

21 世纪 高等学校本科系列教材

总主编 吴中福

单片机原理及应用

(9)

潘世永 牟行军 郝卫东 编著



重庆大学出版社

单片机原理及应用

潘世永 牟行军 郝卫东 编著

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书较全面地介绍了两类不同结构的单片机,全书共分两篇,第1篇介绍 Microchip 公司的 PIC 单片机系列的硬件结构,指令系统,还介绍了单片机的汇编语言程序设计方法和开发工具系统,并结合应用给出了系统扩展方法、实用程序模块和系统设计举例。第2篇介绍过去在单片机应用领域最常用的 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机,内容结构与第1篇基本相同。两篇内容可相互参照,互为补充。

本书作为教材,旨在将单片机的特点、结构、指令系统及设计应用技术加以归纳整理,并提供丰富的应用实例,为读者应用单片机打下基础。

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用/潘世永编著. —重庆:重庆大学

出版社, 2001. 12

计算机科学与技术专业本科系列教材

ISBN 7-5624-2359-8

I. 单... II. 潘... III. 单片微型计算机—高

等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 070480 号

单片机原理及应用

潘世永 牟行军 郝卫东 编著

责任编辑 彭 宁

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 16 字数: 399 千

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000

ISBN 7-5624-2359-8/TP·315 定价: 23.00 元

前言

随着人类知识的积累和工业生产技术的发展,人类对自然的控制与加工能力越来越强。在人类社会的各个领域,从工业、农业、商业、国防、通信、交通运输、科学技术直到文化娱乐、教育、医疗乃至家庭生活的每一个角落,自动化设备、智能仪器仪表正延展着人们的感官,精确地执行人的命令,实现着人们过去可望而不可及的愿望。

由于微处理器生产成本的下降,目前各种自动化设备和智能仪器仪表的核心部件通常是由专用的微处理器构成。这些专用的微处理器在我国一般称为**单片机**,国外称为**微控制器 (Microcontroller)**。单片机广泛用于自动化控制设备、消费电子产品、智能仪器仪表等领域,尤其是在新型智能化小产品开发方面,几乎是单片机一统天下。

单片机是微处理器应用的一个重要分支,但与普通 PC 机中的微处理器不同,由于一般情况下,单片机是用于一台(个)特定仪器设备中作信息加工处理的微处理器,任务相对比较固定、单纯,信息加工处理量比较小,因此单片机所需的程序和数据空间比较小,硬件不需要像通用微处理器那样复杂,指令系统也比较简单。但是受使用环境、生产成本等问题的影响,对单片机的体积、功耗、可靠性、性价比等要求比较高。单片机芯片中通常都集成了各种 I/O 接口、定时器、看门狗、RAM 甚至还有 ROM 等,这样一个芯片就可构成一个小小的计算机系统,单片机由此而得名。

目前单片机的品种很多,按数据总线分有 4 位、8 位、16 位、32 位等,各种机型有几百种。从大多数自动控制应用的角度看,8 位单片机已能满足各种场合的需求。因此本书的编写只介绍比较典型的 8 位机中的两个系列。本书是针对计算机科学与技术本科专业和各类自动化工程本科专业的学生而编写的。为使学生比较轻松、比较快地掌握单片机的一般应用,本书的内容不太深,强调应用设计中需要掌握的基本原理、方法和指导原则,同时还考虑了单片机产品和实验设备的价格,要让学生学成之后设计出来的产品能有良好的性价比。学生在今后的应用中如果还感觉本书内容不够用,可查阅本书所列参考书和所列相关网站。

本书共分两篇,第1篇介绍 Microchip 公司的 PIC 单片机系列,该系列单片机采用了 RISC 精简指令系统和哈佛总线,易学易用,运行速度比一般单片机快 4 倍;由于采用低价 OTP 技术,其价格几乎与掩膜型相近,适合中小型批量生产;因为采用了一系列措施,该系列单片机工作电压低,功耗小,驱动能力强,占用空间少,抗干扰能力强,程序保密性好,可靠性高,价格低,目前已开发出基本级产品、中级产品和高级产品三个层次多种型号的产品,广泛应用在从鼠标器、IC 卡、儿童玩具、家电控制到电讯通信、工业控制、汽车电子等许多领域。

第2篇介绍 Intel 公司的 MCS—51 系列单片机。虽然该产品出厂早,功能不太强,性价比不太高,但由于用户群广大,目前又有许多厂商生产出该系列的兼容机型。这些兼容机型加强了 MCS—51 系列单片机的功能,指令系统又完全兼容,照顾了大量不愿意改换门庭的产品开发者。该系列单片机在我国最早得到普及应用,各种应用程序库完整丰富,试验开发装置品种多,目前大多数高校的实验设备都还是 MCS—51 系列的。

本书作为教材,旨在将单片机的特点,结构,指令系统及设计应用技术加以归纳整理,并提供丰富的应用实例,为读者应用单片机打下基础。本书是按 32 学时授课,16 学时实验进行内容安排的。由于 PIC 系列单片机的型号品种比较多,各种机型所带的功能基本覆盖了常见的应用。用 PIC 系列单片机开发一个应用系统一般情况下只需选择适当型号规格的机型,所需的外围器件比较少,因此其单片机特色更加突出。由于 PIC 系列单片机的功能强,需要介绍的内容也较多,第一篇约占全书 2/3 的篇幅。受课时和篇幅的限制,对 PIC 系列单片机只介绍到中级产品。

为了跟上技术发展的潮流,同时也兼顾市场现状和各个学校的实验设备状况,本书介绍了两个系列的单片机。从原理的角度看,内容有重复。教学时,教师可以根据学生和实验设备的情况在第1篇和第2篇之间有所侧重或取舍,有些部分可列为参考,由学生自学。本书的应用举例以 PIC 系列为主,在第2篇 MCS—51 系列部分只介绍了一个应用实例。但 MCS—51 系列单片机在我国应用早、普及率高,这方面的资料很多,另外系统硬件组成部分也可参考 PIC 系列的应用举例。

本书的符号约定,由于在录入和编排上的不便,我们在某些地方将表示低电平信号的上画线改用下画线表示,如 $\overline{\text{MCLR}}$ 表示为 MCLR ,请读者在阅读时留意。

本书由四川工业学院计算机科学与工程系的潘世永任主编,并编写了绪论和第1篇中的第5、6、7、8章,郝卫东编写了第1篇中的第1、2、3章的初稿,由潘世永进行了改编;四川工业学院计算机科学

与工程系的牟行军任副主编,编写了本书第 2 篇的 9、10、11、12、13 章和第 1 篇中的第 4 章,并对第 1 篇中的大部分程序进行了调试验证。由于时间有限,不妥之处恳请广大读者指正并谅解。

编 者

2001 年 8 月底

目录

绪论	1
0.1 单片机内部结构概述	1
0.2 单片机应用系统概述	4

第 1 篇 PIC 系列单片机

第 1 章 PIC 系列单片机概述	10
1.1 PIC 单片机的主要技术性能特点	10
1.2 PIC 系列单片机的分类与型号	13
1.3 PIC 系列单片机的命名规则与产品封装	15
第 2 章 基本级 PIC 系列单片机	18
2.1 引脚、内部结构和存储器	18
2.2 特殊功能寄存器和 I/O 端口	21
2.3 振荡、复位电路与低功耗方式	27
第 3 章 PIC 系列单片机指令系统	30
3.1 概述	30
3.2 PIC 系列单片机的寻址方式与指令格	31
3.3 PIC 系列单片机的指令集与使用说明	33
3.4 MPASM 支持的伪指令	34
3.5 程序设计初步	37
第 4 章 MPLAB 集成开发环境软件	55
4.1 MPLAB 概述与主菜单介绍	55
4.2 MPLAB 的使用方法	61
4.3 PICSTART Plus 的使用方法	73
第 5 章 PIC 系列单片机的简单应用实例	76
5.1 用 PIC12C508A 单片机设计的电源控制器	76

5.2	欧姆表与温度测量仪表	91
第 6 章	中级 PIC 系列单片机	100
6.1	主要性能特点	100
6.2	PIC16CXX 系列的引脚、内部结构和程序存储器	101
6.3	数据寄存器空间与特殊功能寄存器	103
6.4	中断	106
6.5	普通 I/O 端口和并行从动(PSP)方式	108
6.6	功能模块	111
第 7 章	串行通信模块	124
7.1	概述	124
7.2	SSP 同步串行口模块	125
7.3	SCI 串行通信模块	134
第 8 章	单片机系统扩展与应用	142
8.1	概述	142
8.2	单片机系统扩展	143

第 2 篇 MCS—51 系列单片机

第 9 章	MCS—51 系列单片机的硬件结构	160
9.1	概述	160
9.2	8051/8031/8751 单片机引脚功能与内部结构	162
9.3	程序空间与数据空间	166
9.4	特殊功能寄存器与 I/O 端口	170
9.5	CPU 工作时序与应用系统硬件设计简例	176
第 10 章	MCS—51 系列单片机的指令系统	180
10.1	概述	180
10.2	MCS—51 系列单片机的寻址方式	181
10.3	MCS—51 系列单片机的指令集与使用说明	184
10.4	MCS—51 系列单片机的汇编语言与伪指令	189
10.5	简单编程举例	192
第 11 章	定时器、串行接口与中断	193
11.1	中断	193
11.2	定时/计数器	197
11.3	串行接口	204

第 12 章	MCS—51 系列单片机的系统扩展	214
12.1	程序存储空间的扩展	214
12.2	数据存储空间的扩展	215
12.3	I/O 端口的扩展	216
12.4	A/D、D/A 的扩展	219
第 13 章	应用系统设计举例	224
13.1	单片机应用的特点	224
13.2	单片机应用举例	224
附录一	PIC 单片机系列速查表	240
参考文献及参考资料网站		246

绪 论

0.1 单片机内部结构概述

单片机是一类特殊的微处理器,它内部的硬件结构与一般微处理器相同的是都有控制器、运算器和各种专用寄存器。控制器将时钟振荡器产生的方波脉冲按固定的时间顺序分配给芯片内的各个部件,即产生节拍。在节拍的作用下,控制器按程序计数器中的地址从程序存储器中取回指令进行译码,运算器和各种专用寄存器则根据译码在控制器的控制下有条不紊地进行数据的传递和运算处理。

存储器是计算机系统中非常重要的一部分,单片机与PC机中的微处理器在存储器结构方面有很大的不同。PC机是一种通用设备,随使用者不同,其软件和数据也有很大的差异。因此PC机的存储器一般都采用冯·诺依曼结构,这种结构让程序和数据处在同一空间内,在这种结构下程序本身就是一种数据,使用者或者程序可以方便地修改和变更程序这种数据,以适应各种需求。也正因为如此,现在的PC机需要越来越大的内存空间。而单片机是用于一台(个)特定仪器、设备中作信息加工处理的微处理器,大多数情况下人机交互比较少,任务相对比较固定、单纯,信息加工处理量比较小,程序也不需要因人而异进行改变,因此单片机所需的程序和数据空间比较小。目前基本上所有单片机的存储器都采用哈佛结构,这种结构让程序和数据处在不同的空间,程序放在ROM里,一般情况下不能修改,数据放在RAM内,供程序调用和加工处理。需要注意的是,并不是由于采用了ROM和RAM这两种不同的器件而使程序和数据有了区别,不同的空间意味着单片机对程序和数据的操作方法和操作时间节拍是不同的,还意味着这两部分空间的地址编码是独立的,光是一个地址信息并不惟一指定存储空间的某一位置。

虽然从原理上讲目前基本上所有单片机的存储空间都采用哈佛结构,但在具体实现方面却有很大的差别,PIC系列单片机和MCS—51系列单片机是这方面的两个典型,下面作简单介绍。

PIC系列单片机的存储空间采用标准的哈佛结构,由图0.1可见,其指令总线 and 数据总线是分开的,一般情况下指令空间与数据之间没有联系,只有当需要改变程序计数器中的值时,即下一条执行指令与当前指令的地址不连续时,才会通过数据总线将需要转移到的指令地址信息传递给程序计数器。

PIC系列单片机的数据空间中有专用寄存器、特殊功能寄存器和通用寄存器。专用寄存器是指专供微处理器作运算、控制用途的,例如工作寄存器W、参数定义寄存器OPTION、配置寄

寄存器 CONFIG 等。特殊功能寄存器是指定时计数器 TM0、TM1、端口寄存器 PORTA、PORTB..... 看门狗计数器 WDT 等为实现某一特定功能而需要的寄存器。专用寄存器和特殊功能寄存器的概念比较模糊,不同著作对此划分不一。由于这部分寄存器数量不多,又都很重要,作为教材,本书不讨论它们的区别,统一称为特殊功能寄存器。通用寄存器供处理器存放实时采集到的数据和运算处理过程中产生的数据。这些寄存器均由寄存器阵列组成,挂在数据总线上,统一进行编址。这一部分数据空间是学习单片机应用技术需要重点掌握的内容,只有熟练掌握了这些寄存器在单片机中所起的作用,以及它们之间的联系,才能正确编出发挥其功能的程序,设计出性价比高的产品。

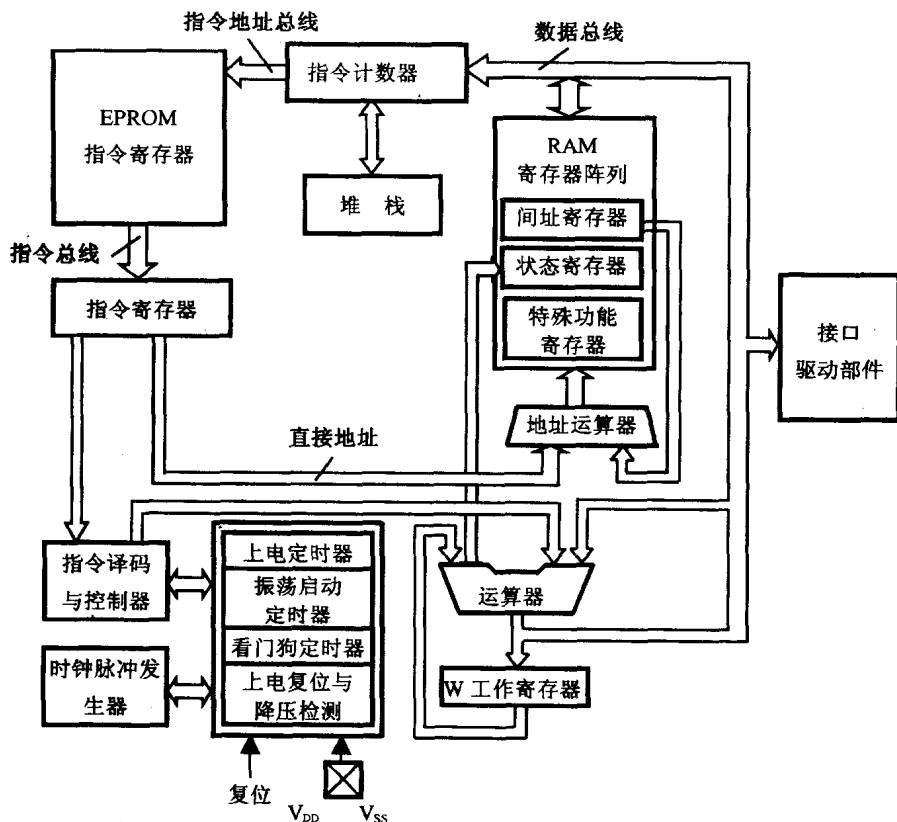


图 0.1 PIC 系列单片机内部结构示意图

PIC 系列单片机这种结构的优缺点是:

①指令总线和数据总线可以不等宽,指令存储器的字长和数据存储器的字长也可以不相等,这样就可以有效地简化指令系统。PIC 系列单片机采用的是 RISC 指令集 (Reduced Instruction Set Computer),所有指令均为单字长。

②可以在执行一条指令的时候,取出下一条指令,即采用流水线作业方式取出指令和执行指令,这样就可以提高指令的执行效率。在同样时钟频率下 PIC 系列单片机的指令执行效率是 MCS—51 系列单片机的 4~6 倍。

③指令空间只能设计在微处理器内部,否则需要专用指令地址总线和指令数据总线的管脚与外部器件相连,管脚数一多,体积就增大,成本也会增加。PIC 系列单片机在芯片中集成了 0.5~8K 的指令存储器(根据功能的强弱而不同),这样的指令空间受限制,不能扩展,用户设

计应用系统时受到一定的制约,好处是减少了外部器件和简化了外部电路。

MCS—51 系列单片机的存储器不是采用标准的哈佛结构,由图 0.2 可见,在其内部只有一条数据总线,没有指令总线。数据和指令都在这一条数据总线上分时进行传输。这种硬件结构与 PC 机中的微处理器很相似,所不同的是 MCS—51 系列单片机将指令空间与数据空间用不同的控制线区分开来,这一点在片外存储器部分非常明显。从图 0.2 可见,片外的 RAM 和 ROM 采用的是同一个地址锁存器,但 ROM 空间采用 PSEN 作为选通信号线,而 RAM 空间采用 WR 和 RD 作为选通信号线。当然指令和数据这两种不同的信息流的“地址和数据”在内部

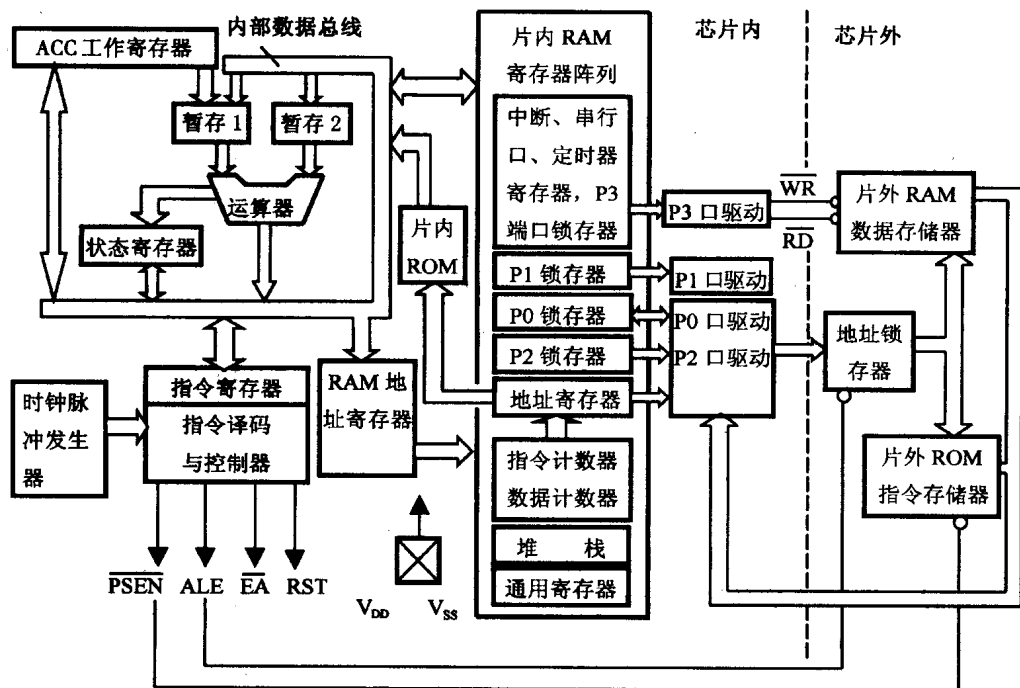


图 0.2 MCS—51 系列单片机的内部结构示意图

数据总线上的流动节拍也有严格的区别。

MCS—51 系列单片机的指令空间只有一个,片内和片外统一编址。使用片内 ROM,EA 管脚须接高电平,片外 ROM 不再使用这一部分地址。

MCS—51 系列单片机数据空间分为两个,片内由 RAM 组成的寄存器阵列包含专用寄存器、特殊功能寄存器、堆栈和通用寄存器等,挂在数据总线上,采用专用地址寄存器寻址。片外 RAM 的数据通过 P0 端口与单片机相连,片外 RAM 的地址通过 P0、P2 端口与外部的地址锁存器相连(这里的数据端口 P0 与地址端口 P0 是分时使用的同一个物理端口),只有一条专用指令 MOVX 可以访问。MCS—51 系列单片机这两部分数据空间地址有重复。

由于 MCS—51 系列单片机内部只有一条数据总线,所有信息都通过这条总线传递,总线的瓶颈现象明显。MCS—51 系列单片机的一个机器周期由 6 个节拍、12 个时钟周期组成,而 PIC 系列单片机的一个机器周期仅由 4 个时钟周期组成。同时由于 MCS—51 系列单片机内部只有一条数据总线,每次操作无论是指令还是数据必须等宽,复杂指令只能分段读取,所以 MCS—51 系列单片机采用的是 CISC 指令集(Complex Instruction Set Computer)。因此这两个系

列单片机的优缺点正好相反。

单片机是一种现场使用的器件,一般要求体积小、功耗低、抗干扰强。因此目前单片机一般都采用 CMOS 工艺制造。同时作为一种可编程器件,可以用于各种产品,要求它有多种功能,大多数单片机内部都集成了各种功能,例如:看门狗 WDT,用于单片机受干扰程序跑飞后,将单片机自动复位;定时器,使单片机可用于需要测量时间间隔的地方;异步串行通讯接口,使单片机可方便的与上位机通讯;A/D(模/数)转换、PWM(脉宽调制输出)、比较器,用于需要模拟信号输入输出的场合;外部中断、捕获/比较,使单片机可同时处理多个随机突发事件;睡眠/唤醒功能进一步减小功耗;并行接口、I²C 串行接口、同步串行通讯接口使单片机可与多种器件连接以进行系统功能的扩展;甚至还有硬件乘法器使单片机可用于高速信息处理的场合。当然并不是所有的单片机都含有上述功能,一般说来,集成功能越多,需要的 I/O 端口也越多,相应的价格也越高,设计人员可根据系统功能要求选择恰当型号的单片机以降低系统造价。

作为通用器件,单片机的管脚大多是多功能的,即某一个管脚即可以用作普通的 I/O,也可用作异步串行通讯接口、或者 A/D 输入、或者外部中断、或者捕获/比较等等。具体用户想如何使用其功能,可以由编程时对相应的特殊功能寄存器设定得到。

MCS—51 系列单片机由于开发得比较早,内部集成的功能比较少,但可在其外部加相应的器件,通过系统扩展的方法解决,这一部分内容在第二篇第四章中举例说明。另外许多 MCS—51 系列单片机的兼容机都作了扩展设计,在其内部也集成了各种功能。

0.2 单片机应用系统概述

单片机大多数情况下都是用来开发小家电产品、智能仪器仪表或小型控制系统等。系统都比较小,也比较简单,一个完整的单片机应用系统一般可划分为 4 大部分:①输入通道,②信息处理,③输出通道,④电源,见图 0.3。

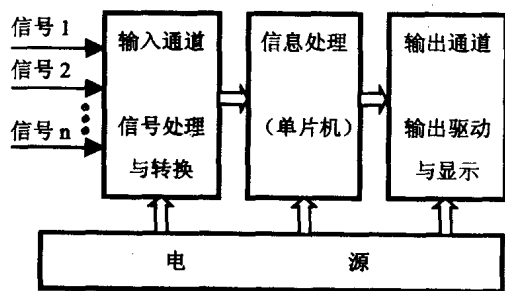


图 0.3 单片机应用系统示意

绝大多数产品设计者都将独立设计这 4 个部分的电路和软件。这要求设计者熟练地掌握模电、数电、测量仪表、通讯、印刷电路板设计等各方面的知识,当然本书不可能详细讨论这些内容,只在这里对部分电路设计时需要注意的问题作概要性论述。

0.2.1 输入通道

单片机应用系统中输入通道的作用是将外部输入信号转换为单片机可以接受的电平信号和便于连接的电路方式,并隔离危险,尽量消除干扰。

进入单片机的信号可以分为两大类:开关量和模拟量。一般来说开关量信号比较简单,只包含“0”和“1”信息,可由各种继电器接点、开关、按钮等产生。这一类信号与单片机的连接比较简单,一般可以通过加上拉电阻的方法将其转换为与单片机的电源相同的电平信号后与单片

机的普通 I/O 端口连接,见图 0.4 中的 K1 与 S1。对于这些开关量信号有几点需要注意:

(1) 大多数的单片机当其 I/O 端口作为输入使用时,其内部都有上拉电阻,因此只须将开关的一端接地,另一端直接与单片机相连,这样可以简化电路,降低成本;

(2) 有一些开关是来自远处(一般指十米以外),为防止强电串入(如雷击、短路等)造成器件损坏甚至人身危险,需要采用光电隔离,见图 0.4 中的 K2。光电耦合器中发光二极管一侧的电源也要与单片机的电源分离,至少与 V_{SS} 要由不同变压器绕组产生;

(3) 有一些开关量信号是来自其他设备的电平或脉冲信号,例如与上位机的串行通讯信号,最好采用光电隔离,以避免一些意想不到的系统故障;

(4) 如果需要进入单片机的开关或按钮比较多,可以采用组成矩阵的方法,用软件查询。这样可以减少对单片机 I/O 端的需求(详见第一篇 8.3)。

(5) 还有一些开关量信号出现的时间很短,有的还是随机出现,这时我们特别需要掌握的是其变化部分(例如,由低电平变为高电平时)。这些信号与单片机相连时不能使用普通的 I/O 端,需要使用单片机的外部中断或者捕捉/比较输入端,才能捕捉这些开关量信号(详见第一篇 6.4 和第二篇 4.1)。

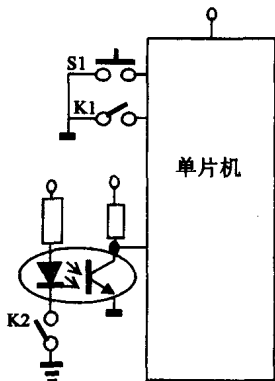


图 0.4 开关量与系统的连接

进入单片机的信号还有一类是模拟量信号。各种实际的物理量,例如物体温度、气体成分、锅炉压力、物体的重量等等经过传感器变换为电信号后,送入单片机系统进行数字化处理。由于大多数的传感器都需要特定的电源才能将实际的物理量转化为电压信号,这些电源与单片机系统的电源是相互独立的,因此传送过来的模拟电压信号与单片机系统的电源是不同地的,即使在电源系统允许的情况下将这些双端输入的信号一端与 A/D 转换器的模拟地相连,常常也会引入较大的共模输入电压或干扰信号。因此这些信号与单片机一般不能直接连接,需要经过电平转换和隔离,有的还要用放大器放大后才能与 A/D 转换器相连接。通常使用的方法是:在信号输入端加一个差动放大器(如图 0.5 所示),将这些双端输入的信号转换为单端输入后,再与 A/D 转换器相连,既可遏制共模电压,同时也起到电平转换和一定的隔离作用。

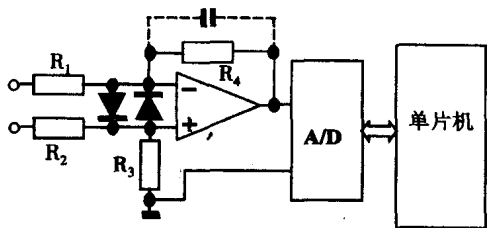


图 0.5 模拟信号与系统连接方法

这些双端输入的信号转换为单端输入后,再与 A/D 转换器相连,既可遏制共模电压,同时也起到电平转换和一定的隔离作用。

模拟量信号的隔离是一个比较复杂的问题,由于光电耦合器的线性度通常不太好、器件的一致性较差,而且要求信号源提供较大的电流,因此难以以较低的价格实现信号源与系统的完全隔离。采用图 0.5 连接方式,当 R_1 、 R_2 足够大时,就可以起到较好的隔离作用。另外,模拟量信号中容易串入高频干扰,可如图 0.5 中虚线所示加一电容,构成有源低通滤波器,消除高频干扰。

在模拟量输入通道的设计中,系统精度决定了应采用多少位的 A/D 转换器。十位的 A/D

转换器可以达到 1‰ 的精度,如果精度要求不高于 5‰,则八位的 A/D 转换器就能满足要求。在大多数情况下,我们应考虑按 5‰ 精度设计系统,因为:①八位的 A/D 转换器价格较低,A/D 转换和数据传送需要的时间也少;②单片机内部数据线是八位的,在此精度下软件设计大大简化;③有些单片机自带 A/D 转换器,例如:PIC12C673/674、PIC16C7X 等,这些单片机自带的 A/D 转换器是八位的。使用自带 A/D 转换器的单片机可以大大简化输入通道的设计。

当进行模拟输入通道设计时,如果 A/D 转换器不是单片机自带的,一般情况下应首选串行通讯的 A/D 转换器,这样可以减少单片机端口的占用、简化硬件电路,降低成本。只有当需要高速数据采集时,才考虑采用并行通讯的高速 A/D 转换器。

在 A/D 转换方面,还有一种常见的方法是先进行 V/F(电压/频率)转换,然后由单片机进行定时计数或测量脉冲间隔时间。这种方法的好处是模拟信号输入可以只占用单片机的一个普通 I/O 端口,并且有的 V/F 芯片转换精度高,价格也低,性价比很好。

0.2.2 信息处理

信息处理部分是整个系统的中枢神经,但其硬件部分却可能很简单,只有一个单片机。通常情况下,我们应尽可能将需要程序控制功能或定时功能的工作交给单片机完成,用软件取代复杂的硬件电路。如果仅靠软件和低档单片机无法满足信息处理的要求,首先应该考虑选功能更强大的单片机。但有时单靠一个单片机实在不可能满足系统需要的功能,例如:一个数据采集系统需要大量的 RAM 空间存放数据;一个密码锁系统需要有一定的 EEPROM 空间存放数据以保证断电后系统仍然能记忆一些信息;一个多媒体控制系统需要有多片单片机分别处理声音、图像和人机对话的控制信号才能满足其实时控制要求等等。对这样的系统进行设计时,不可避免地要利用单片机的 I/O 端口进行功能扩展,才能完成复杂的信息处理工作。特别是利用 MCS—51 系列中的 8031 单片机设计的系统(8031 在过去设计的单片机系统中是最常用的单片机芯片),由于其内部没有程序存储器,必须利用 I/O 端口扩展出程序空间。

0.2.3 输出通道

在输入通道和信息处理单元中传递的电信号是单纯的弱电信号,只要保证信号能正确传递,各个芯片能正常工作,器件消耗的电功率应越小越好。但在输出通道中则不同,为了保证测量仪表的显示输出清晰可见、温度控制系统中的加热器能升温和制冷压缩机能转动、数据采集系统与远地的上位机通讯时信号不被噪声淹没等等,都需要对信息处理单元输出的显示或控制信号进行功率放大。输出通道的主要作用是将经单片机处理后的信号进行电平匹配、功率放大与隔离以驱动显示器件或执行机构。电功率放大既意味着提高器件电源电压,增加电流驱动能力。输出通道中的许多器件使用的电源电压与单片机的不同,例如继电器、可控硅开关、RS232 串行通讯接口器件等。一般说来单片机的任何一个 I/O 管脚都不允许被施加比其电源更高的电压,哪怕是极短的时间,否则将永久性损坏单片机。这里特别值得一提的是像继电器这样的电感类器件,在开关量作用下会产生极高的感应电动势损坏单片机或其他器件。因此在输出通道中常常如图 0.6 所示使用光电耦合器隔离使用不同电源、电压的器件,以及需要使用长线传输信号的情况。

在电流驱动能力方面特别需要注意的是与 LED 一类发光二极管的连接。发光二极管是非线性器件,如果与单片机或其他的数据锁存器的输出端口直接相连而未加限流电阻,输出端口达到最大电流驱动能力后,输出端口的压降会急剧上升,造成器件因功耗过大而热损坏。通常在设计中应避免使数字器件的输出端口达到饱和电流。

在有的控制系统中,例如直流电机调速系统、气动阀门控制系统等,执行机构可能需要连续的模拟量控制信号,这就要求输出通道进行 D/A 转换。在单片机系统中最常使用的 D/A 转换方式是 PWM(脉宽调制)方式。这种 D/A 转换方式甚至可以用软件实现,硬件只用一个普通 I/O 端口加上一个低通滤波器。如果一定要使用专用的 D/A 转换器,像输入通道一样应尽可能采用串行通讯的 D/A 转换器。

与输入通道相同,有时需要单片机输出的开关量比较多。由于输出通道连接的一般都是功率器件,速度不会太高,通常可以采用串行扩展的方法来满足输出开关量比较多的要求,这样可以减少对单片机 I/O 端的需求,降低成本,简化外围电路(详见第一篇 8.3)。

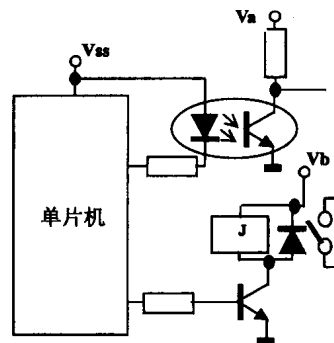


图 0.6 输出隔离示意

0.2.4 电源系统

电源部分的设计最不引人注目,但往往可能是设计出来的单片机应用系统中电源部分的成本占了总成本的一半,而造成系统出故障的原因有一半的概率发生在电源系统设计有问题。所有的用电器件都与电源系统有关系,一般情况下电源系统的供电能力应比所有器件的平均总功耗大 1.2 ~ 1.5 倍。在设计应用系统时,器件选型应尽可能地采用 CMOS 器件以降低功耗。降低功耗可以降低电源部分的设计成本、减少发热、提高系统可靠性,特别是在便携式仪表、防爆环境下的智能传感器、玩具、家电等产品的设计中,降耗设计甚至可以决定产品的生命。

在采用 CMOS 器件的单片机应用系统中,系统功耗几乎都出自输出通道中的显示器件、发光二极管、继电器等器件。一个 CMOS 类单片机最大工作电流才 2mA,而一个普通的 LED 八段数码管全部点亮时需要约 80mA 的电流,一个小型继电器的吸合电流也有 20mA。因此这些器件工作状态的变化将对电源系统产生极大的扰动。如果输入通道和信息处理部分与这些器件使用同一个稳压器出来的电源时,这些扰动就可能影响输入通道和信息处理部分器件的正常工作,在有模拟信号的系统中情况尤为严重。实际上大多数的干扰信号、引起器件损坏的强电压往往是从电源耦合过来的。在设计应用系统时,应尽可能将输出通道中的功率器件使用的电源与其他器件电源分开,甚至可以让功率器件使用未经稳压的电源。同时,在设计印刷电路板时也应注意分开它们的电源连接线和地线连接线,甚至还应回避这些连线与其他线路的平行。当然最好是将输出通道中的功率器件就放置在电源附近,让功率器件与电源几乎没有连接线。

0.2.5 应用系统设计中的价值分析与综合分析

产品的成本常常可以决定它的生命,因此在产品阶段就必须对系统中的器件进行功

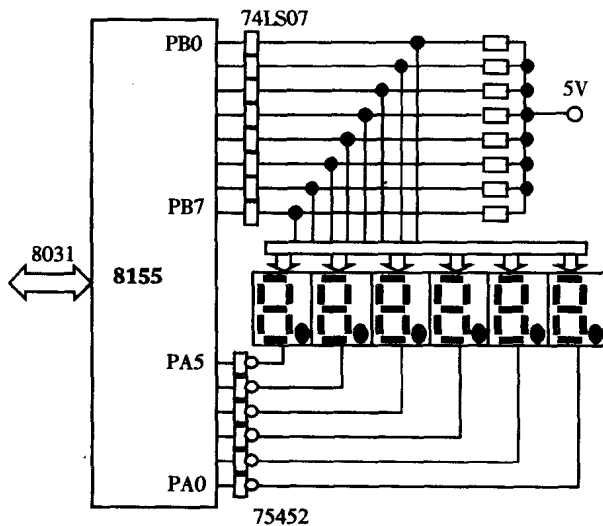


图 0.7 6 位动态 LED 显示

能价值分析。带着这样的观点去看我们已经设计好的单片机系统，我们常常可以发现原设计中的许多器件其功能与价值不符，甚至可以只用不到一半的价钱就实现系统所需的功能。下面举一系统的显示部分设计为例说明（如图 0.7 所示）。

图 0.7 中的动态显示就是一位一位地显示各个 LED，周而复始不停循环。图中的 6 个 LED 每一个都只有 $1/6$ 的点亮时间，但由于不停地快速循环，眼睛看不出它们曾经熄灭了 $5/6$ 的时间。这种设计的目的是要用较少的端口驱动多个 LED，看起来节省了，实际却未见得经济。

首先简单分析该部分的主要设计成本，可编程器件 8155 是一个功能很强，价格较高的器件，当前价格约 19 元。那么在这里 8155 所起的功能是什么？实际就是一个 14 位锁存器。如果用两个 74LS373 再加一个地址译码器 74LS138，就可几乎不变硬件电路和软件而完全实现这里 8155 所起的作用。三个 74LS 芯片的总价格不会超过 8 元。同时单片机中的软件也可省去对可编程器件进行编程的部分。

在系统设计过程中成本只是一项重要指标，功耗、可靠性也十分重要。另外软件、硬件设计的复杂性，甚至还有印刷电路板布局的难易等等，在设计应用系统时都应综合地加以考虑。下面对原设计进行综合分析。原设计的最大优点是：让这 6 个 LED 分时工作，大大减少了端口的占用，这种用时间换空间、用增加单片机工作负荷换端口静态驱动功能的方法很符合处理器工作速度快、信息处理能力强的特点。但缺点也不少：①由于每个 LED 的平均显示时间只有 $1/6$ ，为了达到足够的显示亮度，必须提高每次通过 LED 的驱动电流。由于 LED 的发光亮度与电流并不成正比，所以无论怎样加大电流，在相同平均电流的情况下动态显示的亮度不可能达到静态显示的亮度，因此，采用动态显示方式的电流平均值比采用静态显示方式的电流平均值大许多，这样就会增加电源负荷。②由于端口急剧减少，电流平均值又增加，对端口电流驱动能力的要求提高许多，端口器件的可靠性下降。③由于不停地大电流切换会增加系统的扰动，导致系统工作不稳定。④采用动态显示方式软件的设计比较麻烦，如果单片机其他信息处理工作也很多，编程难度就很大。⑤ LED 使用 5V 的电源，由于发光二极管的压降只有 $2 \sim 3V$ ，必须加限流电阻，约有一半的功耗用来加热限流电阻了，既加重了电源负担又增加了不必要的发热。

上述分析的结果是：缺点超过了优点，得不偿失。这里针对上述缺点提出改为静态显示的一种方案（见图 0.8，详见第 2 篇 3.3）。为了不增加单片机的端口占用，这里采用串行移位寄存器扩展端口，另外可以增加一个开关型稳压器产生 3V 的电压供 LED 使用而省掉限流电阻。虽然增加了 3 个串行移位寄存器和一个开关型稳压器，成本与原设计差不多，但功耗降低后，对电源系统的要求可以降低，同样可以节约成本。同时减少了功耗，降低了发热，降低了系统干扰，提高了系统的可靠性。另外如果将 74LS164 就近安排在 LED 附近，则整个显示部分与