



MCU System Design & Exmple Analysis

单片机系统设计与 实例分析

❖ 主 编 冯育长
副主编 雷思孝 马金强



西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

单片机系统设计与 实例分析

主 编 冯育长

副主编 雷思孝 马金强

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书以 51 系列单片机为基础,通过典型实例分析,指导读者学习单片机的基本知识,培养读者设计单片机系统的基本技能。

全书共分 6 章,主要内容有:单片机应用系统设计概述;51 单片机系统资源及其应用;汇编语言程序设计;中断系统及定时器应用实例;串行通信及其应用实例;单片机系统扩展等。本书各章都配备了大量习题,并给出了参考答案,供读者学习时参考。

本书可作为高等院校电子信息类专业单片机应用、工程设计等课程的教材,也可作为电子设计爱好者掌握单片机技术的学习用书,同时对从事单片机开发和嵌入式系统设计的工程人员也极具参考价值。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

单片机系统设计与实例分析 / 冯育长主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2007.5

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1817 - 3

I. 单… II. 冯… III. 单片微型计算机—系统设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 039201 号

责任编辑 张 媛 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 14.375

字 数 338 千字

印 数 1~4000 册

定 价 22.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 1817 - 3/TP · 0947

XDUP 2109001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书以 51 系列单片机为基础,通过典型的实例分析,指导读者学习单片机的基本知识,培养读者设计单片机系统的基本技能。书中对单片机系统设计中的关键技术进行了总结和归纳,使读者能够迅速掌握单片机应用的技术要点,提高学习效率。考虑到新技术的发展和单片机应用的实际需求,本书还增加了一些新技术和实用技术的介绍,配备了大量具有一定实用意义和代表性的应用实例,相信会对读者有所帮助。

全书共分 6 章。第 1 章介绍了单片机与嵌入式系统的一些基本概念,以帮助读者更加有效地掌握单片机应用系统设计和嵌入式系统设计技能。第 2 章介绍了 AT89 系列单片机的增强功能、ISP 编程技术、看门狗电路及其应用方法等。第 3 章介绍了单片机的结构特点与编程要点,讨论了子程序的设计方法及参数的传递方法。第 4 章对单片机的中断系统及定时器进行了重点分析,对其使用要点进行了归纳,给出了一些典型应用实例。第 5 章介绍了串行接口及其应用要点。第 6 章分别介绍了闪速存储器(Flash 存储器)及其扩展方法,液晶显示器原理及应用,隔离技术及其应用。另外,各章都配备了大量习题,并给出了参考答案,供读者学习时参考。

本书素材的取舍以实用性为目的,内容简明扼要,概念清楚。本书可作为高等院校电子信息类专业单片机应用、工程设计等课程的教材,也可作为电子设计爱好者学习单片机技术的学习用书,同时对从事单片机开发和嵌入式系统设计的工程技术人员也极具参考价值。

本书第 1 章、第 2 章和第 4 章由冯育长编写,第 3 章由马金强编写,第 5 章和第 6 章由雷思孝编写,全书由冯育长统稿。

在本书编写过程中,得到了西安电子科技大学通信工程学院、计算机学院领导和各位老师的大力支持,并且得到了西安电子科技大学出版社副编审云立实、编辑张媛的热情帮助,在此表示真诚的感谢。同时,在本书编写过程中,借鉴了许多优秀教材的宝贵经验,在这里也对各位作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有错漏之处,敬请各位读者不吝赐教。

编 者

2007 年 3 月

于西安电子科技大学

目 录

第1章 单片机应用系统设计概述	1
1.1 单片机与嵌入式系统	1
1.1.1 嵌入式系统的起源	1
1.1.2 嵌入式系统的发展	2
1.1.3 嵌入式系统的应用	4
1.2 单片机应用系统设计	4
1.2.1 单片机应用系统的结构	5
1.2.2 单片机系统的开发过程	5
1.2.3 单片机硬件系统设计原则	6
1.3 系统的电磁兼容设计	7
习题1及参考答案	10
第2章 51单片机系统资源及其应用	15
2.1 AT89系列单片机选型指南	15
2.1.1 AT89系列单片机的特点	15
2.1.2 AT89系列单片机的型号编码	16
2.1.3 AT89系列单片机的代表产品	17
2.2 AT89S51单片机的增强功能	20
2.3 空闲工作方式和掉电工作方式	24
2.4 AT89S51的ISP编程技术	25
2.5 AT89S51的看门狗电路及其应用	28
2.6 单片机复位电路及可靠性设计	29
2.6.1 看门狗电路及其应用	30
2.6.2 故障处理与自恢复程序的设计	33
习题2及参考答案	35
第3章 汇编语言程序设计	42
3.1 51单片机结构特点与编程要点	42
3.1.1 存储器结构与寻址方式	42
3.1.2 编程模型与工作寄存器组的用法	43
3.1.3 51单片机指令系统的特点	44
3.2 子程序及参数传递方法	45
3.2.1 通过寄存器或片内RAM传递参数	45

3.2.2 通过堆栈传递参数	46
3.2.3 利用指针寄存器传递参数	47
3.3 代码转换子程序设计	48
3.4 数值运算子程序设计	55
习题 3 及参考答案	62
第 4 章 中断系统及定时器应用实例	74
4.1 中断系统及定时器资源	74
4.1.1 中断管理系统技术要点	75
4.1.2 关于中断的概念	77
4.1.3 定时器应用要点	78
4.1.4 定时器定时误差分析	82
4.2 中断及定时器应用实例	83
4.2.1 简易分频器设计	83
4.2.2 八路抢答器设计	86
4.2.3 脉冲信号测量仪	90
4.2.4 电子琴与乐曲自动演奏	98
4.2.5 航标灯控制器	109
4.2.6 声光报警器	112
4.2.7 电子门铃	115
4.2.8 电子钟设计	118
习题 4 及参考答案	124
第 5 章 串行通信及其应用实例	138
5.1 串行接口应用要点	138
5.1.1 串行口组成及相关寄存器	138
5.1.2 波特率及误差分析	141
5.1.3 几种串行通信接口标准	144
5.2 串行口应用实例	147
5.2.1 串口扩展键盘和显示器	147
5.2.2 点对点通信	152
5.2.3 多机通信系统	156
5.2.4 PC 机和单片机的通信	165
习题 5 及参考答案	168
第 6 章 单片机系统扩展	176
6.1 闪速存储器及其扩展	176
6.1.1 AT29C010A 的基本结构与特点	177
6.1.2 AT29C010A 的编程方法	178
6.1.3 AT89C52 与 AT29C010 的接口电路	180
6.2 液晶显示器原理及应用	181

6.2.1 TC1602 的工作原理	182
6.2.2 TC1602 的控制指令	183
6.2.3 TC1602 接口及驱动程序的编写	184
6.3 隔离技术及其应用	186
6.3.1 光电隔离技术及其应用	187
6.3.2 继电器隔离	192
6.3.3 可控硅及其应用	199
习题 6 及参考答案	199
参考文献	222

第1章

单片机应用系统设计概述

1.1 单片机与嵌入式系统

嵌入式系统无疑是当前最热门、最具发展前途的 IT 应用领域之一。嵌入式系统的应用可以使传统的电子系统升级为智能化电子产品,使其成为具有“生命”的现代化智能系统。嵌入式系统一般应用于对实时响应要求较高的设备中,单片机作为嵌入式系统的核心器件,其应用使电子系统的智能化出现了意想不到的效果,常常无需对硬件资源做任何改动,只需更新系统软件就能使系统功能升级。对于从事嵌入式系统设计的人员来说,单片机应用技术是一个基本功。事实上,单片机本身就是一个最典型的嵌入式系统。为了使读者能更好地掌握单片机应用技术,为从事嵌入式系统设计和应用打下良好的基础,在此对嵌入式系统的起源与发展概况作一个简要介绍。

1.1.1 嵌入式系统的起源

嵌入式系统的开发应用有着其特殊的环境与发展过程,了解嵌入式系统的历史与现状,对于想要进入这个领域的人员来说十分重要。嵌入式系统的发展历史相当悠久,可以追溯至微型机时代。

电子计算机是应数值计算的要求而诞生的,自从 1946 年电子数字计算机诞生以来,在很长一段时间内,电子计算机都是以发展海量数值计算为己任。计算机始终是一个运行在机房中,实现数值计算的大型昂贵设备。直到 20 世纪 70 年代,由于微处理器的出现,计算机才发生了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其体积小、价格低廉、可靠性高等特点,使计算机迅速走出机房。同时,微型计算机表现出的逻辑运算、处理、控制能力和智能化水平引起了自动控制专业人士的浓厚兴趣,他们要求将微型计算机嵌入到一个被控对象体系中,实现对被控体系的数据采集和处理、状态显示、输出控制等。例如,将微型计算机嵌入舰船、飞机、机车中进行智能化控制。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到控制对象体系中并实现对被控对象体系智能化控制的计算机称为嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统的本质是将一个计算机嵌入到一个被控对象体系中,这是理解嵌入式系统的基本出发点。

由于嵌入式计算机系统要嵌入到对象体系中,实现对被控对象的智能化控制,因此,它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求和方向。通用计算机系统的技术要求是海量数据存储及吞吐、高速数据处理分析及传输,其技术发展方向是总线速度的极大提升、

存储容量的迅速扩大及多媒体与网络资源的极大丰富。而嵌入式计算机系统的技术要求则是能够在被控对象工作环境中可靠运行,对外部物理参数的高速采集、逻辑分析处理和对外部对象的快速控制等,其技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与系统的可靠性。

在嵌入式系统应用的初期,人们勉强地将通用计算机系统进行改装,使其能在大型设备中实现嵌入式应用。然而,对于众多的被控系统,无法嵌入通用计算机系统,并且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同,因此,必须独立地发展区别于通用计算机系统的嵌入式计算机系统。如果说微型机的出现,使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式计算机系统的诞生,则标志着计算机进入了通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支并行发展的时代,从而也进入了 20 世纪末计算机的高速发展时期。

在通用计算机领域,广大科技精英集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式系统的应用要求。因此,通用微处理器迅速从 286、386、486 到奔腾系列,使通用计算机得到了快速发展,几乎达到了尽善尽美的程度。而嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的发展道路,即单芯片化道路,习惯上称为片上系统(System on Chip, SoC)。在这一领域中,云集了众多原有的传统电子领域和计算机领域的科技人员,他们承担起发展与普及嵌入式系统的历史重任,迅速地将传统的电子产品发展成为智能化的现代电子产品。

因此,现代计算机技术发展的里程碑意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代的有力工具。

1.1.2 嵌入式系统的发展

通过对嵌入式系统起源的回顾,可以给嵌入式系统下一个基本定义:嵌入式系统是计算机的一种应用形式,泛指嵌入宿主设备的计算机系统,嵌入的目的主要是用智能化增强宿主设备的功能。与一般 PC 机应用系统不同,嵌入式系统的最大特点是其目的性和实时性,即每一套嵌入式系统的开发设计都有其特殊的应用场合和特定的功能,这也是嵌入式系统与通用计算机系统最主要的区别。由于嵌入式系统是为特定目的而设计的,且常常受到空间、成本、存储容量、总线带宽等因素的限制,因此它必须最大限度地地在硬件上和软件上“量身定做”,以提高效率。正是由于嵌入式系统是针对不同的具体应用而“量身定做”的,使得嵌入式系统之间的差别很大,其规模可大可小,功能或强或弱,嵌入形态也千差万别,这些完全由宿主设备的功能要求来决定。

嵌入式系统源于计算机的嵌入式应用。早期的嵌入式系统是把通用计算机改装后嵌入到对象体系中,如舰船的自动驾驶仪、轮机监测系统等。因此,嵌入式系统首先是一个计算机系统,其次才被嵌入到被控对象体系中,在对象体系中实现数据采集、处理、状态显示、输出控制等功能。然而,由于微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足对象系统的要求,因此,嵌入式系统必须走独立的发展道路。人们将计算机系统集成在一个芯片上,构成片上系统,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。单片机完全是按照嵌入式系统的要求设计的,因此可以说,单片机是最典型的嵌入式系统。

单片机是器件级计算机系统,它可以嵌入到任何对象体系中,实现智能化控制。集成

器件级的低价位,使单片机普及到许多民用产品、电子玩具中。由单片机构成的现代电子系统已深入到千家万户,正在改变着我们的生活方式,如家庭中的音响、电视机、洗衣机、微波炉、电话、防盗系统、空调器等都具有一定的智能功能。单片机革新了原有电子系统,如微波炉采用单片机控制后,可以方便地进行时钟设置、程序记忆、功率控制;空调机采用单片机控制后不但遥控参数设置方便,运行状态自动变换,还可以实现变频控制。

早期的单片机只是按嵌入式应用技术的要求,将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后,集成在一个芯片上,构成单片微型计算机,故名单片机 (Single Chip Microcomputer, SCM)。随着嵌入式应用领域的日益扩展,嵌入式领域内的诸多应用对性能、价格、功耗等各项指标均有着各种不同的要求。为了适应这些不同要求,直接驱动各种外围器件的处理器也在迅速发展。处理器是嵌入式硬件系统的核心,其功能的强弱直接决定着嵌入式系统的适用范围和开发复杂性。目前,处理器可以分成下面几类:

(1) 嵌入式微处理器(Embedded MicroProcessor Unit, EMPU)。嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中,将微处理器装配在专门设计的电路板上,只保留和嵌入式应用有关的母板功能,这样可以大幅度减小系统的体积和功耗。嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本相同,但为了满足嵌入式应用系统的特殊要求,它在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面都有所增强。

(2) 微控制器(MicroController Unit, MCU)。微控制器又称单片机,顾名思义,就是将整个计算机系统的主要硬件集成到一块芯片上。MCU 一般以某一种微处理器的 CPU 为核心,芯片内集成了 ROM/EPROM、RAM、总线逻辑、定时器、计数器、看门狗电路、I/O 端口、串行通信口、脉宽调制输出等各种必要功能和外设接口,也可以集成 A/D、D/A 功能模块。为了适应不同的应用需求,一般一个系统的 MCU 具有多种衍生产品,每种衍生产品的内核都是一样的,不同的是存储器和外设的配置及封装形式。和嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化、体积小、功耗低、价格低廉、可靠性高。

(3) DSP 处理器(Digital Signal Processor, DSP)。DSP 即数字信号处理器,它在系统结构和指令系统上进行了特殊设计,是适合于执行 DSP 算法的一种处理器,已大量应用于嵌入式领域。目前 DSP 的应用正在从通用单片机以普通指令实现 DSP 功能,过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

(4) 片上系统(System on Chip, SoC)。片上系统指的是在单个芯片上集成一个完整的系统并对所有或部分必要的电子电路进行包分组的技术。完整的系统一般包括中央处理器、存储器以及外围电路等。随着半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上实现复杂系统的时代已经来临,各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准模块,成为超大规模集成电路 (Very Large Scale Integration, VLSI) 设计中一种标准器件被存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真通过后就可以将设计图交给制造商制作样品。这样除个别无法集成的器件以外,整个嵌入式系统的大部分模块均可集成到一块或几块芯片上,应用系统电路板将变得更加简洁,这对于减小设备体积和功耗、提高系统可靠性都非常有利。

单片机、微处理器、微控制器、DSP 芯片级嵌入式系统和模板级嵌入式系统,以及嵌入式软件是组成各类数字化电子产品的核心。嵌入式技术及其产品凝聚了信息技术发展的最新成果,芯片技术、软件技术、通信网络技术等关键技术的每一个新的进展,都将推动嵌入式系统的升级换代以及智能化和普及化水平的进一步提高。

1.1.3 嵌入式系统的应用

现代社会中嵌入式系统无处不在,它已被应用于国防、国民经济及人们日常生活的各个领域,主要可归纳为以下几个方面。

(1) 军事装备:各种武器控制(火炮控制、导弹控制、炮弹引信等),坦克、舰艇、轰炸机等各种电子装备,雷达、电子对抗、军事通信装备等。

(2) 家用电器:各种家电产品,如数字电视机、机顶盒、数码相机、VCD、DVD、可视电话、洗衣机、电冰箱、手机、智能玩具等。

(3) 工业控制:各种智能仪器仪表、数控装置、可编程控制器、分布式控制系统、工业机器人、机电一体化设备、汽车电子设备等。

(4) 商用设备:各类收款机、POS 系统、电子秤、条形码阅读机、商务终端、IC 卡输入设备、自动柜员机、防盗系统等。

(5) 办公用品:复印机、打印机、传真机、扫描仪、激光照排系统、手机、个人数字助理(PDA)、变频空调设备、通信终端、程控交换机、网络设备、录音录像及电视会议设备、数字音频广播系统等。

(6) 医疗电子设备:各种医疗电子仪器,如 X 光机、超声诊断仪、心脏起搏器、监护仪等,以及辅助诊断系统、专家系统等。

目前,微处理器、微控制器产量从几亿片到十多亿片,远远大于个人计算机的数量。随着全球信息化的发展,嵌入式系统市场将进一步扩大。我国信息化与全面小康社会建设对嵌入式系统市场提出了巨大需求,信息家电产品、数字化家电产品、工业控制及商用设备各领域对嵌入式系统的年需求量分别达到几亿台、几千万台和几百万台。我国已有集成电路及板级产品的大批量生产能力,出口的嵌入式应用产品正在逐步增长,在全球市场也将占有一席之地。到 2005 年我国嵌入式计算机将创造千亿元的效益,嵌入式计算机将成为信息产业新的经济增长点之一。国内外的市场为我国嵌入式系统产业提供了大有作为的广阔天地。

在使用计算机的人群中,只有从事嵌入式系统应用的人才能真正地进入到计算机系统内部的软、硬件体系中,才能深刻领会计算机的智能化本质,并掌握智能化设计的知识。

要想掌握嵌入式技术,必须首先学习单片机方面的知识,单片机能使你体会到电脑的真谛,你可以用单片机亲自动手设计智能玩具,可以设计不同的应用程序来实现不同的功能。初级水平者可开发智能玩具,用宏指令编程。中级水平者可开发一些智能控制器,如电脑鼠、智能车、各种遥控模型。高级水平者可开发机器人、工业控制单元、数控设备、网络通信设备等,并用汇编语言或高级语言设计应用程序。围绕单片机及嵌入式系统形成的电子产业的未来,将会为电子爱好者提供广阔的天地——一个比当年无线电世界更广阔、更丰富、更持久、更具魅力的智能电子世界。投身到单片机世界来,将使你受益无穷。

1.2 单片机应用系统设计

单片机应用系统的设计包括单片机的基本扩展与程序设计、单片机应用系统开发环境、

系统的可靠性设计及实用外围电路设计等内容。作者曾在《单片机系统设计及工程应用》(雷思孝、冯育长编著,西安电子科技大学出版社2005年5月出版)一书中对此作了详细讨论,在此只对单片机应用系统的设计要点进行简要归纳。

1.2.1 单片机应用系统的结构

单片机应用系统的结构通常分为以下三个层次。

(1) 单片机: 通常指应用系统主处理机,即所选择的单片机器件。

(2) 单片机系统: 指按照单片机的技术要求和嵌入对象的资源要求而构成的基本系统。通常,单片机与时钟电路、复位电路和扩展存储器等共同构成了单片机系统。

(3) 单片机应用系统: 指能满足嵌入对象要求的全部电路系统。在单片机系统的基础上加上面向对象的接口电路,如前向通道、后向通道、人机交互通道(键盘、显示器、打印机等)、串行通信口以及应用程序等。

单片机应用系统三个层次的关系如图1.1所示。

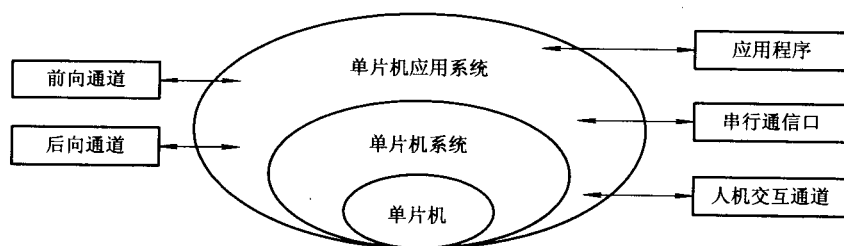


图 1.1 单片机应用系统三个层次的关系

1.2.2 单片机系统的开发过程

通常开发一个单片机系统可按以下七个步骤进行,如图1.2所示。

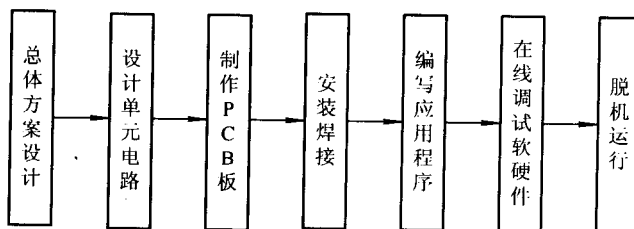


图 1.2 开发单片机系统的步骤

(1) 分析系统设计任务,完成总体方案设计。首先要明确系统的运行环境与条件,制定总体方案。制定总体方案时,应注意方案的完整性与合理性,不但要满足系统的功能指标要求,如存储容量、I/O 通道数目、模拟通道数目、系统精度及响应时间等,而且要保证系统的可靠性。也就是说,制定总体方案不但要进行功能性设计,同时要进行系统的可靠性设计。可靠性设计应贯穿于项目研发的每个环节,从总体方案的确定、外围单元电路的选

型、PCB 板设计、元器件的安装焊接一直到软件的编写调试, 无论哪个环节处理不当都会影响系统的可靠运行, 甚至会造成灾难性的后果。另外, 对大多数嵌入式系统, 在制定总体方案时还要进行机械结构方面的设计。

制定总体方案时, 应根据系统的具体要求, 如存储容量、通道数目、精度、响应时间及可靠性等, 设计出多种方案, 经过系统论证, 最后选择一种最佳方案进行实施。

(2) 设计单元电路。总体方案确定后, 便可以开始设计各单元电路。根据总体方案的要求, 应明确对各单元电路功能和技术指标的具体要求, 合理选择元器件并确定电路形式。设计单元电路时, 各种电路图集、手册及参考书上的各种电路可供我们借鉴。但是在大多数情况下, 这些现成的电路不能恰好满足我们的要求, 这时就要对这些现成的电路进行选择、修正或补充, 以满足我们的具体要求。另外, 要注意各单元电路的相互匹配, 这点在多人参与设计时显得尤为重要, 必要时要进行一些电路仿真或模拟实验。

(3) 制作 PCB 板。设计系统原理图和 PCB 板, 经仔细检查 PCB 板后送工厂制作。设计 PCB 板的人员应具有绘制印刷板的基本技能, 并有必要的电磁兼容知识, 注意系统的电磁兼容设计和抗干扰设计。

(4) 完成器件的安装焊接。

(5) 根据硬件设计和系统要求编写应用程序。

(6) 在线调试软硬件。

(7) 使用编程器烧写单片机应用程序, 进行系统的脱机运行和测试。

1.2.3 单片机硬件系统设计原则

一个单片机应用系统的硬件电路设计包含两部分内容: 一是系统扩展, 即当单片机内部的功能单元, 如 ROM、RAM、I/O、定时器/计数器、中断系统等不能满足应用系统的要求时, 必须在片外进行扩展, 选择适当的芯片, 设计相应的电路; 二是系统的配置, 即按照系统功能要求配置外围设备, 如键盘、显示器、打印机、A/D、D/A 转换器等, 并为这些外围设备设计合适的接口电路。系统的扩展和配置应遵循以下原则。

(1) 尽可能选择典型电路, 并符合常规用法。遵循这样的设计原则为硬件系统的标准化、模块化打下良好的基础。

(2) 系统扩展与外围设备的配置水平应充分满足应用系统的功能要求, 并留有适当余地, 以便进行功能扩展。

(3) 硬件结构应结合应用软件方案一并考虑。硬件结构与软件方案会产生相互影响, 考虑的原则是: 软件能实现的功能尽可能由软件实现, 以简化硬件结构。但必须注意, 由软件实现的硬件功能, 一般响应时间比硬件实现的长, 且占用 CPU 时间, 会降低 CPU 效率。

(4) 系统中的相关器件要尽可能做到性能匹配, 如选用 CMOS 芯片单片机构成低功耗系统时, 系统中所有芯片都应尽可能选择低功耗器件。

(5) 可靠性及抗干扰设计是硬件设计必不可少的一部分, 它包括电路定型、器件选择、去耦滤波、印刷电路板布线、通道隔离等。

(6) 单片机外围电路较多时, 必须考虑其驱动能力。驱动能力不足时, 抗干扰性能下降, 系统工作不可靠, 对此可通过增设驱动器以增强驱动能力或选用低功耗器件来降低总线负载。

(7) 尽量朝“单片”方向设计硬件系统。系统器件越多，器件之间相互干扰也越强，功耗增大，不可避免地降低了系统的稳定性。

1.3 系统的电磁兼容设计

电磁兼容是指系统能在规定的电磁环境中正常工作，而且不对该环境中其他设备产生过量的电磁干扰。这里包含着两个方面的要求：其一是要求系统对外界的电磁干扰具有一定的承受能力；其二是要求在正常运行过程中，系统对周围环境产生的电磁干扰不能超过规定限度。

比如，家用电器工作在各种电器、电子产品所产生的电磁干扰的环境中，就家庭环境的电磁场分布来说，已不再是“纯净的”。洗衣机、电冰箱、空调器、吸尘器、微波炉、电热毯、手机、电脑以及电视机等在正常工作时，都要发出各种不同频率的电磁波，产生电磁干扰和电磁污染。各种电器在运行中不断反复动作，电路的能量反复变换，使电磁场不断动荡，这些都将对周围电器的工作产生影响。同时，当强度超过一定限度时，还可能有人体健康。因此在考核家用电器运行的可靠性时，不仅仅要考虑电器本身的性能，还要考核其对周围环境的承受和干扰程度，这就是家用电器的电磁兼容设计。

与家用电器的电磁兼容设计类似，对其他任何电子系统都必须考虑电磁兼容问题，对电子设备的电磁兼容技术要给予充分的重视。就单片机应用系统而言，影响单片机系统可靠安全运行的主要因素来自系统内部和外部的各种电气干扰，并受到系统结构设计、元器件选择、安装、制造工艺等因素的影响。这些都会对单片机系统造成干扰，若处理不当，会导致单片机系统运行失常，轻则影响系统的正常工作，重则会导致事故，造成重大损失。

为了提高电子设备的电磁兼容能力，必须从开始设计时就对电磁兼容性给予足够的重视。电磁兼容的设计可以从电磁兼容的三要素，即电磁干扰源、电磁干扰可能传播的途径及易接收电磁干扰的电磁敏感电路和器件入手。

1) 电磁干扰源

电磁干扰源指产生干扰的元件、设备或信号。如雷电、继电器、可控硅、电机、高频时钟等都可能成为干扰源。要充分分析电子设备可能存在的电磁干扰源及其性质，尽量消除或降低电磁干扰源的干扰强度。

2) 电磁干扰传播途径

电磁干扰传播途径指干扰从干扰源传播到敏感器件的通路或媒介，典型的干扰传播途径是通过导线传导和空间辐射。要充分了解电磁干扰可能传播的路径，尽可能切断其途径，或降低与电磁干扰耦合的能力。

3) 电磁敏感器件

电磁敏感器件指容易被干扰的对象。如 A/D、D/A 转换器，单片机，数字 IC，弱信号放大器等都是电磁敏感器件。要充分认识易接收电磁干扰的电磁敏感电路和器件，尽量杜绝其接收电磁干扰的可能性。

系统设计时应采取相应措施，消除或部分消除可能出现的电磁干扰，以减轻调试工作的压力。在调试中，针对具体出现的电磁干扰，以及接收电磁干扰的电路和元器件的表现

进行分析,以确定电磁干扰源的所在及电磁干扰可能传播的路径,再采取相应的解决办法。在单片机应用系统设计中可以从如下几个方面来消除电磁干扰。

1. 抑制干扰源

干扰的分类有好多种,通常可以按照噪声产生的原因、传导方式、波形特性等进行分类。按产生的原因可分为放电噪声、高频振荡噪声、浪涌噪声;按传导方式可分为共模噪声和串模噪声;按波形可分为持续正弦波、脉冲电压、脉冲序列等。

抑制干扰源的常用措施如下:

- (1) 继电器线圈增加续流二极管,消除断开线圈时产生的反电动势干扰。
- (2) 在继电器接点两端并接火花抑制电路(一般是 RC 串联电路,电阻一般选几千欧姆到几十千欧姆,电容选 $0.01\ \mu\text{F}$),减小电火花影响。
- (3) 给电机加滤波电路,注意电容、电感引线要尽量短。
- (4) 电路板上每个 IC 要并接一个 $0.01\sim 0.1\ \mu\text{F}$ 高频电容,以减小 IC 对电源的影响。注意高频电容的布线应靠近电源端并尽量粗短,否则等于增大了电容的等效串联电阻,会影响滤波效果。
- (5) 布线时避免 90° 折线,尽量使用弧线转角线或 45° 折线布线,以减少高频噪声的辐射。
- (6) 可控硅两端并接 RC 抑制电路,用来减小可控硅产生的噪声(此噪声严重时可能会把可控硅击穿)。

2. 切断干扰传播路径

干扰源产生的干扰信号是通过一定的耦合通道才对测控系统产生作用的,因此,我们有必要分析干扰源和被干扰对象之间的干扰传递方式。干扰的耦合方式主要分为以下几种:

- (1) 直接耦合。这是最直接的方式,也是系统中存在最普遍的一种方式,例如干扰信号通过电源线侵入系统。对于这种形式,最有效的方法就是加入去耦电路,从而很好地抑制干扰。
- (2) 公共阻抗耦合。这也是常见的耦合方式,这种形式常常发生在两个电路电流有共同通路的情况下。为了防止这种耦合,通常在电路设计中就要考虑,使得干扰源和被干扰对象间没有公共阻抗。
- (3) 电容耦合。它又称电场耦合或静电耦合,是由于分布电容的存在而产生的耦合。
- (4) 电磁感应耦合。它又称磁场耦合,是由于分布电磁感应而产生的耦合。
- (5) 漏电耦合。这种耦合是纯电阻性的,在绝缘不好时就会发生。

切断干扰传播路径的常用措施如下:

- (1) 设计时充分考虑电源对单片机的影响。电源做得好,整个电路的抗干扰就解决了一大半。许多单片机对电源噪声很敏感,需要给单片机电源加滤波电路或稳压器,以减小电源噪声对单片机的干扰。比如,可以利用磁珠和电容组成 Π 形滤波电路,当条件要求不高时也可用 $100\ \Omega$ 电阻代替磁珠。
- (2) 如果单片机的 I/O 口用来控制电机等噪声设备,在 I/O 口与噪声源之间应加隔离电路。

(3) 晶振布线时,晶振应尽量靠近单片机引脚,用地线把时钟区隔离起来,晶振外壳接地并固定。

(4) 电路板要合理分区。例如,把强信号与弱信号适当分离,把数字信号与模拟信号适当分离,敏感元件(如单片机)要尽可能远离干扰源(如电机、继电器)等。

(5) 用地线把数字区与模拟区隔离。具体做法是数字地与模拟地分离,最后在一点接于电源地。A/D、D/A 芯片布线也需以此为原则。

(6) 单片机和大功率器件的地线要单独接地,以减小相互干扰,并且大功率器件尽可能放在电路板边缘。

(7) 在单片机 I/O 口、电源线、电路板连接线等关键地方使用抗干扰元件,如磁珠、磁环、电源滤波器、屏蔽罩等,可显著提高电路的抗干扰能力。

3. 提高敏感器件的抗干扰性能

提高敏感器件的抗干扰性能是指从敏感器件这边考虑尽量减少对干扰噪声的拾取,以及从不正常状态尽快恢复的方法。提高敏感器件抗干扰性能的常用措施如下:

(1) 布线时尽量减少回路环的面积,以降低感应噪声。

(2) 布线时,电源线和地线要尽量粗,其目的除减小压降外,更重要的是降低耦合噪声。

(3) 对于单片机闲置的 I/O 端口,不要悬空,要接地或接电源,其他 IC 的闲置端在不改变系统逻辑的情况下接地或接电源。

(4) 对单片机使用电源监控器及看门狗电路可大幅度提高整个电路的抗干扰性能。

(5) 在速度能满足要求的前提下,尽量降低单片机的晶振频率。

(6) IC 器件尽量直接焊在电路板上,少用 IC 插座。

4. 其他常用抗干扰措施

(1) 交流端用电感电容滤波,去掉高频、低频干扰脉冲。

(2) 变压器双隔离措施。其具体做法是变压器初级输入端串接电容,初、次级线圈间屏蔽层与初级间电容中心接点接大地,次级外屏蔽层接印制板地。这是硬件抗干扰的有效手段。

(3) 次级加低通滤波器,吸收变压器产生的浪涌电压。

(4) 采用隔离电路。I/O 端口采用光电隔离、磁电隔离、继电器隔离,消除由公共地线引起的干扰。

(5) 通信线用双绞线,消除平行互感。

(6) A/D 转换用隔离放大器或采用现场转换来减少误差。

(7) 外壳接大地来保证人身安全及防止外界电磁场干扰。

(8) 增加复位电压检测电路,防止由于复位电压不充分使 CPU 复位失败。

5. 印制板工艺抗干扰

(1) 元件布局合理,稀疏恰当。注意信号的流向和电位,通常信号由左向右传输,电压由上向下依次降低。注意克服数字系统中由于信号的窜扰、延时、反射产生的干扰。

(2) CPU、RAM、ROM 等主要芯片, V_{CC} 和 GND 之间接电解电容及瓷片电容,去掉高、低频干扰信号。

(3) 独立系统结构并减少接插件与连线,可提高其可靠性及减少故障率。

- (4) 保证集成块与插座接触可靠;需使用双簧插座,最好把集成块直接焊在印制板上。
- (5) 有条件时应采用四层以上的印制板,中间两层为电源及地线。
- (6) 电源线加粗、合理地走线及接地、三总线分开等措施可以减少互感振荡,并且要注意克服数字电路和模拟电路交叉布线时的相互干扰。

习题 1 及参考答案

1. 什么是单片机?它由哪几部分组成?何谓单片机应用系统?

答:单片机是采用超大规模集成电路技术,把一台计算机的主要部件集成在一个芯片上所构成的一种集成电路芯片,因此单片机被称为单片微型计算机(Single Chip Microcomputer, SCM)。其主要组成部分有中央处理器(CPU)、存储器(RAM 和 ROM)、基本 I/O 端口以及定时器/计数器等部件,并具有独立指令系统。有的单片机中还集成有串行通信口,显示驱动电路(LCD 或 LED 驱动电路),脉宽调制电路(PWM),A/D 及 D/A 转换器等电路。

单片机在软件的控制下能准确、迅速、高效地完成程序设计者事先规定的任务,能够完成现代工业控制系统所要求的智能化控制功能。给单片机配备必要的外围器件(设备)用于某一被控对象中,就构成了一个单片机应用系统。

2. 简述单片机的特点。

答:单片机及应用系统有以下特点:

- (1) 单片机具有独立的指令系统,可以将我们的设计思想充分体现出来,使产品智能化。
- (2) 单片机系统的配置以满足控制对象的要求为出发点,使得系统具有较高的性能价格比。
- (3) 单片机本身不具有自我开发能力,一般需借助专用的开发工具进行系统开发和调试,但最终形成的产品简单实用,成本低,效益高。
- (4) 应用系统所用存储器芯片可选用 EPROM、E²PROM、OTP 芯片或利用掩膜形式生产,便于批量开发和应用。大多数单片机的开发芯片和扩展应用芯片相互配套,降低了系统成本。
- (5) 由于单片机系统小巧玲珑,控制功能强,体积小,便于嵌入被控设备中,故其大大推动了产品的智能化。如数控机床、机器人、智能仪器仪表、洗衣机、电冰箱、电视机等都是典型的机电一体化设备。

3. 简述单片机的发展过程及分类。

答:单片机的发展大致可归纳为四个阶段。

第 1 阶段:低性能单片机阶段(1976—1980 年)。该阶段是以较简单的 8 位低档单片机为主,将原有的单板机功能集成在一块芯片上,该芯片具有原来单板机的功能。其主要代表芯片为 Intel 公司的 MCS-48 系列,该系列芯片内集成了 8 位 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时器/计数器,寻址范围为 4 KB,没有串行通信接口。

第 2 阶段:高性能单片机阶段(1980—1983 年)。这一阶段仍以 8 位机为主,主要增加了串行口、多级中断处理系统、16 位定时器/计数器,除片内 RAM、ROM 容量加大外,片外