



MSP430 系列

FLASH 型超低功耗 16 位单片机



TEXAS INSTRUMENTS
S INSTRUMENTS TEXA
TEXAS INSTRUMENTS
EXAS INSTRUMENTS TEXAS

胡大可 编著

北京航空航天大学出版社

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

189

TP368.1
145161

MSP430 系列

FLASH 型超低功耗 16 位单片机

胡大可 编著



A0962146

北京航空航天大学出版社

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

内 容 简 介

MSP430 系列单片机在超低功耗和功能集成等方面有明显的特点。该系列单片机自问世以来,颇受用户关注。在 2000 年该系列单片机又出现了几个 FLASH 型的成员,它们除了仍然具备适合应用在自动信号采集系统、电池供电便携式装置、超长时间连续工作的设备等领域的特点外,更具有开发方便、可以现场编程等优点。这些技术特点正是应用工程师特别感兴趣的。本书对该系列单片机的 FLASH 型成员的原理、结构、内部各功能模块及开发方法与工具作详细介绍。

图书在版编目(CIP)数据

MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机/胡大可编著.
北京:北京航空航天大学出版社,2001.11
ISBN 7-81077-096-9

I. M… II. 胡… III. 单片微型计算机, MSP430 系
列 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 051901 号

MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机

胡大可 编著

责任编辑 刘晓明

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:pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印制 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:512 千字

2001 年 11 月第 1 版 2002 年 3 月第 2 次印刷 印数:5 001~10 000 册

ISBN 7-81077-096-9/TP·051 定价:30.00 元

序 言

1999年,温州利尔达电子器材公司开始和美国德州仪器公司合作开展MSP430单片机在国内的推广和销售。经过我们的努力,今天MSP430的独特性能和技术优点已经被国内单片机产品设计开发单位、电子工程技术人员和广大的嵌入式系统爱好者所接受,并在各个领域得到了广泛的应用。

目前国内使用较多的仍然是4位和8位单片机,而美国德州仪器公司推出的16位单片机MSP430系列具有更卓越的品质。它具有处理能力强、运行速度快、功耗低等优点,因此性能价格比高。它在欧洲已得到了非常广泛的应用。

MSP430系列包容了许多先进的技术:

1. JTAG技术:MSP430单片机内部预设了JTAG模块,它使得每一个单片机芯片都具有完整的在线调试功能,而不必使用复杂的仿真调试工具。

2. FLASH在线编程技术:现在流行的FLASH单片机中,很少能够实现在线程序编程功能,大部分需要外部编程器进行烧写。而MSP430系列的FLASH型单片机除了可以采用外部编程器进行烧写外,用户可以利用自己的程序修改FLASH内容,且不需要外加编程电压。这给系统设计带来以下可能:可以利用片内FLASH保存一些运行数据,实现掉电保护;可以利用片内的FLASH方便地实现软件升级,可以修改整个程序,也可以只修改局部程序,以达到系统升级的目的。

3. BOOTSTRAP技术:MSP430系统的FLASH型芯片具有片内的BOOT ROOM,可以实现程序代码的下载和上载。利用它,只需几根线就可以修改内部的程序,运行内部的程序,这为系统软件的升级提供了又一种方便的手段。BOOTSTRAP具有很高的保密性,口令字达到32个字节的长度。

4. MSP430系列的FLASH型芯片集中了许多设计人员十分关注的技术,如:

- 充分运用各种超低耗设计手段,使芯片的电流极小,在LPM4时可达 $0.1\mu\text{A}$;
- 超低功耗的数控振荡器技术,可以实现频率调节和无晶振运行;
- 采用精简指令集,只有27条核心指令,指令周期可达125 ns;
- 程序代码空间可达60 KB、数据存储空间可达2 KB,I/O引脚可达48线;
- 片内集成12位A/D、16位定时器、模拟比较器、串行接口、硬件乘法器等模块;
- 芯片的工作电压范围宽,工作温度范围符合工业级要求。

本书是继《MSP430系列超低功耗16位单片机原理与应用》一书之后的又一本MSP430系列单片机技术参考书。它全面介绍MSP430 F11x、F13x、F14x等系列FLASH型单片机的基本结构以及各功能模块的原理和应用,内容详细,是在嵌入式系统设计开发过程中必不可少的参考资料。

本书的出版发行得到了北京航空航天大学出版社以及马广云博士的大力支持,在此表示感谢。

温州利尔达电子器材公司

2001年9月

温州利尔达电子器材公司

网址: <http://www.lierda.com>



杭州公司

地址: 杭州市教工路2号电子市场291室

电话: 0571-88800000 88886195

传真: 0571-88805970 88053601

邮编: 310012

E-mail: lierda@mail.hz.zj.cn

香港公司

地址: 香港中环皇后大道中286号金祥大厦九楼B室

电话: 00852-25950393

传真: 00852-25588160

E-mail: funart@netvigator.com

北京办事处

地址: 北京市海淀区知春路132号中发电子大厦808室

电话: 010-82622345 62576660

传真: 010-82622627

邮编: 100086

E-mail: lierda@public3.bta.net.cn

上海办事处

地址: 上海市漕溪路251号望族城4号楼1603室

电话: 021-64851586

传真: 021-64830671

邮编: 200233

E-mail: phg@lierda.com

深圳办事处

地址: 深圳华发南路中电大院怡静苑801室

电话: 0755-3651255

传真: 0755-3650657

邮编: 518031

E-mail: ygx@lierda.com

西安分销商

地址: 西安市劳动南路94号电子市场D档13-15号

电话: 029-4230278

传真: 029-4230278

邮编: 710068

E-mail: hlx@lierda.com

前 言

单片机技术,或者称为微控制器技术,已经在人类生活的方方面面都得到应用。它特别适合用在各种专用的、小型的、省电的、可移动的设备之中,构成所谓的嵌入式应用系统。多年来的快速发展,使得它的家族越来越庞大,系列品种越来越多,而且技术上往往各具特色。

MSP430 系列是一个特别强调超低功耗性能的单片机品种。它适合应用在各种要求极低功率消耗的场所,具有一定的技术特点。在这个系列中有多个型号,它们是由一些基本功能模块按不同的应用目标组合而成。北京航空航天大学出版社出版的《MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用》一书已对 MSP430 系列中的 31x、32x、33x 单片机作了详细的介绍。本书集中介绍这一系列中的 FLASH 型单片机,介绍它们的原理、结构、指令、运行模式、功能模块及应用开发方法。本书的内容适合于 MSP430 系列中的各个 FLASH 型单片机。

MSP430 系列的 FLASH 型芯片又可分为几个分支,如:11x、11x1、13x、14x 等,而且仍处在不断发展的过程中。从应用角度看,它们都具有开发设备简便、可现场编程等特点。它们的许多性能指标比此前的 MSP430 其他各个型号有较大的改进,内部集成了功能更为丰富的各种资源,功能上有了明显的增强。

阅读本书的读者应具备数字电路知识,最好有其他单片机品种的学习或开发经历。

本书成书过程中得到研究生季燕飞、潘卫江等人的协助。

由于作者的学识水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者提出批评指正。

作 者

2001 年 5 月

目 录

第 1 章 引 论	1
1.1 MSP430 系列单片机	1
1.2 MSP430F11x 系列	2
1.3 MSP430F11x1 系列	2
1.4 MSP430F13x 系列	2
1.5 MSP430F14x 系列	3
第 2 章 结构概述	5
2.1 引 言	5
2.2 CPU	7
2.3 程序存储器	7
2.4 数据存储器	8
2.5 运行控制	8
2.6 外围模块	8
2.7 振荡器与时钟发生器	8
第 3 章 系统复位、中断及工作模式	9
3.1 系统复位和初始化	9
3.1.1 引 言	9
3.1.2 系统复位后的设备初始化	10
3.2 中断系统结构	11
3.3 MSP430 中断优先级	12
3.3.1 中断操作——复位/NMI	14
3.3.2 中断操作——振荡器失效控制	14
3.4 中断处理	14
3.4.1 SFR 中的中断控制位	15
3.4.2 中断向量地址	18
3.4.3 外部中断	19
3.5 工作模式	19
3.5.1 低功耗模式 0、1(LPM0 和 LPM1)	22
3.5.2 低功耗模式 2、3(LPM2 和 LPM3)	22
3.5.3 低功耗模式 4(LPM4)	22
3.6 低功耗应用的要点	23
第 4 章 存储空间	24
4.1 引 言	24
4.2 存储器中的数据	25

4.3	片内 ROM 组织	25
4.3.1	ROM 表的处理	25
4.3.2	计算分支跳转和子程序调用	25
4.4	RAM 和外围模块组织	26
4.4.1	RAM	26
4.4.2	外围模块——地址定位	27
4.4.3	外围模块——SFR	29
4.5	FLASH 存储器	29
4.5.1	FLASH 存储器的组织	29
4.5.2	FLASH 存储器的数据结构	31
4.5.3	FLASH 存储器的控制寄存器	36
4.5.4	FLASH 存储器的安全键值与中断	38
4.5.5	经 JTAG 接口访问 FLASH 存储器	39
第 5 章	16 位 CPU	46
5.1	CPU 寄存器	46
5.1.1	程序计数器 PC	46
5.1.2	系统堆栈指针 SP	46
5.1.3	状态寄存器 SR	47
5.1.4	常数发生寄存器 CG1 和 CG2	49
5.2	寻址模式	49
5.2.1	寄存器模式	50
5.2.2	变址模式	50
5.2.3	符号模式	51
5.2.4	绝对模式	52
5.2.5	间接模式	53
5.2.6	间接增量模式	54
5.2.7	立即模式	55
5.2.8	指令的时钟周期与长度	55
5.3	指令组概述	57
5.3.1	双操作数指令	57
5.3.2	单操作数指令	58
5.3.3	条件跳转	58
5.3.4	模拟指令的简短格式	59
5.3.5	其他指令	60
第 6 章	硬件乘法器	61
6.1	硬件乘法器	61
6.2	硬件乘法器操作	62
6.2.1	无符号数相乘(16 位×16 位、16 位×8 位、8 位×16 位、8 位×8 位)	63
6.2.2	有符号数相乘(16 位×16 位、16 位×8 位、8 位×16 位、8 位×8 位)	64

6.2.3	无符号数乘加(16 位×16 位、16 位×8 位、8 位×16 位、8 位×8 位)	65
6.2.4	有符号数乘加(16 位×16 位、16 位×8 位、8 位×16 位、8 位×8 位)	66
6.3	硬件乘法器寄存器	67
6.4	硬件乘法器的软件限制	67
6.4.1	寻址模式	68
6.4.2	中断程序	68
6.4.3	MACS	69
第 7 章	基础时钟模块	70
7.1	基础时钟模块	70
7.2	LFXT1 与 XT2	71
7.2.1	LFXT1 振荡器	71
7.2.2	XT2 振荡器	72
7.2.3	振荡器失效检测	73
7.2.4	XT 振荡器失效时的 DCO	74
7.3	DCO 振荡器	75
7.3.1	DCO 振荡器的特性	75
7.3.2	DCO 调整器	76
7.4	时钟与运行模式	78
7.4.1	由 PUC 启动	78
7.4.2	基础时钟调整	78
7.4.3	用于低功耗的基础时钟特性	79
7.4.4	选择晶振产生 MCLK	79
7.4.5	时钟信号的同步	81
7.5	基础时钟模块控制寄存器	81
7.5.1	DCO 时钟频率控制	82
7.5.2	振荡器与时钟控制寄存器	82
7.5.3	SFR 控制位	83
第 8 章	输入输出端口	84
8.1	引 言	84
8.2	端口 P1、P2	84
8.2.1	P1、P2 的控制寄存器	85
8.2.2	P1、P2 的原理	87
8.2.3	P1、P2 的中断控制功能	88
8.3	端口 P3、P4、P5 和 P6	88
8.3.1	端口 P3、P4、P5 和 P6 的控制寄存器	89
8.3.2	端口 P3、P4、P5 和 P6 的端口逻辑	90
第 9 章	看门狗定时器 WDT	91
9.1	看门狗定时器	91
9.2	WDT 寄存器	92

9.3	WDT 中断控制功能	93
9.4	WDT 操作	94
第 10 章	16 位定时器 Timer_A	96
10.1	引 言	96
10.2	Timer_A 的操作	96
10.2.1	定时器模式控制	96
10.2.2	时钟源选择和分频	98
10.2.3	定时器启动	99
10.3	定时器模式	99
10.3.1	停止模式	99
10.3.2	增计数模式	99
10.3.3	连续模式	101
10.3.4	增/减计数模式	102
10.4	捕获/比较模块	104
10.4.1	捕获模式	105
10.4.2	比较模式	108
10.5	输出单元	108
10.5.1	输出模式	108
10.5.2	输出控制模块	109
10.5.3	输出举例	111
10.6	Timer_A 的寄存器	113
10.6.1	Timer_A 控制寄存器 TACTL	114
10.6.2	Timer_A 寄存器 TAR	115
10.6.3	捕获/比较控制寄存器 CCTLx	115
10.6.4	Timer_A 中断向量寄存器	117
10.7	Timer_A 的 UART 应用	120
第 11 章	16 位定时器 Timer_B	123
11.1	引 言	123
11.2	Timer_B 的操作	124
11.2.1	定时器长度	125
11.2.2	定时器模式控制	125
11.2.3	时钟源选择和分频	126
11.2.4	定时器启动	126
11.3	定时器模式	127
11.3.1	停止模式	127
11.3.2	增计数模式	127
11.3.3	连续模式	129
11.3.4	增/减计数模式	130
11.4	捕获/比较模块	132

11.4.1 捕获模式	133
11.4.2 比较模式	136
11.5 输出单元	137
11.5.1 输出模式	137
11.5.2 输出控制模块	138
11.5.3 输出举例	139
11.6 Timer_B 的寄存器	141
11.6.1 Timer_B 控制寄存器 TBCTL	142
11.6.2 Timer_B 寄存器 TBR	143
11.6.3 捕获/比较控制寄存器 CCTLx	144
11.6.4 Timer_B 中断向量寄存器	145
第 12 章 USART 通信模块的 UART 功能	151
12.1 异步模式	152
12.1.1 异步帧格式	152
12.1.2 异步通信的波特率发生器	153
12.1.3 异步通信格式	155
12.1.4 线路空闲多机模式	155
12.1.5 地址位多机通信格式	157
12.2 中断和中断允许	158
12.2.1 USART 接收允许	158
12.2.2 USART 发送允许	159
12.2.3 USART 接收中断操作	159
12.2.4 USART 发送中断操作	160
12.3 控制和状态寄存器	161
12.3.1 USART 控制寄存器 UCTL	161
12.3.2 发送控制寄存器 UTCTL	163
12.3.3 接收控制寄存器 URCTL	163
12.3.4 波特率选择和调整控制寄存器	165
12.3.5 USART 接收数据缓存 URXBUF	165
12.3.6 USART 发送数据缓存 UTXBUF	166
12.4 UART 模式,低功耗模式应用特性	166
12.4.1 由 UART 帧启动接收操作	166
12.4.2 时钟频率的充分利用与 UART 的波特率	168
12.4.3 多处理机模式对节约 MSP430 资源的支持	169
12.5 波特率计算	169
第 13 章 USART 通信模块的 SPI 功能	173
13.1 USART 同步操作	173
13.1.1 SPI 模式中的主模式	176
13.1.2 SPI 模式中的从模式	177

13.2	中断与控制功能	177
13.2.1	USART 接收/发送允许位及接收操作	178
13.2.2	USART 接收/发送允许位及发送操作	179
13.2.3	USART 接收中断操作	180
13.2.4	USART 发送中断操作	181
13.3	控制与状态寄存器	181
13.3.1	USART 控制寄存器	182
13.3.2	发送控制寄存器 UTCTL	183
13.3.3	接收控制寄存器 URCTL	184
13.3.4	波特率选择和调制控制寄存器	185
13.3.5	USART 接收数据缓存 URXBUF	185
13.3.6	USART 发送数据缓存 UTXBUF	185
第 14 章	比较器 Comparator_A	187
14.1	概 述	187
14.2	比较器 A 原理	188
14.2.1	输入模拟开关	188
14.2.2	输入多路切换	188
14.2.3	比较器	188
14.2.4	输出滤波器	188
14.2.5	参考电平发生器	189
14.2.6	比较器 A 中断电路	189
14.3	比较器 A 控制寄存器	190
14.3.1	控制寄存器 CACTL1	190
14.3.2	控制寄存器 CACTL2	191
14.3.3	端口禁止寄存器 CAPD	191
14.4	比较器 A 应用	191
14.4.1	模拟信号在数字端口的输入	192
14.4.2	比较器 A 测量电阻元件	193
14.4.3	两个独立电阻元件的测量系统	195
14.4.4	比较器 A 检测电流或电压	196
14.4.5	比较器 A 测量电流或电压	197
14.4.6	测量比较器 A 的偏压	200
14.4.7	比较器 A 的偏压补偿	201
14.4.8	增加比较器 A 的回差	201
第 15 章	模数转换器 ADC12	203
15.1	概 述	203
15.2	ADC12 的工作原理及操作	204
15.2.1	ADC 内核	204
15.2.2	参考电平	205

15.3	模拟输入与多路切换	206
15.3.1	模拟多路切换	206
15.3.2	输入信号	206
15.3.3	热敏二极管的使用	207
15.4	转换存储	207
15.5	转换模式	207
15.5.1	单通道单次转换模式	208
15.5.2	序列通道单次转换模式	210
15.5.3	单通道重复转换模式	213
15.5.4	序列通道重复转换模式	215
15.5.5	转换模式之间的切换	216
15.5.6	低功耗	216
15.6	转换时钟与转换速度	217
15.7	采 样	218
15.7.1	采样操作	218
15.7.2	采样信号输入选择	218
15.7.3	采样模式	219
15.7.4	MSC 位的使用	221
15.7.5	采样时序	223
15.8	ADC12 控制寄存器	223
15.8.1	控制寄存器 ADC12CTL0 和 ADC12CTL1	224
15.8.2	转换存储寄存器 ADC12MEMx	227
15.8.3	控制寄存器 ADC12MCTLx	227
15.8.4	中断标志寄存器 ADC12IFG. x 和中断允许寄存器 ADC12IEN. x	228
15.8.5	中断向量寄存器 ADC12IV	229
15.9	ADC12 接地与降噪	231
第 16 章	FLASH 型芯片的开发	233
16.1	开发系统概述	233
16.1.1	开发技术	233
16.1.2	MSP430 系列的开发	234
16.1.3	MSP430F 系列的开发	234
16.2	FLASH 型的 FET 开发方法	235
16.2.1	MSP430 芯片的 JTAG 接口	235
16.2.2	FLASH 型仿真工具	235
16.3	FLASH 型的 BOOT ROM	236
16.3.1	标准复位过程和进入 BSL 过程	236
16.3.2	BSL 的 UART 协议	238
16.3.3	数据格式	238
16.3.4	退出 BSL	241

16.3.5	保护口令	241
16.3.6	BSL 的内部设置和资源	241
附录 A	寻址空间	243
附录 B	指令说明	257
B.1	指令汇总	257
B.2	指令格式	259
B.3	不增加 ROM 开销的模拟指令	261
B.4	指令说明(字母顺序)	262
B.5	用几条指令模拟的宏指令	301
附录 C	MSP430 系列单片机参数表	303
附录 D	MSP430 系列单片机封装形式	304
附录 E	MSP430 系列器件命名	305

第1章 引 论

1.1 MSP430 系列单片机

TI 公司的 MSP430 系列单片机(或称为微控制器),是一种具有超低功耗特性的功能强大的单片机。它有几个子系列,其中的 MSP430x31x、32x、33x 等系列产品已在北京航空航天大学出版社的《MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用》一书中作了介绍。

MSP430 系列在 2000 年又增加了一个 MSP430F1x 子系列。这一系列具有 FLASH 存储器,在系统设计、开发调试及实际应用上都表现出较明显的优点。

MSP430F1x 系列具有以下一些共同的特点:

超低功耗

MSP430F1x 运行在 1 MHz 时钟条件下时,工作电流视工作模式不同为 $0.1\sim 400\ \mu\text{A}$,工作电压为 $1.8\sim 3.6\ \text{V}$ 。

强大的处理能力

MSP430F1x 具有丰富的寻址方式(源操作数 7 种,目的操作数 4 种),但只需简洁的 27 条指令;片内寄存器数量多,存储器可实现多种运算;有高效的查表处理方法。这些特点保证了可以编制出高效的程序。

MSP430F1x 的中断源较多,并且可以任意嵌套,使用时灵活方便。当系统处于省电的备用状态时,用中断请求将它唤醒只需 $6\ \mu\text{s}$ 。

丰富的片上外围模块

MSP430F1x 中的各个成员集成了较多的片上外围资源。有几个型号的片上外围模块功能相当丰富,如 MSP430F149 就包含:12 位 A/D、精密模拟比较器、硬件乘法器、2 组频率可达 8 MHz 的时钟模块、2 个带有大量捕获/比较寄存器的 16 位定时器、看门狗、2 个可实现异步、同步及多址访问的串行通信接口、数十个可实现方向设置及中断功能的并行输入、输出端口等。

方便高效的开发方式

MSP430F1x 具有 FLASH 存储器,这一特点使得它的开发工具相当简便。利用单片机本身具有的 JTAG 接口或片内 BOOT ROM,可以在一台 PC 及一个结构小巧的 JTAG 控制器的帮助下实现程序的下载,完成程序调试。

多种存储器形式

MSP430F1x 的各个型号大多有性能相同而存储器不同的 ROM 型、OTP 型,以适应产品在设计、开发、生产的各个不同阶段的需要。

适应工业级运行环境

MSP430F1x 的运行环境温度范围为 $-40\sim +85\ ^\circ\text{C}$,所设计的产品适合运行于工业环境下。具有 FLASH 存储器的 MSP430F1x 系列目前有 MSP430F11x、MSP430F11x1、MSP430F13x 和 MSP430F14x 等型号,所集成的存储器容量及外围模块各不相同。在后面的

叙述中将对这些差异加以说明。

1.2 MSP430F11x 系列

MSP430F11x 系列是 MSP430x11x 系列中的 FLASH 型。除了存储器外,结构与同一系列中的其他型号相同,由以下部分组成:

- 基础时钟模块,包括 1 个数控振荡器(DCO)和 1 个晶体振荡器。
- 看门狗定时器 Watchdog Timer,可用作通用定时器。
- 带有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A。
- 2 个具有中断功能的 8 位并行端口:P1 与 P2。

MSP430x11x 系列目前有以下型号:

- MSP430C111: 2 KB ROM,128 字节 RAM。
- MSP430C112: 4 KB ROM,256 字节 RAM。
- MSP430P112: 4 KB OTP,256 字节 RAM。
- PMS430E112: 4 KB EPROM,256 字节 RAM。
- MSP430F110: 1 KB +128 字节 FLASH,128 字节 RAM。
- MSP430F112: 4 KB +256 字节 FLASH,256 字节 RAM。

1.3 MSP430F11x1 系列

MSP430F11x1 系列是 MSP430x11x1 系列中的 FLASH 型。除了存储器,结构与同一系列中的其他型号相同,由以下部分组成:

- 基础时钟模块,包括 1 个数控振荡器(DCO)和 1 个晶体振荡器。
- 看门狗定时器 Watchdog Timer,可用作通用定时器。
- 带有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A。
- 2 个具有中断功能的 8 位并行端口:P1 与 P2。
- 模拟比较器 Comparator_A。

MSP430x11x1 系列目前有以下型号:

- MSP430C1111: 2 KB ROM,128 字节 RAM。
- MSP430C1121: 4 KB ROM,256 字节 RAM。
- MSP430P1121: 4 KB OTP,256 字节 RAM。
- MSP430F1101: 1 KB +128 字节 FLASH,128 字节 RAM。
- MSP430F1121: 4 KB +256 字节 FLASH,256 字节 RAM。

1.4 MSP430F13x 系列

MSP430F13x 由以下部分组成:

- 基础时钟模块,包括 1 个数控振荡器(DCO)和 2 个晶体振荡器。
- 看门狗定时器 Watchdog Timer,可用作通用定时器。

- 带有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A3。
- 带有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_B3。
- 2 个具有中断功能的 8 位并行端口:P1 与 P2。
- 4 个 8 位并行端口:P3、P4、P5 与 P6。
- 模拟比较器 Comparator_A。
- 12 位 A/D 转换器 ADC12。
- 1 个串行通信接口 USART0。

MSP430F13x 系列有以下型号:

- MSP430F133: 8 KB + 256 字节 FLASH, 256 字节 RAM。
- MSP430F135: 16 KB + 256 字节 FLASH, 512 字节 RAM。

1.5 MSP430F14x 系列

MSP430F14x 由以下部分组成:

- 基础时钟模块, 包括 1 个数控振荡器(DCO)和 2 个晶体振荡器。
- 看门狗定时器 Watchdog Timer, 可用作通用定时器。
- 带有 3 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_A3。
- 带有 7 个捕捉/比较寄存器的 16 位定时器 Timer_B7。
- 2 个具有中断功能的 8 位并行端口:P1 与 P2。
- 4 个 8 位并行端口:P3、P4、P5 与 P6。
- 模拟比较器 Comparator_A。
- 12 位 A/D 转换器 ADC12。
- 2 个串行通信接口:USART0 与 USART1。
- 1 个硬件乘法器。

MSP430F14x 系列有以下型号:

- MSP430F147: 32 KB + 256 字节 FLASH, 1 KB RAM。
- MSP430F148: 48 KB + 256 字节 FLASH, 2 KB RAM。
- MSP430F149: 60 KB + 256 字节 FLASH, 2 KB RAM。

表 1.1 是 MSP430 系列的 FLASH 各型号单片机的性能结构一览表。