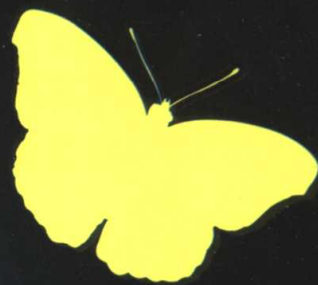


○ 谢兴红 林凡强 吴雄英 编著

MSP
430



MSP430单片机 基础与实践



北京航空航天大学出版社



TP368.1/391D

2008

MSP430 单片机基础与实践

谢兴红 林凡强 吴雄英 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 MSP430F149 为例,详细介绍了 TI 公司的 MSP430 单片机的选型、基本知识、开发流程及应用系统设计;包括 MSP430 单片机的基础部分和实践提高部分,由浅入深,内容详实。首先讲述 MSP430 单片机的特点和选型,然后给出 MSP430F149 所有片内模块的详细介绍和简单应用举例,最后结合 MSP430F149 自身特点进行应用系统设计。本书所有程序均采用 C 语言编写,并在配套实验板上测试通过,均达到设计预期功能。

本书配套光盘中包含本书所有程序代码和完整的硬件电路图,代码部分注释详细,便于阅读和理解。本书既可作为高等院校电子技术、通信、计算机及自动化类专业的本、专科学生和研究生的教学参考用书,也可作为大学生参加电子设计竞赛和工程技术人员进行开发设计的技术手册。

图书在版编目(CIP)数据

MSP430 单片机基础与实践 / 谢兴红, 林凡强, 吴雄英
编著. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008. 1
ISBN 978 - 7 - 81124 - 188 - 4

I. M… II. ①谢…②林…③吴… III. 单片微型计算机
IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 203249 号

© 2008, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可, 任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。

侵权必究。

MSP430 单片机基础与实践

谢兴红 林凡强 吴雄英 编著
责任编辑 冯 颖

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:14.75 字数:336千字

2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 978-7-81124-188-4 定价:28.00元(含光盘1张)

序

MSP430 是美国 TI(德州仪器)公司生产的超低功耗、高性能的 16 位微处理器。杭州利尔达科技有限公司在 1999 年同 TI 公司签署协议推广 MSP430,成为 TI 公司的增值经销商。在利尔达公司不遗余力的推广下,MSP430 从刚开始的只有寥寥无几的工程师和爱好者使用,发展到现在的成千上万的工程师在使用。MSP430 单片机的产品已经遍布电子产品的每一个角落,如水气热电表、家用电器、智能家居、安防、工业控制、汽车、制造业等。MSP430 所具有的很多显著的特点,使很多工程师一经使用即爱不释手。

到目前为止,TI 公司已经推出了多款 MSP430 系列单片机,分别是 MSP430x1xx、MSP430x2xx 和 MSP430x4xx 系列,未来还会推出 MSP430F5xx 系列。

- MSP430x1xx 系列单片机的型号从 MSP430x11x 到 MSP430x16x,工作频率最高为 8 MHz,Flash 编程电压为 2.7 V。
- MSP430x2xx 系列单片机是增强型的单片机,性能在 MSP430x1xx 的基础上提高了很多,如功耗更低;Flash 编程电压下降到 2.2 V;若采用电池供电,还可以进一步延长电池的使用寿命;工作频率提高到 16 MHz。
- MSP430x4xx 具有 LCD 显示。在做具有 LCD 的产品设计时,可以优先考虑选用此款单片机;又由于 LCD 的引脚与 I/O 口是共用的,所以有些没有 LCD 显示的产品也可以选用。

MSP430 是一款超低功耗的单片机,有很多低功耗的参数使用户可以轻松设计一款低功耗的产品(参数对于不同的型号会有所不同):

- 0.1 μA 掉电模式(仍然可以有相应的外部中断);
- 0.8 μA 待机模式(32768 Hz 时钟保持运行);
- 250 μA / 1 MIPS;
- $<6 \mu\text{s}$ 时钟唤醒时间;
- 零功耗 BOR;
- $<50 \text{ nA}$ 端口漏电流。

MSP430 同时也是一款高性能的单片机,内部有很多的数字模块和模拟模块,使得用户在设计产品时可使用较少的外部器件,既降低了成本,又提高了产品性能。

- ADC12 模块的 A/D 转换速度超过 200 ksp/s,并具有连续转换功能,CPU 可以在多次

A/D 转换完成后再去处理结果,提高了 CPU 的效率。

- 比较器有灵活的配置开关,用户可根据需要自行设置。
- USART 模块在设置波特率时,不再依赖晶振和波特率的整数倍关系,而是借助于模块中的波特率调整寄存器,可以对波特率进行微调,使整个通信的波特率误差控制在允许的范围内。工程师设计产品时,可以自由选择单片机的晶振,这大大地方便了设计。
- MSP430 的指令系统采用正交结构,共有 7 种寻址方式,源操作数支持 7 种寻址方式,目标操作数支持 4 种寻址方式。没有特殊结构的指令,容易记忆,编写程序不易出现差错。
- MSP430 的 Flash 支持多种编程方式,主要有 JTAG 编程、BSL 编程和自编程三种,可以轻松实现用户程序的升级功能,并可在 Flash 存储不需要频繁变化但需要掉电保护的数据。

MSP430 很便于开发。可采用 JTAG 调试接口,且每个芯片都有 JTAG 调试接口,具有调试功能,实际调试特别方便。IAR 仿真调试软件也特别易于使用。仿真工具非常便宜,而且到目前为止,MSP430 的仿真器可以兼容整个 MSP430 系列。开发工程师只要购买一个仿真器,即可使用不同款的 MSP430 设计产品。为降低读者学习和开发 MSP430 的成本,作者结合网上资料设计了简易的 JTAG 仿真器,读者可以按照图焊接进行学习,非常方便。

本书以 MSP430F149 为主线,介绍 MSP430 的基本结构、片上模块的基本原理以及许多常用的外设,并配备了详细的实验环节,将理论和实践很好地结合。MSP430 内部资源丰富,无法在一本书中面面俱到,但可喜的是 MSP430 的各种同名模块功能是完全一样的,读者很容易举一反三。同时,我们感谢作者在 MSP430 超低功耗 16 位单片机领域内所做的工作。

利尔达公司作为 TI 公司在中国的 MSP430 增值经销商,一直致力于 MSP430 的推广工作,拥有一支由很多资深 MSP430 技术工程师组成的团队,可以随时随地为广大 MSP430 爱好者和开发工程师提供技术帮助和支持。读者如有需要,可以登录 www.lierda.com 网站下载所需资料,或登录技术论坛 <http://bbs.lierda.com> 同广大的 MSP430 爱好者和工程师进行交流,也可以直接与我们联系。

利尔达科技有限公司总工程师

梁 源

2007 年 6 月

前 言

MSP430 单片机是美国 TI(德州仪器)公司近年推出的 16 位高性能混合信号处理器。由于它具有处理能力强、运算速度快、集成度高、外部设备丰富、超低功耗等优点,而且有很高的性价比,因此在许多领域内都得到了广泛的应用。

MSP430 单片机可以采用汇编语言或 C 语言进行程序设计。它支持 JTAG 调试,其硬件仿真器是一个简单的并口转接器,并且适用于所有的 MSP430 单片机,大大降低了开发成本,也相对缩短了开发周期。其软件是由 IAR 公司提供的 Embedded Workbench 集成开发环境。此软件人机界面友好,易学易懂,并能很好地支持 C 语言开发。

本书分为两部分:基础篇和实践篇。基础篇为第 1~7 章,实践篇为第 8~13 章。

第 1 章从整体上介绍了 MSP430 单片机的特点和发展。读者通过学习本章,可以对 MSP430 单片机有一个初步的了解,并能够选择适合自己学习或进行产品开发所需要的机型。

第 2 章以 MSP430F149 单片机为例来讲解 MSP430 单片机的基础知识。本章内容主要包括 MSP430 单片机的内部结构、特点和应用,通过对 CPU 结构、内部 Flash 操作、系统复位、时钟模块、中断功能、看门狗以及最小应用系统介绍,达到对 MSP430F149 单片机的初步了解和应用,是本书最基础的部分。

第 3~7 章以 MSP430F149 为例,详细介绍了 MSP430 系列单片机所具有的基本 I/O 口、定时/计数器、通用串口、模拟比较器及 ADC 的基本结构,并通过举例讲解各单元的操作和使用方法。读者通过本章的学习,能够掌握 MSP430F149 单片机以及不同型号单片机的片内外设的应用。

第 8~13 章是本书的实践部分,重点介绍了一些应用实例。这一部分的学习有助于读者进一步应用 MSP430 单片机进行电子系统设计,主要包括 RS485 多机通信、大容量存储器扩展、基于 LCD 显示器数字电压表、I²C 时钟芯片的应用、信号发生器以及 USB 接口开发等。各章节最后给出详细的设计说明、硬件电路和完整的程序设计。

本书具有以下主要特点:

- 主要以 MSP430F149 为例。在 MSP430 单片机中,MSP430F149 具有一定的代表性,应用较广。
- 例子全部采用 C 语言编写,都是相对独立和完整的程序,是作者通过配套实验板调试的成果。程序都添加了详细的注释,便于阅读,完全可以直接应用。

- 配套光盘里包含了实践篇中所有程序代码和相关芯片的数据手册,方便读者查询和使用。
- 结构清晰,着重介绍 MSP430F149 单片机寄存器的基本功能和设置,以具体实践将读者带入 MSP430 单片机的设计中来。
- 作者专为本书设计了配套的 MSP430F149 实验板和简易的仿真器。通过在这个实验板进行具体的实验调试,有助于读者进一步掌握 MSP430 单片机的开发和应用。

本书由谢兴红、林凡强、吴雄英编写。孙旭副教授、闫萍老师参加了本书部分章节的编写和调试工作。

感谢郭勇教授、奚大顺教授一直以来对我工作上的关怀和指导,并对本书提出了改进意见。

感谢厦门的李冬发一直以来对我的指导和帮助。

感谢祝忠明副教授、邹彬老师对本书作出的贡献。

感谢孙旭副教授给我提供了一个良好的工作学习环境。

感谢学生蒋开强、黄伦忠、李夕红、符祥喜和刘良祥为本书编写作出的贡献。

感谢利尔达科技有限公司给作者提供 USB 仿真器和相关技术资料,感谢梁源总工程师在百忙之中为本书作序。

感谢谭敏,谢谢她一直以来对我工作的支持和我生活的照顾,使我有更多时间投入到工作中。

最后,感谢我的父母及家人,谢谢他们多年来对我的培养和我工作的支持。

由于作者水平有限,书中难免存在一些不足之处,欢迎广大读者批评指正,我的邮箱:xiexh@cdu.edu.cn。也可以到电子信息网 www.edires.net 论坛与我交流。

谢兴红

2007年10月

于成都理工大学



录

基础篇

第 1 章 MSP430 单片机概述

1.1 MSP430 单片机的特点	3
1.2 MSP430 单片机的主要应用	5
1.3 MSP430 单片机的发展	5
1.4 MSP430 单片机介绍	7
1.4.1 主要功能部件	7
1.4.2 MSP430 各系列单片机简介	7
1.5 MSP430 单片机的选型	9

第 2 章 MSP430F149 单片机基础知识

2.1 CPU 概述	13
2.1.1 CPU 的特点	13
2.1.2 CPU 结构和引脚说明	14
2.2 Flash 操作	18
2.2.1 存储空间组织	18
2.2.2 Flash 操作	18
2.3 系统复位和工作模式	25
2.3.1 系统复位和初始化	25
2.3.2 工作模式	27
2.4 MSP430 的基础时钟模块	30
2.4.1 基础时钟模块	31
2.4.2 时钟模块的寄存器	34
2.4.3 MSP430F149 时钟应用举例	37
2.5 MSP430 的中断和特殊功能	37
寄存器	37
2.5.1 中断结构和类型特点	37
2.5.2 中断的响应过程	39
2.5.3 中断向量地址和特殊功能	40
寄存器	40

2.6 看门狗定时/计数器	43
2.6.1 基本介绍	43
2.6.2 看门狗时钟操作	44
2.6.3 看门狗寄存器	45
2.6.4 基本应用举例	47
2.7 MSP430F149 的最小系统	47
2.7.1 电 源	47
2.7.2 复位电路	48
2.7.3 晶 体	49
2.7.4 简易仿真器 JTAG 下载线介绍	49

第 3 章 I/O 口基本操作

3.1 I/O 口的基本操作流程	51
3.2 寄存器	52
3.3 基本应用设计举例	54

第 4 章 Timer_A 和 Timer_B

4.1 定时器基本介绍	60
4.2 Timer_A 定时/计数模式和	61
操作说明	61
4.2.1 定时/计数模式	61
4.2.2 捕捉和比较单元	64
4.2.3 输出模式	66
4.2.4 Timer_A 的中断	67
4.3 Timer_B	68
4.4 Timer_A 的寄存器	70
4.5 程序设计举例	73

第 5 章 通用同步/异步收发器 USART

5.1 通用异步串行接口 UART	82
5.1.1 串口操作的基本步骤	83
5.1.2 通用异步串口的数据格式	84

5.1.3	异步通信模式	84
5.1.4	UART 的波特率	85
5.1.5	异步模式下的寄存器	85
5.1.6	UART 的设计举例	93
5.2	SPI 接口	96
5.2.1	MSP430F149 单片机的同步操作	96
5.2.2	SPI 初始化或重新配置流程	97
5.2.3	SPI 模式的引脚	97
5.2.4	SPI 的操作方式	97
5.2.5	SPI 的使能	99
5.2.6	SPI 的中断	100
5.2.7	同步模式下的寄存器	101
5.2.8	应用设计举例	105
第 6 章 比较器 Comparator_A		
6.1	Comparator_A 概述	110
6.2	Comparator_A 的工作原理和操作流程	111
6.2.1	基本工作原理	111
6.2.2	基本操作流程	112
6.2.3	模拟输入信号选择	112
6.2.4	输出滤波器选择	112
6.2.5	参考电压的产生和选择	113
6.2.6	比较器中断	113
6.3	寄存器说明	114
6.4	程序设计举例	116
第 7 章 ADC12		
7.1	ADC 模块基本介绍	119
7.2	ADC12 的操作流程	120
7.3	转换模式	124
7.4	ADC12 寄存器详细介绍	127
7.5	ADC12 应用举例	134

实践篇

第 8 章 基于 PC 的 RS485 多机通信		
8.1	RS485 简介	143
8.2	多机通信的应用举例	145

第 9 章 Flash 存储器 M25P80 的应用		
9.1	概述	153
9.2	M25P80 与 MSP430F149 的硬件连接	153
9.3	M25P80 的指令操作	154
9.4	设计举例	159
第 10 章 基于 FYD12864LCD 的数字电压表的设计		
10.1	系统概述	165
10.2	FYD12864 LCD 介绍	165
10.2.1	FYD12864 的引脚说明	166
10.2.2	内部模块介绍	168
10.2.3	指令说明	169
10.3	系统电路设计	172
10.4	程序设计	172
第 11 章 基于 PCF8563 的时钟设计		
11.1	PCF8563 芯片概述	179
11.2	PCF8563 引脚描述	180
11.3	PCF8563 的功能描述	180
11.4	电路设计	181
11.5	系统软件设计	181
第 12 章 简易 USB 接口设计		
12.1	FT245BM 主要特点	199
12.2	FT245BM 芯片功能	199
12.3	硬件设计	202
12.4	系统软件设计	202
第 13 章 任意信号发生器的设计		
13.1	芯片概述	209
13.2	内部功能框图	210
13.3	引脚描述	210
13.4	TLC5615 的工作时序	211
13.5	系统电路设计	212
13.6	系统程序设计思想	212
附录 A MSP430F149 单片机实验板		
		216
附录 B 实验板电路图		
		224
参考文献		
		227

基 础 篇

- 第 1 章 MSP430 单片机概述
- 第 2 章 MSP430F149 单片机基础知识
- 第 3 章 I/O 口基本操作
- 第 4 章 Timer_A 和 Timer_B
- 第 5 章 通用同步/异步收发器 USART
- 第 6 章 比较器 Comparator_A
- 第 7 章 ADC12

第 1 章

MSP430 单片机概述

MSP430 单片机是美国 TI(德州仪器)公司于 1996 年推出的一种 16 位超低功耗的混合信号处理器。它将许多模拟电路外设(如 ADC、DAC、模拟比较器等)和常用数字模块(如 SCI、SPI、 μ C、看门狗、PWM、CAP、定时/计时器)集成在芯片内部。通常对于一般实际应用单芯片便可以完全满足要求,这样可以降低外围控制电路的复杂性,节约 PCB 空间,同时也降低了设计成本,提高了系统的可靠性。

1.1 MSP430 单片机的特点

MSP430 系列单片机是一种超低功耗的微控制器系列,可使用电池长时间工作。MSP430 系列是由各种不同的应用模块组合而成的多种型号。由于其具有 16 位的体系结构以及 16 位的 CPU 集成寄存器和常数发生器,可使 MSP430 实现代码效率最大化。数字控制振荡器使所有低功耗模式从唤醒到运行模式的唤醒时间小于 $6 \mu\text{s}$ 。

MSP430 单片机的主要特点如下:

- 超低功耗;
- 强大的处理能力,单周期指令周期,并且自带硬件乘法器;
- 高性能模拟技术及丰富的片上外围模块;
- 高稳定性,工业级产品;
- 方便、高效的集成开发环境;
- 温度适应范围宽,抗干扰能力强;
- 小巧灵活,性价比高。

MSP430 单片机之所以具有超低的功耗,是因为其在降低芯片的电源电压及灵活可控的

运行时钟方面都有独到之处。

首先, MSP430 单片机的电源电压采用的是 1.8~3.3 V。当在 8 MHz 的时钟条件下运行时, 芯片的电流为 200~400 μA , 时钟关断模式的最低电流只有 0.1 μA 。

其次, 独特的时钟系统设计。MSP430 中有多个时钟源: 内部 DCO 振荡器和外部高速、低速晶体振荡器。详细介绍可以参考后面章节。通过系统时钟模块来产生 CPU 和各功能模块所需的时钟源, 并且这些时钟源可以在指令的控制下打开和关闭, 从而实现对总体功耗的控制。

MSP430 单片机是一个 16 位的单片机, 采用了精简指令集(RISC)结构, 具有丰富的寻址方式(7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址)、简洁的 27 条内核指令以及大量的模拟指令; 大量的寄存器以及片内数据存储器都可参加多种运算; 还有高效的查表处理指令; 有较高的处理速度, 在 8 MHz 晶体驱动下指令周期为 125 ns。以上这些特点是编写出高效率源程序的保证。

MSP430 单片机都集成了较丰富的片内外设。它们分别是看门狗定时器(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 ADC、I²C 总线直接数据存取(DMA)以及端口 1~6(P1~P6)等外围模块的不同组合。其中, 看门狗可以使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 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; 有的器件更具有异步、同步及多址访问串行通信接口, 可方便地实现多机通信等应用; 具有较多的 I/O 端口, 最长达 6×8 条 I/O 口线; P1、P2 端口能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入; 10 位/12 位硬件 A/D 转换器具有较高的转换速率, 最高可达 200 Kbps, 能够满足大多数数据采集应用的需要; 能直接驱动液晶多达 160 段; 实现两路 12 位 D/A 转换; 硬件 I²C 串行总线接口实现存储器串行扩展; 为了增加数据传输速度, 而采用直接数据传输(DMA)模块。MSP430 系列单片机的这些片内外设为系统的单片解决方案提供了极大的方便。

上电复位后, 系统时钟是由内部数字振荡器提供的, 用户可以根据自己的需要改变系统时钟源。读者可以参考 2.4 节的系统时钟模块介绍。

目前, MSP430 系列有 OPT 型、Flash 型和 ROM 型三种器件。这些器件的开发手段不同, MSP430 系列单片机使用以 Flash 型为主。OPT 型和 ROM 型的器件是大量生产产品时由用户提供符合烧写格式的代码芯片给生产厂家, 然后再烧写到内部存储器里, 这样可大大降低系统成本; Flash 型则有十分方便的开发调试环境, 器件片内有 JTAG 调试接口, 还有可电擦写的 Flash 存储器, 因此采用先下载程序到 Flash 内, 再在器件内通过软件控制程序的运行, 由 JTAG 接口读取片内信息供设计者调试使用的方法进行开发。这种方式只需要一台 PC 机和一个 JTAG 调试器。该 JTAG 调试器集仿真和编程功能于一体。

为了更好地适应工业级运行环境, MSP430 单片机的工作温度均为 -40~+85 $^{\circ}\text{C}$, 所设

计的产品可以在工业环境下稳定运行。

1.2 MSP430 单片机的主要应用

(1) 工业控制

单片机的结构特点决定了它特别适用于各种控制系统。它既可作为单级控制器,又可作为多级控制的前沿处理机用于控制系统,应用领域相当广泛。例如:可应用于各种机床控制、电机控制、工业机器人、各种生产线、各种过程控制及各种检测系统等;在军事工业中,可应用于如导弹控制、鱼雷制导控制、智能武器装置、航天导航系统等;在汽车工业中,可应用于如点火控制、变速器控制、防滑刹车、排气控制等。

(2) 智能化仪器仪表

单片机用于包括温度、湿度、流量、流速、电压、频率、功率、厚度、角度、长度、硬度、元素等测定的各类仪器仪表中,使它们实现数字化、智能化、微型化,功能大大提高。

(3) 日常生活中的电器产品

单片机可用于电子秤、录像机、录音机、彩电、洗衣机、高级电子玩具、冰箱、照相机、家用多功能报警器等。

(4) 计算机网络与通信

单片机可用 BIT BUS、CAN、以太网等构成分布式网络系统,还可用于调制解调器、各种智能通信设备(如小型背负式通信机、列车无线通信等)、无线遥控系统等。

(5) 计算机外部设备

单片机可用于温氏硬盘驱动器、微型打印机、图形终端、CRT 显示器等。

1.3 MSP430 单片机的发展

MSP430 系列是具有精简指令集的、超低功耗的 16 位混合型单片机,于 1996 年问世。由于它具有极低的功耗、丰富的片内外设和方便灵活的开发手段,已成为众多单片机系列中一颗耀眼的新星。回顾 MSP430 系列单片机的发展过程,可以看出有以下三个阶段。

(1) 开始阶段

从 1996 年推出 MSP430 系列开始到 2000 年初。这个阶段首先推出 33X、32X 和 31X 等几个系列,而后于 2000 年初又推出了 11X 和 11X1 系列。

MSP430 的 33X、32X、31X 等系列具有 LCD 驱动模块,对提高系统的集成度较有利。每一系列有 ROM 型(C)、OTP 型(P)和 EPROM 型(E)等芯片。EPROM 型的价格昂贵,

运行环境温度范围窄,主要用于样机开发。这也表明了这几个系列的开发模式,即用户可以用 EPROM 型开发样机,用 OTP 型进行小批量生产,而用 ROM 型进行大批量生产。

2000 年推出了 11X 和 11X1 系列。这个系列采用 20 脚封装,内存容量小,片上功能和 I/O 引脚数比较少,但是价格较低。

这个时期的 MSP430 已经显露出了超低功耗等一系列技术特点,但也有不尽如人意之处。它的许多重要特性(如片内串行通信接口、硬件乘法器、足够的 I/O 引脚等)只有 33X 系列才具备。33X 系列价格较高,比较适合于较为复杂的应用系统。当用户设计需要更多考虑成本时,33X 并不一定是最合适的。而片内高精度 A/D 转换器又只有 32X 系列才具备。

(2) 寻找突破,引入 Flash 技术

随着 Flash 技术的迅速发展,TI 公司也将这一技术引入到 MSP430 系列中,并于 2000 年 7 月推出 F13X 和 F14X 系列,在 2001 年 7 月到 2002 年间又相继推出 F41X、F43X 和 F44X 系列。这些全部是 Flash 型单片机。

F41X 单片机是目前应用较广的单片机,它有 48 个 I/O 口和 96 段 LCD 驱动。F43X、F44X 系列是在 13X、14X 系列的基础上,增加了液晶驱动器,将驱动 LCD 的段数由 3XX 系列的最多 120 段增加到 160 段,并相应地调整了显示存储器在存储器内的地址,为以后的发展拓展了空间。

MSP430 系列由于具有 Flash 存储器,在系统设计、开发调试及实际应用上都表现出了较明显的优势。这时,TI 公司推出具有 Flash 型存储器及 JTAG 边界扫描技术的廉价开发工具 MSP-FET430X110,将国际上先进的 JTAG 技术和 Flash 在线编程技术引入 MSP430。

这种 Flash 技术与 FET 开发工具组合的开发方式,具有方便、廉价、实用等优点,给用户提供了一个较为理想的样机开发方式。

另外,2001 年 TI 公司又公布了 BOOTSTRAP 技术,利用它可在烧断熔丝以后只要几根线就可更改并运行内部程序。这为系统软件的升级提供了又一方便的手段。BOOTSTRAP 具有很高的保密性,口令可达到 32 字节的长度。

(3) 蓬勃发展阶段

在前一阶段引进新技术和进行内部调整,为 MSP430 的功能扩展打下了良好的基础。于是,TI 公司在 2002 年底和 2003 年期间又陆续推出了 F15X 和 F16X 系列产品。

在这一新的系列中,有了两个方面的发展。一是从存储器来说,将 RAM 容量大大增加,如 F1611 的 RAM 容量增加到了 10 KB。这样一来,当想要将实时操作系统(RTOS)引入 MSP430 时,就不会因 RAM 容量不够而发愁了。二是从外围模块来说,增加了 I²C、DMA、DAC12 和 SVS 等模块。

2003 年,TI 公司还推出了专门用于电量计量的 MSP430FE42X 和用于水表、气表、热表上的具有无磁传感模块的 MSP430FW42X 单片机。

近年,TI 公司又推出了 MSP430F2XX 系列单片机,其主要特色在于具有更加超低的功耗

(2.2 V 的编程电压)和更高速度的处理能力(16 MHz),引脚数和体积大大减小,又新增了 DIP 封装,这使它成为小型和手持设备等的系统设计的最佳选择。

1.4 MSP430 单片机介绍

1.4.1 主要功能部件

MSP430 系列单片机包含以下主要功能部件。

(1) CPU

MSP430 系列单片机的 CPU 和通用微处理器基本相同,只是在设计上采用了面向控制的结构和指令系统。MSP430 的内核 CPU 结构是按照精简指令集和高透明的宗旨而设计的,使用的指令有硬件执行的内核指令和基于现有硬件结构的仿真指令。这样可以提高指令执行速度和效率,增强了 MSP430 的实时处理能力。

(2) 存储器

存储程序、数据以及外围模块的运行控制信息,有程序存储器和数据存储器。对程序存储器访问总是以字节形式取得代码,而对数据可以用字(16 位)或字节方式访问。其中,MSP430 各系列单片机的程序存储器有 ROM、OTP、EPROM 和 Flash 型。

(3) 外围模块

经过 MAB(存储器地址总线)、MDB(存储器数据总线)、中断服务及请求线与 CPU 相连。MSP430 不同系列产品所包含外围模块的种类及数目可能不同。它们分别是以下一些外围模块的组合:时钟模块、看门狗、定时器 A、定时器 B、比较器 A、通用同步/异步串口 0/1、硬件乘法器、液晶驱动器、模/数转换、数/模转换、端口、基本定时器及 DMA 控制器等。

1.4.2 MSP430 各系列单片机简介

(1) MSP430F1XX

MSP430F1XX 系列单片机具有丰富的功能,既能作为带有比较器的简便低功耗控制器,又能作为完整的片上系统使用,其中包括多个高性能数据转换器、接口和乘法器。

下面就是 MSP430F1XX 系列芯片所有的硬件资源:

- 基本时钟系统(片内 DCO、8 MHz 或 32 kHz 可选);
- Timer_A3(带 3 个比较/捕获寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器);
- Timer_B7(带 7 个比较/捕获寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器);
- 比较器_A(精确的模拟比较器,常用于斜边(Slope)A/D 转换);

- 看门狗定时器/通用定时器;
- 6 个 I/O 端口,其中 1、2 端口有中断功能,每个端口 8 个引脚;
- USART0、USART1 和 SPI;
- I²C、DMA;
- 12 位 A/D 转换器;
- DAC12 转换;
- 1~60 KB 的 Flash 存储容量。

(2) MSP430F2XX

新型的超低功耗 MSP430F2XX 系列将性能提高至 16 MHz。

MSP430F2XX 还在其他方面有了显著的增强,其中包括集成了误差为±1%的内置振荡器,软件可设定内部上拉/下拉电阻,以及增加了模拟输入数量等,从而进一步降低了外部元件的需要。

可在线编程的闪存也有所改进。其采用更小的 64 字节区段,并且有更低的 2.2 V 编程电压,从而省去了大部分系统的外部 EEPROM。

下面就是 MSP430F2XX 系列芯片所有的硬件资源:

- 基本时钟系统(片内 DCO、16 MHz 或 32 kHz 可选);
- Timer_A3(带 3 个比较/捕获寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器);
- 在线比较器/斜边 A/D 转换;
- 看门狗定时器/通用定时器;
- 4 个 I/O 端口,其中 1、2 端口有中断功能;
- USI、USCI;
- 16 位 A/D 转换器;
- 1~32 KB 的 Flash 存储容量;
- 程序代码保护;
- 2 个配置放大器。

(3) MSP430F4XX

超低功耗 MSP430F4XX 系列带有集成 LCD 控制器,非常适用于低功耗测量与医疗应用。具有满足特定功能的外设,比如能够针对流量和电量测量提供单芯片解决方案。这些集成外设有助于减少芯片个数,并且降低系统成本与功耗。

下面就是 MSP430F1XX 系列芯片所有的硬件资源:

- 基本时钟系统(片内 DCO、8 MHz 或 32 kHz 可选);
- Timer_A3(带 3 个比较/捕获寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器);
- Timer_B7(带 7 个比较/捕获寄存器和 PWM 输出的 16 位定时器);
- 比较器_A(精确的模拟比较器,常用于斜边(Slope)A/D 转换);