

单片机开发与 典型应用设计

谢筑森 张辉 陈粤初 耿德根 等编著



中国科学技术大学出版社

单片机开发与典型应用设计

谢筑森 张 辉 陈粤初 耿德根 等编著

中国科学技术大学出版社
1997·合肥

JS143/25

内 容 简 介

本书从工程应用的实际出发,用大量已开发成功的科研成果为素材,针对读者普遍感兴趣的问题,用实例作了详细的介绍。全书共解剖了30多个典型应用设计,内容涉及到单片机的一般及各种特殊功能的应用,诸如在测量、控制、家用电器等领域,设计思想适合各种机型的应用。本书所引用的实例均取自科研成果,读者可直接引用。

本书可作为从事单片机设计与应用的科研人员、研究生、大、中专学生及工程技术人员使用,还可作为自学用书。

注:本书的源程序制成了软盘,需要的读者可来信联系。

联系地址:230009 合肥工业大学1号信箱 联系人:张 辉

责任编辑:黄 德

封面设计:王瑞荣

图书在版编目(CIP)数据

单片机开发与典型应用设计/谢筑森 张 辉 陈粤初 耿德根 等编著。

—合肥:中国科学技术大学出版社,1997年9月

ISBN 7-312-00869-0

I 单片机

II 谢筑森 张 辉 陈粤初 耿德根

III ①单片机 ②开发与设计 ③典型应用

IV TP

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号,邮编:230026)

北京门槛创作室 WORD 照排部出片

(北京崇文区夕照寺中街25号,电话:010-67141904)

安徽合肥骆岗印刷总厂印刷

全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:11.25 字数:290千

1997年9月第1版 1997年9月第1次印刷

印数:1—4000册

ISBN 7-312-00869-0/TP·163

定价:17.00元

前 言

在单片机开发与应用设计的过程中，经常碰到一些难处理的问题，例如：如何从强噪背景中提取有用信号；如何克服放大器的零漂与温漂；如何用软件对信号进行频域分析；如何编制实用灵活的文本及曲线、波形打印程序；如何模拟 I²C 总线，只用二条口线实现与显示器、打印机、时钟等多种外设的联接；如何在工厂车间比较恶劣的环境中实现对工件尺寸的非接触、高精度测量，特别是在用激光、光纤、CCD、电涡流等测量方案实现有一定困难时，则采用本书介绍的气动精密测量方案以其简单、精确的特色也许会为你的设计带来意想不到的惊喜……等等。

由于这一问题系列的问题，使得设计进展减缓，尤其是对初次开发者，更是如此，因此希望有较翔实的例子供参考，就是对于有经验的开发者，因时间关系也希望有相近的实例参考。目前市面上单片机的书籍不少，但介绍比较完整而典型的实例的书不多。基于这种情况，我们组织收集了一批取材于已开发成功的科研成果的单片机的应用设计，内容翔实，涉及单片机的一般及特殊功能的应用以及测量、自动控制、家用电器等方面的应用领域，全书共解剖了 30 多个典型应用设计，读者可以直接引用和借鉴其中的硬、软件设计。

本书由张辉、陈粤初主编。本书第 2 章 2.1 节、2.2 节，第 5 章，第 6 章 6.1 节，第 7 章由谢筑森编写；第 6 章 6.2 节，第 8 章由张辉编写；第 1 章 1.1 节、1.3 节由陈粤初编写；第 3 章，第 4 章 4.3 节由张君华编写；第 2 章 2.3 节，第 4 章 4.1 节、4.2 节由王锡山、王莉莉编写；第 1 章 1.2 节由陈新华、陈洪涛编写；第 1 章 1.4 节由夏扬、高鸣、王锡山编写；第 9 章 9.1 节由吴昀编写；第 9 章 9.2 节由耿德根、耿陆卫、耿陆明编写。全书由张辉负责统稿。全书插图由张辉、楚含进绘制。

张源潜教授审阅了本书部分内容，并提出宝贵意见，在此表示感谢。

飞利浦(中国)单片机协会博洋为本书提供大量资料并给予支持，在此表示谢意。

编著者
1997.7

目 次

1	单片机概述	(1)
1.1	目前应用情况与发展趋势	(1)
1.1.1	单片机目前应用情况	(1)
1.1.2	应用中存在的问题和建议措施	(4)
1.2	I ² C 总线技术	(5)
1.2.1	几个基本概念和术语的解释	(5)
1.2.2	总线仲裁过程和时钟同步	(5)
1.2.3	数据传送格式	(6)
1.2.4	I ² C 总线扩展	(9)
1.3	单片机开发系统简介	(10)
1.4	C 语言在单片机开发过程中的应用	(11)
1.4.1	C51 语言的基础	(11)
1.4.2	C51 编程的特殊问题	(15)
1.4.3	C51 编译器和通用连接器	(17)
1.4.4	C51 编程实例	(20)
2	单片机的特殊功能应用设计	(25)
2.1	单片机比较、捕捉功能的特点及其应用	(25)
2.1.1	可编程计数阵列 PCA	(25)
2.1.2	PCA 定时 / 计数器	(26)
2.1.3	比较 / 捕捉模块	(27)
2.1.4	PCA 应用实例	(29)
2.2	单片机 PWM 的特点及应用	(33)
2.2.1	脉宽调制简介	(33)
2.2.2	用 PWM 实现 D/A 转换及产生各种波形	(34)
2.2.3	用 PWM 控制直流电动机	(36)
2.3	8XC451 P6 口的应用	(37)
2.3.1	8XC451 P6 口的特点	(37)
2.3.2	8XC451 P6 口的应用举例	(38)
3	I ² C 总线通用外围接口芯片应用	(41)
3.1	静态 RAM 芯片	(41)
3.1.1	PCF8570/70C/71 的特性与引脚功能	(41)
3.1.2	PCF8570/70C/71 I ² C 总线规约	(41)
3.1.3	PCF8570/70C/71 节电方式	(42)
3.1.4	PCF8570/70C/71 应用举例	(42)
3.2	I/O 扩展芯片	(43)
3.2.1	PCF8574(A) 的特性与引脚功能	(43)
3.2.2	PCF8574(A) 中断及 I/O 口	(43)
3.2.3	PCF8574 I ² C 总线规约	(44)
3.2.4	PCF8574(A) 应用举例	(45)

3.3	LCD 段驱动器	(45)
3.3.1	PCF8577(A)的特性与引脚功能	(45)
3.3.2	PCF8577(A)的功能	(46)
3.3.3	PCF8577 I ² C 总线规约	(48)
3.3.4	PCF8577 应用举例	(48)
3.4	EEPROM 芯片	(50)
3.4.1	PCF8582A 的特性与引脚功能	(50)
3.4.2	PCF8582A I ² C 总线规约	(51)
3.4.3	PCF8582A 应用举例	(51)
3.5	日历时钟芯片	(52)
3.5.1	PCF8583 的特性与引脚功能	(52)
3.5.2	PCF8583 的功能	(52)
3.5.3	PCF8583 I ² C 总线规约	(55)
3.5.4	PCF8583 应用举例	(56)
3.6	A/D 和 D/A 转换器	(56)
3.6.1	PCF8591 的特性与引脚功能	(56)
3.6.2	PCF8591 的功能	(57)
3.6.3	PCF8591 I ² C 总线规约	(59)
3.6.4	PCF8591 应用举例	(59)
3.7	4 位 LED 驱动器 SAA1064	(60)
3.7.1	SAA1064 的特性与引脚功能	(60)
3.7.2	SAA1064 I ² C 总线规约	(60)
3.7.3	SAA1064 功能说明	(61)
3.7.4	SAA1064 应用举例	(62)
3.8	5 位大电流驱动器 SAA1300	(63)
3.8.1	引脚与功能简介	(63)
3.8.2	编程说明	(64)
4	I ² C 总线的应用设计	(65)
4.1	I ² C 总线控制器 PCD8584 与 80C51 系列单片机的接口	(65)
4.1.1	PCD8584 与 80C31 单片机的接口	(65)
4.1.2	PCD8584 与 80C31 接口的驱动子程序	(66)
4.1.3	应用举例:从 PCF8574P 接收 2 个字节的程序	(69)
4.2	采用 8XC751 单片机作 I ² C 总线主设备的网络设计	(70)
4.2.1	概述	(70)
4.2.2	主从设备	(70)
4.2.3	数据发送	(70)
4.2.4	寻址和传送格式	(72)
4.2.5	采用子地址	(73)
4.2.6	8XC751 I ² C 硬件	(74)
4.3	模拟 I ² C 总线设计	(75)
4.3.1	概述	(75)
4.3.2	硬件设计举例	(76)
4.3.3	模拟 I ² C 总线软件设计	(76)

5	新一代微型打印机原理、接口及实用技巧	(78)
5.1	目前微型打印机存在问题及解决办法	(78)
5.1.1	性能和主要技术指标	(78)
5.1.2	结构与安装	(79)
5.1.3	硬件设计	(80)
5.2	打印原理及控打程序	(83)
5.2.1	打印原理	(83)
5.2.2	控打程序设计	(84)
5.3	打印机接口	(85)
5.3.1	并行接口用法	(85)
5.3.2	串行接口用法	(86)
5.4	打印命令分析	(86)
5.4.1	文本打印命令	(86)
5.4.2	图形打印命令	(87)
5.4.3	其它命令	(88)
5.5	各种打印及程序编制方法	(88)
5.5.1	图形打印方法	(88)
5.5.2	ASCII 码及汉字的打印方法	(90)
5.5.3	串行打印程序编制方法	(91)
5.5.4	并行打印程序编制方法	(92)
5.5.5	图形打印程序编制方法	(92)
5.5.6	与各种微机接口的打印程序编制方法	(93)
6	单片机在测量系统中的应用设计	(94)
6.1	采用 FFT 的智能电参数测量仪软硬件剖析	(94)
6.1.1	概述	(94)
6.1.2	智能电参数测量仪硬件设计	(95)
6.1.3	智能电参数测量仪软件设计	(96)
6.1.4	FFT 程序设计	(99)
6.1.5	电参数程序设计	(104)
6.2	单片机气动测量系统应用设计	(106)
6.2.1	引言	(106)
6.2.2	系统的基本组成及工作原理	(106)
6.2.3	气动测量部分设计	(107)
6.2.4	系统硬件设计	(111)
6.2.5	系统软件设计	(114)
6.2.6	调试	(116)
7	微弱信号测量系统设计	(118)
7.1	引言	(118)
7.2	微弱信号检测原理	(118)
7.2.1	噪声性质	(118)
7.2.2	相关检测原理	(119)
7.3	常用微弱信号测量技术	(122)
7.3.1	参量放大器	(122)
7.3.2	锁定放大	(125)

7.3.3	取样积分	(126)
7.3.4	自适应噪声抵消	(128)
7.4	微弱信号测量实例——钳式交直流电流在线测量仪	(129)
7.4.1	主要技术指标和特点	(129)
7.4.2	原理与线路	(129)
7.4.3	信号检测电路及原理	(133)
7.4.4	仪器智能的实现	(137)
8	单片机在自动控制系统中的应用	(144)
8.1	单片机控制系统设计概述	(144)
8.1.1	基本要求	(144)
8.1.2	设计特点	(145)
8.1.3	微机控制系统设计的一般步骤	(146)
8.2	通用控制器设计	(149)
8.2.1	设计任务与要求	(149)
8.2.2	硬件设计方案	(149)
8.2.3	硬件线路原理	(150)
8.2.4	软件设计思想	(151)
8.2.5	软件模块和功能	(151)
8.3	控制系统的抗干扰设计	(153)
8.3.1	干扰的作用机制及后果	(153)
8.3.2	数字信号输入/输出中的软件抗干扰措施	(154)
8.3.3	陷阱技术	(155)
8.3.4	程序运行监视系统(WATCHDOG)	(157)
9	单片机在其他方面的应用	(160)
9.1	银锌电池充电监测仪	(160)
9.1.1	系统主要功能	(160)
9.1.2	系统设计思想	(160)
9.1.3	系统硬件设计	(160)
9.1.4	软件系统组成	(162)
9.2	单片机在儿童智能玩具中的应用——音乐玩具(电脑放音机)	(163)
9.2.1	引言	(163)
9.2.2	音乐频率的产生	(163)
9.2.3	音乐节拍的产生	(164)
9.2.4	音乐软件设计	(165)
附 录	单片机主要产品介绍	(168)
	新一代汉字微型打印机—KP 系列	(168)
	天河双龙单片机产品简介	(169)
	“火柴盒”工控机 MCH-552 简介	(170)
	主要参考文献	(171)

1 单片机概述

1.1 目前应用状况与发展趋势

1.1.1 单片机目前应用状况

80年代初我国开始应用单片机,目前已普及到各行各业,逐渐形成多国单片机互相竞争的局面,正朝着多系列、多型号方向发展。

90年代初我国广泛采用8031、8098单片机。INTEL公司正忙于研制和生产奔腾等管理用微机,又不断更新换代,因而在研制80C196后没有精力再研制新的单片机。1995年初终于宣布NMOS的8098停产,世界上没有第二个厂家来接产。

PHILIPS在MCS-51的基础上继续发展80C51系列单片机。它的CPU全部采用80C51内核,指令系统与MCS-51完全兼容。不同的是:

1. 系列片内配置和参数可以任意选择

(1) 存储器可以任选以下规范:①片内程序存储器有1K、4K、8K、16K、32K字节等不同配置,根据需要还可提供64K字节配置。②片内数据存储器有64、128、256、512、1K字节等不同配置,个别还有256、2K字节的EEPROM。③89CE558型单片机具有32K字节FLASH EEPROM程序存储器和1K字节数据存储器,可以通过标准的80C51编程器进行程序写入,也可利用89CE558片内自引导程序,由标准串行数据通信接口将程序和数据写入。④OTP和片内EPROM型单片机有几十种。

(2) 标准80C51单片机工作频率为32MHz,83(87)C750单片机工作频率为40MHz,80C51系列工作频率可以降低到直流,也就是可以在静态方式下工作。

(3) 在抗干扰和减少电磁辐射方面:①大部分单片机内都具有看门狗定时器。②8XC575、8XC576单片机具有片内掉电、振荡器停振等措施。③8XCXXX是电磁兼容型单片机,它的电磁辐射量不到标准的80C51的1%。

(4) 原在片外的功能模块都可集成到片内,并可任意选择。例如80C552片内带8路10位A/D、2路PWM、1个输入捕捉和1个输出比较的16位定时器等。带屏幕显示(OSD)的单片机有8XC055、83CL167/168、83CL267/268等。

(5) 低电压运行单片机:①静态和1.8伏运行8XCLXXX系列单片机的功耗非常小,可以长期在1.8伏工作电压下运行。工作频率可以由16MHz最低降到直流。②3伏运行8XCL51系列单片机,工作频率20MHz,有OTP和ROM型两种。

(6) 小封装、低功耗,可直接驱动LED 8X750系列单片机。

另外,还有8XC51XA是PHILIPS 16位80C51超强结构的单片机。8位80C51单片机的设计只要经过少量的软件和硬件修改,就能移植到16位的80C51XA中去。它的主要特点:①内核仍是标准的80C51,但向上兼容。②软件和硬件基本和80C51向上兼容。③为了满足应用的要求,用户可以将外部地址总线的宽度改为12位、16位、20位或24位,使产品具有最

好的性能价格比。④主要功能还有：32个中断向量、I²C、A/D、PWM、PCA、WDT等。

2. 多类型串行接口

PHILIPS 除标准 UART 外还有以下几种串行接口：

(1) 增强 UART。有帧错误和地址自动识别功能。

(2) 高速串行接口。能用 1MHz 波特率在 CPU 和外围设备间传送数据。

(3) ACCESS BUS 它能使 1 台计算机或工作站只用 1 个插座 4 根连线，就可将 125 个外部设备都串联起来。它使用 I²C 作该规约的物理层。这种技术连线简洁，可降低成本并提高可靠性。

(4) CAN 总线。它是一种具有很高保密性，有效地支持分布控制系统或实时控制系统的串行通信网络。CAN 总线主要具有以下特点：①多主结构。允许 CAN 网络上任意一个节点作为主节点发送信息，构成多主机分布式网络系统。②通信数据以帧的方式进行传送，每帧数据最多为 8 个字节。③具有强有力的错误控制及错误重发功能，采用 CRC 校验方式，具有很高的可靠性。④灵活性。不需修改任何硬件和软件，就可以随时增加或删除节点。⑤各节点可以任意设定为不同的优先级。⑥能够区别各节点是临时性错误还是永久性故障，并自动关闭故障节点。⑦实时性好，适用于实时性比较高的场合。⑧具有睡眠/唤醒方式，可降低系统能耗等。

(5) I²C 总线。它有完善的规约，巧妙的寻址方式，和单片机配套的 I²C 通用外围器件齐全，RAM、EEPROM、日历时钟、I/O 口、8 位 ADC 及 DAC、LCD 和 LED 驱动器以及音频、视频、射频、通信等 I²C 专用外围器件有数百种。I²C 总线可取代传统并行总线扩展结构，可以大大简化单片机系统的结构。硬件和软件可以做成结构独立的模块，不但能够和单片机进行通信，芯片和芯片之间也可以进行通信。模块运行后还能增加和减少，而不影响整体结构，可以实现单片机系统装配化。这是一种值得推广的技术。

Intel 公司以不同形式向不同国家的半导体厂转让了 8051 单片机的生产权。除了 PHILIPS 外，还有 Siemens、Temic、OKI、Dallas、Amd、Atmel 以及台湾的一些厂家，它们都保留 8051 内核，指令系统与 MCS-51 向上兼容。

例如，特美 (Temic) 生产的 TSC-80251 系列是增强型准 16 位单片机。用 189 条精简指令代替 80C51 的 255 条指令，并增加 32 位和 16 位算术和逻辑运算指令、增强型比较、条件跳转和传送指令。源程序方式 TSC80251 比 80C51 性能提高约 14 倍。

北京集成电路设计中心与爱特梅尔 (ATMEL) 公司联合设计的 AT89C51 等系列单片机，结合我国单片机应用特点，用 EEPROM 替代 80C51 的 EPROM 降低了单片机价格，又便于用户开发应用。

台湾华邦电子公司的不带 ROM 的 W78C31B/32B 与 Intel 8031 系列兼容。OPT 版本的 W78E51/E52 可以替换 87C51 和 89C51/52。

MOTOROLA HC05 系列单片机从 90 年代初开始，应用逐步增多。它的主要特点：① CSIC，即把单片机作为用户专用芯片来生产开发。② HCMOS 工艺。它集 HMOS 和 CMOS 工艺优点，故具有价格低、集成度高、高速、低功耗等特点。③最近又发展了一种新工艺，称为横向扩散金属氧化硅 LDMOS，它具有耐高压、能通过大电流等特点，故能把功率型输出接口集成到单片机内部。④它和 Intel 80C51 系列在指令、I/O 与存储空间分配等方面不完全相同外，其最主要差异体现在时序上。Intel 80C51 系列的单片机一般使用 12MHz 振荡器频率，振荡周期为 1/12μs。振荡频率二分为时钟频率，因而时钟周期为 6μs。完成一条指令的时间为指令周期，最短需要 12 个振荡周期，因此指令周期为 1~4μs。MOTOROLA HC05 系列一般使用 4MHz 晶振频率，时钟信号在 MOTOROLA 单片机中称作 E 信号。当 E 信号为高电平，表示 CPU

总线上的地址、数据信号是稳定的；E 信号为低电平时表示 CPU 总线上的地址、数据信号在变化。（大多数 HC05 没有将地址、数据总线引出，总线上的时序是不容易看到的）。一个 E 周期就是一个 CPU 读周期或写周期。在单片机内部电路中，振荡器频率二分频后，除一个是 E 信号外，另一个是与之相差 90° 的 Q 信号（Q 信号不在总线中出现）。两个时钟信号交替作用完成读 / 写周期。E 周期为 $1/2\mu s$ ，它相当 Intel 中的机器周期。一条指令最短需要两个 E 周期，时间最长的乘法指令要 11 个 E 周期，所以指令周期为 $1 \sim 5.5\mu s$ 。从以上可以看出，在运行速度大致相同的情况下，MOTOROLA 单片机的时钟频率只有 Intel 的 $1/3$ ，时钟频率低对降低系统的噪声很有好处，达到电磁兼容测试要求相对要容易得多。这就是 MOTOROLA 单片机抗干扰性能好的最主要原因。由于两类单片机总线上的时序不一样，设计了 Motel 电路，它既能适应 MOTOROLA 时序，又能适应 Intel 时序。⑤ MOTOROLA 单片机的工作电压允许范围为 $3 \sim 6$ 伏，它能保证单片机应用系统可靠地工作，非常适合我国国情。MOTOROLA 根据不同专业和用户的需求，有 B、BD、C、CC、E、F、G、J、K、L、P、V、X、RC、SC、MC 等系列不同型号的单片机数百种。不同存储器容量（包括 RAM、ROM、EEPROM），I/O 口数量，不同总线频率，定时器种类及输入捕捉、输出比较数量，串行口种类（包括 SCI、SPI、SIOP、ASI、SSI、MCAN、 I^2C 等），ADC 和 PWM 位数和数量，不同 OSD 参数，是否带键盘中断或外部中断，是否带 LCD 驱动器或直接驱动 LED，是否带锁相环，以及其它一些功能，各种不同的封装形式供用户选择。MOTOROLA 将研制出新型号 HC05 单片机 150 多种以及新的内核为 HC08 的单片机，它在 HC05 的基础进一步增强。任何 HC05 的程序不用修改均可在 HC08 上直接运行，而且执行得更快。CPU 结构设计得更加先进。变址寄存器、堆栈指针和程序计数器均为 16 位（HC05 均不是 16 位）、条件码寄存器为 8 位（HC05 为 5 位）。总线频率为 8MHz（HC05 为 4MHz）。寻址方式比 HC05 增加了 5 种（共 16 种）。有 HC05 所没有的快速 8 位乘法和 16 位除法指令，BCD 码指令进一步增加，共增加 78 条新指令。其它还有 C 语言支持、直接存储器存取等等。新产品还有新的准 16 位单片机 HC12。新的 32 位 MPC500 单片机。MOTOROLA 已经在天津建厂，将于 1999 年投产生产单片机和大规模集成电路等半导体器件，同时正研究简便的开发方法和廉价的开发装置。

其它还有很多公司的单片机以先进的功能、优良的质量和低廉的价格（单片机仅几元 / 片）进入中国市场进行竞争。

例如：东芝 TLCS-870 系列 8 位单片机。它的串行接口也采用 I^2C 总线。系列中很多单片机具有 6 位或 8 位或 10 位逐次逼近式 A/D 转换器、同时还有 LED、LCD、VFT 驱动器、60KB ROM、OSD、PWM 等。TLCS-870/X 是 TLCS-870 系列增强型产品，主要特性为：存储器寻址 1MB，中断矢量 63 个，指令 842 条，具有调频调速的电动机驱动接口等。

东芝和 PHILIPS、MOTOROLA、德州仪器公司等一样，利用 ASIC 技术把各种双极性 CMOS 逻辑电路集成在一块芯片中。

又如：德州仪器公司（TEXAS INSTRUMENTS）的 TMS370 系列 8 位单片机有 13 个系列 130 多个型号。其主要特点有：具有双重好处的自适应性能，A/D 转换器通道可多达 15 条，串行通道有 SCI、SPI，定时器有 PWM、输入捕捉、输出比较、PCAT（可编程采集控制定时器）、24 位监察定时器。TMS370C8 采用 PRISM 工艺，进一步组合多种功能，它比其它系列可提高功效 $2 \sim 4$ 倍。

日立单片机 H400 系列主要应用于中低档家用电器和 BP 机等；H8/300L 系列单片机主要用于 VCR/MD 录像机等中高档家用电器和无绳电话等，H8/300 系列单片机主要用于键盘和汽车 ABS 刹车等；H8/300H 系列用于 CD-ROM 驱动器和打印机等；H8S/2000 系列用于 PHS 和蜂

窝电话, H8/500 系列用于电动机和工业控制等。H8/3947 系列单片机具有 I²C 总线接口, H8/300H 系列单片机具有 10 位 A/D 转换器。

单片机在早期应用时, 是使多板机变成单板机, 现在是使单板机变成单片机, 这是单片机的应用方向。同时也都向低功耗、低电压的高速单片机方向发展。另一种新技术是采用家用总线系统 HBS (Home Bus System)。家庭使用的各种家用电器很多都由单片机控制, 为了能更好管理和使用它们, 可以通过 HBS 将房间控制器 (安全中心)、空调器、灯光、各种定时器、各种传感器等都连在一起, 使家庭自动化易于实现。

1.1.2 应用中存在的问题和建议措施

我国目前应用单片机的数量还不到世界年产量的 1%, 说明我国单片机事业尚须大力发展。

(1) 计算机行业和舆论界不应只注重耗资多、研制周期长的巨型机的开发工作; 对投资少、开发周期短和效益高的单片机应用开发应予关注。

(2) 开拓可大范围应用的单片机应用市场。我国必须认真注意世界单片机发展新动向, 抓住机遇。设计新产品的时候, 尽量开发市场需求量大, 技术含量高的产品; 尽可能由单板方式转向实现真正单片方式; 尽可能采用掩膜技术大批量生产, 来降低生产成本和提高产品质量。例如我国所用带单片机的高档仪器、仪表和机电一体化设备大多为进口, 将来应逐步实现我国自行设计开发制造。又如我国是家电大国, 我们尽可能在家电中应用单片机和模糊控制技术, 将技术含量提高一步, 我国就可能成为家电强国。

(3) 其他计算机中好的内容也应移植到单片机中来。例如数据结构就应移植过来。不然设计出来的程序可靠性差、功能低、效率低、可维护性差。

(4) 目前大量采用的是将地址、数据引出, 再配以大量外围器件, 连线多、印刷电路板面积大, 抗干扰性能差, 实质是单板机形式。应尽可能将外围器件都集成到芯片内部, 使体积缩小, 便于安装, 结构简单, 提高可靠性, 成为名符其实的单片机。不过 ROMLESS 型单片机在科研、教学、小批量产品生产中仍可发挥其作用。

(5) 单片机 I/O 口有限, 即使有很多 I/O 口也会使系统变得很复杂。外扩存储器或 I/O 口时也应尽可能采用 I²C、SPI 等串行接口。对于无 I²C 总线接口的 80C51 及兼容单片机以及 MOTOROLA 和各国各种型号的单片机, 可用两根通用 I/O 线, 只要能遵循 I²C 总线规约, 就能模拟 I²C 总线和使用带 I²C 总线接口器件, 作为外扩 I/O 口的接口电路, 以实现真正单片机化和缓解 I/O 口资源紧张的局面。本书有实例可供参考。

(6) 低价格、高性能 OTP 型单片机系列已在国内流行, 价格不断下降, 应大力推广开发简单、价格低廉的 OTP 型单片机, 用于研制样机和开发小批量应用产品。

(7) 嵌入寄主系统, 如机电一体化设备的单片机, 就叫作嵌入式单片机。不但硬件要嵌入, 软件也应嵌入, 应多采用实时多任务操作系统。

(8) 为了增加灵活性和加速研制周期。常用硬、软件都应做成模块。不同产品将这些硬件模块当作标准部件和主程序调用模块化子程序进行装配。实现装配化可加速单片机产品的研制, 简化设计和制造, 提高产品质量。

(9) 应对单片机所用传感器和执行元件的研制给予足够重视, 要生产符合规范的, 价廉的、可靠的、并能满足各方面的多品种需求的传感器和执行机构, 对单片机配套应用非常重要, 不然单片机应用发展就会受到严重阻碍。

1.2 I²C 总线技术

1.2.1 几个基本概念和术语的解释

I²C 串行总线上的各单片机或集成电路模块, 通过一条数据线(SDA)和一条时钟线(SCL), 按照通信规约进行寻址和信息传输。每个集成电路模块都有唯一的地址, 既可以是主控制器(能控制总线, 并能完成一次传输过程的初始化和产生时钟信号及传输终止信号的器件)或被控器(被主控制器寻址的器件), 可以是发送器(在总线上发送信息的器件)或接收器(从总线上接收信息的器件)。

I²C 总线上的器件, 根据它的不同工作状态, 可分为主控发送器、主控接收器、被控发送器、被控接收器。

当多个主控制器同时企图控制总线而不丢失信息, 这叫多主竞争。这时就要进行仲裁。仲裁就是针对这种情况进行裁决的过程。只允许其中一个主控制器继续占用总线, 其它退出主控制器状态。仲裁过程中还要保证总线上的信息不丢失。多主竞争时必须对所有参与竞争的主控制器的时钟信号进行同步处理。

信息传输时, SCL 为高电平期间, SDA 上的信息必须保持稳定不变, 只有 SCL 为低电平期间, SDA 上的信息才允许变化。同时 SDA 上信息每一位都和 SCL 上的时钟脉冲相对应。SCL 没有时钟信号, SDA 信息将停止传输处于等待状态。这因为线“与”逻辑, 使 SCL 在低电平时钳住总线。实现线“与”逻辑功能各 I²C 总线接口的输出端必须是漏极开路或集电极开路结构。

SCL 保持高电平期间, SDA 由高电平向低电平变化, 这种状态定义为起始信号。SCL 保持高电平期间, SDA 由低电平向高电平变化, 这种状态定义为终止信号。SDA 上传输的每个字节必须 8 位(最高有效位首先传送), 每个传送字节必须跟随一位应答位。

与应答信号相应的时钟信号由主控制器产生, 发送器在这个时钟位上释放 SDA, 使它处于高电平状态, 以便接收由接收器在这位发出的应答信号。这时接收器还必须 SCL 在这位高电平期间, 在 SDA 上输出一个恒定低电平信号, 以完成应答信号的输出。整个传输过程中, 传输的字节数目是没有限制的。数据传输一段时间后, 接收器无法继续接收更多的数据, 主控制器同样可以终止数据的传送。

1.2.2 总线仲裁过程和时钟同步

1. 总线仲裁

多主竞争时, 根据 I²C 规约它们之间会有一个仲裁过程。仲裁是在 SCL 为高电平, 根据 SDA 状态进行的。这时如有其它主控制器已经在 SDA 上传送低电平, 发送高电平的主控制器将会发现时 SDA 上的电平与它不一致, 自动被裁决失去总线控制权。整个仲裁过程就是根据这样规定进行的。主控制器发送某一个字节期间被仲裁失去主控权, 它的时钟信号仍可继续输出, 直到整个字节发送结束为止。如果主控制器在寻址阶段被仲裁失去主控权, 它必须立刻进入被控接收器状态, 准备判别取得主控权的主控制器是否正在对它进行寻址。两路主控制器的仲裁过程见图 1-1。

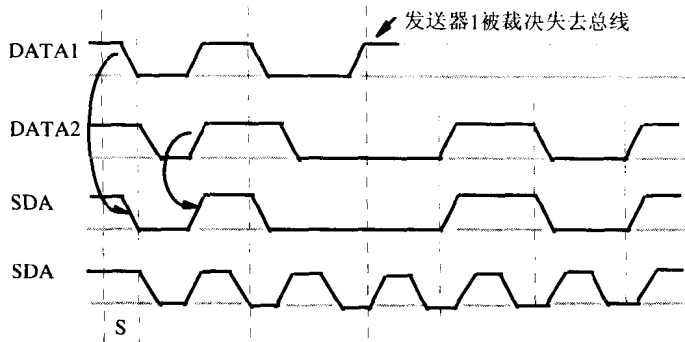


图 1-1 两路主控器的仲裁过程图

2. 时钟同步

多主竞争仲裁过程时,各主控器向总线输出的时钟频率可以各不相同。这时总线上就需要有一个统一的时钟信号。 I^2C 总线输出接口电路都采用了线“与”逻辑,同时都是双向传输的。总线的时钟同步正是利用这二个特点来实现的。

在仲裁过程中,一旦有个主控器输出低电平时钟信号, SCL 由此变为低电平状态,它将影响所有有关主控器,使它们的计时器复位,开始各自时钟信号低电平同期计时。如果有一个主

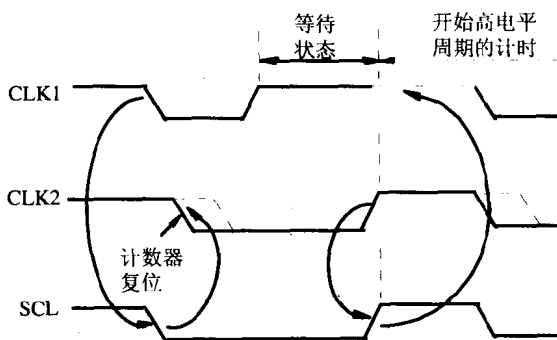


图 1-2 仲裁过程中的时钟同步图

控器首先由低电平向高电平转换,这时它只能处于高电平等待状态。因为这时还有其它主控器处于低电平状态,直至所有主控器都结束低电平状态, SCL 才转为高电平。也就是低电平周期将由时钟信号低电平周期最长的主控器所决定,至于高电平周期则决定于时钟周期最短的主控器从而达到同步目的,仲裁过程中的时钟同步见图 1-2。

3. 利用时钟同步作为握手信号

时钟同步还可以用作握手信号,使数据接收适应高速数据传送。可采取 2 种方式:(1)字节间进行。被控器完成一个字节接收和应答后,通过 SCL 保持为低电平,使主控器进入等待状态,一直到被控器为下一字节的传输做好准备为止。(2)按位处理。可通过延长每个时钟脉冲的低电平周期来减慢总线时钟。

1.2.3 数据传送格式

1. 数据格式和寻址

I^2C 总线规约要求:在起始信号后面是寻址字节,寻址字节高 7 位为被控器地址,第 8 位为信息传输方向位(R/W),“0”表示主控器发送信息(W),“1”表示主控器接收数据(R)。寻址字节后是许多数据字节,每个字节都必须有应答信号相随。传送结束后必须发终止信号。见图 1-3。

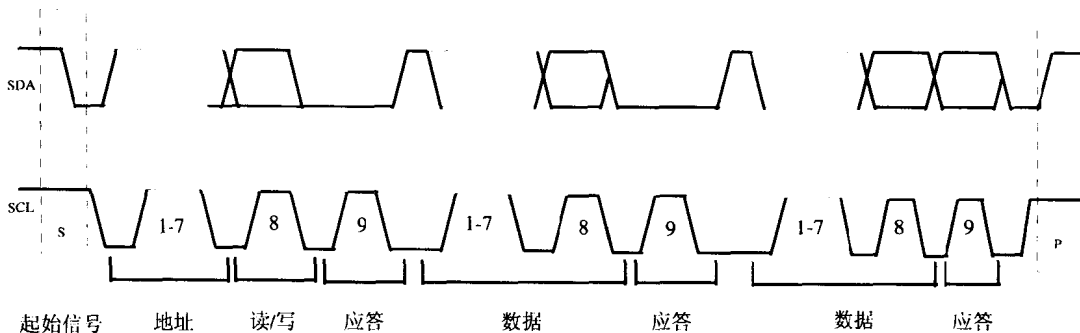


图 1-3 一次完整的数据传送图

如果主控器希望继续传送数据,可以不发送终止信号而再次发送起始信号对另一个被控器进行寻址。

数据传送可以有多种读/写方式,现举三例:

(1) 7 位寻址主控器写方式。除应答信号由被控器发送外,起始和终止信号、寻址和数据字节都由主控器发送,被控器接收。

(2) 7 位寻址主控器读方式。起始和终止信号、地址字节、和数据字节的应答信号由主控器发送。地址字节应答信号和数据字节由被控器发送。

(3) 7 位寻址主控器读、写方式。起始信号和被控器地址在读和写时还可以由主控器重复发送一次。读或写两数据字节传送方向正好相反。读、写全部结束后再由主控器发送终止信号。

由以上三例可以总结出它们的共同点:

- * 无论何种组合方式的起始信号,终止信号、地址字节都由主控器发送。

- * 主控器写数据,数据字节由主控器发送;主控器读数据,数据字节由被控器发送。

- * 每个字节都必须有应答信号相随。地址字节、和写数据字节,应答信号由被控器发送。读数据字节应答信号由主控器发送。

- * 复合数据格式。例如:主控器向不同地址的器件发送数据或写数据后读数据。一次数据传送结束可不发终止信号,接着发重复起始信号,直到全部数据传送结束以后才发终止信号。

- * 数据字节可多可少,没有具体是几个字节。

以上共同点可以根据应用具体情况,组合成很多的组合方式。

7 位寻址地址是这样安排的:

(a) 单片机作为被控器时,7 位地址在 I^2C 总线地址寄存器中设定。

(b) I^2C 总线外围接口器件的 7 位地址由高 4 位(D7 ~ D4)器件编号地址和低 3 位(D3 ~ D1)引脚地址组成。器件编号地址按器件种类编码。例如 EEPROM 等为 1010,显示器驱动控制器为 0111,A/D、D/A 为 1001 等等。引脚地址有 3 位、1 位数字引脚地址(接+5V 或地)也有 2 位模拟引脚地址(接直流 5V 以下不同电压)。

(c) 通用调用地址(广播地址)。它用于访问 I^2C 总线上所有器件。如果不需要主控器发送的数据,可以不应答。被控器有能力处理发来的这些数据时应进行应答。通过调用地址由 2 个字节组成。第一个字节全为“0”。第二个字节主要有以下 3 种情况:(i) 00000110(06H) 时:能响应用调用地址的被控器中地址可编程部分由硬件进行复位和写入。(ii) 00000100(04H)

时:被控器地址中可编程部分由硬件写入但不复位。(iii)前7位为主控器本身地位,最低位为“1”为硬件主控器呼叫,表示数据是一个硬件主控器发出的。

(d) 起始字节(00000001B)。它是提供没有 I²C 总线接口的单片机查询 I²C 总线时使用。

2. 总线信号定时要求

为了保证信息的可靠传送, I²C 总线上的信号时序必须严格规定并要求按规定去做。时序定义如图 1-4 所示。

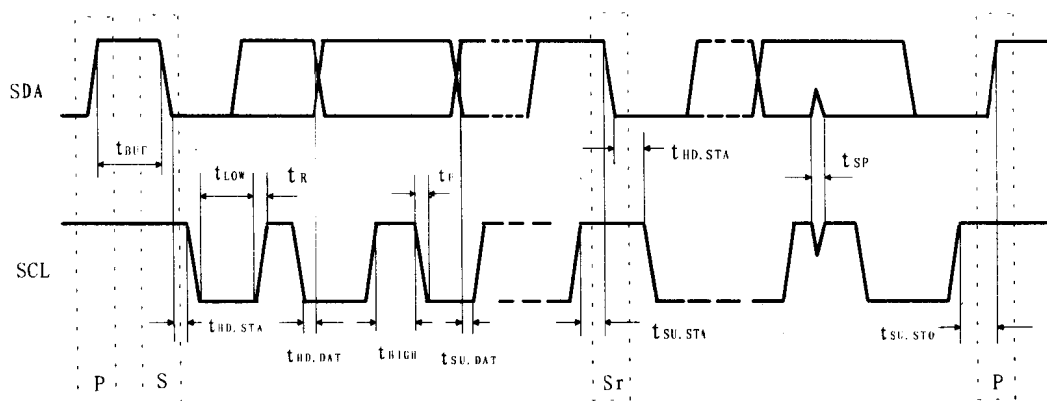


图 1-4 I²C 总线时序定义图

- (1) SCL 时钟频率 f_{SCL} : 标准模式最大值 100kHz, 高速模式最大值 400kHz。
- (2) 终止信号(P)和起始信号(S)之间必须保持的空闲时间 t_{BUF} : 标准模式最小值 4.7 μ s, 高速模式最小值 1.3 μ s。
- (3) 起始信号保持时间 $t_{HD,STA}$: 标准模式最小值 4.0 μ s, 高速模式 0.6 μ s。
- (4) SCL 时钟信号低电平周期 t_{LOW} : 标准模式最小值 4.7 μ s, 高速模式最小值 0.6 μ s。
- (5) SCL 时钟电平高电平周期 t_{HIGH} : 标准模式最小值 4.0 μ s, 高速模式最小值 0.6 μ s。
- (6) 一个重复起始信号的建立时间 $t_{SU,STA}$: 标准模式最小值 4.7 μ s, 高速模式最小值 0.6 μ s。
- (7) 为了跨过 SCL 信号下降沿中的未定义区域,所有器件都必须在内部对 SDA 信号提供一个至少为 300ns 的保持时间。
- (8) 只有在 I²C 器件没有延长 SCL 信号的低电平周期的情况下高速模式数据保持时间 $t_{HD,DAT}$ 最大值才限制为 0.9 μ s。
- (9) 数据建立时间 $t_{SU,DAT}$ 最低值标准模式为 250ns 的要求。如果器件延长 SCL 低电平周期, 必须在释放 SCL 以前 1250ns, SDA 先输出一数据位。
- (10) SDA 和 SCL 的上升时间 t_P 和下降时间 t_F 标准模式最大值分别为 1000ns 和 300ns。
- (11) 终止信号 $t_{SU,STO}$ 最低值: 标准模式为 4.0 μ s, 高速模式为 0.6 μ s。
- (12) 总线上每条线的负载电容 C_b : 两种模式均为 400pF。

3. 模拟 I²C 总线数据传送通信格式

目前有很多常用的单片机(如 8031 等等)都不带 I²C 总线接口,但可以使用普通的 I/O 口模拟 I²C 总线数据传送通信格式,来应用 PHILIPS 带 I²C 总线的外围接口器件。这样就能将

I²C 接口器件用在大量不具备 I²C 接口的单片机系统中,充分发挥 I²C 总线的优越性(如节省大量并行接口、设计模块化、简单化等等)这给产品设计、制造带来很大方便。8031 可以用原串行口和任意 I/O 口(如 P1.6/P1.7)为 SCL/SDA 端。可参考 I²C 总线信号定时要求来模拟 I²C 总线的起始、终止和应答信号。实例可参考本书第 4 章。

1.2.4 I²C 总线扩展

1. I²C 总线规约的扩展

(1) 高速模式

过去十多年一直采用标准模式,在实际应用中常常需要传输大量串行数据,数据传输率 100bit/s 已不能满足要求。目前集成电路制造工艺已能实现在不增加制造成本的基础上传输速度提高 4 倍。传输速率可以达到 400bit/s, 这种模式称为高速模式。

高速模式与标准模式比较,区别有以下几点:

- ① 1.2.3.2 节已介绍总线信号定时要求不同。
- ② 其它串行总线已无法采用这种速率工作,故不考虑与其它总线的兼容性。
- ③ SDA 和 SCL 输入端必须对高压尖峰脉冲扼制并增加一个施密特触发器。
- ④ 器件关断电源, SDA 和 SCL 必须浮空。
- ⑤ 输出缓冲级 SDA 和 SCL 信号下降沿应增加电流增减调节。
- ⑥ 连接在总线的外部上拉器件必须适应高速器件允许的信号最大上升时间。

(2) 10 位寻址方式

过去采用的 7 位寻址方式,大部分地址已被重复分配多次。为了解决地址不够分配的矛盾,故采用 10 位寻址方式,这样被控器地址约可增加 10 倍。

10 位寻址方式并不改变 I²C 总线规约规定的格式。所不同的是 7 位寻址方式采用一个地址字节,10 位寻址方式采用 2 个地址字节。第一个字节前 7 位是 11110 ××,11110 是 10 位寻址方式的标识符,××为 10 位地址中最高 2 位地址。第 8 位是读、写位,和 7 位寻址方式一样,决定数据传送方式。第 2 个字节是低 8 位地址,由第 1 个字节 2 位和第 2 个字节 8 位,共同组成 10 位地址。

7 位和 10 位寻址器件可以同时接入 I²C 总线系统,也可用于标准或高速模式。

10 位地址寻址方式的数据格式,同样也有多种组合方式。现举几例:

① 10 位寻址主控器写方式。

起始信号后发第 1 个地址字节(11110 ×× 0)和第 2 个地址字节(××××××××),其中:11110 为 10 位寻址方式标识符,第 1 个字节 2 个×和第 2 个字节 8 个×组成 10 位地址,第 1 个字节最后一位的“0”表示写方式。然后发任意个数据字节。以上字节、数据字节后均由被控器发应答信号。全部传送结束,由主控器发终止信号。

② 10 位寻址和 7 位寻址组合在一起的写方式。先送 7 位寻址主控器写方式,但不发终止信号,接着送 10 位寻址主控器写方式,全部传送结束才发终止信号。

2. I²C 总线驱动能力扩展

I²C 总线驱动能力为 400pF 允许距离很短。这时可用 P82B715 来扩展总线距离。与 I²C 总线兼容的 82B715 它的基本特性是:① 内部两个完全相同的电压增益缓冲器。② 10 倍阻抗转换。③ 有较宽的电压工作范围,最小-0.3V,最大 12V。