

TI MSP430中国大学计划教材

大学生嵌入式学习实践

——基于MSP430系列

利尔达嵌入式研发中心

梁源 贾灵 郝强 编著



北京航空航天大学出版社



TP368.1/576D

2010

TI MSP430 中国大学计划教材

大学生嵌入式学习实践 ——基于 MSP430 系列

利尔达嵌入式研发中心

梁源 贾灵 郝强 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书通过典型应用实例,通俗易懂地介绍了 430F5 实验平台各模块的原理、应用及技巧。全书共分为 22 章,第 1 章主要讲述了 MSP430F5 系列的特性、基础知识及实验平台介绍。第 2 章主要讲述了 MSP430 的 C 语言特性及开发软件 IAR 的使用。第 3 章以后将用较大的篇幅介绍各实验板的原理、特性并给出了具体的实验例程。

本书配套光盘中含有各实验的全部参考例程等内容。

本书适合计算机、自动化、电子技术等专业的学生学习使用,同时也可供从事单片机开发的科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学生嵌入式学习实践:基于 MSP430 系列/梁源,贾灵,郝强编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2010.4

ISBN 978-7-5124-0035-1

I. ①大… II. ①梁… ②贾… ③郝… III. ①单片机微型计算机—系统设计—高等学校—教学参考资料 IV. ① TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 039651 号

大学生嵌入式学习实践——基于 MSP430 系列

利尔达嵌入式研发中心

梁 源 贾 灵 郝 强 编著

责任编辑 李 青 李冠咏 李徐心

*

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(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

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

北京市媛明印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:18.5 字数:414 千字

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0035-1 定价:38.00 元(含光盘 1 张)

序 言

MSP430 是美国德州仪器公司推出的 16 位超低功耗、高性能嵌入式微控制器,它具有处理能力强、运行速度快、资源丰富、开发方便等优点,有很高的性价比,在世界各国已经得到广泛的应用,在国内也已经进入飞速发展的阶段。

自 1999 年以来,利尔达科技有限公司和美国德州仪器公司合作开展 MSP430 在中国的推广和销售。经过大家的努力,今天,MSP430 的独特性能和技术优点已经得到了嵌入式产品设计单位、电子工程技术人员和广大嵌入式微控制器技术爱好者的认可,并广泛地应用到各个行业、产品中。为了能够让更多的爱好者学习使用 MSP430,同时配合 MSP430 大学计划在国内的推广,利尔达科技有限公司的嵌入式研发中心开发了大学生嵌入式学习套件,本书是配合大学生学习套件(MSP430 系列)的实验指导部分。

本书一方面介绍 MSP430 嵌入式微控制器的基础,一方面讲解 MSP430 的应用。例如,I²C 存储器接口,SPI 存储器接口,UART 的应用(RS232、RS485、RS422),LED 显示,点阵 LED 显示,点阵 LCD 显示,彩色 LCD 显示,电容式触摸按键,步进、直流有刷电机驱动,热释电传感,倾角传感,录放音和 MP3 编解码等。

本实验套件以 MSP430F5438 器件为核心,该器件比以往系列器件具有更大的存储空间、更快的运行速度和更低的运行功耗。可广泛应用于各类计量、手持设备、传感、工业控制和消费电子等领域。

利尔达科技有限公司的嵌入式研发中心与分布在全国的 FAE 团队将为广大读者提供 MSP430 学习、研发过程中的技术帮助与支持,热诚欢迎大家与我们联系。

利尔达科技有限公司

董事长 陈贤兴

2010 年 3 月

前 言

嵌入式控制器,或称为单片机已经渗透到了各个行业,从家用电器、通信产品、汽车、工业控制、医疗电子和计量设备等各个领域中都能看到单片机的身影,嵌入式微控制器技术正在积极地影响着人类的生活。

众所周知,MSP430 是美国德州仪器公司(TI)在 1999 年推出的超低功耗 16 位嵌入式微控制器,特别适合使用电池供电或有低功耗、高性能需求的场合。其内部集成了大量的数字和模拟设备,如定时器、看门狗、ADC12、ADC10、SD16、LCD、比较器、放大器、DAC12、CRC、DMA、MPY、SVS、PMM、USCI 和 RTC 等设备。

在超低功耗方面,MSP430 嵌入式微控制器能够实现在 1.8~3.6 V 电压下工作,根据需要可以选择多种低功耗模式,典型的工作电流为 165 $\mu\text{A}/\text{MHz}$,最低的休眠电流为 0.1 μA ,这种低功耗的表现是其他嵌入式微控制器所不可比拟的。

在存储器方面,MSP430 内部集成了 Flash 及 RAM 存储器,目前最大的 Flash 为 256 KB,最大的 RAM 为 16 KB,另外还有最大为 512 B 的信息存储器。所有存储器支持在线编程及自编程,编程方式有 JTAG、SBW、BSL 及通过代码本身。

运算速度方面,MSP430 嵌入式微控制器为精简指令集结构,最大运行速度为 25 MHz。在 8 MHz 的运行速度下,可以实现 125 ns 的指令周期。数据总线为 16 位宽度,MSP430X 结构的最大寻址能力可达 20 位宽度。

在安全性方面,烧断熔丝的 JTAG 端口为物理切断,外部通过 JTAG、SBW 是无法获取内部数据的。此时用户可以通过 BSL 编程的方式对代码数据进行升级维护,该方式具有极高的保密性,通过 BSL 获取或升级内部代码需要 32 字节的口令,口令即为用户的中断向量表。任何试图用非法的口令访问,将有可能启动内部的 BSL 擦除程序,并将整个芯片内部的存储器擦空。

MSP430 的存储器支持自编程,也就是说,用户可以通过远程升级的方式来更新芯片内部的存储数据,该升级方式不依赖于物理层协议,支持 UART、I²C 和 SPI 等多种方式。这也为需要远程监控、升级维护的用户提供了良好的技术支持。

在开发工具方面,目前 MSP430 的开发工具有并口仿真器(PIF)及 USB 仿真器(UIF),其中 UIF 支持全系列 Flash 类型芯片,支持 JTAG、SBW 两种仿真接口。PIF 只支持 JTAG 仿真调试接口。开发软件有 IAR、AQ430、CCE 及 CCS for Msp430 版本。目前最流行的为 IAR 嵌入式仿真调试软件,其支持单步、全速、监控、硬件断点、软件断点和中文版的编辑器等。编译器支持 S43 汇编及 C 语言源码。

在生产工具方面,MSP430 支持在线编程,编程工具有 GANG430、PRGS430 和 BSL 编程器等。GANG430 支持多芯片同时烧写,最多可同时烧写 8 颗目标芯片。PRGS430 为多功能编程器,支持全系列芯片及各种工作模式,并且可以烧写系列号,也可以离线编程,方便用户生产线使用。BSL 编程器只支持具有 BSL 功能的芯片,不支持离线编程。

在技术支撑方面,MSP430 有强大的技术支持系统:数据手册主要描述器件的相关参数、特性等;用户指南为各个模块的详细原理、操作过程和寄存器配置等;勘误表为器件的使用注意事项;另外,TI 公司还提供大量的应用代码例程,用户几乎可以不用做任何修改就可以开发出适合自己的应用代码,多达 1000 多个应用实例报告,TI 公司的工程师社区、利尔达科技有限公司的网络论坛等都可以帮助用户快速地进行系统开发,缩短产品的上市时间。

为了配合 MSP430 的大学计划,利尔达科技有限公司的嵌入式研发中心开发了大学生学习套件(MSP430 版),本书正是配合这一学习套件而做的实验介绍和讲解,内容涵盖了存储器、通信、显示、按键、电机驱动、语音采样、语音播放和安防等多种实验。用户可以参考这些内容来搭建自己的应用系统,本书也可以作为参加大学生学习竞赛或自学者的参考资料。今后,我们还将发布基于 PICCOLO、CORTEX M3 等方案的学习套件,请留意公司网站。

在学习套件的开发过程中,得到了利尔达嵌入式研发中心广大工程师的支持,正是由于他们辛勤忘我的工作,数日的熬夜加班,才有了今天一点小小的成绩。在此,向他们表示衷心的感谢!

由于时间紧迫及作者的技术能力有限,书中难免会有一些错误,在读者学习和阅读的过程中,如发现错误,请不吝赐教,以方便我们及时修正。需要任何最新的资料,也可以到 www.lierda.com 网站查询。

最后,谢谢大家的支持!

作 者

利尔达科技有限公司

2009 年 12 月于杭州

目 录

第 1 章 MSP430F5xxx 系列简介	1	3.3.8 实验例程	40
1.1 MSP430 系列嵌入式微控制器简介 ...	1	3.4 常见问题分析	40
1.2 MSP430F5438 嵌入式微控制器简介	3	3.5 MSP430F5 实验平台扩展实验	41
1.3 学习套件简介	13	3.6 电路原理图	41
第 2 章 MSP430 软件开发系统	15	第 4 章 I ² C 存储器实验	42
2.1 MSP430 的 C 语言特性	15	4.1 概 述	42
2.1.1 MSP430 的 C 语言扩展	15	4.1.1 功能简介	42
2.1.2 MSP430 的本征函数	19	4.1.2 基本配置	42
2.1.3 MSP430 的段定义	19	4.2 资源介绍	43
2.2 IAR 的介绍及使用	21	4.2.1 布局图	43
2.2.1 IAR 下载及安装	21	4.2.2 布局图说明	43
2.2.2 FET 仿真器的安装及使用 ...	21	4.2.3 硬件资源介绍	44
第 3 章 MSP430F5 实验平台	28	4.2.4 实验板实物图	46
3.1 概 述	28	4.3 实验部分	47
3.1.1 功能简介	28	4.3.1 实验目的	47
3.1.2 基本配置	28	4.3.2 实验要求	47
3.2 资源介绍	29	4.3.3 实验设备	47
3.2.1 布局图	29	4.3.4 实验分析	47
3.2.2 布局图说明	29	4.3.5 实验步骤	48
3.2.3 硬件资源介绍	32	4.3.6 实验结果	49
3.2.4 MSP430F5 实验平台实物图	37	4.3.7 实验思考	49
3.3 实验部分	37	4.3.8 实验例程	49
3.3.1 实验目的	37	4.4 常见问题分析	50
3.3.2 实验要求	37	4.5 电路原理图	50
3.3.3 实验设备	38	第 5 章 SPI 存储器实验	51
3.3.4 实验分析	38	5.1 概 述	51
3.3.5 实验步骤	39	5.1.1 功能简介	51
3.3.6 实验结果	39	5.1.2 基本配置	51
3.3.7 实验思考	39	5.2 资源介绍	52
		5.2.1 布局图	52
		5.2.2 布局图说明	52
		5.2.3 硬件资源介绍	52

5.2.4 实验板实物图	56	7.2.1 布局图	71
5.3 实验部分	56	7.2.2 布局图说明	71
5.3.1 实验目的	56	7.2.3 硬件资源介绍	72
5.3.2 实验要求	57	7.2.4 产品实物图	73
5.3.3 实验设备	57	7.3 实验部分	74
5.3.4 实验分析	57	7.3.1 实验目的	74
5.3.5 实验步骤	58	7.3.2 实验要求	74
5.3.6 实验结果	59	7.3.3 实验设备	74
5.3.7 实验思考	59	7.3.4 实验分析	74
5.3.8 实验例程	59	7.3.5 实验步骤	75
5.4 常见问题分析	60	7.3.6 实验结果	76
5.5 电路原理图	60	7.3.7 实验思考	76
第6章 RS485 接口实验	61	7.3.8 实验例程	77
6.1 概 述	61	7.4 常见问题分析	77
6.1.1 功能简介	61	7.5 实验板原理图	77
6.1.2 基本配置	61	第8章 RS232 接口实验	78
6.2 资源介绍	62	8.1 概 述	78
6.2.1 布局图	62	8.1.1 功能简介	78
6.2.2 布局图说明	62	8.1.2 基本配置	78
6.2.3 硬件资源介绍	63	8.2 资源介绍	79
6.2.4 产品实物图	64	8.2.1 布局图	79
6.3 实验部分	65	8.2.2 布局图说明	79
6.3.1 实验目的	65	8.2.3 硬件资源介绍	80
6.3.2 实验要求	65	8.2.4 产品实物图	83
6.3.3 实验设备	65	8.3 实验部分	84
6.3.4 实验分析	65	8.3.1 实验目的	84
6.3.5 实验步骤	66	8.3.2 实验要求	84
6.3.6 实验结果	67	8.3.3 实验设备	84
6.3.7 实验思考	67	8.3.4 实验分析	84
6.3.8 参考实验例程	68	8.3.5 实验步骤	85
6.4 常见问题分析	69	8.3.6 实验结果	86
6.5 实验板原理图	69	8.3.7 实验思考	86
第7章 RS422 接口实验	70	8.3.8 实验例程	86
7.1 概 述	70	8.4 常见问题分析	87
7.1.1 功能简介	70	8.5 实验板原理图	87
7.1.2 基本配置	70	第9章 LED 段式数码管显示实验	88
7.2 资源介绍	71	9.1 概 述	88

9.1.1 功能简介	88	10.5 实验板原理图	104
9.1.2 基本配置	88	第 11 章 4×4 键盘扫描实验	105
9.2 资源介绍	88	11.1 概 述	105
9.2.1 布局图	88	11.1.1 功能简介	105
9.2.2 布局图说明	89	11.1.2 基本配置	105
9.2.3 硬件资源介绍	89	11.2 资源介绍	105
9.2.4 产品实物图	92	11.2.1 布局图	105
9.3 实验部分	92	11.2.2 布局图说明	106
9.3.1 实验目的	92	11.2.3 硬件资源介绍	106
9.3.2 实验要求	93	11.2.4 产品实物图	108
9.3.3 实验设备	93	11.3 实验部分	108
9.3.4 实验分析	93	11.3.1 实验目的	108
9.3.5 实验步骤	94	11.3.2 实验要求	109
9.3.6 实验结果	94	11.3.3 实验设备	109
9.3.7 实验思考	94	11.3.4 实验分析	109
9.3.8 实验例程	94	11.3.5 实验步骤	109
9.4 常见问题分析	94	11.3.6 实验结果	109
9.5 实验板原理图	95	11.3.7 实验思考	110
第 10 章 16×16 点阵 LED 实验	96	11.3.8 实验例程	110
10.1 概 述	96	11.4 常见问题分析	111
10.1.1 功能简介	96	11.5 实验板原理图	111
10.1.2 基本配置	96	第 12 章 8 个独立键盘实验	112
10.2 资源介绍	96	12.1 概 述	112
10.2.1 布局图	96	12.1.1 功能简介	112
10.2.2 布局图说明	97	12.1.2 基本配置	112
10.2.3 硬件资源介绍	98	12.2 资源介绍	112
10.2.4 产品实物图	99	12.2.1 布局图	112
10.3 实验部分	101	12.2.2 布局图说明	113
10.3.1 实验目的	101	12.2.3 硬件资源介绍	113
10.3.2 实验要求	101	12.2.4 产品实物图	115
10.3.3 实验设备	101	12.3 实验部分	115
10.3.4 实验分析	101	12.3.1 实验目的	115
10.3.5 实验步骤	102	12.3.2 实验要求	116
10.3.6 实验结果	102	12.3.3 实验设备	116
10.3.7 实验思考	102	12.3.4 实验分析	116
10.3.8 实验例程	103	12.3.5 实验步骤	116
10.4 常见问题分析	104	12.3.6 实验结果	117

12.3.7 实验思考	117	14.3.4 实验分析	130
12.3.8 实验例程	117	14.3.5 实验步骤	132
12.4 常见问题分析	118	14.3.6 实验结果	132
12.5 实验板原理图	118	14.3.7 实验思考	133
第13章 独立触摸按键实验	119	14.3.8 实验例程	133
13.1 概 述	119	14.4 常见问题分析	135
13.1.1 功能简介	119	14.5 实验板原理图	136
13.1.2 基本配置	119	第15章 点阵 240×160 液晶实验	137
13.2 资源介绍	120	15.1 概 述	137
13.2.1 布局图	120	15.1.1 功能简介	137
13.2.2 布局图说明	120	15.1.2 基本配置	137
13.2.3 硬件资源介绍	120	15.2 资源介绍	138
13.2.4 产品实物图	121	15.2.1 布局图	138
13.3 实验部分	122	15.2.2 布局图说明	138
13.3.1 实验目的	122	15.2.3 硬件资源介绍	139
13.3.2 实验要求	122	15.2.4 实验板实物图	149
13.3.3 实验设备	122	15.3 实验部分	150
13.3.4 实验分析	123	15.3.1 实验目的	150
13.3.5 实验步骤	124	15.3.2 实验要求	150
13.3.6 实验结果	125	15.3.3 实验设备	151
13.3.7 实验思考	125	15.3.4 实验分析	151
13.3.8 实验例程	125	15.3.5 实验步骤	152
13.4 常见问题分析	126	15.3.6 实验结果	152
13.5 实验板原理图	126	15.3.7 实验思考	152
第14章 矩阵触摸按键实验	127	15.3.8 实验例程	153
14.1 概 述	127	15.4 常见问题分析	155
14.1.1 功能简介	127	15.5 实验板原理图	155
14.1.2 基本配置	127	第16章 彩色 320×240 液晶实验	156
14.2 资源介绍	127	16.1 概 述	156
14.2.1 布局图	127	16.1.1 功能简介	156
14.2.2 布局图说明	128	16.1.2 基本配置	156
14.2.3 硬件资源介绍	128	16.2 资源介绍	157
14.2.4 产品实物图	129	16.2.1 布局图	157
14.3 实验部分	130	16.2.2 布局图说明	157
14.3.1 实验目的	130	16.2.3 硬件资源介绍	157
14.3.2 实验要求	130	16.2.4 产品实物图	162
14.3.3 实验设备	130	16.3 实验部分	163

目 录

16.3.1 实验目的	163	18.2.2 布局图说明	186
16.3.2 实验要求	163	18.2.3 硬件资源介绍	186
16.3.3 实验设备	163	18.2.4 产品实物图	190
16.3.4 实验分析	164	18.3 实验部分	191
16.3.5 实验步骤	165	18.3.1 实验一	191
16.3.6 实验结果	165	18.3.2 实验二	194
16.3.7 实验思考	165	18.4 常见问题分析	197
16.3.8 实验例程	165	18.5 实验板原理图	197
16.4 常见问题分析	167	第 19 章 步进电机驱动实验	198
16.5 实验板原理图	167	19.1 概 述	198
第 17 章 热释电运动检测实验	168	19.1.1 功能简介	198
17.1 概 述	168	19.1.2 基本配置	198
17.1.1 功能简介	168	19.2 资源介绍	199
17.1.2 基本配置	168	19.2.1 布局图	199
17.2 资源介绍	169	19.2.2 布局图说明	199
17.2.1 布局图	169	19.2.3 硬件资源介绍	200
17.2.2 布局图说明	169	19.2.4 产品实物图	204
17.2.3 硬件资源介绍	170	19.3 实验部分	204
17.2.4 产品实物图	177	19.3.1 实验目的	204
17.3 实验部分	178	19.3.2 实验要求	204
17.3.1 实验目的	178	19.3.3 实验设备	205
17.3.2 实验要求	179	19.3.4 实验分析	205
17.3.3 实验设备	179	19.3.5 实验步骤	207
17.3.4 实验分析	179	19.3.6 实验结果	208
17.3.5 实验连接	180	19.3.7 实验思考	208
17.3.6 实验步骤	181	19.3.8 实验例程	208
17.3.7 实验结果	181	19.4 常见问题分析	208
17.3.8 实验思考	181	19.5 实验板原理图	209
17.3.9 实验例程	181	第 20 章 直流有刷电机驱动实验	210
17.4 常见问题分析	183	20.1 概 述	210
17.5 实验板原理图	183	20.1.1 功能简介	210
第 18 章 加速度传感器实验	184	20.1.2 基本配置	210
18.1 概 述	184	20.2 资源介绍	210
18.1.1 功能简介	184	20.2.1 布局图	210
18.1.2 基本配置	184	20.2.2 布局图说明	211
18.2 资源介绍	185	20.2.3 硬件资源介绍	211
18.2.1 布局图	185	20.2.4 产品实物图	214

目 录

20.3 实验部分	214	22.2.2 布局图说明	239
20.3.1 实验目的	214	22.2.3 硬件资源介绍	240
20.3.2 实验要求	214	22.2.4 产品实物图	243
20.3.3 实验设备	215	22.3 实验内容	244
20.3.4 实验分析	215	22.3.1 实验目的	244
20.3.5 实验步骤	217	22.3.2 实验要求	244
20.3.6 实验结果	217	22.3.3 实验分析	244
20.3.7 实验思考	217	22.3.4 实验设备	250
20.3.8 实验例程	217	22.3.5 实验步骤	251
20.4 常见问题分析	218	22.3.6 实验结果	251
20.5 实验板原理图	219	22.3.7 实验思考	252
第 21 章 MP3 音频解码实验	220	22.3.8 参考实验例程	252
21.1 概 述	220	22.4 常见问题分析	254
21.1.1 功能简介	220	22.5 实验板原理图	255
21.1.2 基本配置	221	附录 A MSP430F5 实验平台原理图	256
21.2 资源介绍	222	附录 B I ² C 存储器实验板原理图	260
21.2.1 布局图	222	附录 C SPI 存储器实验原理图	261
21.2.2 布局图说明	222	附录 D RS485 接口实验板原理图	262
21.2.3 硬件资源介绍	224	附录 E RS422 接口实验板原理图	263
21.2.4 产品实物图	231	附录 F RS232 接口实验板原理图	264
21.3 实验内容	232	附录 G LED 段式数码管显示实验板原理图	265
21.3.1 实验目的	232	附录 H 16×16 点阵 LED 实验板原理图	266
21.3.2 实验要求	232	附录 I 4×4 键盘扫描实验板原理图	268
21.3.3 实验分析	232	附录 J 8 个独立键盘实验板原理图	269
21.3.4 实验设备	234	附录 K 独立触摸按键实验板原理图	270
21.3.5 实验步骤	234	附录 L 矩阵触摸按键实验板原理图	271
21.3.6 实验结果	234	附录 M 点阵 240×160 液晶实验板原理图	272
21.3.7 实验思考	235	附录 N 彩色 320×240 液晶实验板原理图	273
21.3.8 参考实验例程	235	附录 O 热释电运动检测实验板原理图	274
21.4 常见问题分析	236	附录 P 加速度传感器实验板原理图	275
21.5 实验板原理图	237	附录 Q 步进电机驱动实验板原理图	276
第 22 章 录放音实验	238	附录 R 直流有刷电机驱动实验板原理图	277
22.1 概 述	238	附录 S MP3 音频解码实验板原理图	278
22.1.1 功能简介	238	附录 T 录放音实验板原理图	280
22.1.2 基本配置	238	参 考 文 献	281
22.2 资源介绍	239		
22.2.1 布局图	239		

第 1 章

MSP430F5xxx 系列简介

1.1 MSP430 系列嵌入式微控制器简介

MSP430 是 TI 公司推出的超低功耗混合信号微控制器,其家族包括 F1xxx、F2xxx、F4xxx、F5xxx 系列,该系列微控制器设计为由电池供电。它具有 16 位的 RISC 结构,其正交结构突破了累加器的瓶颈,内部有 16 个通用寄存器和常数发生器可以达到最佳的代码效率。灵活的时钟源可以设置不同的工作模式以适应不同的低功耗状态,内置数字控制振荡器(DCO)可以在中断唤醒时快速唤醒 CPU 达到活动模式。

1. 强大的处理能力

MSP430 为 16 位的 RISC 结构,具有 7 种寻址方式,27 条核心指令及大量的仿真指令,寄存器及内部数据存储器都可以直接参与运算,提高了系统效率;有较高的处理速度,在 8 MHz 驱动下,指令周期为 125 ns。

同时,MSP430 系列的某些型号中集成了 16 位的硬件乘法器,可以实现多种乘法运算;DMA 处理器;DTC 数据传输控制器;硬件 CRC16 等,极大地提高了系统的数据处理能力和运算能力,可以有效地实现一些数字信号的处理。

2. 超低功耗

MSP430 系列嵌入式微控制器的电源电压采用 1.8~3.6 V 低电压,RAM 数据保持方式下仅需要 0.1 μ A,活动模式下为 250 μ A/MIPS,I/O 口的漏电流小于 50 nA。

3. 灵活的时钟系统

MSP430 系列嵌入式微控制器有非常独特灵活的时钟系统,包括外部低频振荡电路(XT)、外部高频振荡电路(XT2)和内部数控振荡器(DCO)。新的 F5 系列中还有内部低频振荡器(VLO)和内部参考时钟(REFO)等。由这些时钟可以产生 ACLK、MCLK、SMCLK 及供给模块使用的各种时钟。这些时钟可以通过打开或关闭配置成不同的工作模式,从而实现对不同功耗的需求。

第1章 MSP430F5xxx 系列简介

MSP430 系列嵌入式微控制器采用矢量中断,支持多个中断源(详见相关数据手册),并且可以任意嵌套。用中断唤醒时间小于 $6\ \mu\text{s}$,通过合理的系统设计和编程,可以进一步降低功耗,并可以对外部事件及时响应。

4. 系统稳定性

当系统开始运行时,首先由内部 DCO 来提供时钟系统,用以保证程序能够从正确的位置开始执行,并且留给外部晶体足够的启动振荡稳定时间。这时用户可以根据需要配置自己的时钟系统,如果在系统执行过程中,外部晶振发生故障,系统自动将时钟系统切换到内部 DCO,保证了系统的正常运行。

MSP430 系列嵌入式微控制器均为工业级器件,其工作温度范围为 $-40\sim+85\ ^\circ\text{C}$,运行稳定、可靠性高,所设计的产品可以应用于多种民用及工业领域。

5. 丰富的高性能外设

TI 公司将其在模拟领域内的技术应用于该系列产品中,各成员都集成了丰富的片内外设。如:看门狗(WDT)、模拟比较器、定时器(TA 和 TB)、通信模块(USCI)、硬件乘法器、CRC、DMA、液晶驱动器(LCD)、ADC、DAC、I/O 驱动和基本定时器(BT)等。

片内的 WDT 模块可以在程序失控时快速地将 CPU 复位;比较器可以进行模拟电压的比较,配合定时器可以设计 A/D 转换器;定时器具有定时/捕获功能,可用于事件计数、时序发生器和 PWM 输出等;通信模块可以配置成 I²C、SPI、UART 和 IrDA 等多种工作方式,方便与其他系统通信;高达 200 kbps 的 ADC 转换速率能够满足绝大多数的系统应用;LCD 驱动模块最大可驱动 160 段 LCD;I/O 口最大可输入或输出 6 mA 的电流;P1/P2 口具有可编程的中断能力。采用系统的内置模块可以为用户应用系统提供多种解决方案。

6. 方便高效的开发环境

绝大多数的 MSP430 嵌入式微控制器均设计为 Flash 型,支持多种调试编程方式,该系列所有的微控制器内均设计有 JTAG 编程调试接口,可以很方便地在系统编程和调试。其 Flash 存储器可以做到自升级或系统内嵌自毁程序,当系统被非法破坏时,可以启动其内部的自毁代码将数据全部擦除,保护了用户的知识产权。

目前 MSP430 的开发软件有 AQ430、IAR、CCE 和 CCS for MSP,其中最著名的是 IAR,最新版本是 4.21。其试用版汇编免费,C 语言为 4K 代码限制版可以到 IAR 公司网站(www.iar.com)或 TI 公司网站(www.ti.com)下载使用。以上开发软件均支持汇编和 C 编程。FET 开发工具有 LSD-FET430UIF(USB 接口)、LSD-FET430PIF(并口),相关资料可以访问利尔达公司网站(www.lierda.com)。

BSL 是芯片内固化的一段引导代码,当 JTAG 安全熔丝位烧断时,可以使用 BSL 功能对目标板芯片进行编程。该编程方式是需要通过软件密码进行访问的,具有很高的保密性能,口令字多达 32 字节长度。

1.2 MSP430F5438 嵌入式微控制器简介

MSP430F5438 是 TI 公司新推出的一款具有 256 KB 存储容量的嵌入式微控制器,它继承了以往 MSP430 系列的超低功耗的特点,并在以前系列嵌入式微控制器上集成了更加丰富的外设。

1. 特点

① 低供电电压 2.2~3.6 V(MSP430F543X, MSP430F541X), 1.8~3.6 V(MSP430F543XA, MSP430F541XA)。

② 低功耗:

- 活动模式 165 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ (在 8 MHz 情况下);
- LPM3(RTC 模式) 2.6 μA ;
- LPM4(RAM 保持模式) 1.6 μA ;
- LPM5 0.1 μA 。

③ 从低功耗模式唤醒少于 5 μs 。

④ 16 位精简指令集结构:

- 具有扩展存储器;
- 最大 18 MHz 系统时钟(后缀无 A);最大 25 MHz 系统时钟(后缀带 A)。

⑤ 灵活的电源管理系统(PMM):

- 内部 LDO 产生 V_{core} 供电电压,供低电压模块使用;
- 提供电压监控(supervision)、监测(monitring)以及掉电(brownout)监控。

⑥ 一体化时钟系统:

- 采用锁频环控制使系统频率更稳定;
- 低功耗/低频率内部时钟源 VLO;
- 低频率内部时钟源 REFO;
- 32 kHz 低频晶振;
- 高频晶振可以达到 32 MHz。

⑦ 16 位定时器 Timer0_A5 有 5 个捕获/比较寄存器。

⑧ 16 位定时器 Timer1_A3 有 3 个捕获/比较寄存器。

⑨ 16 位定时器 Timer_B7 有 7 个捕获/比较寄存器。

⑩ 4 个通用串行通信接口:

- 内部 UART,支持自动波特率检测;
- IrDA 编码和解码;

第1章 MSP430F5xxx 系列简介

- SPI 通信;
- I²C 通信。
- ⑪ 12 位模/数转换:
- 内部参考电压;
- 采样保持电路;
- 12 个外部通道,4 个内部通道。
- ⑫ 硬件乘法器支持 32 位操作数。
- ⑬ 支持 3 个通道 DMA。
- ⑭ 具有支持实时时钟的基本定时器。

2. F5XX 系列产品

① MSP430F5438, MSP430F5438A:

- 256 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 4 个通用串行通信接口。

② MSP430F5437, MSP430F5437A:

- 256 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 2 个通用串行通信接口。

③ MSP430F5436, MSP430F5436A:

- 192 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 4 个通用通信接口。

④ MSP430F5435, MSP430F5435A:

- 192 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 2 个通用通信接口。

⑤ MSP430F5419, MSP430F5419A:

- 128 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 4 个通用串行通信接口。

⑥ MSP430F5418, MSP430F5418A:

- 128 KB+512 B Flash;
- 16 KB RAM;
- 2 个通用串行通信接口。

3. 描 述

TI 公司的 MSP430 系列超低功耗微控制器由一些具有特色的外围模块组成。在便携式测量应用中,拥有 5 个低功耗模式的体系结构极大地延长了电池使用寿命。该嵌入式微控制器在 16 位精简指令集、16 位寄存器和常量发生器的共同作用下使代码执行效率达到最高。DCO 振荡器从低功耗模式唤醒到活动模式不到 $5\ \mu\text{s}$ 的时间。MSP430F543X(A), MSP430F541X(A) 系列嵌入式微控制器是由 3 个 16 位定时器、1 个高速 12 位模/数转换器、最多可达 4 个通用串行通信接口、硬件乘法器、DMA、带有闹钟功能的 RTC 模块和最多具有 87 个 I/O 口组成。

该芯片可以应用于模拟和数字传感器系统、数字电机控制、遥控控制、温度调节装置、数字计时器和手持式仪表等。

对于芯片的其他参数资料,请到 TI 公司网站下载。

4. MSP430 系列引脚定义图、功能框图和引脚定义说明

MSP430F5438(A)IPZ MSP430F5436(A)IPZMSP430F5419(A)IPZ 引脚定义如图 1-1 所示。

MSP430F5437(A)IPN MSP430F5435(A)IPN MSP430F5418(A)IPN 引脚定义如图 1-2 所示。

MSP430F5438(A)IPZ MSP430F5436(A)IPZ MSP430F5419(A)IPZ 功能框图如图 1-3 所示。

MSP430F5437(A)IPN MSP430F5435(A)IPN MSP430F5418(A)IPN 功能框图如图 1-4 所示。

引脚定义说明见表 1-1。

表 1-1 引脚定义说明

引脚端子			I/O	描 述
名 称	标 号			
	PZ	PN		
P6.4/A4	1	1	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A4
P6.5/A5	2	2	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A5
P6.6/A6	3	3	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A6
P6.7/A7	4	4	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A7
P7.4/A12	5	5	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A12
P7.5/A13	6	6	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A13
P7.6/A14	7	7	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A14
P7.7/A15	8	8	I/O	通用 I/O/ADC 模拟输入通道 A15