与门输出能接收其他输入信号而变化。把这个规律称作 0 封锁与门，1 敞开了与门。

类似的逻辑门封锁与敞开的规律共有以下四条：

- 0 封锁与门，1 敞开了与门；
- 0 封锁与非门，1 敞开了与非门；
- 1 封锁或门，0 敞开了或门；
- 1 封锁或非门，0 敞开了或非门。

由六个与非门组成的 D 触发器如图 1-5 所示。很明显，该触发器中的 G1、G2 门组成一个基本 R-S 触发器，其实 G4、G6 门、G3、G5 门各自组成另外两个基本 R-S 触发器。控制时钟脉冲 CP (Clock Pulse) 为低电平 0 时，与非门 G3、G4 被封锁而输出高电平 1，无论输入 D 如何变化，G3、G4 的输出都不变，使触发器输出 Q 不变，同时 G3、G4 的输出 1 各自敞开了 G5、G6，使它们能够接受输入信号 D。

设此时输入 $D=0$ ，则 G6 输出 1，经反馈使 G5 输出 0。当 CP 脉冲上升沿来到时，G4 所有 3 个输入都为 1 而输出 0，使 G2 输出 = 1，G1 输出 $Q=D=0$ 。G4 输出 0 封锁 G6，使 CP=1 时即使 D 变化为 1，触发器输出 Q 也不变，所以把 G4 到 G6 之间的反馈线叫做置 0 维持线，或叫做置 1 阻塞线。

设输入 $D=1$ ，则 G6 输出 0，经反馈使 G5 输出 1。当 CP 脉冲上升沿来到时，G3 所有 2 个输入都为 1 而输出 0，G1 输出 $Q=D=1$ ，G2 输出 = 0。G3 输出 0 封锁 G5，使 CP=1 时即使 D 变化为 0，触发器输出 Q 也不变，所以把 G4 到 G6 之间的反馈线叫做置 1 维持线，或叫做置 0 阻塞线。

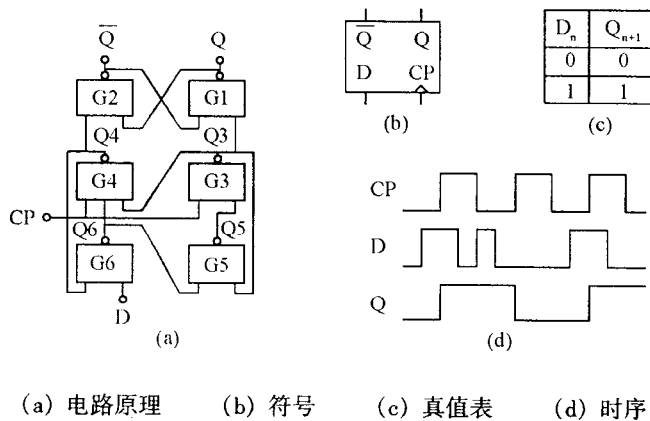


图 1-5 D 触发器工作原理

就是说,该触发器在时钟脉冲 $CP=0$ 时接收输入信号, CP 脉冲上升沿来到时触发翻转, $CP=1$ 时输入被封锁,输出维持。该触发器的数据准备、翻转及开始保持都在 CP 脉冲上升沿前后进行,因此叫做边沿触发器。该边沿触发器输出虽能跟上输入,但输出变化总比输入晚一步,因此其英语名字是 Delay Flip - Flop,即延迟触发器,但中文名字一般叫做 D 触发器。

D 触发器时钟脉冲上升沿锁存数据的方法在计算机技术中广泛应用。建立上升沿锁存数据的概念是非常重要的。

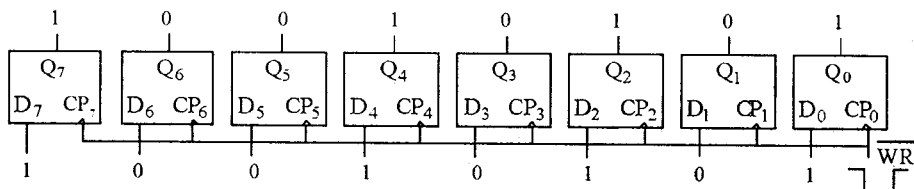


图 1-6 负脉冲上升沿锁存数据的工作原理

图 1-6 为用 8 个 D 触发器组成的八位存储单元模型。所有 D 触发器的时钟脉冲端都接在一起,共同接受写信号 \overline{WR} 的控制,另外一个输入端接收一个字节八位输入信号 $D_7 \sim D_0$,计算机传送数据时,首先将数据送到数据总线上,然后使写信号 \overline{WR} 负脉冲呈现上升沿,数据即写入八位存储单元。

计算机除了写信号 \overline{WR} 外,还有读信号 \overline{RD} 。写信号 \overline{WR} 和读信号 \overline{RD} 都是根据存储器命名的。对存储器是读,对 CPU 就是写。因此,读信号 \overline{RD} 实际是 CPU 内部的累加器的写信号。通常把写信号 \overline{WR} 、读信号 \overline{RD} 等称为控制总线。

总之,二进制数字计算机工作过程中数据传送的实质是通过指令操作计算机中的与门、或门等逻辑门电路的敞开与封锁,使寄存器、存储器中的 0 与 1 按照要求维持或变化,数据计算的实质则是逻辑运算。

4. 译码器原理及其作用

计算机存储单元数量即存储容量通常以 kB (千字节) 为单位, $k=2^{10}=1024$ 。因此要把各存储单元给以地址编号,并通过地址译码器识别。译码器除了用于地址识别外,还用于指令识别等。

计算机有一个指令系统,每条指令都能完成一定的操作任务。若干条指令可以组合起来形成一个程序,完成人们所需要的任务。计算机执行程序时每取来一条指令,首先要把它送到指令译码器进行指令译码。

译码器是一个逻辑电路。一个 n 位输入的译码器有 2^n 个输出。 2^n 个输出中,任意同时只有 1 个输出有效。通常以低电平为有效标志。以低电平为有效标志时,一个 n 位输入的译码器的 2^n 个输出中,只有一个为低电平,其余均为高电平。3 位输入的译码器有 $2^3=8$ 个输出,简称 3-8 译码器。74LS138、74HC138 是典型的 3-8 译码器。3-8 译码器输入二进制数 010 时,编号为 010 的输出为有效低电平。

这样的译码器,进行地址译码时可以保证在所有存储单元中只选中一个单元进行