

Excellent Engineer

TI 大学计划资助出版

卓越工程师
培养计划丛书

MSP430AFE2XX
Analog Front End

MSP430™
Ultra-Low Power MCUs

TEXAS
INSTRUMENTS

MSP430

微控制器基础和 应用设计

◎ 赫建国 葛海波 郑燕 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

Excellent Engineer

TI大学计划资助出版



卓越工程师
培养计划丛书

MSP430

微控制器基础和 应用设计

◎ 赫建国 葛海波 郑燕 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书的撰写目的是为初学者学习 TI 公司 MSP430 系列微控制器的使用方法。书中通过一系列具有明确目的的设计任务来组织内容。采用这种方法, 本书把学生感到困难的内容进行分解, 把一个高的台阶变成若干低的台阶。同时从一开始就让学生接触实际的电路组装和软件编程, 使得学生能够尽早地实现理论和实践的结合, 并享受成功的喜悦。

本书的内容包括两个部分: 基础部分和应用部分。在基础部分, 用 10 章分别介绍了 TI 公司 MSP430 系列微控制器的组成、开发软件、时钟模块、并行输入/输出模块、串行输入/输出模块、定时器模块、数字/模拟转换模块、模拟/数字转换模块及中断系统。在应用部分, 通过两个应用系统的设计, 读者不仅可以学习到如何基于微控制器完成具体的工作, 而且可以学习到完成一个应用系统设计所需要的基本方法和过程。

本书虽然作为大学生电子设计竞赛的赛前培训教材来撰写, 但是也适合于从事 TI 公司 MSP430 系列微控制器开发设计的研究生和本科高年级学生使用, 还适合于从事该领域的工程师使用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

MSP430 微控制器基础和应用设计/赫建国, 葛海波, 郑燕编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.1
(卓越工程师培养计划丛书)

ISBN 978-7-121-21713-5

I. ①M… II. ①赫… ②葛… ③郑… III. ①微控制器 IV. ①TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 248019 号

策划编辑: 柴 燕 (chaiy@phei.com.cn)

责任编辑: 王凌燕

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 397 千字

印 次: 2014 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 39.80 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。



本书是在作者多年来参与全国大学生电子设计竞赛的赛前学生训练、竞赛指导工作及电子线路相关课程教学改革经验总结的基础上编写的。作者在赛前学生训练的教学过程中改革了以往课程的授课方式，通过一系列具有明确目的的设计任务来组织教学。通过合理地安排这些设计任务，把学生感到困难的教学内容进行分解，把一个高的台阶变成若干低的台阶，同时从一开始上课就让学生接触实际的电路组装和软件编程，从而使学生立刻就能体会到成功的喜悦。

掌握一种技术需要大量的理论学习和实践操作，同时也需要一个好的学习方法，如果有一个好的学习指导可以获得事半功倍的效果。本书在撰写内容上力求实用，并尽量做到理论和实践相结合；在内容编排上，尽量做到由易到难。对书中列举的基础实验和应用设计，作者努力做到不仅描述如何进行，而且分析这样做的原因，使得读者能够比较容易地举一反三。

德州仪器（TEXAS INSTRUMENTS, TI）公司是著名的美国电子器件生产厂家，它的产品在我国，尤其在高校的教学中获得了广泛的应用。TI公司的MSP430系列微控制器具有高性能、高集成度和高性价比的优点，如在一些型号的芯片内部集成了模拟/数字转换器和数字/模拟转换器，这使得不仅能够处理数字信号，而且还可以处理模拟信号。

TI公司同时还提供MSP430系列微控制器开发平台。开发平台的软件包括Code Composer™ Studio开发软件和Embedded Workbench for MSP430开发软件，它们都在本书给予了使用介绍。这两种开发软件都可以从TI公司的网站下载免费的代码限制版。TI公司也提供多种支持程序调试的硬件开发电路板，其中的LaunchPad（MSP-ESP430G2）开发套件专门提供给高校的学生使用，这款开发套件售价仅\$4.30。

本书介绍TI公司的MSP430x2xx系列微控制器的使用。使用的目标芯片包括MSP430G2231和MSP430F2619两种。芯片MSP430G2231是德州仪器（TI）公司提供给高校的LaunchPad（MSP-ESP430G2）开发套件中支持的多种芯片之一，这种芯片具有双列直插类型封装，便于在面包板上组装应用电路。组装电路是了解硬件电路的一个有效方法，只有对硬件电路具有深入的了解，才能编写出好的程序。芯片MSP430F2619支持最高达16MHz频率的外部晶体时钟源，它具有比芯片MSP430G2231种类更多的外围模块和数量更多的逻辑资源。

本书的内容可以分为两部分：第一部分包括第1章至第10章，讲述MSP430系列微控制器的基础知识；第二部分包括第11章和第12章，讲述如何利用前一部分学习的基础知识实现应用系统的设计。

第1章分别介绍了MSP430G2231和MSP430F2619两种芯片的组成、逻辑资源及引脚功用，并介绍了MSP430x2xx微控制器的最小系统电路。

第2章结合一个流水灯控制电路介绍了MSP430系列微控制器开发的软件。这里分别介

绍了 Code Composer™ Studio 开发软件和 Embedded Workbench for MSP430 开发软件。开发软件支持控制程序的模拟、仿真及对目标芯片的编程。开发软件也可以被用来形象地学习微控制器的基础知识和 C 语言的编写练习。

第 3 章介绍了 MSP430 系列微控制器的时钟系统。MSP430 系列微控制器支持多种时钟信号源，既支持具有高频率稳定度的晶体时钟信号源，也提供不需要任何外部器件支持的片内时钟信号源。这一章还介绍了使用逻辑运算实现位寻址。本书从一开始就让读者接触实际的电路组装和软件编程，因此将一些基础知识，包括 C 语言和硬件电路融合到每一章的内容之中，这样也能降低学习难度。

第 4 章介绍 MSP430 系列微控制器的并行输入/输出端口的使用，并利用并行输入/输出端口驱动数码管，实现数字信息的显示，但使用并行输入/输出端口驱动数码管对微控制器芯片的引脚资源消耗太多。在编程基础知识方面，本章介绍了函数的使用、数据类型和循环语句。

第 5 章介绍使用软件的方法实现数据的串行方式传输，以节省芯片的引脚资源。虽然 MSP430 系列微控制器提供多种类型的串行接口，但是为了降低学习难度，这部分内容将放在后面学习。这里使用软件的方法支持数码管的显示，既支持了当前对数据显示的要求，又让读者练习了应用程序的编写。在编程基础知识方面，本章系统地介绍了位操作运算符。

第 6 章介绍了中断的概念及 MSP430 系列微控制器并行输入/输出端口涉及中断方面的知识，并利用这方面的知识完成了键盘电路的设计。在编程基础知识方面，本章介绍了字节操作运算符和条件语句。

第 7 章介绍了 MSP430 系列微控制器的定时器模块。利用定时器模块，数字信号的频率和周期都能够被直接测量。直接测量数字信号频率的方法称为计数法，这种方法适合测量频率较高的信号；直接测量数字信号周期的方法称为定时法，这种方法适合测量频率较低的信号。

第 8 章介绍了数字/模拟转换器的工作原理及 MSP430 系列微控制器的数字/模拟转换器模块。利用数字/模拟转换器能够产生任意波形的信号。在编程方面，本章介绍了 C 语言中的指针概念及应用。MSP430G2231 和 MSP430F2619 两种芯片中只有后者具有数字/模拟转换器模块。

第 9 章介绍了模拟/数字转换器的工作原理及 MSP430 系列微控制器的模拟/数字转换器模块。MSP430G2231 和 MSP430F2619 两种芯片都具有模拟/数字转换器模块，前者具有 10 位分辨率；后者具有 12 位分辨率。

第 10 章介绍了 MSP430 系列微控制器的串行输入/输出接口模块——通用串行接口（Universal Serial Interface, USI）。这种接口具有两种工作模式：串行外围接口（Serial Peripheral Interface, SPI）工作模式和 I²C 接口（Inter Integrated Circuit, I²C）工作模式。I²C 接口可以实现多个器件之间的通信。

第 11 章使用 MSP430F2619 微控制器芯片设计了一个数字信号时域参量测量设备。该设备能够测量数字信号的频率、周期、脉冲宽度及占空比。结合这个设备的设计过程，本章还介绍了应用系统的设计步骤和设计报告的撰写方法。

第 12 章使用 MSP430F2619 微控制器芯片设计了一个数字信号产生设备。该设备能够产生 2 路频率、相位差都能够调整的正弦波信号。本章再次介绍了应用系统的设计步骤和设计

报告的撰写方法。

全国大学生电子设计竞赛的赛前学生训练通常是在竞赛的前一年开始。参加训练的学生基本上为三年级学生，他们已经完成了“电路分析”课程的学习，部分完成了“电子技术”系列课程的学习。赛前学生训练分两个学期完成，第1学期完成书中第一部分，即第1章到第10章内容的教学；第2学期完成书中第二部分，即第11章到第12章内容的教学。每学期使用30课时，分10次上课。

这本书是在作者多年来教学教案的基础上写出的。书中的内容不仅包括了许多任课教师的教学经验，也包括了许多学生的学习经验。在学习过程中，我们教授给学生知识，同时我们也从学生那里学习到很多东西。书中的许多硬件电路和软件程序也是学生参与设计和调试的，在这里向王晓天、宋扬、赫相楠和周艳娥等同学表示衷心的感谢。

在多年的全国大学生电子设计竞赛的赛前参赛学生训练中，作者得到了西安邮电大学许多老师的支持和帮助，在这里向倪德克、房向荣、王涛、朱旭花、戢小亮、崔利平、张霞老师表示衷心的感谢。在本书的编写过程中，作者也参考了许多专家和学者的著作和研究成果，在这里也向他们表示衷心的感谢。

本书能够顺利出版与电子工业出版社和柴燕编辑的大力支持是分不开的。柴燕编辑在本书的编写过程中给予了热心的帮助和督促，在这里向她表示衷心的感谢。

最后，作者衷心地感谢德州仪器（TEXAS INSTRUMENTS, TI）公司。TI公司对我们的教学不仅提供了设备和器件支持，而且对教学方式提供了许多很好的建议，这些建议对《电子技术》系列课程的教学改革也具有很大的帮助。

本书的编写目的是为准备参加全国大学生电子设计竞赛的学生提供一本赛前训练的指导书，它也可以作为高校相关专业的教材和工程技术人员的参考书。由于本书通过一系列具有明确目的的设计任务来组织撰写的内容，这样在所涉及内容的完整性方面可能有所欠缺，加之作者的水平有限，书中的错误与不妥在所难免，敬请读者批评指正。

作者
于西安邮电大学



第 1 章 TI 公司 MSP430 系列微控制器芯片	1
1.1 MSP430 系列微控制器	3
1.2 MSP430G2231 芯片	4
1.3 MSP430F2619 芯片	8
1.4 小结	10
第 2 章 MSP430 系列微控制器开发软件的使用——流水灯控制电路的设计	11
2.1 流水灯电路	12
2.2 Embedded Workbench for MSP430 开发软件的使用	13
2.2.1 创建工程 (Project)	13
2.2.2 编辑源程序	14
2.2.3 编译源程序	16
2.2.4 模拟调试	18
2.2.5 仿真调试	22
2.3 Code Composer™ Studio 开发软件的使用	24
2.3.1 创建工程 (Project)	24
2.3.2 C 语言源文件的编辑和编译	27
2.3.3 C 语言源文件的仿真调试	29
2.4 小结	31
第 3 章 MSP430 系列微控制器的时钟系统	32
3.1 MSP430 系列微控制器的时钟系统	33
3.1.1 MSP430x2xx 系列芯片的时钟系统	33
3.1.2 时钟系统的相关寄存器	34
3.2 数字控制振荡器 (DCO) 频率的测量	39
3.3 位寻址功能的实现	41
3.3.1 msp430g2231.h	41
3.3.2 利用逻辑位运算实现位寻址功能	43
3.4 程序下载	44
3.5 高频振荡器 (XT2) 频率的测量	45
3.6 时钟源 DCO 和 XT2 工作频率的对比	47
3.7 小结	48

第 4 章 并行数字输入/输出端口的使用——数码管显示电路的设计	49
4.1 MSP430 系列微控制器的并行数字输入/输出端口	50
4.2 基于并行数据传输的数码管电路	51
4.2.1 数码管	51
4.2.2 显示数据的译码	53
4.3 延时函数	55
4.3.1 延时函数	56
4.3.2 函数的使用	56
4.4 数据类型	58
4.5 循环语句	59
4.5.1 while 语句	60
4.5.2 do while 语句	60
4.5.3 for 语句	61
4.6 小结	62
第 5 章 基于串行同步接口的数码管显示电路	63
5.1 8 位移位寄存器（串行输入，并行输出）74164	64
5.2 同步串行接口的 1 位数码管驱动函数	66
5.2.1 1 位数码管驱动函数	66
5.2.2 利用循环语句简化 1 位数码管驱动函数	69
5.2.3 同步串行接口的 1 位数码管显示电路演示程序	70
5.3 位运算操作符	71
5.4 多位数据的显示	73
5.4.1 采用同步串行接口的多个数码管显示电路	73
5.4.2 数据分离	74
5.4.3 采用同步串行接口的 3 个数码管驱动函数	75
5.4.4 同步串行接口的 3 位数码管显示电路演示程序	76
5.5 小结	78
第 6 章 并行数字输入/输出端口中断的使用——按键电路的设计	79
6.1 按键开关	80
6.2 中断	81
6.2.1 中断的概念	81
6.2.2 状态寄存器（SR）涉及中断的内容	82
6.3 并行输入/输出端口涉及中断的寄存器	83
6.4 1 位独立式按键电路演示程序	84
6.5 利用 3 个按键输入多个数据	87
6.6 字节运算操作符	92
6.7 条件语句	93
6.7.1 if 语句	94

6.7.2	switch/case 语句	95
6.8	小结	96
第 7 章	定时/计数器的使用——信号时间参量测量电路的设计	97
7.1	数字信号时间参量的测量方法	98
7.2	定时/计数器 (Timer)	99
7.2.1	定时/计数器 A (Timer_A) 的组成	99
7.2.2	16 位计数器	99
7.2.3	捕捉/比较器模块	101
7.2.4	定时/计数器 A (Timer_A) 的寄存器	102
7.3	数字信号频率的测量	106
7.4	数字信号周期的测量	109
7.5	数字信号的产生	112
7.6	小结	115
第 8 章	数字/模拟转换器的使用——任意波形产生电路的设计	116
8.1	数字/模拟转换器的工作原理	117
8.2	数字/模拟转换模块 (DAC12)	119
8.2.1	数字/模拟转换模块 (DAC12) 简介	119
8.2.2	数字/模拟转换模块 (DAC12) 的寄存器	122
8.3	模拟电压源 (AVCC) 的接入	125
8.4	数字/模拟转换模块 (DAC12) 检查程序	126
8.5	任意波形信号的产生	128
8.6	C 语言中的指针	130
8.6.1	指针变量的定义	131
8.6.2	指针变量的特有操作符	131
8.7	小结	133
第 9 章	模拟/数字转换器的使用——模拟信号采集与回放电路的设计	134
9.1	模拟/数字转换器的工作原理	135
9.2	模拟/数字转换模块 (ADC10)	137
9.2.1	模拟/数字转换模块 (ADC10)	137
9.2.2	模拟/数字转换模块 (ADC10) 的寄存器	140
9.3	模拟/数字转换模块 (ADC10) 检查程序	144
9.4	模拟/数字转换模块 (ADC12)	147
9.4.1	模拟/数字转换模块 (ADC12)	147
9.4.2	模拟/数字转换模块 (ADC12) 的寄存器	149
9.5	模拟/数字转换模块 (ADC12) 初始化函数	155
9.6	模拟信号的采集与回放	157
9.7	小结	159

第 10 章 串行输入/输出端口的使用——微控制器芯片之间通信的实现	160
10.1 MSP430x2xx 微控制器的串行接口	161
10.2 通用串行接口 (Universal Serial Interface, USI)	162
10.2.1 串行外围接口 (SPI)	162
10.2.2 I ² C 接口 (Inter Integrated Circuit, I ² C)	164
10.2.3 通用串行接口 (USI) 的寄存器	168
10.3 基于串行外围接口 (SPI) 的 1 位数码管显示	172
10.4 基于串行外围接口 (SPI) 的芯片间通信	174
10.4.1 基于查询方法实现串行数据的接收	175
10.4.2 基于中断方法实现串行数据的接收	176
10.5 基于 I ² C 接口的芯片间通信	177
10.5.1 基于串行外围接口 I ² C 的数据发送	178
10.5.2 基于串行外围接口 I ² C 的数据接收	183
10.6 小结	185
第 11 章 数字信号频率测量电路的设计	186
11.1 设计要求	187
11.2 设计可行性分析	188
11.3 系统设计	190
11.3.1 硬件电路部分	190
11.3.2 程序框图	191
11.4 单元电路设计	193
11.4.1 MSP430 系统初始化	193
11.4.2 基于 Timer_A 的计数测量	195
11.4.3 数据显示内容的选择	199
11.4.4 浮点数据格式到科学计数法格式的转换	200
11.4.5 关于单元电路设计的进一步讨论	202
11.5 系统连调、测试及数据分析	203
11.5.1 系统连调	203
11.5.2 系统测试	206
11.5.3 测试数据分析	208
11.6 设计小结	208
第 12 章 信号产生器的设计	210
12.1 设计要求	211
12.2 方案论证	212
12.2.1 传统的信号产生器设计方案	212
12.2.2 直接数字合成技术	213
12.2.3 方案对比和选择	214

12.3	直接数字合成技术的实现方法选择	215
12.3.1	AD9854 直接数字合成信号产生器芯片	215
12.3.2	使用微控制器实现直接数字合成 (DDS) 技术	216
12.3.3	使用可编程逻辑器件实现直接数字合成 (DDS) 技术	217
12.3.4	实现方法的对比与选择	218
12.4	系统设计	219
12.5	单元模块设计	220
12.5.1	使用 Timer_A 中断实现输出信号频率稳定	220
12.5.2	直接数字合成 (DDS) 技术的实现	222
12.5.3	频率字和相位字的译码	225
12.6	系统连调、测试及数据分析	227
12.6.1	系统连调	227
12.6.2	系统测试	233
12.6.3	测试数据分析	234
12.7	设计总结	234
	参考文献	236

第1章 TI公司MSP430系列微控制器芯片



目 标

通过本章的学习，应掌握以下知识：

- 按照所处理的信号，对电子线路进行分类。
- 数字电路的特点。
- 常用数字集成电路器件的种类和特点。
- 微控制器（Microcontroller，MCU）的结构。
- 德州仪器（TI）公司MSP430系列微控制器（MCU）的特点。
- MSP430微控制器的最小系统电路。
- MSP430微控制器的内部资源。
- 不同型号MSP430微控制器芯片的区别。



引 言

电子线路的功用是完成信号的产生、传输和处理。按照信号的特点，电子线路可以被划分为处理连续信号的模拟电路和处理离散信号的数字电路。相对于模拟电路，数字电路具有许多优点。首先，在数字系统中信号电压的准确值并不是很重要，只要电压的变化不至于影响对高、低电平的判定，这个变化就可以忽略不计，因此数字电路具有较好的抗干扰能力；其次，整个系统的准确度和精度容易保持一致，这是因为数字信号在处理过程中不会降低精度，而模拟信号在处理过程中会受到电路元器件参数的改变及环境变化的影响；再次，数字信号存储方便，对它的处理过程容易通过编程来实现；最后，在许多情况下，完成同样功能的数字系统比相应的模拟系统便宜。

虽然数字电路相对于模拟电路具有上述的优点，但是自然界中的大多数信号属于模拟信号，如语音信号和图像信号，这就需要模拟电路对其进行处理。另外，在需要对带宽相当宽的信号或变化非常快的信号进行实时处理的场合，模拟电路则可能是唯一的解决方案。然而，对于数字电路具有足够速率执行信号处理任务的情况下，我们通常都会优先考虑采用数字电路来完成任务。

当前，常用的数字电路器件类型包括标准逻辑器件（如74系列器件）、可编程逻辑器件（Programmable Logic Device，PLD）和微控制器（Microcontroller，MCU）。标准逻辑器件在集成度方面属于中、小规模集成电路，它的种类包括各种逻辑门、触发器、译码器、多路选择器和计数器等芯片。这些器件的集成度较低，采用它们设计的数字系统需要较多的器件，这就使得电路连线复杂，系统的可靠性降低。标准逻辑器件芯片的功能确定、修



改系统设计必须通过对电路重新设计和组装来实现，这就使得设计灵活性低。标准逻辑器件目前在数字电路设计中已不再广泛使用，但是它们对于研究数字系统基本构成模块的工作原理方面具有重要的意义，如大学里的《数字电路逻辑设计》课程中目前仍然主要使用这些器件进行讲授。

使用与门、或门和非门能够实现任意组合电路，再添加上触发器就能够实现任意时序电路。可编程逻辑器件（PLD）可以认为是对标准逻辑器件的直接升级。一块可编程逻辑器件芯片内部集成了非常多的逻辑门和触发器，使得单一芯片具有实现一个应用系统所需要的逻辑资源，从而减少了应用系统中使用器件的数量，提高了系统的可靠性。可编程逻辑器件芯片内部逻辑资源的连接不需要手工进行，用户只需要使用计算机编写设计文件，然后完成设计文件到目标芯片的传输。可编程逻辑器件在下载设计文件后，在它的内部将形成对应的硬件电路。需要更改设计要求时，只需重新编写设计文件，再次向芯片下载设计文件。不需要更改，或者较少地需要更改电路连线，从而使得设计灵活性得到提高。

微控制器（MCU），也被称为单片机，可以被认为在其内部集成了许多完成算术运算和逻辑运算等功能的逻辑电路模块。微控制器的每一条汇编指令对应一个逻辑电路模块。微控制器依靠所运行的程序来完成工作。这个程序是设计者对微控制器的一组完整的指令，指令告诉微控制器其操作的每一步应该去调用什么逻辑电路模块，以及如何调用这个逻辑电路模块。这些指令以二进制代码的形式存储在存储器中，微控制器从存储器中一次读取一条指令代码，并完成由指令代码指定的操作。

通过编写设计文件，或者程序，可以在可编程逻辑器件内部产生希望的硬件电路，或者控制微控制器完成不同的工作，这个特点使得设计灵活性得到提高。当需要修改系统设计时，设计者只需要改写设计文件，或者程序，不需要或者较少需要修改电路连线。

微控制器一次只能执行一条指令，因此它的主要局限性是工作速度。采用硬件方案实现的数字系统总是比软件方案实现的数字系统的工作速度快。可编程逻辑器件在下载设计文件以后，在它的内部将形成对应的硬件电路，这些电路是可以同时工作的。例如，向两个数码管传送显示代码，这时可以同时进行。而在微控制器中，向两个数码管传送显示代码的工作只能是逐个传送。可编程逻辑器件内部电路模块中信号处理的时间只来源于硬件电路产生的时间延迟，不存在指令读取和执行产生的时间延迟。上述工作特点使得可编程逻辑器件的工作速度比微控制器芯片快。

可编程逻辑器件的开发设计语言有许多种，其中 VHDL 和 Verilog HDL 这两种硬件描述语言已经获得广泛的应用，并且成为国际电气与电子工程师协会（The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE）的标准。不过这两种硬件描述语言现在并没有得到可编程逻辑器件开发软件的全面支持，如 Altera 公司的 Quartus II 可编程逻辑器件开发软件不支持浮点类型数据、不支持乘法和除法算术运算等。这些不足限制了可编程逻辑器件在信号处理方面的应用。不支持浮点类型数据减小了所处理信号的动态范围，不支持乘、除法算术运算使得一些信号处理功能不容易实现。在这些方面，微控制器开发中大量使用的 C 语言具有明显的优势。



1.1 MSP430 系列微控制器

德州仪器（TEXAS INSTRUMENTS，TI）公司生产的 MSP430™ 系列微控制器（MCU）是一种基于精简指令集处理器（Reduced Instruction Set Computing，RISC）的 16 位混合信号处理器。芯片内部集成有模拟/数字转换器（Analog-to-Digital Converter，ADC）和数字/模拟信号转换器（Digital-to-Analog Converter，DAC），这就使得它不仅能够接收和输出数字信号，而且也能够接收和输出模拟信号，因此称为混合信号处理器。MSP430 系列微控制器的组成框图如图 1.1 所示。

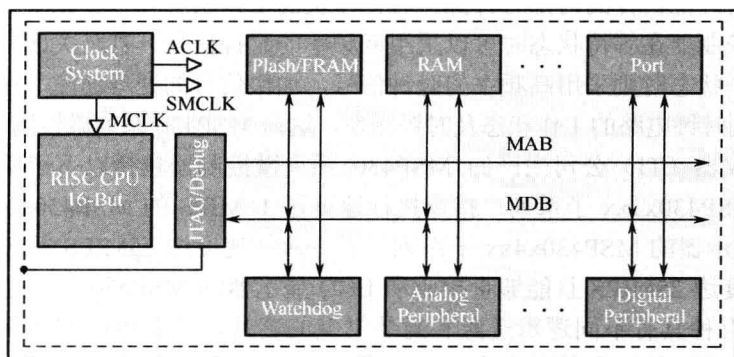


图 1.1 MSP430 系列微控制器的组成框图

MSP430 系列微控制器中的 CPU 模块（图 1.1 中的“RISC CPU 16-Bit”模块），通过存储器地址总线（Memory Address Bus，MAB）和存储器数据总线（Memory Data Bus，MDB）与程序存储模块、数据存储模块及各种外部设备模块连接起来，并采用统一的 CPU 指令和寻址模式。

如果采用汇编语言编程，开发者需要了解 CPU 内部的寄存器、各种寻址模式及汇编指令等内容；如果采用 C 语言编程，这些内容不需要过多地关注，寄存器的使用和寻址模式的选择将由编译系统处理。本书采用 C 语言实现应用系统的开发。

图 1.1 中的“Flash/FRAM”模块用作程序存储器、“RAM”模块用作数据存储器、“Port”模块表示芯片的输入/输出引脚。MSP430 系列微控制器具有多种芯片型号、同一型号芯片还具有多种封装类型，共计 400 多款。在所有这些型号的芯片中，芯片内部程序存储器的存储容量从最小的 0.5KB 到最大的 256KB；数据存储器的存储容量从最小的 128B 到最大的 18KB；输入/输出引脚数量从 14 个到 113 个。不同芯片的内部资源配置用来满足各类用户在功能和成本等方面的实际应用需求。

数字外围模块包括 LCD 驱动器、定时/计数器、并行数字输入/输出端口和串行数字输入/输出端口等。模拟外围模块包括模拟/数字转换器、数字/模拟转换器、比较器、运算放大器等。注意，并不是每一种 MSP430 微控制器芯片都能提供所有这些外围模块的功能，使用者需要根据应用系统的需求来选择合适的芯片型号。

监视定时器，俗称看门狗“Watchdog”，用来监视微控制器的工作状态。当出现程序运行异常的情况时，它将强制系统复位。



模块“JTAG/Debug”用来支持用户程序的下载和调试。MSP430 系列微控制器的所有型号芯片都支持通过 JTAG 接口对程序存储器编程。在 MSP430 系列微控制器的内部包含在片调试逻辑，该电路既支持高精度的模拟调试，也支持全速工作调试。JTAG 接口建立计算机与 MSP430 微控制器芯片的联系，支持用户程序的下载和调试。一些型号的芯片还支持被称为“Spy-Bi-Wire”的 2 线接口，这种接口同样支持用户程序的下载和调试。

MSP430 系列微控制器的最大特点为低功耗。为降低功耗，专门为芯片设计了灵活的时钟系统、多种低功耗工作模式、即时唤醒及智能化外部设备模块。

时钟模块“Clock System”用来产生 MSP430 系列微控制器工作所需要的各种时钟信号。该模块可以在多个时钟源的支持下工作，既有需要添加外部晶体获得高频率稳定性的时钟源，也有不需要添加任何外部器件的内部时钟源。时钟模块的工作状态和工作频率能够由用户程序控制，这样使得微控制器在等待状态时可以采用低频率的时钟信号，甚至关闭时钟电路来降低系统的能耗；在工作状态时则采用高频率的时钟信号，加快信号的处理速度。用户程序能够选择时钟源，并且控制时钟电路的工作状态及时钟频率，这是 MSP430 系列微控制器的特色之一。

当前，德州仪器（TI）公司生产的 MSP430 系列微控制器包括以下子系列。指令执行速度达 8MIPS 的 MSP430x1xx 子系列、指令执行速度达 16MIPS 的 MSP430x2xx 子系列、能够直接驱动 LCD 显示器的 MSP430x4xx 子系列、指令执行速度达 25MIPS 的 MSP430x5xx 子系列及指令执行速度达 25MIPS 且能够直接驱动 LCD 显示器的 MSP430x6xx 子系列。上述各种子系列包括了数百种具有不同逻辑资源和封装类型的芯片，读者可以在德州仪器（TI）公司的网站（www.ti.com）找到相关的信息。

本书专门介绍 MSP430x2xx 子系列微控制器的使用。MSP430x2xx 子系列微控制器还可以再划分为 MSP430G2xx、MSP430F2xx 和 MSP430AFE2xx 分系列。本章的下面部分分别对 MSP430G2231 和 MSP430F2619 两种型号的芯片进行介绍。硬件是软件开发的基础，硬件也是软件的控制对象，只有了解硬件情况才能为应用系统选择合适型号的芯片，并顺利地完成软件开发。

芯片 MSP430G2231 是德州仪器（TI）公司提供给高校的 LaunchPad（MSP-ESP430G2）开发套件中支持的多种芯片之一，该开发套件售价仅 \$4.30。另外，MSP430G2231 芯片具有双列直插类型封装，便于在面包板上组装应用电路。组装自己的应用电路对于初学者非常重要，即使微控制器是利用编写程序实现电路功能，但是硬件是软件的基础，也是软件的控制对象。只有对硬件电路具有深入的了解，才能编写出好的程序。组装电路是了解硬件电路的一个有效方法。MSP430G2xx 系列芯片的一个缺陷是不支持外部高谐振频率晶体的时钟源，它仅支持 32.768kHz 的时钟晶振。芯片 MSP430F2619 支持最高达 16MHz 频率的外部晶体时钟源，当然也支持不需要添加任何外部器件的内部时钟源。另外，芯片 MSP430F2619 内部具有比芯片 MSP430G2231 种类更多的外围模块和数量更多的逻辑资源。本书后面对于 MSP430 系列微控制器各个模块的使用介绍将主要基于芯片 MSP430G2231 进行，在介绍芯片 MSP430G2231 不具备的模块时，即芯片 MSP430F2619 内部具有的外围模块时将特别指出。

1.2 MSP430G2231 芯片

14 引脚双列直插类型封装的 MSP430G2231 芯片引脚排列图如图 1.2 所示。

MSP430G2231 芯片具有双列直插类型封装，这点对于初学者非常方便，因为双列直插类



型封装便于在面包板上组装应用电路。能够观察到自己完成设计、组装电路的工作情况，将使设计者立刻就能体会到成功的喜悦，增强学习的兴趣。对所从事的工作具有兴趣是做好工作的一个重要条件。同时，理论联系实际也是一种非常重要的工作方法。

基于 MSP430G2231 芯片的最小系统电路图如图 1.3 所示。

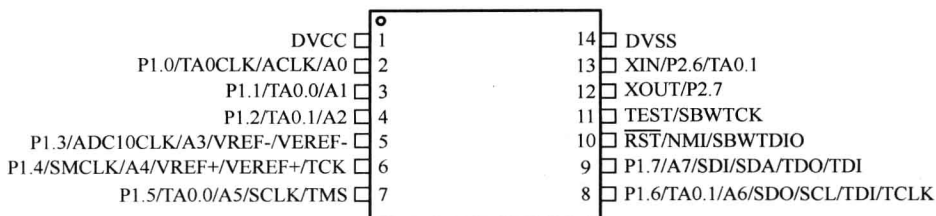


图 1.2 MSP430G2231 芯片引脚排列图

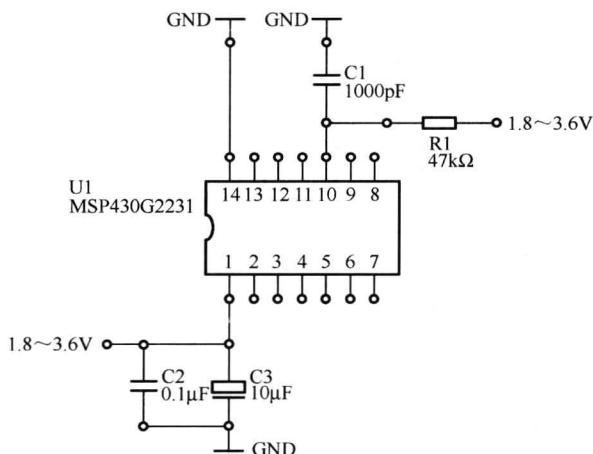


图 1.3 基于 MSP430G2231 芯片的最小系统电路图

MSP430G2231 芯片具有 14 个引脚。引脚 DVCC（引脚 1）为电源引脚，引脚 DVSS（引脚 14）为接地引脚。电源电压范围为 1.8~3.6V。使用面包板组装应用电路时，可以很方便地就近连接电源和接地，因此在电路图中出现多个电源接线端和接地接线端，这些端点读者可以自己完成与电源和接地的连接。MSP430G2231 芯片电源引脚（引脚 1）旁边放置的两个电容 C2 和 C3，用于电源的滤波。

MSP430G2231 芯片的引脚 10 为复位引脚（ $\overline{\text{RST}}$ ）。复位的目的是使得微控制器从一种约定的工作状态下开始工作。MSP430 系列芯片在接电时，只要复位引脚为逻辑低电平，则系统将进入复位状态。图 1.3 给出了一种非常简单的复位电路，仅由 1 个电阻 R1 和 1 个电容 C1 组成。当系统加电时，由于电容 C1 上的电压不能突变，复位引脚呈现低电平，使得微控制器进入复位状态。随着电容 C1 充电，复位引脚的电位逐渐上升，当达到逻辑高电平对应的电位值，微控制器将退出复位状态，进入正常工作状态。

MSP430G2231 芯片的时钟模块“Clock System”能够在以下 3 种时钟源的驱动下工作，采用频率为 32768Hz 外部晶体谐振器的振荡器、频率约为 12kHz 的内部低功耗振荡器和内部数字控制振荡器（Digitally Controlled Oscillator, DCO）。使用晶体振荡器需要在引脚 XIN



(引脚 13) 和引脚 XOUT (引脚 12) 之间放置谐振频率为 32768Hz 的晶体谐振器, 并且两个引脚再分别通过 12pF 的电容器接地。使用内部低功耗振荡器和内部数字控制振荡器 (DCO) 则不需要添加任何外部器件, 而且数字控制振荡器 (DCO) 的工作频率还可以通过用户程序进行调整。使用芯片内部时钟源的缺点是时钟频率的稳定度和精确度不如使用外部晶体谐振器的振荡器。图 1.3 所示的电路使用芯片内部时钟源以简化电路组成。

MSP430 系列芯片复位以后, 时钟模块自动选择数字控制振荡器 (DCO) 作为时钟源, 默认的时钟频率约为 1MHz。推荐初学者使用芯片内部的数字控制振荡器 (DCO), 这样即减少了连线的数量, 也避免了程序设计中时钟模块的设置。

MSP430G2231 芯片的功能方框图如图 1.4 所示。

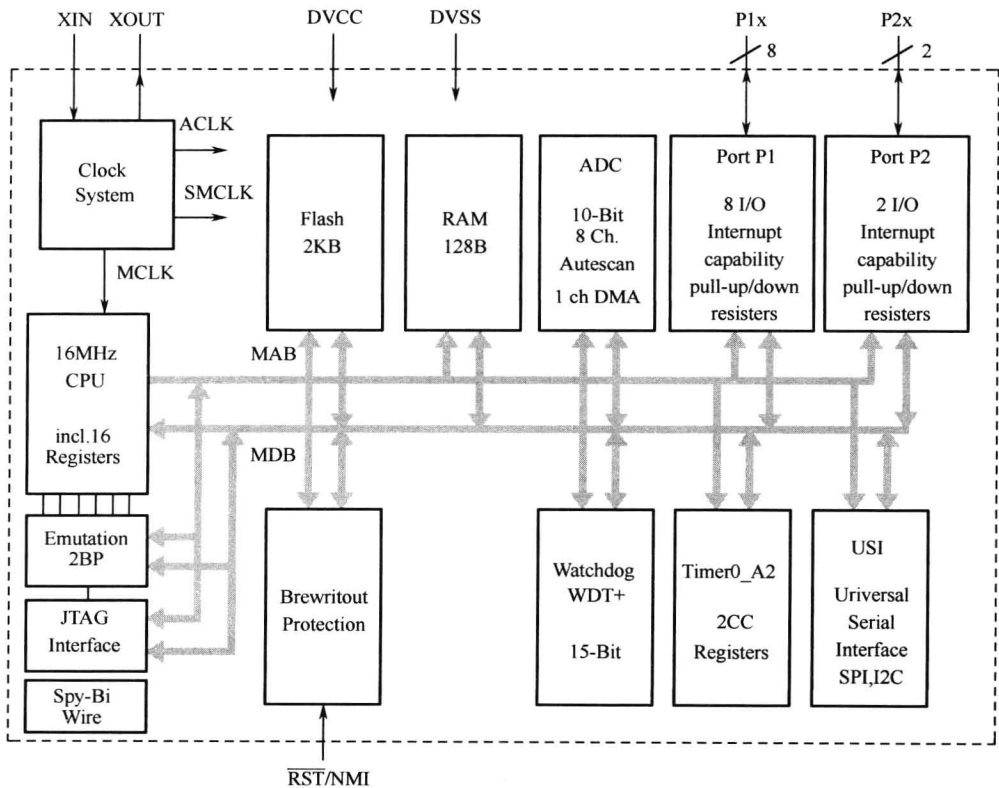


图 1.4 MSP430G2231 芯片的功能方框图

图 1.4 不仅给出了 MSP430G2231 芯片包含的功能模块、功能模块之间的联系, 而且给出了芯片的逻辑资源。系统时钟模块 “Clock System” 输出 3 种时钟信号, 供 CPU 使用的 MCLK、供芯片内部其他功能模块使用的 SMCLK 和 ACLK。时钟信号 SMCLK 和 ACLK 可以通过软件设置为与芯片的引脚相连接, 这样就可以通过测试获得使用芯片内部的数字控制振荡器 (DCO) 作为时钟源时, 这些时钟信号的实际频率。

MSP430G2231 芯片具有 2KB 的 Flash 程序存储器, 128B 的 RAM 数据存储器。前者用来存储用户程序, 后者用来存储信号处理过程的中间结果。用户编写的程序必须在这些逻辑资源之内工作。

在模拟信号接口方面, MSP430G2231 芯片只具有模拟/数字转换能力, 不具有数字/模拟