



单片机

应用系统设计与 产品开发

冯建华 赵 亮 编著

The background of the cover features a grayscale image of a microchip's circuitry. A large, semi-transparent circular graphic is positioned on the left side, partially overlapping the title text.

单片机

应用系统设计与 产品开发

冯建华 赵 亮 编著

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机应用系统设计与产品开发 / 冯建华, 赵亮编著. 北京: 人民邮电出版社, 2004.11

ISBN 7-115-12681-X

I. 单... II. ①冯...②赵... III. ①单片微型计算机—系统设计②单片微型计算机—系统开发
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 113000 号

内容提要

本书介绍了 51 系列单片机的开发基础知识和工程案例, 并结合产品开发流程讲解如何设计单片机产品硬件电路和软件系统。本书所选实例涵盖了 51 系列单片机的主要应用技术 (计数器应用计数、I/O 控制技术、A/D 转换技术、PWM 调制技术、红外遥控技术、液晶显示技术、串口通信技术、单片机中断技术以及实时多任务操作系统的使用)。本书精选了 7 个实际开发案例, 它们是艺术彩灯的设计、锂离子电池充电器的设计、按摩机的设计、液晶遥控暖风机的设计、智能协议转换器的设计、RTX51 TINY 的应用案例以及通用数据采集器的设计。

通过本书的学习, 读者除了可以掌握单片机的具体应用方法外, 还可以了解如何针对一个具体的项目需求来设计解决方法, 以及如何运用单片机的关键技术满足项目需求。

本书专业性和实用性较强, 适合中高级程序员、单片机开发人员和系统设计人员阅读和参考。

单片机应用系统设计与产品开发

◆ 编 著 冯建华 赵 亮

责任编辑 刘 浩

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67132692

北京鸿佳印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 23.75

字数: 576 千字

2004 年 11 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2004 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN7-115-12681-X/TP · 4233

定价: 38.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

前 言

本书是在笔者实际开发经验基础上总结、撰写的介绍 51 系列单片机应用技术的书籍。笔者选取了 7 个具有代表性的案例，按照技术点从易到难的顺序安排，旨在为读者提供实用的单片机应用技术，使读者掌握产品开发流程和相关技术知识。全书共分 10 章。

第 1 章介绍 51 系列单片机的硬件结构、典型兼容机的特点以及单片机应用系统的基本开发流程。

第 2 章介绍 51 系列单片机的基础知识，重点让读者掌握单片机专用寄存器、单片机指令和中断调用机制。本章最后详细讲解了单片机应用的硬件、软件设计原则和程序设计方法。

第 3 章介绍了 5 种单片机功能以及其应用实例，它们是定时器与计数器、中断的应用、PWM 调制、数据发送/接收和单片机 I/O 通信。

第 4 章介绍了艺术彩灯的设计。艺术彩灯可用作居家的床头彩灯、节日庆典使用的高亮度彩灯等，其结构简单、成本低廉。艺术彩灯利用三基色原理混合出丰富的色彩变化，并使用了单片机定时器技术和中断状态转换技术。

第 5 章介绍了锂离子电池充电器的设计。锂离子电池充电器应用非常广泛，它用到了单片机模数转换采样技术。除此之外，锂离子电池充电器在电路设计上用到了保护机制与应急处理机制、基准电压发生器和多充电模式设计方法。

第 6 章介绍了按摩机的设计。按摩机利用 PWM 调制技术实现了电机调速控制，此外它还用到了 LED 驱动与控制技术和交流检测技术。本章列举了按摩机使用过程中的常见故障，结合开发经验讨论了故障原因并提供相应的解决方案。

第 7 章介绍了液晶遥控暖风机的设计，涉及液晶驱动技术、RC 充放电测电阻技术和红外解码技术。

第 8 章介绍了智能设备协议转换器（PCM）的设计。PCM 是智能设备与采集前置机之间的通信桥梁。PCM 用到了单片机串口通信技术和中断技术，并使用诸多芯片辅助完成外围电路的功能，本章还介绍了用于串口通信测试的通用方法。此外，笔者结合开发经验讨论了故障原因并提供了解决方案。

第 9 章介绍了 RTX51 TINY 单片机实时多任务操作系统的应用。RTX51 TINY 是一个非常简单、实用的单片机操作系统，它可以在没有任何外部存储器的 8051 系列单片机系统上运行。本章详细介绍了 RTX51 TINY 的系统函数及其使用方法，并结合第 8 章，讲解了如何利用 RTX51 TINY 系统实现 PCM。

第 10 章介绍了基于 51 系列单片机的通用数据采集器的设计，可实现现场自动化监测及控制。本章重点介绍了以器件 ICL7109 为核心的多通道高精度模拟数据采集技术、数字量采集技术、控制输出技术以及 GAL 的应用方法。

本书全部代码可以从 <http://www.ucbook.com> 处下载，具体使用方法请参见其中的“使用说明”文件。

由于水平有限，书中难免存在不足和疏忽之处，恳请读者朋友和各位同仁批评指正（E-mail: book_better@sina.com）。

编者

2004年11月

目 录

第 1 章 51 系列单片机入门	1
1.1 51 系列单片机的特点	1
1.1.1 MCS-51 单片机的结构特点	1
1.1.2 51 系列兼容单片机简介	2
1.1.3 51 系列单片机常见封装	4
1.2 51 系列单片机的基本开发流程	5
1.2.1 硬件系统开发基本流程	5
1.2.2 软件系统开发基本流程	6
第 2 章 51 系列单片机基础知识	9
2.1 51 系列单片机硬件基础知识	9
2.1.1 管脚定义说明	10
2.1.2 单片机专用寄存器与数据存储区	11
2.1.3 系统定时器	12
2.1.4 波特率发生器	14
2.1.5 可编程时钟输出	15
2.1.6 “看门狗”定时器	16
2.1.7 单片机工作模式	17
2.2 51 系列单片机指令与中断	18
2.2.1 51 系列单片机指令系统简介	18
2.2.2 51 系列单片机指令简介	20
2.2.3 51 系列单片机中断	23
2.3 单片机应用设计	25
2.3.1 硬件系统设计原则	25
2.3.2 软件系统设计原则	26
2.3.3 单片机应用程序设计	27
2.3.4 单片机应用举例	31
第 3 章 51 系列单片机应用起步	33
3.1 定时器与计数器	33
3.1.1 定时器的应用	33
3.1.2 计数器应用	34
3.2 中断的应用	34
3.2.1 计数器中断	34

3.2.2 中断的应用	35
3.3 PWM 调制	38
3.4 数据发送/接受	40
3.5 单片机 I/O 通信	41
第 4 章 艺术彩灯的设计	44
4.1 艺术彩灯功能描述	44
4.2 彩灯原理与系统设计框架	45
4.2.1 彩灯原理介绍	45
4.2.2 系统设计框架	47
4.2.3 系统技术方案	49
4.3 艺术彩灯硬件设计	52
4.3.1 系统电源	53
4.3.2 交流检测电路	53
4.3.3 LED 控制电路	53
4.3.4 电路板焊接	54
4.4 艺术彩灯软件设计	55
4.4.1 系统总流程	56
4.4.2 状态内部流程	57
4.5 系统编程实现(汇编)	58
4.5.1 变量定义与初始化程序模块	58
4.5.2 T1~T8 状态的程序实现	60
4.5.3 PWM 计数模块实现	66
4.5.4 交流检测模块实现	67
4.6 系统调试	68
4.6.1 电源的调试	68
4.6.2 单片机调试	69
4.6.3 综合调试	71
4.7 本章总结	71
第 5 章 锂离子电池充电器的设计——单片机 I/O 与 A/D 转换应用案例	72
5.1 充电器功能描述	72
5.2 系统设计框架与技术参数	73
5.2.1 系统设计框架	73
5.2.2 锂离子电池充电原理	74
5.2.3 系统技术参数	77
5.2.4 系统技术方案	78
5.3 充电器硬件设计	80
5.3.1 系统指示灯电路	80
5.3.2 电源电压与环境温度采样电路	81

5.3.3	精确基准电源产生电路	81
5.3.4	开关控制电路	83
5.4	充电器软件设计	84
5.4.1	系统软件总体设计思路	84
5.4.2	系统主流程	85
5.4.3	充电流程设计	87
5.5	方案的编程实现(汇编)	90
5.5.1	变量定义与初始化程序模块	90
5.5.2	主程序模块	94
5.5.3	充电阶段子程序模块	97
5.6	功能调试与常见故障处理	113
5.6.1	功能调试要点	113
5.6.2	常见故障处理	115
第6章	传动电机控制——PWM在按摩机上的应用	117
6.1	按摩机功能描述	117
6.2	系统设计框架与电机控制	119
6.2.1	系统设计框架	119
6.2.2	直流电动机控制原理	120
6.2.3	直流电动机控制技术	122
6.2.4	系统技术方案	122
6.3	按摩机硬件设计	127
6.3.1	按摩机电源电路	127
6.3.2	复位电路	129
6.3.3	电机和氖灯控制电路	129
6.3.4	按键显示部分	129
6.3.5	电路焊接	130
6.4	按摩机软件设计	130
6.4.1	交流检测设计	130
6.4.2	电机控制设计	131
6.4.3	LED驱动设计	133
6.5	按摩机编程实现(汇编)	135
6.5.1	端口与寄存器的初始化	135
6.5.2	主程序代码	141
6.5.3	交流检测模块	141
6.5.4	电动机的控制实现	142
6.5.5	数码管显示驱动模块	146
6.6	系统功能调试与常见故障处理	149
6.6.1	系统功能调试	149
6.6.2	常见故障处理	150

第 7 章 液晶遥控暖风机	153
7.1 暖风机功能描述	153
7.2 系统设计框架与液晶显示驱动	154
7.2.1 系统设计框架	154
7.2.2 液晶显示原理	155
7.2.3 液晶显示驱动	155
7.2.4 系统技术方案	157
7.3 暖风机硬件设计	163
7.3.1 按键检测电路	164
7.3.2 红外检测与 HT1621 数据线	164
7.3.3 继电器控制电路	165
7.3.4 暖风机电路板制作	166
7.4 暖风机软件设计	167
7.4.1 液晶显示驱动设计	167
7.4.2 温度检测设计	170
7.4.3 红外解码设计	172
7.5 暖风机编程实现(汇编)	177
7.5.1 变量定义与主程序模块编程	177
7.5.2 液晶驱动与显示	180
7.5.3 温度检测控制实现代码	185
7.6 系统功能调试	189
第 8 章 智能设备协议转换器(PCM)——串口通信应用案例	191
8.1 PCM 功能描述	191
8.2 系统方案设计	193
8.2.1 系统设计框架	193
8.2.2 系统技术方案	194
8.3 单片机串口通信技术	198
8.3.1 串口通信的物理层协议	199
8.3.2 单片机串行通信接口	202
8.4 PCM 硬件设计	207
8.4.1 电源与外部设备部分电路布线	208
8.4.2 单片机系统部分电路布线	209
8.4.3 串口驱动电路布线	210
8.4.4 其他部分	212
8.4.5 电路制版	212
8.5 PCM 软件设计	212
8.5.1 PCM 通信协议设计	213
8.5.2 软件流程设计	216

8.6	PCM 编程实现 (汇编)	219
8.6.1	变量、寄存器定义与主函数模块	219
8.6.2	发送子程序 (MainLoopSend) 模块设计与实现	221
8.6.3	复制子程序 (MainLoopCopy) 模块设计与实现	226
8.6.4	转化子程序 (MainLoopTrans) 模块设计与实现	229
8.6.5	打包子程序 (MainLoopPcData) 模块设计与实现	246
8.6.6	PCM 串口数据通信的编程实现	252
8.6.7	时间监控中断程序设计	264
8.6.8	小结	265
8.7	PCM 调试与技术维护要点	266
8.7.1	PCM 调试	266
8.7.2	技术维护要点	268
第 9 章	RTX51 TINY 单片机实时多任务操作系统及其应用	269
9.1	RTX51 TINY 单片机操作系统介绍	269
9.1.1	单任务程序与时间片轮转调度	270
9.1.2	RTX51 TINY 事件	271
9.2	使用 RTX51 TINY 单片机操作系统	274
9.2.1	开发工具需求	274
9.2.2	RTX51 TINY 任务管理	275
9.2.3	建立 RTX51 TINY 应用程序	276
9.3	RTX51 TINY 系统函数	278
9.3.1	常用系统函数	278
9.3.2	其他系统函数	283
9.4	利用 RTX51 TINY 系统实现 PCM	283
9.4.1	系统设计	283
9.4.2	系统数据定义及初始化	284
9.4.3	命令任务实现	287
9.4.4	系统中断的实现	304
9.4.5	其他功能函数实现	307
9.5	RTX51 TINY 应用经验	311
9.5.1	RTX51 TINY 堆栈管理	311
9.5.2	配置文件的修改与应用优化	312
9.5.3	os_wait 函数延时的问题	312
9.5.4	K_TMO 与 K_IVL 参数的区别	312
第 10 章	基于 51 系列单片机的通用数据采集器	314
10.1	数据采集器功能描述	314
10.2	系统方案设计	316
10.2.1	系统设计框架	316

10.2.2	系统技术方案	317
10.3	数据采集器硬件设计	322
10.3.1	12 位双积分 A/D 转换器 ICL7109	322
10.3.2	高精度运算放大器 AD OP-07	325
10.3.3	通用阵列逻辑 GAL16V8	326
10.3.4	数据采集器的电路布线	332
10.4	数据采集器软件设计	339
10.4.1	数据采集器通信协议设计	339
10.4.2	软件流程图	341
10.5	系统编程实现（汇编）	342
10.5.1	变量和寄存器定义	342
10.5.2	主程序	344
10.5.3	中断程序	353
10.5.4	串口通信程序	356
10.6	系统调试	365
10.6.1	模拟量调试	365
10.6.2	器件调试	365

第 1 章 51 系列单片机入门

单片机将中央处理器 CPU、存储器 ROM/RAM、输入/输出接口电路以及定时器/计数器单元集成在一块芯片中，构成了一个完整的计算机体系，如图 1-1 所示。由于单片机把各功能部件集成在一块芯片上，因此它结构紧凑、超小型化、可靠性高、价格低廉、易于开发应用。单片机的应用十分广泛，适用于智能设备、精密仪表、测控系统、数据通信、数控控制机等领域。

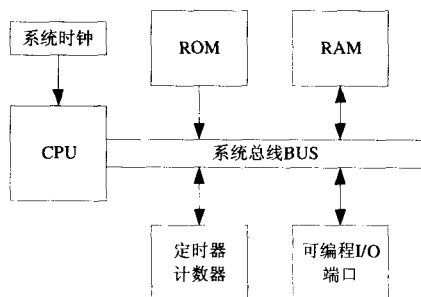


图 1-1 51 系列单片机原理结构框图

本章将介绍 51 系列单片机的特点、应用领域以及开发流程，并结合实际的单片机产品和实际案例对其做具体描述。

1.1 51 系列单片机的特点

1.1.1 MCS-51 单片机的结构特点

MCS-51 单片机是 Intel 公司于 1980 年推出的 8 位单片机，其硬件结构有以下特点：

(1) 内部程序存储器（ROM）与内部数据存储器（RAM）容量较大。

MCS-51 的内部 ROM 大小为 4KB，其类型为掩模 ROM；内部 RAM 容量为 128 B。此外，系统没有配置 EPROM 存储区。

(2) I/O 端口数量和种类较多且齐全。

MCS-51 单片机共有 32 个 I/O 端口，按 8 位分组定义为 P0、P1、P2 和 P3。

- P0 端口由一个锁存器、两个三态输入缓冲器以及控制电路和驱动电路组成。它是一个真正的双向端口。当 P0 端口输出地址/数据时，控制信号为“1”；当 P0 端口仅作为通用的 I/O 端口使用时，控制信号为“0”。
- P1 端口是一个准双向端口。当它用作通用 I/O 端口时，内部利用上拉电阻与电源相连，不必单独外接上拉电阻；当它用作输入端口时，必须向对应的锁存器写入信号“1”。

- P2 端口也是一个准双向端口。当系统中有片外存储器时, P2 端口输出高 8 位地址; 当系统将 P2 端口作为通用 I/O 口使用时, 必须向对应的锁存器写入信号“1”。
- P3 端口是一个双功能端口。它既可以作通用 I/O 端口使用, 又具有第二功能。若 P3 端口用作通用 I/O 端口, 它类似于一个准双向端口; 若 P3 端口工作在第二功能, 相应的锁存器和选择输出功能端都应置“1”。

(3) 可寻址外部程序存储器和外部数据存储器。

MCS-51 单片机可寻址 64KB 的外部数据存储器, 且该寻址能力不受芯片型号的影响, 但程序存储器的内部与外部总的空间限制在 64KB。

(4) 系统中断。

MCS-51 单片机定义了 5 个中断源, 并设定两个优先级, 中断源的优先级是可编程的。此外, 服务于程序和系统中断的堆栈位置也是可编程的, 堆栈深度可达 128 B。

(5) MCS-51 的指令集。

MCS-51 的指令集功能十分强大, 除了最基本的指令集外, 还包括了减法、乘法、除法、比较、堆栈操作(压栈与弹栈)和多种位操作指令。当振荡器频率达 12MHz 时, 大部分指令执行时间为 1 μ s, 少部分为 2 μ s, 乘除指令的执行时间只有 4 μ s。

1.1.2 51 系列兼容单片机简介

除了 Intel 公司的 MCS-51 单片机外, 许多公司都推出了与其兼容的单片机产品, 并添加了许多实用的功能。本节将介绍市面上最为常见的几款 51 系列兼容单片机。

1. Atmel AT89S51 单片机

AT89S51 是 Atmel 公司出品的一款低功耗、高性能的 8 位 CMOS 单片机, 片内存储空间为 4 KB。它性能良好, 使用范围广, 深受开发者的欢迎。

AT89S51 的特点有:

- 兼容 MCS-51 微控制器。
- 4KB FLASH 存储器, 支持在系统编程 ISP, 1000 次擦写周期。
- 128B 片内 RAM。
- 工作电压为 4.0~5.5V。
- 全静态时钟 0~33MHz。
- 三级程序加密。
- 32 个可编程 I/O 端口。
- 2~3 个 16 位定时/计数器。
- 6~8 个中断源。
- 全双工 UART。
- 低功耗支持 Idle 和 Power-down 模式。
- Power-down 模式支持中断唤醒。
- 看门狗定时器。
- 双数据指针。
- 上电复位标志。

2. Atmel AT89C52 单片机

AT89C52 也是一款低功耗、高性能的 8 位 CMOS 单片机，片内存储空间为 8 KB，类型为程序闪存和 EPROM。此款单片机支持工业标准的 8051 和 8052 系列的指令集，多用于嵌入式系统开发，例如第 9 章的 PCM 设计。

AT89C52 的特点有：

- 兼容 MCS-51 微控制器。
- 8KB FLASH 存储器，支持在系统编程 ISP，1000 次擦写周期。
- 256B 片内 RAM。
- 工作电压为 4.0~5.5V。
- 全静态时钟为 0~24MHz。
- 三级程序加密。
- 32 个可编程 I/O 端口。
- 3 个 16 位定时/计数器。
- 8 个中断源。
- 可编程串口通信信道。
- 低功耗支持 Idle 和 Power-down 模式。

3. Winbond W78E51B 单片机

W78E51B 是 Winbond（华邦）公司出品的一款 8 位低功耗、高频宽的单片机，其指令集完全兼容标准的 8051 系列。此款单片机的硬件结构与 8051 稍有不同，新增了一个 4 位的 I/O 端口 P4。W78E51B 是标准的 51 兼容单片机，其特点具体描述如下：

- 全静态设计的 8 位 CMOS 单片机。
- 供电电压为 4.5~5.5V。
- 128B 片内 RAM。
- 4KB EPROM。
- 64KB 程序存储地址空间。
- 64KB 数据存储地址空间。
- 4 组 8 位双向端口。
- 一组额外的 4 位数据/地址公用 I/O 端口。
- 两个 16 位计时器/计数器。
- 一个全双工的 UART。
- 看门狗定时器。
- 7 个两级中断源。
- 内建电源管理。
- 代码保护机制。

4. Winbond W77E58 单片机

W77E58 是一款高速的 8051 兼容单片机，减少了冗余时钟和存储器时钟。在同一工作频率下，其指令执行速度均超过 8051 芯片。它采用全静态 CMOS 设计工艺，可在低频率下工

作，是 8051 的增强型号。

W77E58 的特点有：

- 全静态设计的 8 位 CMOS 单片机。
- 4 时钟/机器周期框架的高速结构设计，最高可达 40 MHz 工作频率。
- 管脚定义兼容 8052。
- 指令集兼容 MCS51。
- 256B 片内 RAM。
- 32 KB EPROM。
- 4 组 8 位双向端口。
- 一组额外的 4 位数据/地址公用 I/O 端口。
- 3 个 16 位计时器/计数器。
- 一个全双工的 UART。
- 可编程看门狗定时器。
- 12 个两级中断源。
- 内建电源管理。
- 代码保护机制。

5. 其他

还有一些单片机管脚少，指令集小，且兼容 8051 指令集，例如义隆公司出品的 EM78P153 单片机和 EM78P458 单片机。在第 4 章和第 5 章，由于需要体积小的器件，必须简化 I/O 部分以及 A/D 转换部分，因此均采用了这种端口带推挽功能的单片机。

1.1.3 51 系列单片机常见封装

以 AT89C52 单片机为例，常见的单片机封装有 3 种类型——PDIP40、TQFP44 和 PLCC44，如图 1-2 所示。

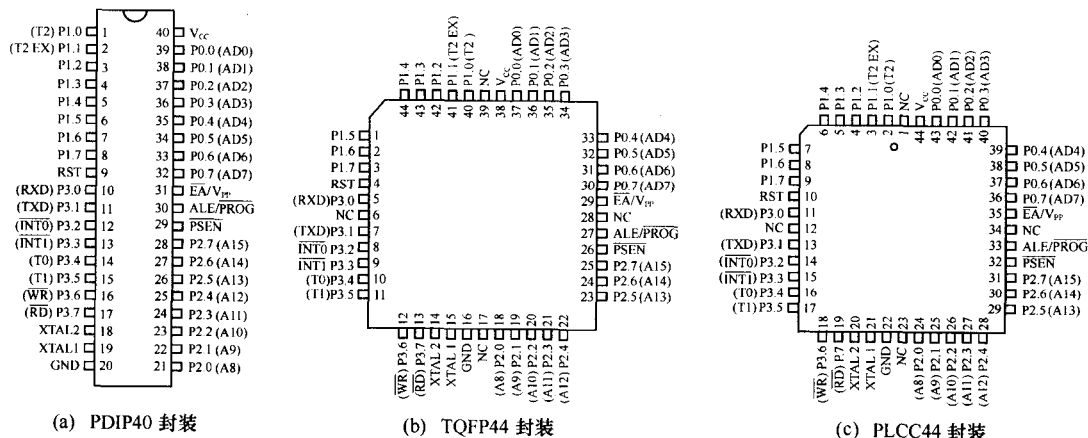


图 1-2 51 系列单片机常见封装示意

对于一般开发者来说，最常用的是 PDIP40 封装。PDIP 封装为塑料材料的双列直插封装，

采用这种方式封装的单片机适合PCB的穿孔安装,易于对PCB布线,且操作方便。TQFP和PLCC封装均为芯片载体封装:TQFP为四边引出扁平封装,PLCC为塑料有引线芯片载体封装。采用这种方式封装的单片机,适合用SMT表面安装技术在PCB上安装布线,由于其封装外形尺寸小、寄生参数小,因此适合高频应用,采用这种封装方式的单片机操作方便,可靠性高。

1.2 51 系列单片机的基本开发流程

单片机应用系统是指以单片机为核心,配以一定的外围电路和软件,能实现某种或几种功能的应用系统。它由硬件部分和软件部分组成。一个单片机应用系统经过预研、总体设计、硬件设计、软件设计、制板、元器件安装后,在系统的程序存储器中放入编制好的应用程序,系统即可运行。但一次性成功几乎是不可能的,多少会出现一些硬件、软件上的错误,这就需要通过调试来发现并加以改正。由于单片机在执行程序时人工是无法控制的,为了能调试程序,检查硬件、软件运行状态,就必须借助某种开发工具模拟用户实际使用的单片机,并且能随时观察运行的中间过程而不改变运行中原有的数据性能和结果,从而模仿现场的真实调试。

1.2.1 硬件系统开发基本流程

硬件系统的最终结果是推向市场的实际产品,其开发包括器件选用、电路原理设计、电路制版和最终的产品外观设计。作为一名系统开发者,主要关注的是电路原理设计和电路制版。器件选用一般需要依靠经验,并依据具体产品的成本要求进行选择,产品外观设计则由专门的负责人员完成。

1. 电路原理设计

电路原理设计的主要任务是为实际的制版电路提供理论上的基础。在电路原理设计阶段,设计者假设电路环境是理想的,例如,没有电磁干扰,电源恒定,输出对于输入的串扰基本消失,器件不存在发热和电器参数的误差,电阻精确无误等。在理想的环境下,设计者往往忽略所需要的保护机制,将电路设计得尽可能地简单、高效。

如图 1-3 所示,假设输入电压为恒定的 220V,并给出了应有的一些元器件,例如电感 L 、电阻 R 、电容 C 以及可控硅。但电路原理图并不需要给出电源的保护机制电路、电路元器件的型号以及参数。对于使用市电的单片机系统来说,电源保护机制尤为重要。

电路原理设计的基本原则是:

- 利用已有的基本电路定理,找准硬件系统的基本原理来源。
- 电路原理图通常以满足系统要求的默认值作为元器件的选用基础,只要不违反基本的电路定理,均可满足布线要求。
- 电路原理图应尽量简单、清楚。它的主旨是为了说明设计的可行性,而不刻意强调实际的操作性能。随着工程经验的增加,往往可以做到既能满足设计的可行性,又能为后续的电路制版提供便利。
- 电路原理图不能直接作为电路焊接的依据,需利用 Protel 完成布线。

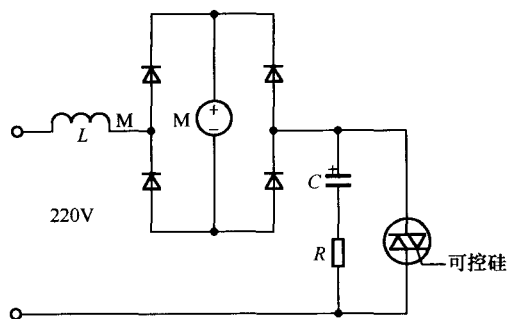


图 1-3 电机调速原理图

2. 电路制版

电路制版阶段一般分两步完成：Protel 布线和电路焊接。

Protel 布线后的电路图是真正的产品电路图。一般来说，设计者都是在电路原理图的基础上，凭借自己的工程经验和电路知识来完成最终布线的。

电路制版的基本步骤有：

- 分析电路原理图，确定电路模块并定义模块间的连线。
- 完成各电路模块内部的布线，将各模块连接起来。
- 在面包板上测试电路布线，确认电路是否可行。
- 选好器件，完成焊接。
- 对已焊接好的电路进行调试。

电路制版是一个不断反馈的过程，通常需要在测试上花费较多的时间。如果测试结果与设计不符，首先确认系统连线是否准确；如果连线无误，则需查看电路原理图，找出出错的原因；如果以上都无误，那么就必须检查器件是否损坏。一般来说，设计者极少遇到因器件损坏而无法完成电路制版的情况。

1.2.2 软件系统开发基本流程

单片机应用的软件系统比较小，代码量不大，一般不会采用大型软件系统开发所使用的流程。软件系统开发的基本流程包括系统功能分析、功能模块划分、流程图和最终的程序代码编写。

1. 系统功能分析

系统功能分析是软件系统开发的第一步，也是最为重要的一步。设计者根据产品的功能来分析软件系统应完成的基本功能，并在此基础上添加完善系统的辅助功能。例如，对单片机 I/O 口完成数据采样功能，设计者除了保证数据可采样得到外，必须设计精度控制和容错控制的辅助功能模块。

2. 功能模块的划分

功能模块的划分与上一步联系得非常紧密，有时设计者可能并没有专门去划分功能模