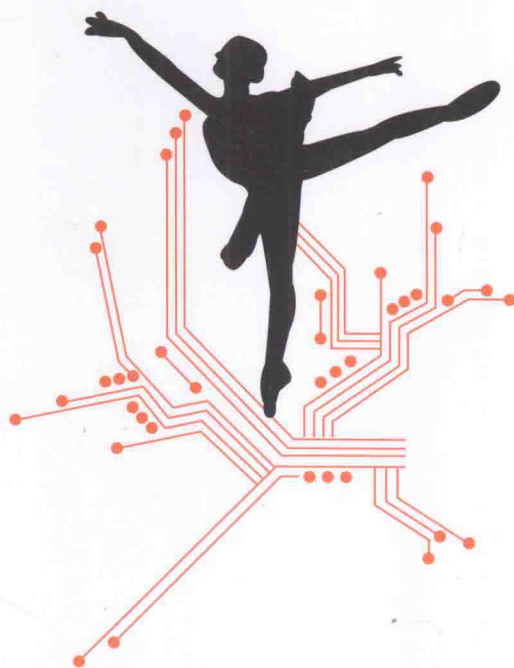


清华

开发者书库



The Design of Control System based on AVR MCU

基于AVR单片机的 控制系统设计

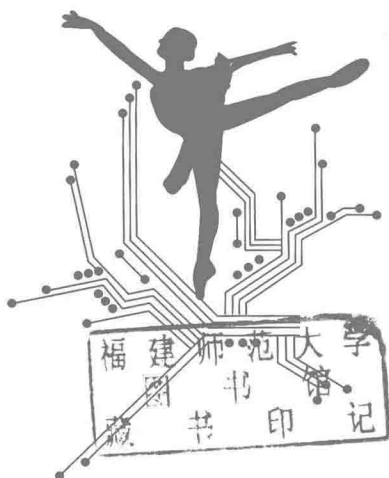
陈中 顾春雷 沈翠凤◎编著

清华大学出版社



清华

开发者书库



The Design of Control System based on AVR MCU

基于AVR单片机的 控制系统设计

陈中 顾春雷 沈翠凤◎编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍 ATmega16 单片机设计方法,在适当阐述工作原理基础上,重点介绍硬件电路图和软件编程,对于重要程序解释编程方法并说明其工作原理。

全书共分 9 章:第 1 章为单片机基础,着重 AVR 单片机工作原理以及 ICCAVR 编译软件的应用;第 2~9 章为单片机设计,包括硬件系统设计和软件编程。全书提供了大量应用实例,具备完整的硬件电路图和软件清单,涵盖了 AVR 单片机设计的诸多内容。

本书可以作为高等院校电子信息、自动化等专业高年级本科生、研究生的教学指导书,也可以作为相关工程技术人员参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

基于 AVR 单片机的控制系统设计/陈中,顾春雷,沈翠凤编著.--北京:清华大学出版社,2016

清华开发者书库

ISBN 978-7-302-42642-4

I. ①基… II. ①陈… ②顾… ③沈… III. ①单片微型计算机—计算机控制系统—系统设计
IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 013814 号

责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22

字 数:549 千字

版 次:2016 年 3 月第 1 版

印 次:2016 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.00 元

产品编号:067466-01

前言

PREFACE

单片机又称为微机控制器(Microcontroller),国外普遍称为MCU(Micro Control Unit),其基本结构是将微型的基本功能部件:中央处理器(CPU)、存储器、输入/输出接口(I/O)、定时器/计数器、中断系统等全部集成在一个半导体芯片上。

就作者的经验来看,AVR单片机和非增强型51单片机相比,具有运行速度快,功能丰富等优点,而且寄存器的设置较多。实际上,中高档单片机的发展趋势也是寄存器的设置越来越多。非增强型51单片机有的端口是准双向端口,而AVR单片机所有端口都是双向的,必须设置端口数据的输出或输入方向。非增强型51单片机的C语言程序可以部分移植到AVR单片机,但两者有很多的不同。

国内单片机书籍多如牛毛,但大部分单片机书籍都是偏重于理论以及汇编语言。实际上,单片机技术是一门实践性很强的课程,要想学好单片机技术,比较好的方法就是多做实物,多做练习。从作者的实践来看,单片机学习有两个问题。首先是仿真软件,Proteus软件的确有其长处,但其Bug也不少,尤其在数码管动态显示方面,缺点很大。作者遇到过很多种情况,仿真能够成功,但实物做不出来;或实物做出来了,但仿真不行。其次是汇编语言,汇编语言有其优点,但非常繁琐,作者建议采用C语言编程。

本书采用的是AVR单片机的ATmega16型号,书中所有的电路图都是完全按照管脚实物绘制。AVR单片机有很多类型,但基本上都是大同小异,只要把一种类型搞通了,就很容易掌握其他AVR类型的单片机设计方法。

本书主要是在陈中和朱代忠编著的《基于STC89C52单片机的控制系统设计》基础上改写的,增加了AVR单片机相关的内容。书中论述部分主要参考了《ATmega16单片机使用手册》,张华宇、谢凤芹、王立滨编著的《零点起步——AVR单片机开发入门与典型实例》,徐益民、范红刚、苏凤武编著的《零基础学AVR单片机——基于ATmega16、汇编及C语言》以及马潮编著的《AVR单片机嵌入式系统原理与应用实践》,这些参考书使得作者受益颇多,书中部分资料来自互联网。在此向朱代忠、张华宇、谢凤芹、王立滨、徐益民、范红刚、苏凤武、马潮等表示衷心感谢。

本书是由盐城工学院陈中、顾春雷和沈翠凤共同编写,陈中统筹了全稿。全书共分为9章,第1章单片机原理概述和C编程语言,内容包括单片机的结构和组成,单片机最小系统,以及不同数据类型和ICCAVR软件调试方法等;第2章单片机输出电路设计,介绍数码管、液晶1602、液晶12864、点阵等显示的设计;第3章单片机输入电路设计,包括计算

器、密码锁、电子秤等设计方法；第4章定时/计数器以及中断系统设计，着重说明不同方式PWM波的原理及设计方法；第5章串行通信设计，着重介绍串行助手软件进行串行通信设计；第6章TWI接口应用，着重介绍断电保护电子密码锁的设计；第7章同步串行SPI接口的设计，着重介绍无线模块通信设计；第8章AD转换系统设计；第9章单片机综合系统设计，内容包括两路温度检测系统、门禁控制系统以及闭环直流调速系统设计等。

本书在编写过程中，由丁圣均、黄波两位同学完成了大部分设计，本书的顺利完成得益于他们的帮助。本书还得到安徽电科技股份有限公司朱代忠工程师的大力帮助和技术指导。盐城工学院电气学院各位领导以及同事也对本书的写作给予了大力支持和帮助，在此向他们表示衷心感谢。

本书的相关学习材料，包括ICCAVR编译软件、智峰下载软件、字模软件、串行助手软件、端口驱动软件以及书中所有程序，可在清华大学出版社网站<http://www.tup.com.cn/>下载。

由于作者水平有限，书中肯定有许多不足之处，欢迎读者批评指正，作者可以为本书的内容提供技术支持。此外，本书还有配套开发板。欢迎各位读者发邮件到chenzhong33@126.com与作者联系，谢谢。

陈中 顾春雷 沈翠凤

盐城工学院

2015年12月

目 录

CONTENTS

第 1 章 单片机原理概述及 C 编程语言	1
1.1 AVR 单片机概述	1
1.2 初步认识 AVR 单片机	3
1.3 ATmega16 单片机最小系统	6
1.4 原理图和实物图	9
1.5 C 语言概述	10
1.5.1 常量与变量	11
1.5.2 数据类型	13
1.5.3 C 语言的数组、指针与结构	14
1.5.4 对绝对地址进行访问	16
1.6 C 的运算符和表达式	16
1.7 常用的 I/O 相关寄存器及操作	20
1.7.1 常用的 I/O 相关寄存器	20
1.7.2 I/O 端口常用操作	22
1.8 C 语言的程序结构	22
1.8.1 顺序结构	23
1.8.2 选择结构	23
1.8.3 循环结构	24
1.9 C 语言的函数	25
1.9.1 中断服务函数	26
1.9.2 AVR 头文件与库函数	28
1.9.3 使用 ICCAVR 编译器的注意事项	28
1.10 AVR 单片机常用 C 语句解析	29
1.11 把 51 单片机 C 语言转换成 AVR 的 C 语言	31
1.12 ICCAVR 编译软件使用	34
1.13 自制头文件方法	38
1.14 AVR 单片机熔丝位简介	41

第2章 单片机输出电路设计	47
2.1 单片机控制系统设计概述	47
2.2 数码管设计	48
2.3 液晶 1602 的显示	55
2.4 液晶 12864 的显示	70
2.4.1 液晶 12864 并行显示	70
2.4.2 液晶 12864 串行设计	76
2.5 LED 点阵的显示	82
第3章 单片机输入电路设计	99
3.1 键盘的输入电路	99
3.2 基于单片机的简易计算器设计	100
3.3 带函数和小数点的计算器设计	107
3.4 基于单片机的电子密码锁设计	120
3.5 基于单片机的步进电机控制系统设计	129
3.6 基于单片机的温度检测控制系统设计	139
3.7 基于单片机的电子秤设计	150
第4章 定时/计数器和中断系统设计	163
4.1 定时/计数器概述	163
4.2 定时器计数器 0 的工作模式	166
4.3 外部中断的概述	171
4.4 基于单片机的秒表设计	175
4.5 基于单片机的红外遥控设计	183
4.6 超声波测距系统设计	190
4.7 定时器/计数器 1	198
4.8 定时器计数器 1 的工作模式	206
4.9 基于单片机的直流电机控制系统设计	213
第5章 串行通信	222
5.1 串行通信概述	222
5.2 USART 相关寄存器	226
5.3 串行通信协议	231
5.4 基于单片机的串行通信系统设计	233

第 6 章 TWI 接口的应用	243
6.1 TWI 通信协议概述	243
6.2 TWI 模块综述	245
6.3 TWI 寄存器说明	246
6.4 基于单片机的 TWI 控制——断电密码锁设计	256
6.4.1 AT24C02 芯片简介	256
6.4.2 具有断电保护的电子密码锁设计	260
第 7 章 同步串行 SPI 接口	271
7.1 同步串行 SPI 接口概述	271
7.2 SPI 相关寄存器	272
7.3 SPI 通信设计举例——无线模块通信设计	275
第 8 章 AD 转换器	291
8.1 概述	291
8.2 ADC 相关寄存器设置	292
8.3 应用实例	296
第 9 章 单片机综合系统设计	302
9.1 两路温度检测系统设计	302
9.2 基于单片机的红外遥控直流电机调速系统设计	311
9.3 用 VB 语言编写串行助手进行电压监测及报警系统设计	320
9.4 基于单片机的门禁控制系统设计	331
9.5 基于单片机的闭环直流电机控制系统设计	336
参考文献	343

1.1 AVR 单片机概述

AVR 单片机有很多类型,主要包括 TinyAVR、MegaAVR、LCD AVR、USB AVR 等类别,本书以 ATmega16 为例进行编写。ATmega16 的主要性能有:

1. 先进的 RISC 结构

- (1) 131 条指令,大多数指令执行时间为单个时钟周期。
- (2) 32 个 8 位通用工作寄存器。
- (3) 全静态工作。
- (4) 工作于 16MHz 时性能高达 16MIPS。
- (5) 只需两个时钟周期的硬件乘法器。

2. 非易失性程序和数据存储器

- (1) 16KB 的系统内可编程 Flash,擦写寿命: 10 000 次。
- (2) 具有独立锁定位的可选 Boot 代码区。通过片上 Boot 程序实现系统内编程,真正的同时读写操作。

- (3) 512B 的 EEPROM,擦写寿命: 100 000 次。
- (4) 1KB 的片内 SRAM。
- (5) 可以对锁定位进行编程以实现用户程序的加密。

3. JTAG 接口(与 IEEE 1149.1 标准兼容)

- (1) 符合 JTAG 标准的边界扫描功能。
- (2) 支持扩展的片内调试功能。
- (3) 通过 JTAG 接口实现对 Flash、EEPROM、熔丝位和锁定位的编程。

4. 外设特点

- (1) 两个具有独立预分频器和比较器功能的 8 位定时器/计数器。
- (2) 一个具有预分频器、比较功能和捕捉功能的 16 位定时器/计数器。
- (3) 具有独立振荡器的实时计数器 RTC。

(4) 四通道 PWM。

(5) 8 路 10 位 ADC, 包括 8 个单端通道、TQFP 封装的 7 个差分通道、2 个具有可编程增益(1x, 10x 或 200x)的差分通道。

(6) 面向字节的两线接口。

(7) 两个可编程的串行 USART。

(8) 可工作于主机/从机模式的 SPI 串行接口。

(9) 具有独立片内振荡器的可编程看门狗定时器。

(10) 片内模拟比较器。

5. 特殊的处理器特点

(1) 上电复位以及可编程的掉电检测。

(2) 片内经过标定的 RC 振荡器。

(3) 片内/片外中断源。

(4) 6 种睡眠模式: 空闲模式、ADC 噪声抑制模式、省电模式、掉电模式、Standby 模式以及扩展的 Standby 模式。

6. I/O 和封装

(1) 32 个可编程的 I/O 口。

(2) 40 引脚 PDIP 封装, 44 引脚 TQFP 封装, 44 引脚 MLF 封装。

7. 工作电压

(1) ATmega16L: 2.7~5.5V。

(2) -ATmega16: 4.5~5.5V。

8. 速度等级

(1) ATmega16L: 0~8MHz。

(2) ATmega16: 0~16MHz。

9. ATmega16L 在 1MHz, 3V, 25℃ 时的功耗

(1) 正常模式: 1.1mA。

(2) 空闲模式: 0.35mA。

(3) 掉电模式: $<1\mu\text{A}$ 。

ATmega16 是基于增强的 AVR RISC 结构的低功耗 8 位 CMOS 微控制器。由于其先进的指令集以及单时钟周期指令执行时间, ATmega16 的数据吞吐率高达 1 MIPS/MHz, 从而可以缓减系统在功耗和处理速度之间的矛盾。

AVR 内核具有丰富的指令集和 32 个通用工作寄存器。所有的寄存器都直接与算逻单元(ALU)相连接, 使得一条指令可以在一个时钟周期内同时访问两个独立的寄存器。这种结构大大提高了代码效率, 并且具有比普通的 CISC 微控制器高最多 10 倍的数据吞吐率。

ATmega16 有如下特点: 16KB 的系统内可编程 Flash(具有同时读写的能力, 即 RWW), 512B EEPROM, 1KB SRAM, 32 个通用 I/O 口线, 32 个通用工作寄存器, 用于边界

扫描的 JTAG 接口,支持片内调试与编程,3 个具有比较模式的灵活的定时器/计数器(T/C),片内/外中断,可编程串行 USART,有起始条件检测器的通用串行接口,8 路 10 位具有可选差分输入级可编程增益(TQFP 封装)的 ADC,具有片内振荡器的可编程看门狗定时器,一个 SPI 串行端口,以及 6 个可以通过软件进行选择的省电模式。空闲模式时,CPU 停止工作,而 USART、两线接口、A/D 转换器、SRAM、T/C、SPI 端口以及中断系统继续工作;掉电模式时,晶体振荡器停止振荡,所有功能除了中断和硬件复位之外都停止工作;省电模式时,异步定时器继续运行,允许用户保持一个时间基准,而其余功能模块处于休眠状态;ADC 噪声抑制模式时,终止 CPU 和除了异步定时器与 ADC 以外所有 I/O 模块的工作,以降低 ADC 转换时的开关噪声;Standby 模式时,只有晶体或谐振振荡器运行,其余功能模块处于休眠状态,使得器件只消耗极少的电流,同时具有快速启动能力;扩展 Standby 模式时,允许振荡器和异步定时器继续工作。

ATmega16 芯片是以 Atmel 高密度非易失性存储器技术生产的。片内 ISP Flash 允许程序存储器通过 ISP 串行接口,或者通用编程器进行编程,也可以通过运行于 AVR 内核之中的引导程序进行编程。引导程序可以使用任意接口将应用程序下载到应用 Flash 存储区(Application Flash Memory)。在更新应用 Flash 存储区时引导 Flash 区(Boot Flash Memory)的程序继续运行,实现了 RWW 操作。通过将 8 位 RISC CPU 与系统内可编程的 Flash 集成在一个芯片内,ATmega16 成为一款功能强大的单片机,为许多嵌入式控制应用提供了灵活而低成本的解决方案。

1.2 初步认识 AVR 单片机

为了对单片机的应用有一个初步的认识,现在介绍如图 1-1 所示的 ATmega16 芯片。为了设计的方便,本书中所有的单片机硬件电路图的引脚排列都是和实际排列顺序一致的。单片机用 5V 电源供电,现在了解各端口作用。

VCC: 数字电路的电源。要使 ATmega16 正常工作,引脚 10 和引脚 30 必须接电源 5V。

GND: 地。要使 ATmega16 正常工作,引脚 11 和引脚 31 必须接电源地。

端口 A(PA7..PA0)。端口 A 为 8 位双向 I/O 口,具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性,可以输出和吸收大电流。作为输入使用时,若内部上拉电阻使能,端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中,即使系统时钟还未起振,端口 A 处于高阻状态。其第二功能是作为 A/D 转换器的模拟输入端。

端口 B(PB7..PB0)。端口 B 为 8 位双向 I/O 口,具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性,可以输出和吸收大电流。作为输入使用时,若内部上拉电阻使能,端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中,即使系统时钟还未起振,端口 B 处于高阻状态。端口 B 也可以用做其他不同的特殊功能,如表 1-1 所示。

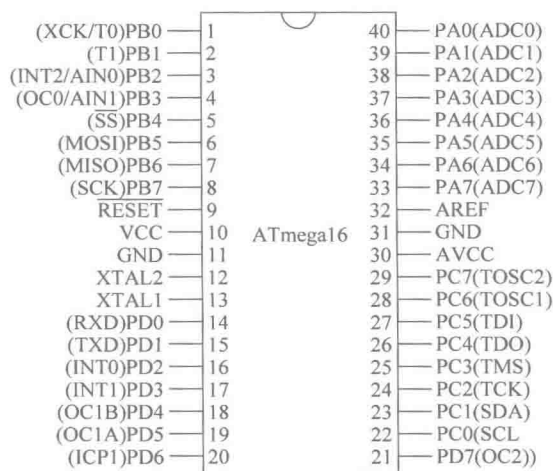


图 1-1 单片机管脚图

表 1-1 端口 B 第二功能

端 口 引 脚	第 二 功 能
PB7	SCK(SPI 总线的串行时钟)
PB6	MISO(SPI 总线的主机输入/从机输出信号)
PB5	MOSI(SPI 总线的主机输出/从机输入信号)
PB4	SS(SPI 从机选择引脚)
PB3	AIN1(模拟比较负输出) OC0(T/C0 输出比较匹配输出)
PB2	AIN0(模拟比较正输出) INT2(外部中断 2 输入)
PB1	T1(T/C1 外部计数器输入)
PB0	T0(T/C0 外部计数器输入) XCK(USART 外部时钟输入/输出)

端口 C(PC7..PC0)。端口 C 为 8 位双向 I/O 口，具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性，可以输出和吸收大电流。作为输入使用时，若内部上拉电阻使能，端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中，即使系统时钟还未起振，端口 C 处于高阻状态。如果 JTAG 接口使能，即使复位出现引脚，PC5(TDI)、PC3(TMS)与 PC2(TCK)的上拉电阻被激活。端口 C 也可以用作其他不同的特殊功能，如表 1-2 所示。

表 1-2 端口 C 第二功能

端 口 引 脚	第 二 功 能
PC7	TOSC2(定时振荡器引脚 2)
PC6	TOSC1(定时振荡器引脚 1)
PC5	TD1(JTAG 测试数据输入)
PC4	TD0(JTAG 测试数据输出)
PC3	TMS(JTAG 测试模式选择)
PC2	TCK(JTAG 测试时钟)
PC1	SDA(两线串行总线数据输入/输出线)
PC0	SCL(两线串行总线时钟线)

端口 D。端口 D 为 8 位双向 I/O 口,具有可编程的内部上拉电阻。其输出缓冲器具有对称的驱动特性,可以输出和吸收大电流。作为输入使用时,若内部上拉电阻使能,则端口被外部电路拉低时将输出电流。在复位过程中,即使系统时钟还未起振,端口 D 处于高阻状态。

端口 D 也可以用作其他不同的特殊功能,如表 1-3 所示。

表 1-3 端口 D 第二功能

端 口 引 脚	第 二 功 能
PD7	OC2(T/C2 输出比较匹配输出)
PD6	ICP1(T/C1 输入捕捉引脚)
PD5	OC1A(T/C1 输出比较 A 匹配输出)
PD4	OC1B(T/C1 输出比较 B 匹配输出)
PD3	INT1(外部中断 1 的输入)
PD2	INT0(外部中断 0 的输入)
PD1	TXD(USART 输出引脚)
PD0	RXD(USART 输入引脚)

RESET: 复位输入引脚。持续时间超过最小门限时间的低电平将引起系统复位;持续时间小于门限间的脉冲不能保证可靠复位。

XTAL1: 反向振荡放大器与片内时钟操作电路的输入端。

XTAL2: 反向振荡放大器的输出端。

AVCC: AVCC 是端口 A 与 A/D 转换器的电源。不使用 ADC 时,该引脚应直接与 VCC 连接。

AREF: A/D 的模拟基准输入引脚。

1.3 ATmega16 单片机最小系统

单片机最小系统就是能使单片机工作的由最少器件构成的系统,是单片机系统中必不可少的部件。如图 1-2 所示。由于 ATmega16 单片机也可以采用内部标准 RC 振荡器作为时钟源,所以某些场合也可以省略晶振电路。

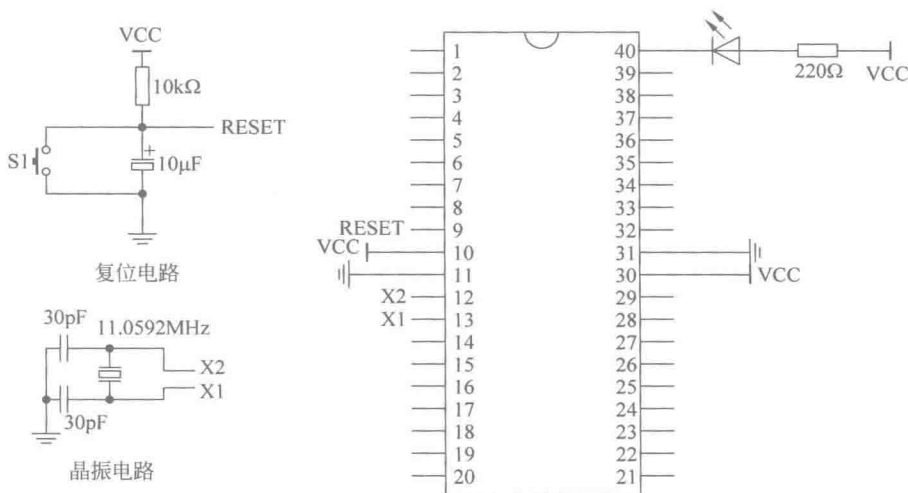


图 1-2 单片机最小系统

从图 1-2 可以看出,单片机最小系统由晶振电路和复位电路组成。晶体振荡器 Y1 的频率为 11.0592MHz (也可以采用其他频率的晶振),与 30pF 的电容 C2、C3 连接到 ATmega16 单片机的 12、13 脚,形成单片机的时钟电路。Y1 的频率决定了系统速度的快慢,按键 S1、电容 C1 以及 10kΩ 电阻的电路构成了单片机的复位电路,这里需要指出的是 ATmega16 单片机和 51 系列单片机的复位电路是有区别的。

本书某些设计并没有晶振电路,这是因为设计采用了 ATmega16 单片机内部自带的 RC 振荡器,其频率有 1MHz、2MHz、4MHz、8MHz 4 种,对于时序要求不高的场合,可以省略外部晶振电路。通过设置熔丝位获得时钟频率。

在单片机设计过程中,什么问题都能出现,但必须首先确保硬件正确,才能进行软件设计。在正式设计之前,笔者建议用最小系统做个最简单的设计,如果达到预期的效果,至少说明最小系统没有问题。

对于初学者来说,晶振电容、瓷片电容取值多少可能都是问题,按照图 1-2 取值即可。对于时序要求比较高的场合,例如红外遥控、串行通讯、定时器等,一般采用外部晶振电路作为时钟源。由于 ATmega16 单片机是双向端口,发光二极管的阴极或阳极串电阻接在单片

机端口都可,这与 51 系列单片机不同。需要指出的是,如果把 PC 口作为普通 I/O 口使用,就需要在熔丝位重新设置,这是因为熔丝位默认值是把 PC 口接 JTAG 下载端口使用。限流电阻一定不能省略,一般取值为 220Ω 即可,但不能过大,否则发光二极管不亮,就无法正确判断哪个地方出了问题。

笔者在设计过程中,焊接了两排插针,一排插针短接后和单片机的 30 管脚连接,通过下载线提供电源正;另一排插针短接后和单片机的 11 管脚连接,通过下载线提供电源地。这样的好处就是在调试阶段,单片机其他器件需要 5V 电源时,可以用杜邦线直接接在插针上。

采用的下载线是 Atmel 公司生产的 USB ISP,实物图和其引脚图如图 1-3 所示。在具体设计时,电路板上焊接两排插针,一排插针的④⑥⑧⑩端口短接并接单片机的引脚 11 和 31,②端口接单片机的引脚 10 和 30。另一排插针的①端口接单片机的引脚 6,③端口为空,⑤端口接单片机的引脚 9,⑦端口接单片机的引脚 8,⑨端口接单片机的引脚 7。这样单片机就不仅可以通过下载线下载程序,还可以通过下载线提供电源。

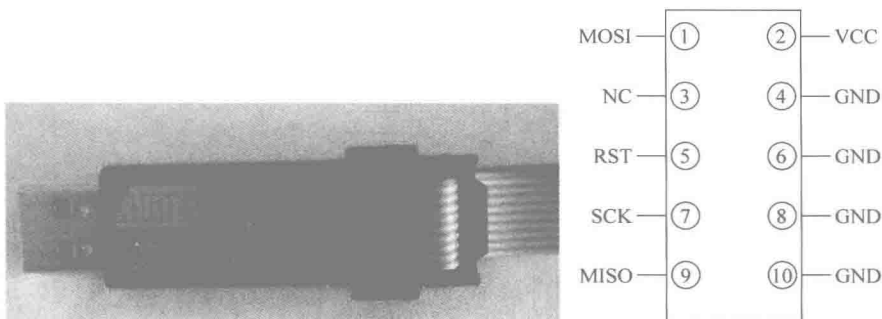


图 1-3 下载线实物图和引脚图

下载线的接线方式如图 1-4 所示。

在使用 ISP 下载线时,有时候提示没有连接,主要有 3 个原因:一是下载线接反了,二是计算机端口驱动出现了问题,三是单片机损坏。在这里需要指出,在本书具体设计电路中,都省略了下载线电路。

下面编程,把程序下载到单片机后,看发光二极管是否闪烁,如果能够闪烁,至少说明硬件电路的最小系统无错误。程序如下:

```
#include<iom16v.h>
#include<macros.h>
#define uint unsigned int
void delay(uint z)
{
    uint x,y;
    for(x=z;x>0;x--)
```

}



图 1-4 ISP 下载线和单片机连接

统无误。为下一步设计打下了基础。

1.4 原理图和实物图

本书所有的电路图都是完全按照实物图制作的,现在电气类书籍中的电路图,为了读图方便,在原理图中单片机的引脚排列往往不按实际的顺序排列,而将同类的引脚排在一起,以图 1-5 为例。

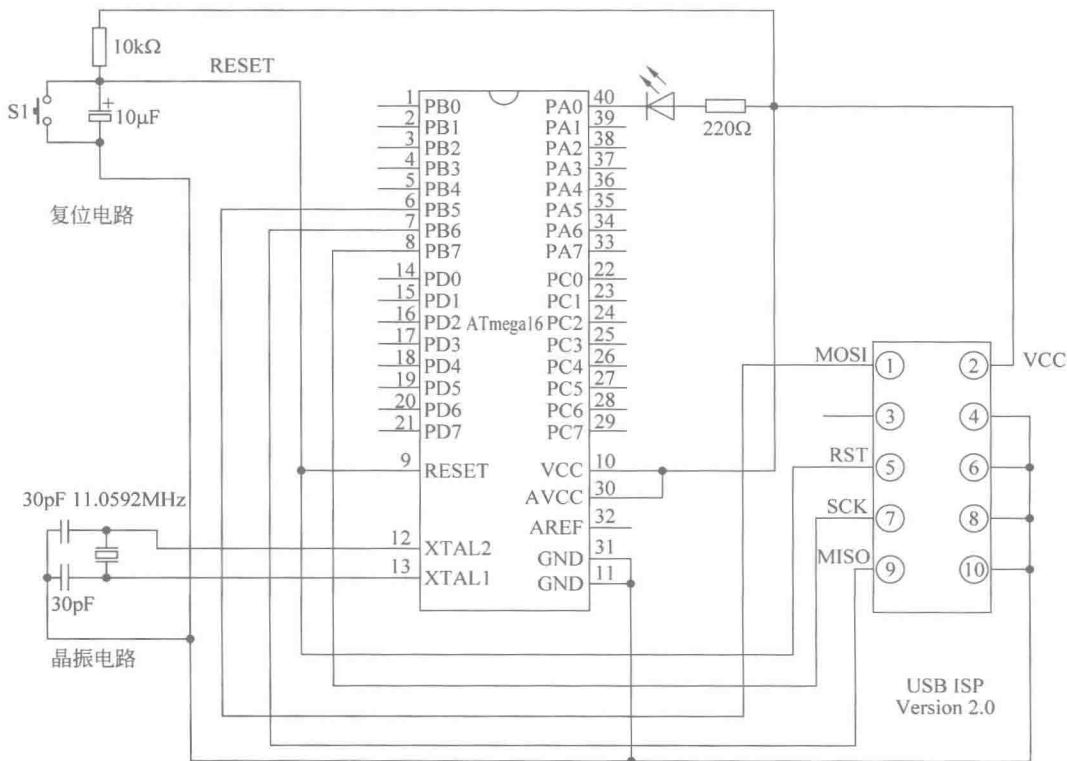


图 1-5 一个简单的单片机应用系统原理图

从图 1-5 可以看出,单片机引脚序号 30 接电源正,引脚序号 11 接地等,当我们拿到一个数字芯片时,如何知道引脚序号呢?

DIP 封装的数字芯片上都有个半圆标识,把这个半圆朝上,正面看,从左边最上面的引脚往下数(此引脚序号为 1),到了右边最下一个引脚,再往上数,也即逆时针方向,引脚序号依次增加。图 1-5 由于比较简单,对电气元件可以直接连线,如果对于复杂的系统,直接连线就很不好看,可以采用标号法,把有联系的电气元件用标号法标识,如图 1-6 所示。

从图 1-6 可以看出,RESET、MOSI 等就是标号,两个同样的标号,表示两者有导线相连。