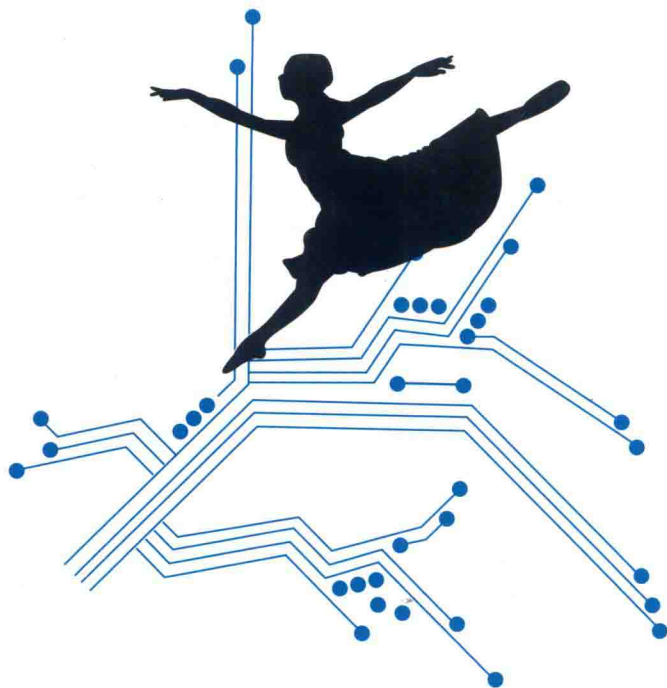


清華

开发者书库



The Design of Control System based on MSP430 MCU

# 基于MSP430单片机的 控制系统设计

陈中 陈冲 编著

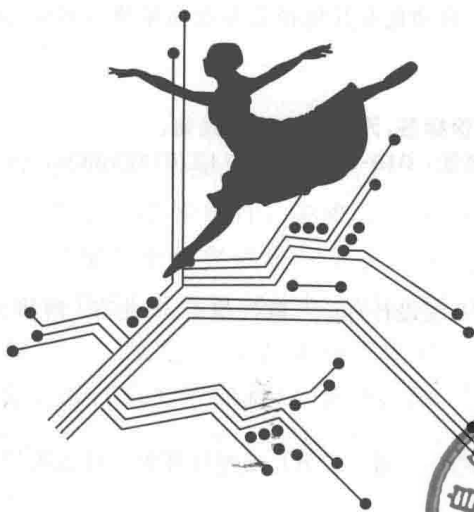
Chen Zhong Chen Chong

清华大学出版社



清华

开发者书库



The Design of Control System based on MSP430 MCU

# 基于MSP430单片机的 控制系统设计

陈中 陈冲◎编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍 MSP430F169 单片机设计方法,在适当阐述工作原理基础上,重点介绍了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 章为基础篇,着重介绍 MSP430 单片机工作原理以及 IAR 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。全书叙述简洁、概念清晰,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 MSP430F169 单片机设计的诸多内容。

本书适合作为高等院校电气、自动化及其他相关专业高年级本科生、研究生及教师的教学参考书,还可以供相关工程技术人员参考。

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 MSP430 单片机的控制系统设计/陈中,陈冲编著. —北京:清华大学出版社,2017

(清华开发者书库)

ISBN 978-7-302-46218-7

I. ①基… II. ①陈… ②陈… 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(2017)第 007865 号

责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

责任印制:沈 露

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

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

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:186mm×240mm 印 张:30.75

字 数:688 千字

版 次:2017 年 6 月第 1 版

印 次:2017 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:79.00 元

产品编号:071794-01

# 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。

MSP430单片机和非增强型51单片机相比较,具有运行速度快、功能丰富等优点,属于16位单片机,寄存器的设置较多。实际上随着中高档单片机的发展,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MSP430单片机的端口都是双向的,必须设置端口数据的输出或输入方向。51单片机的C语言程序可以部分移植到MSP430单片机,但两者有很多不同之处。

现在国内单片机书籍多如牛毛,但大部分图书都是偏重于理论以及汇编语言,实际上单片机技术的实践性很强,要想学好单片机技术,比较好的方法就是多做实物,多练习。从作者的实践中看,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,但非常烦琐,建议读者采用C语言编程。

本书采用的是MSP430单片机的F169型号,书中所有的电路图都是完全按照引脚实物绘制。MSP430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,很容易掌握其他MSP430类型的单片机设计方法。

本书主要是在作者和顾春雷、沈翠凤编著的《基于AVR单片机的控制系统设计》基础上改写的,增加了MSP430单片机相关的内容。书中论述部分主要参考了《MSP430单片机使用手册》,赵建,谢楷等编写的《MSP430系列16位超低功耗单片机教学实验系统实验教程》,书中部分资料来自互联网。在此向顾春雷、沈翠凤、赵建、谢楷等表示衷心感谢。

本书是由盐城工学院陈中、陈冲共同编写,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语言编程,内容包括单片机的结构和组成,以及单片机最小系统,不同数据类型和IAR软件调试方法等;第2章单片机输出电路设计,介绍液晶1602、液晶12864、点阵和液晶12232等显示的设计;第3章单片机输入电路设计,包括键盘、计算器、密码锁、电子秤步进电机控制系统、温度检测系统等设计方法;第4章定时器/计数器以及中断系统设计,着重说明了不同方式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接口的应用,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和DA转换系统设计；第9章单片机综合系统设计，内容包括两路温度传感器温度检测、直流电机调速系统等。

本书在编写过程中，由丁圣均完成了大部分设计，盐城工学院电气学院何洋、杨柳、张宝山、周鹏和黄雅琪等同学在硬件设计和软件编程方面也做出了大量工作。同时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。

本书配套资源包括IAR编译软件、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，请在清华大学出版社网站 [www.tup.com.cn](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，本书还有与其配套的开发板。欢迎各位读者发邮件到 [zdzc33@126.com](mailto:zdzc33@126.com) 与作者联系，谢谢。

陈中 陈冲

盐城工学院

2017年4月

# 目录

## CONTENTS

<b>第 1 章 单片机原理概述及 C 编程语言</b> .....	1
1.1 MSP430 单片机概述 .....	1
1.2 初步认识 MSP430 单片机 .....	4
1.3 MSP430F169 单片机最小系统 .....	7
1.4 C 语言概述 .....	9
1.4.1 C 的变量与数据类型 .....	10
1.4.2 C 的运算符和表达式 .....	15
1.5 常用的 I/O 相关寄存器及操作 .....	19
1.6 C 语言的程序结构 .....	21
1.6.1 顺序结构 .....	21
1.6.2 选择结构 .....	21
1.6.3 循环结构 .....	22
1.7 C 语言的函数 .....	23
1.8 I/O 端口常用操作 C 语言描述及常用 C 语言解析 .....	26
1.9 把 51 单片机的 C 语言转换成 MSP430 单片机的 C 语言 .....	29
1.10 MSP430 编译软件使用 .....	33
1.11 自制(头)文件方法 .....	42
<b>第 2 章 单片机输出电路设计</b> .....	44
2.1 单片机控制系统设计概述 .....	44
2.2 液晶 1602 的显示 .....	45
2.3 液晶 12864 的显示 .....	61
2.3.1 液晶 12864 并行显示 .....	61
2.3.2 液晶 12864 串行显示 .....	68
2.4 LED 点阵的显示 .....	74
2.5 液晶 12232 的显示 .....	92
2.6 2.4in 彩屏 TFT 的显示 .....	110

2.6.1	2.4in 彩屏 TFT 简介 .....	110
2.6.2	显存地址指针与窗口工作模式 .....	113
2.6.3	常用寄存器设置 .....	114
<b>第 3 章</b>	<b>单片机输入电路设计 .....</b>	<b>134</b>
3.1	键盘的输入电路 .....	134
3.2	带函数和小数点的计算器设计 .....	135
3.3	电子密码锁设计 .....	148
3.4	步进电机控制系统设计 .....	156
3.5	温度检测系统设计 .....	167
3.6	温湿度传感器的设计 .....	181
3.7	电子秤的设计 .....	192
<b>第 4 章</b>	<b>定时器/计数器和外部中断系统设计 .....</b>	<b>206</b>
4.1	MSP430 单片机时钟源 .....	206
4.2	定时器/计数器概述 .....	210
4.3	TIMER_A 工作模式 .....	215
4.4	定时器 A 模块捕获/比较工作原理 .....	218
4.5	定时器/计数器 A 与 PWM .....	219
4.6	外部中断的概述 .....	223
4.7	秒表设计 .....	224
4.8	红外遥控设计 .....	234
4.9	超声波测距系统设计 .....	242
4.10	定时器/计数器 B .....	248
4.11	定时器/计数器 B 与 PWM .....	257
4.12	直流电机控制系统设计 .....	261
<b>第 5 章</b>	<b>串行通信 .....</b>	<b>274</b>
5.1	串行通信概述 .....	274
5.2	USART 相关寄存器 .....	279
5.3	串行通信协议 .....	283
5.4	串行通信系统设计 .....	285
<b>第 6 章</b>	<b>I2C 接口的应用 .....</b>	<b>298</b>
6.1	I2C 通信协议概述 .....	298
6.2	I2C 模式操作 .....	300

6.3	I2C 寄存器说明 .....	302
6.4	具有断电保护的电子密码锁设计 .....	308
6.4.1	AT24C02 芯片简介 .....	308
6.4.2	具有断电保护的电子密码锁设计 .....	314
<b>第 7 章</b>	<b>同步串行 SPI 接口 .....</b>	<b>342</b>
7.1	同步串行 SPI 接口概述 .....	342
7.2	SPI 相关寄存器 .....	343
7.3	SPI 通信设计举例——无线模块通信设计 .....	347
<b>第 8 章</b>	<b>AD 与 DA 转换器 .....</b>	<b>394</b>
8.1	AD 转换器概述 .....	394
8.2	ADC12 结构及特点 .....	394
8.3	ADC 相关寄存器设置 .....	396
8.4	ADC12 转换模式 .....	400
8.5	AD 应用实例 .....	401
8.6	DA 转换器概述 .....	412
8.7	DAC12 结构与性能 .....	413
8.8	DAC 相关寄存器设置 .....	413
8.9	DAC12 的操作及设置和应用 .....	415
<b>第 9 章</b>	<b>单片机综合系统设计 .....</b>	<b>420</b>
9.1	两路温度检测系统设计 .....	420
9.2	红外遥控直流电机调速系统设计 .....	431
9.3	无线通信直流电机调速系统设计 .....	440
9.4	用 VB 语言编制串行助手界面控制步进电机调速系统设计 .....	462
9.5	门禁控制系统设计 .....	470
9.6	蓝牙控制系统设计 .....	475
9.7	彩屏和摄像头控制系统设计 .....	477
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>481</b>





## 1.1 MSP430 单片机概述

MSP430 系列单片机是美国德州仪器(TI)公司于 1996 年开始推向市场的一种 16 位超低功耗、具有精简指令集(RISC)的混合信号处理器(Mixed Signal Processor)。之所以称为混合信号处理器,是由于其针对实际应用需求,将多个不同功能的模拟电路、数字电路模块和微处理器集成在一个芯片上,以提供“单片机”解决方案。该系列单片机多应用于需要电池供电的便携式仪器仪表中。MSP430 单片机有很多类型,主要包括 MSP430F167、MSP430F168、MSP430F169、MSP430F1610 等类别,本书以 MSP430F169 为例进行编写。

### 1. MSP430 系列单片机的性能

虽然 MSP430 系列单片机推出时间不是很长,但由于其卓越的性能,发展极为迅速,应用也日趋广泛。MSP430 系列单片机的主要特点有:

#### 1) 超低功耗

MSP430 系列单片机的电源电压采用 1.8~3.6V 低电压,RAM 在数据保持方式下耗电仅为  $0.1\mu\text{A}$ ,活动模式时耗电为  $250\text{pA}/\text{MIPS}$ (每秒百万条指令数),I/O 输入端口的最大漏电流仅为  $50\text{nA}$ 。MSP430 系列单片机具有独特的时钟系统设计,包括两个不同的时钟系统:基本时钟系统和锁频环(FLL 和 FLL+)时钟系统或 DCO 数字振荡器时钟系统。由时钟系统产生 CPU 和各功能模块所需的时钟,并且这些时钟可以在指令的控制下打开或关闭,从而实现对总体功耗的控制。由于系统运行时使用的功能模块不同,即采用不同的工作模式,芯片的功耗有明显的差异。在系统中有一种活动模式(AM)和 5 种低功耗模式(LPM0~LPM4)。

另外,MSP430 系列单片机采用矢量中断,支持十多个中断源,并可以任意嵌套。用中断请求将 CPU 唤醒只要  $6\mu\text{s}$ ,通过合理编程,既可降低系统功耗,又可以对外部事件请求作出快速响应。

在这里,需要对低功耗问题作一些说明。

首先,对一个处理器而言,活动模式时的功耗必须与其性能一起来考察、衡量,忽略性能来看功耗是片面的。在计算机体系结构中,用  $\text{W}/\text{MIPS}$ (瓦特/百万指令每秒)来衡量处理器的功耗与性能关系,这种标称方法是合理的。MSP430 系列单片机在活动模式时耗电为

250 $\mu$ A/MIPS,这个指标是很高的(传统的Mcs51单片机约为10~20mA/MIPS)。其次,作为一个应用系统,功耗是整个系统的功耗,而不仅仅是处理器的功耗。比如,在一个有多个输入信号的应用系统中,处理器输入端口的漏电流对系统的耗电影响就较大了。MSP430单片机输入端口的漏电流最大为50nA,远低于其他系列单片机(一般为1~10 $\mu$ A)。另外,处理器的功耗还要看它内部功能模块是否可以关闭,以及模块活动情况下的耗电,比如低电压监测电路的耗电等。还要注意,有些单片机的某些参数指标中,虽然典型值可能很小,但最大值和典型值相差数十倍,而设计时要考虑到最坏情况,就应该关心参数标称的最大值,而不是典型值。总体而言,MSP430系列单片机堪称目前世界上功耗最低的单片机,其应用系统可以做到用一枚电池使用10年。

## 2) 强大的处理能力

MSP430系列单片机是16位单片机,采用了目前流行的、颇受学术界好评的精简指令集(RISC)结构,一个时钟周期可以执行一条指令(传统的MCS51单片机要12个时钟周期才可以执行一条指令),使MSP430在8MHz晶振工作时,指令速度可达8MIPS(注意:同样8MIPS的指令速度,在运算性能上16位处理器比8位处理器高远不止两倍)。不久还将推出25~30MIPS的产品。同时,MSP430系列单片机中的某些型号,采用了一般只有DSP中才有的16位多功能硬件乘法器、硬件乘、加(积之和)功能、DMA等一系列先进的体系结构,大大增强了它的数据处理和运算能力,可以有效地实现一些数字信号处理的算法(如FFT、DTMF等)。这种结构在其他系列单片机中尚未使用。

## 3) 高性能模拟技术及丰富的片上外围模块

MSP430系列单片机结合TI的高性能模拟技术,各成员都集成了较丰富的片内外设。视型号不同可能组合有以下功能模块:看门狗(WDT),模拟比较器A,定时器A(Timer\_A),定时器B(Timer\_B),串口0、1(USART0、1),硬件乘法器,液晶驱动器,10位、12位、14位ADC,12位DAC,I2C总线,直接数据存取(DMA),端口1~6(P1~P6),基本定时器(Basic Timer)等。其中,看门狗可以在程序失控时迅速复位;模拟比较器进行模拟电压的比较,配合定时器,可设计出高精度(10~11位)的A/D转换器;16位定时器(Timer\_A和Timer\_B)具有捕获、比较功能;大量的捕获、比较寄存器,可用于事件计数、时序发生、PWM等;多功能串口(USART)可实现异步、同步和I2C串行通信,可方便地实现多机通信等应用;具有较多的I/O端口,最多达6 $\times$ 8条I/O口线,IO输出时,不管是灌电流还是拉电流,每个端口的输出晶体管都能够限制输出电流(最大约25mA),保证系统安全;PI、P2端口能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入;12位A/D转换器有较高的转换速率,最高可达200kb/s,能够满足大多数数据采集应用;LCD驱动模块能直接驱动液晶多达160段;F15x和F16x系列有两路12位高速DAC,可以实现直接数字波形合成等功能;硬件I2C串行总线接口可以扩展I2C接口器件;DMA功能可以提高数据传输速度,减轻CPU的负荷。

MSP430系列单片机的丰富片内外设,在目前所有单片机系列产品中是非常突出的,为系统的单片机解决方案提供很大的便利。

## 4) 系统工作稳定

上电复位后,首先由DCO\_CLK启动CPU,以保证程序从正确的位置开始执行,保证晶

体振荡器有足够的起振及稳定时间。然后软件可设置适当的寄存器的控制位来确定最后的系统时钟频率。如果晶体振荡器在用作 CPU 时钟 MCLK 时发生故障,DCO 会自动启动,以保证系统正常工作。这种结构和运行机制,在目前各系列单片机中是绝无仅有的。另外,MSP430 系列单片机均为工业级器件,运行环境温度为一40~+85℃,运行稳定、可靠性高,所设计的产品适用于各种民用和工业环境。

#### 5) 方便高效的开发环境

目前 MSP430 系列有 OTF 型、FLASH 型和 ROM 型 3 种类型的器件,国内大量使用的是 FLASH 型。这些器件的开发手段不同,对于 OTF 型和 ROM 型的器件,使用专用仿真器开发成功之后再烧写或掩膜芯片。对于 FLASH 型的器件则有十分方便的开发调试环境,因为器件片内有 JTAG 调试接口,还有可电擦写的 FLASH 存储器,因此先通过 JTAG 接口下载程序到 FLASH 内,再由 JTAG 接口控制程序运行、读取片内 CPU 状态,以及存储器内容等信息供设计者调试,整个开发(编译、调试)都可以在同一个软件集成环境中进行。这种方式只需要一台 PC 和一个 JTAG 调试器,而不需要专用仿真器和编程器。开发语言有汇编语言和 C 语言。目前较好的软件开发工具是 IARWORKBENCH V3.10。这种以 FLASH 技术、JTAG 调试、集成开发环境结合的开发方式,具有方便、廉价、实用等优点,在单片机开发中还较为少见。其他系列单片机的开发一般均需要专用的仿真器或编程器。另外,2001 年 TI 公司又公布了 BOOTSTRAP 技术,利用它可在保密熔丝烧断以后,只要几根硬件连线,通过软件口令字(密码),就可更改并运行内部的程序,这为系统固件的升级提供了又一方便的手段。BOOTSTRAP 具有很高的保密性,口令字可达 32 个字节长度。

## 2. MSP430 系列单片机的特点

MSP430 系列单片机有如下特点。

- (1) 工作电压范围: 1.8~3.6V。
- (2) 超低功耗。活动模式: 330 $\mu$ A, 2.2V; 待机模式: 1.1 $\mu$ A; 关闭模式(RAM 保持): 0.2 $\mu$ A。
- (3) 5 种省电模式。
- (4) 从等待方式唤醒时间: 6 $\mu$ s。
- (5) 6 位 RISC 结构, 125ns 指令周期。
- (6) 内置三通道 DMA。
- (7) 12 位 A/D 带采样保持内部参考源。
- (8) 双 12 位 D/A 同步转换。
- (9) 16 位定时器 Timer\_A。
- (10) 16 位定时器 Timer\_B。
- (11) 片内比较器 A。
- (12) 串行通信 USART0(UART、SPI、I2C)接口。
- (13) 串行通信 USARTI(UART、SPI)接口。
- (14) 具有可编程电平检测的供电电压管理器、监视器。
- (15) 欠电压检测器。

(16) Bootstrap Loader。

(17) 串行在线编程,无须外部编程电压,可编程的保密熔丝代码保护。

## 1.2 初步认识 MSP430 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 MSP430F169 芯片。

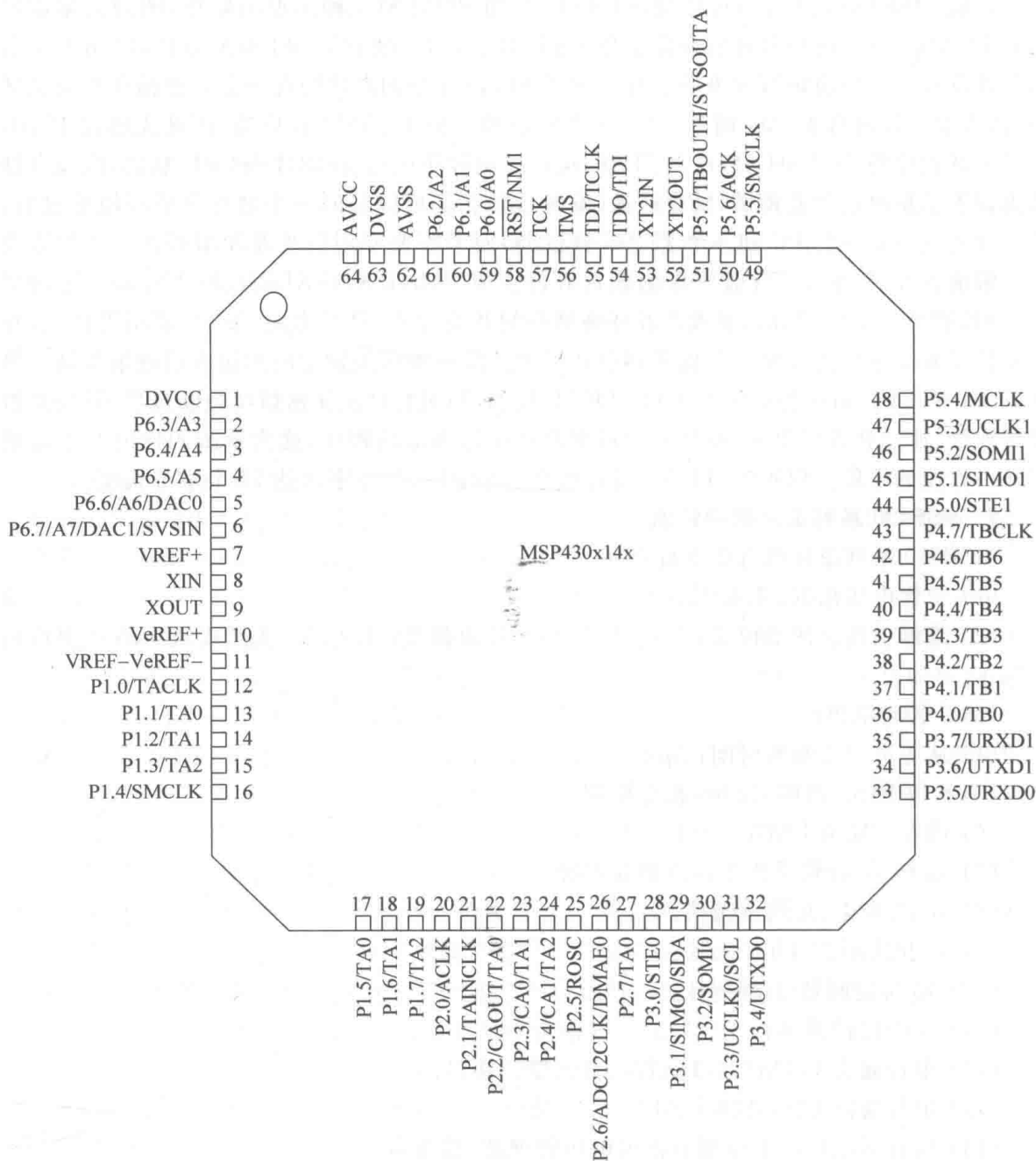


图 1-1 MSP430F169 单片机引脚图

为了设计的方便,本书中所有单片机硬件电路图的引脚都是按实际顺序排列的。由于单片机使用 3.3V 电源供电,而某些外围电路可能需要 5V 电源才能正常工作,所以本书设计中一般都用到两种电源 3.3V 和 5V。现在了解各端口作用。

AVCC: 模拟电源正端,仅用于 ADC12 模块。

AVSS: 模拟电源负端,仅用于 ADC12 模块。

DVCC: 电源正端,1.8~3.6V。

端口 P 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 P 处于高阻状态。其第二功能如表 1-1 所示。

表 1-1 端口 P 第二功能

端口引脚	第二功能
P1.7	定时器 A 比较 OUT2 输出
P1.6	定时器 A 比较 OUT1 输出
P1.5	定时器 A 比较 OUT0 输出
P1.4	SMCLK 信号输出
P1.3	定时器 A 捕捉 CCI2A 输入,比较 OUT2 的输出
P1.2	定时器 A 捕捉 CCI1A 输入,比较 OUT1 的输出
P1.1	定时器 A 捕捉 CCI0A 输入,比较 OUT0 的输出
P1.0	定时器 A 时钟信号 TACLK 输入
P2.7	定时器 A 比较 OUT0 输出
P2.6	转换时钟 ADC12; DMA 通道 0 外部触发器
P2.5	定义 DCO 标称频率的外部电阻输入
P2.4	定时器 A 比较 OUT2 输出,比较器 A 输入
P2.3	定时器 A 比较 OUT1 输出,比较器 A 输入
P2.2	定时器 A 捕捉 CCI0B 输入,比较输出
P2.1	定时器 A 的 INCLK 时钟信号
P2.0	ACLK 输出
P3.7	USART1/USART 模式发送数据输出
P3.6	USART1/USART 模式的接收数据输入
P3.5	USART0/SPI 模式的接收数据输入
P3.4	USART0/SPI 模式的传输数据输出
P3.3	USART0/SPI 外部时钟输入,I2C 时钟输出
P3.2	USART0/SPI 模式从出/主入
P3.1	USART0/SPI 模式从入/主出,I2C 数据
P3.0	USART0/SPI 模式从设备传输使能端
P4.7	输入时钟 TBCLK,定时器 B7
P4.6	捕捉 I/P 或者 PWM 端口,定时器 B7CCR6
P4.5	捕捉 I/P 或者 PWM 端口,定时器 B7CCR5

续表

端口引脚	第二功能
P4.4	捕捉 I/P 或者 PWM 端口, 定时器 B7CCR4
P4.3	捕捉 I/P 或者 PWM 端口, 定时器 B7CCR3
P4.2	捕捉 I/P 或者 PWM 端口, 定时器 B7CCR2
P4.1	捕捉 I/P 或者 PWM 端口, 定时器 B7CCR1
P4.0	捕捉 I/P 或者 PWM 端口, 定时器 B7CCR0
P5.7	定时器 B7: SVS 比较输出, 将所有 PWM 数字输出端口为高阻态
P5.6	辅助系统时钟输出
P5.5	子系统时钟输出
P5.4	主系统时钟输入
P5.3	USART1/SPI 模式外部时钟输入, USART0/SPI 模式的时钟输入
P5.2	USART1/SPI 模式从输出/主输入
P5.1	USART1/SPI 模式从输入/主输出
P5.0	USART1/SPI 模式从设备传输使能端
P6.7	12 位 ADC 模拟输入 A7, DAC1 输出, SVS 输入
P6.6	12 位 ADC 模拟输入 A6, DAC0 输出
P6.5	12 位 ADC 模拟输入 A5
P6.4	12 位 ADC 模拟输入 A4
P6.3	12 位 ADC 模拟输入 A3
P6.2	12 位 ADC 模拟输入 A2
P6.1	12 位 ADC 模拟输入 A1
P6.0	12 位 ADC 模拟输入 A0

RESET/NMI: 复位输入引脚。非屏蔽中断输入或者 Bootstrap Loader 启动 (BSL 方式)。

TCK: 测试时钟, TCK 使芯片编程设计和 Bootstrap Loader 启动的时钟输入端口。

TMS: 测试模式选择, TMS 用作芯片编程和测试的输入端口。

TDI/TCLK: 测试数据输入, TDI 用作数据输入端口或者测试时钟的输入端口。

TDO/TDI: 测试数据输出, TDO/TDI 数据输入端口或者编程数据输出引脚。

XIN: 晶振 XT1 的输入端口。

XOUT: 晶振 XT1 的输出端口。

XT2IN: 晶振 XT2 的输入端口。

XT2OUT: 晶振 XT2 的输出端口。

VeREF+: 外部参考电压输入。

VREF+: 内部参考电压的正输出引脚。

VREF-/VREF+: 内部参考电压或者外加参考电压引脚。

## 1.3 MSP430F169 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 MSP430F169 单片机也可以采用内部标准 RC 振荡器作为时钟源,所以某些场合可以省略晶振电路。

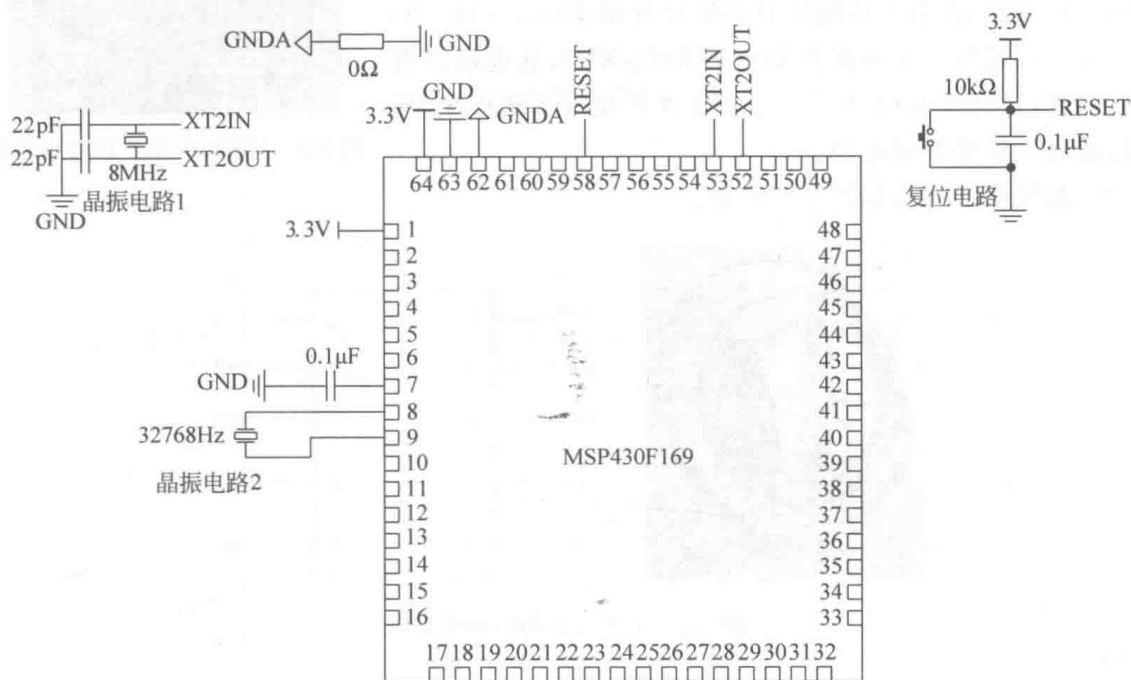


图 1-2 单片机最小系统

在图 1-2 中可以看出, MSP430 单片机最小系统由晶振电路和复位电路组成。晶振电路有高频和低频两个部分, 高频晶体振荡器的频率为 8MHz(也可以采用其他频率的晶振), 与 22pF 的电容  $C_2$ 、 $C_3$  连接到 MSP430F169 单片机的引脚 52、53, 形成单片机的高频时钟电路。低频晶体振荡器的频率为 32768Hz, 不接电容连接到 MSP430F169 单片机的引脚 8、9, 形成单片机的低频时钟电路。按键、 $0.1\mu\text{F}$  电容以及  $10\text{k}\Omega$  电阻的电路构成了单片机的复位电路, 这里需要指出的是 MSP430F169 单片机与 51 系列单片机的复位电路是有区别的。引脚 62 和引脚 63 分别是数字地和模拟地, 两者之间通过  $0\Omega$  电阻连接。

本书的某些设计并没有采用外部晶振电路, 这是因为 MSP430F169 单片机内部自带 RC 振荡器, 对于时序要求不高的场合, 可以省略外部晶振电路, 通过编程获得时钟信号。

由于 MSP430 单片机只有贴片式的, 对于本书的每个设计作品, 都采用 PCB 板做成的电路不现实, 笔者在设计过程中, 从网上直接购买了 MSP430 单片机最小系统, 在多孔板上焊接插座, 安放最小系统, 并焊接了两排插针, 与 MSP430 单片机所有的端口相对应。另焊一排插针, 供下载线使用。外围电路焊接在其他多孔板上, 通过杜邦线连接。MSP430 单片

机最小系统连接如图 1-3 所示。

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 1-4 所示。在具体设计时, 电路板上焊接两排插针, 作为下载线接口, 插针对应的端口②接单片机的引脚 57, 插针对应的端口④接单片机的引脚 58, 插针对应的端口⑥接单片机的引脚 1, 插针对应的端口①接单片机的引脚 13(P1.1), 插针对应的端口③接单片机的引脚 22(P2.2), 插针对应的端口⑤接单片机的引脚 63(GND), 其他端口都为空引脚, 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。

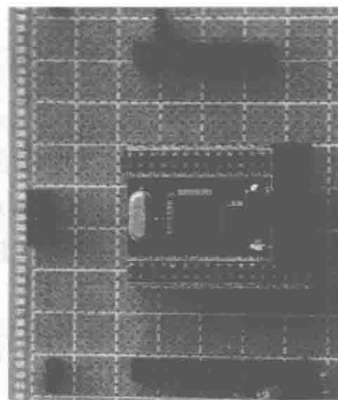


图 1-3 MSP430 单片机最小系统

下载线接线方式如图 1-5 所示。

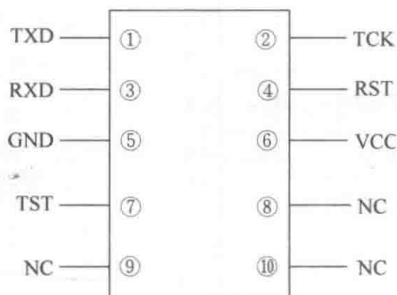
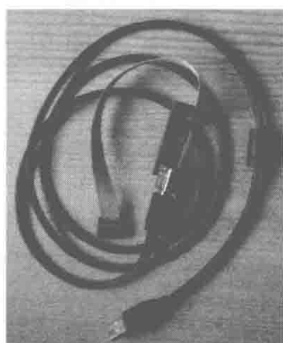


图 1-4 下载线实物图和引脚图

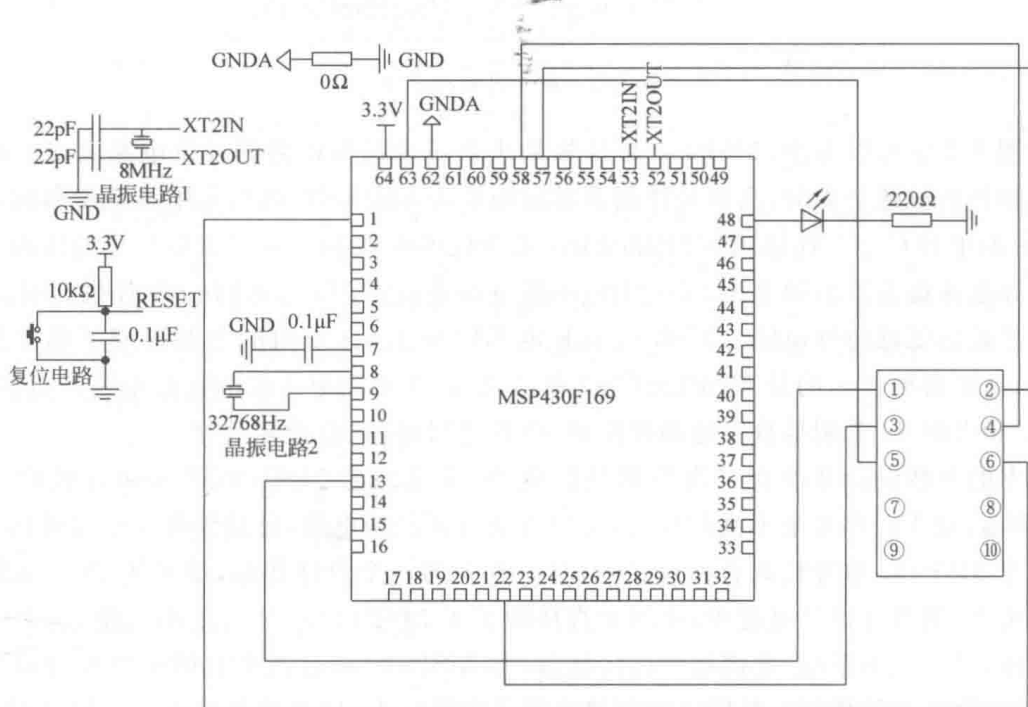


图 1-5 ISP 下载线和单片机连接



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和下载电路无错误。程序如下:

```
#include <msp430x16x.h>
#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
void int_clk()
{
    unsigned char i;
    BCSCCTL1& = ~XT2OFF;           //打开 XT 振荡器
    BCSCCTL2| = SELM1 + SELS;      //MCLK 为 8MHz, SMCLK 为 1MHz
    do
    {
        IFG1& = ~OFIFG;           //清除振荡器错误标志
        for(i = 0; i < 100; i++)
            _NOP();               //延时等待
    }
    while((IFG1&OFIFG) != 0);     //如果标志为 1, 则继续循环等待
    IFG1& = ~OFIFG;
}

void delay(uint z)
{
    uint x, y;
    for(x = z; x > 0; x--)
        for(y = 110; y > 0; y--);
}

void main( )
{
    WDCTL = WDTW + WDTHOLD;       //关闭看门狗
    int_clk();
    P5DIR| = BIT4;
    while(1)
    {
        P5OUT| = BIT4;
        delay(5000);
        P5OUT& = ~BIT4;
        delay(5000);
    }
}
```

## 1.4 C 语言概述

随着单片机硬件性能的提升,尤其是片内程序存储器容量的增大和时钟频率的提高。C 语言已经成为单片机的主程序语言。